

2018

TUTOR: FERNANDO FRANCISCO  
BUCHÓN MORAGUES

ALUMNA: ESTEFANÍA GONZÁLEZ  
CONCHELL



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# [ FOTOGRAMETRÍA Y LÁSER ESCÁNER APLICADO A LA INFOGRAFÍA FORENSE ]

TRABAJO FIN DE GRADO

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi tutor Fernando Francisco Buchón Moragues la ayuda y apoyo técnico - teórico durante todo el estudio y gracias a su propuesta he conseguido la finalización de este proyecto .

Mi tiempo de trabajo durante éste proyecto tampoco hubiese sido el mismo sin mis amigos del laboratorio de Fotogrametría de la UPV, David Sánchez Jiménez y Francisco Ricasens, los cuales me han animado en los momentos de estrés y trabajo.

## RESUMEN

El análisis y la reconstrucción de eventos forenses relevantes, como accidentes de tráfico, delitos, asaltos y homicidios se basan en hallazgos morfológicos externos e internos de los heridos o fallecidos. Para este enfoque, los métodos de alta tecnología están ganando cada vez más importancia en el ámbito forense debido a la información in-situ que se obtiene.

Por lo que el objetivo de este proyecto es obtener información adicional sobre una escena criminal o accidente, utilizando datos obtenidos mediante Láser – escáner e imágenes fotográficas y realizar una comparativa con el objetivo de optimizar el método a seguir.

Palabras clave: Láser escáner, Fotogrametría, Ciencia forense, Investigación, Modelado 3D, Reconstrucción de la escena criminal.

## RESUM

L'anàlisi i la reconstrucció d'esdeveniments forenses rellevants, com a accidents de tràfic, delictes, assalts i homicidis es basen en troballes morfològiques externes i interns dels ferits o difunts. Per a este enfocament, els mètodes d'alta tecnologia estan guanyant cada vegada més importància en l'àmbit forense a causa de la informació in-situ que s'obté.

Pel que l'objectiu d'este projecte és obtindre informació addicional sobre una escena criminal o accident, utilitzant dades obtinguts per mitjà de Làser - escàner i imatges fotogràfiques i realitzar una comparativa amb l'objectiu d'optimitzar el mètode que s'ha de seguir.

Paraules clau: Làser escàner, Fotogrametria, Ciència forense, Investigació, Modelització 3D, Reconstrucció de l'escena criminal."

## ABSTRACT

The analysis and reconstruction of forensically relevant events, such as traffic accidents, criminal assaults and homicides are based on external and internal morphological findings of the injured or deceased person. For this approach high-tech methods are gaining increasing importance in forensic investigations due to the in-situ information that is obtained.

So the objective of this project is to obtain additional information about a criminal scene or accident, using data obtained by Láser - scanner and photographic images and make a comparative in order to optimize the method to follow.

Key words: Láser scanner, Photogrammetry, Forensic Science, Investigation, 3D Modeling, Reconstruction of the criminal scene.

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Antecedentes.....	7
1.1.1. Frances Glessner Lee. La madre de la ciencia forense....	7
1.1.2. El 19 de Agosto de 1946. El primer asesinato que dio paso a toda una nueva ciencia en el estudio de la Criminalística.....	9
1.2. Motivación.....	10
1.3. Objetivos.....	11
2. ZONA DE ESTUDIO.....	12
3. FOTOGRAMETRIA.....	13
3.1. Generalidades.....	13
3.2. Definición de la Fotogrametría.....	14
3.3. Fundamentos de la Fotogrametría.....	14
3.4. Tipos de Fotogrametría.....	15
3.4.1. Fotogrametría Aérea.....	15
3.4.2. Fotogrametría Terrestre.....	15
3.4.3. Fotogrametría de objetos cercanos.....	16
3.5. El método SFM.....	16
4. LÁSER ESCANER 3D.....	17
4.1. Clasificación del láser escáner .....	19
4.1.1. Según la técnica de trabajo .....	19
4.1.2. En función del alcance.....	19
4.1.3. En función de la técnica empleada para la obtención de distancias.....	20
4.2. Ventajas del láser escáner.....	22
4.3. Desventajas del láser escáner.....	23
4.4. Aplicaciones láser escáner.....	24
5. MATERIAL UTILIZADO.....	24
5.1. Cámara réflex Canon EOS-1100 D.....	24
5.2. Láser Escáner 3D Trimble TX6.....	26
6. HERRAMIENTAS EMPLEADAS .....	28
6.1. Agisoft PhotoScan Professional.....	28
6.2. Trimble Realworks.....	28
6.3. 3DReshaper.....	29

7. METODOLOGIA.....	29
7.1. Procesamiento con fotografías digitales. ....	31
7.1.1. Orientación de las imágenes.....	32
7.1.2. Creación de la nube de puntos densa.....	34
7.1.3. Eliminación del ruido.....	36
7.1.4. Creación de la malla y textura.....	37
7.1.5. Exportación de datos.....	39
7.1.6. Posterior edición con 3DReshaper.....	40
7.2. Procesamiento con láser escáner.....	43
7.2.1. Creación del escaneo en nube de puntos.....	43
7.2.2. Registro de las nubes .....	46
7.2.3. Otras funciones de Realworks .....	55
7.2.4. Eliminación del ruido y modelado de la nube de Puntos.....	56
7.2.5. Publicación de los escaneos.....	60
8. PLATEAMIENTO.....	71
9. CONCLUSION.....	74
10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	75

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes

### 1.1.1. Frances Glessner Lee. La madre de la ciencia forense.

Frances, a la que llamaban Fanny, nació en 1878. Hija de padres millonarios, con una infancia que ella misma recordaba como solitaria y demasiado protegida.

Lee fue educada en casa, lugar donde aprendió todo tipo de habilidades para la costura, el bordado, la pintura o el arte de las miniaturas que tanto le gustaba a su madre y a sus tías. Pero al mismo tiempo la joven devoraba los libros, en especial aquellos que tuvieran que ver con los misterios, los crímenes y especialmente un personaje, era fan incondicional de las historias de Sherlock Holmes. Además, Fanny había desarrollado un extraño gusto por la literatura médica.

A decir verdad la joven estaba siendo educada tal y como sus padres la veían en un futuro. Siendo ama de casa, de esta forma todas las peticiones de Lee por salir y estudiar en una escuela fueron rechazadas. De hecho su padre le decía que “las mujeres no van a la escuela”. Las siguientes décadas estarían marcadas por una cierta amargura y el propio arrepentimiento por no hacer caso a sus instintos. Aunque seguía soñando con “hacer algo significativo para la comunidad”, lo cierto es que acabó casándose con Blewett Lee, un abogado y profesor de la Northwestern University. La pareja tuvo tres hijos aunque finalmente se divorcian en 1914, una época y un momento en la historia donde divorciarse era sinónimo de escándalo. Fanny volvía a ser libre, aunque pasarían años antes de que realmente comenzara a desarrollar la pasión que tenía por la medicina forense. Era dependiente de su familia para cualquier aventura que implicara dinero. Hasta que su hermano y sus padres fallecieron. Ahora sí, Lee decide iniciar los estudios con 52 años. Lo hace inspirada por uno de los amigos de su hermano, George Magrath, un examinador médico de Boston y experto en resolver casos de asesinato desconcertantes.

Una de las primeras cosas que hace es donar una suma a Harvard para crear una cátedra donde impartiría clases de medicina forense el amigo de su hermano, George Magrath. Luego ayuda a crear la George Burgess Magrath Library of Legal Medicine, un esfuerzo al que siguió el primer programa de patología forense en el país.

Dos años más tarde Magrath fallece, momento en el que sus investigaciones y estudios pasan a manos de Lee, quién muy pronto se convierte en una experta en el campo, pasa a impartir clases.

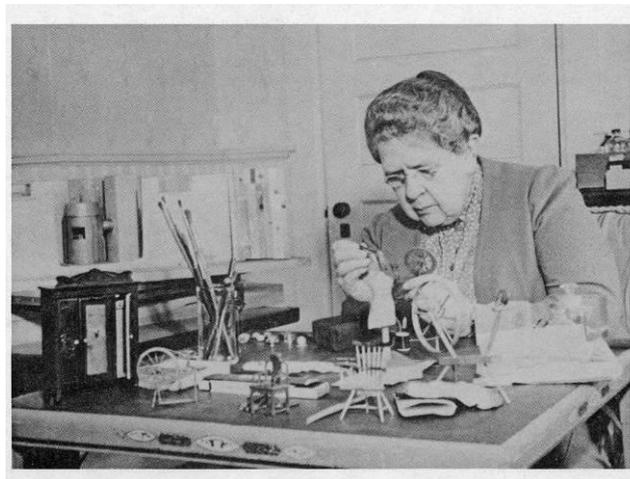
Pero a pesar de sus éxitos y el reconocimiento que estaba logrando, Fanny sentía que necesitaba profundizar para poder enseñarles a los estudiantes el cada vez más emergente arte de reunir evidencias en torno a una escena del crimen. Era imposible desplazar a los alumnos a las escenas, así que decide crear sus propias escenas del crimen en miniatura para usarlas como entrenamiento.

Lo que hizo Frances fue llevar a cabo su plan optando por la tradición femenina de hacer miniaturas y así avanzar en este campo dominado por los hombres. Al igual que Sherlock Holmes llegaba a una escena y creaba todo un estudio de los personajes y víctimas, ella hizo algo parecido ofreciendo un nuevo punto de vista a los investigadores.

Ella fue también la primera mujer en convertirse en capitán honorario de la policía del estado de New Hampshire, convirtiéndose posteriormente también en la primera en afiliarse a la Asociación Internacional de Jefes de Policía. Aunque sin duda lo más significativo fue su trabajo.

Gracias a ella la recolección cuidadosa de pruebas se convirtió en una parte esencial de las investigaciones y varios estados enmendaron su legislación para exigir, en vez de jueces de instrucción (como era lo normal hasta entonces), a profesionales de medicina. Hizo posible que la investigación forense fuera un proceso científico.

Frances Lee murió en 1963 con 83 años pero su legado sigue muy vigente. La mayor parte de sus creaciones siguen siendo utilizadas como herramientas de entrenamiento en seminarios de homicidios.



*Ilustración 1: Frances Glessner Lee elaborando una de sus maquetas*

### **1.1.2. El 19 de agosto de 1946. El primer asesinato que dio paso a toda una nueva ciencia en el estudio de la criminalística.**

Hasta la llegada de esta enigmática mujer, Frances Glessner Lee, las escenas del crimen dejaban mucho que desear. El patrón a seguir y la perspectiva desde la que se tomaban las pistas tenía muchos agujeros, detalles que se dejaban pasar o pruebas que se contaminaban por la inoperancia de los investigadores.

Ocurrió el 19 de agosto de 1946 en la ciudad de Baltimore. Ese día la joven Dorothy Dennison salió de casa con dirección a la carnicería local de su barrio. Según los registros Dorothy llegó al local alrededor de las 14:00 y compró carne para hacer hamburguesas. Pero ahí se perdió su pista. Pasaron las horas y la joven no regresó a casa. Unos días después, se encontró el cuerpo de la joven en una casa abandonada, yacía de espaldas y el olor delataba que habían pasado varios días desde su muerte. El trágico final de Dorothy se ha conservado para siempre en un extraño diorama en miniatura que captura la brutalidad de lo ocurrido con todo tipo de detalles. Su muerte dio paso a un nuevo tipo de investigación.

Este fue el primero de Los 20 modelos creados por Lee, se basaban en escenas reales de crímenes. Escogió sólo aquellos que debido a las circunstancias eran más desconcertantes o no se habían resuelto con el único fin de probar los poderes de observación y lógica de los aspirantes a detectives. Además, muchos de esos casos no se podían resolver observando únicamente la escena del crimen, demostrando así de la necesidad de que los detectives debían involucrar a los examinadores médicos junto a expertos científicos en el proceso de resolución de un crimen.

Lee se gastó mucho para la creación de cada modelo. Su obsesión por la atención al detalle de cada escena se puede palpar en el acabado final.

En cuanto a los homicidios, Lee asistió a las autopsias reales, visitó escenas del crimen y estudió patrones de salpicaduras de sangre. La mujer se aseguró de que “sus” cadáveres tuvieran el grado correcto de hinchazón o incluso el color de piel una vez muerto, lo mismo ocurría con aquellas evidencias que ella retrata fielmente (un cuchillo, la salpicadura de sangre... ) para que coincidiera tal y como había ocurrido.

Se calcula que con la ayuda del carpintero llegaban a construir hasta tres escenas completas al año.

Finalmente la muerte de Dorothy Dennison se resolvió, pero como la mayoría de escenas que representó Lee, es mejor guardar el secreto para preservar su utilidad en el futuro como herramienta de formación.



*Ilustración 2: Maqueta de la escena del crimen de Dorothy Dennison*

### 1.2. Motivación

Al igual que Frances Glessner Lee, soy fan incondicional de las historias de Sherlock Holmes, por ello he querido relacionar el campo de la investigación criminal con las tecnologías aprendidas en la escuela, especialmente fotogrametría y tratamiento y gestión de datos 3D. Como ingeniera en Geomática y Topografía, resulta de gran satisfacción mostrar que nuestro trabajo no solo es la topografía también podemos aportar información en el ámbito de la ciencia forense y en muchos campos relacionados con la investigación.

El afán de la fotogrametría ha llevado a cabo este proyecto, con el objetivo de mostrar su gran utilidad para la obtención de datos reales con láser escáner e imágenes fotográficas y garantizar la calidad métrica del modelo, así como su precisión garantizada por la estadística.

### 1.3. Objetivos

En la realización del proyecto se ha comparado dos métodos, la técnica SFM y el láser escáner, para obtener la nube de puntos de la escena criminal o accidente, en este caso se ha simulado un accidente de coche en la salida del parking de la Universidad Politécnica de Valencia.

Entre los objetivos de este proyecto, la idea principal es recopilar toda la información real in-situ del accidente antes de cualquier manipulación de la escena.

Ya que, en investigaciones forenses se ha demostrado que algunos casos parecen ser primero accidentes, porque la visualización inicial de los rastros y las declaraciones de testigos puede llevar a esta suposición, pero el conocimiento adicional de un examen más detallado conduce al tratamiento de casos como homicidios.

De ahí la importancia de aplicar técnicas de medición tridimensional para la obtención de nuevos datos en casos médicos forenses, y cómo las reconstrucciones 3D que ayudan a determinar el curso del suceso de un accidente o crimen.

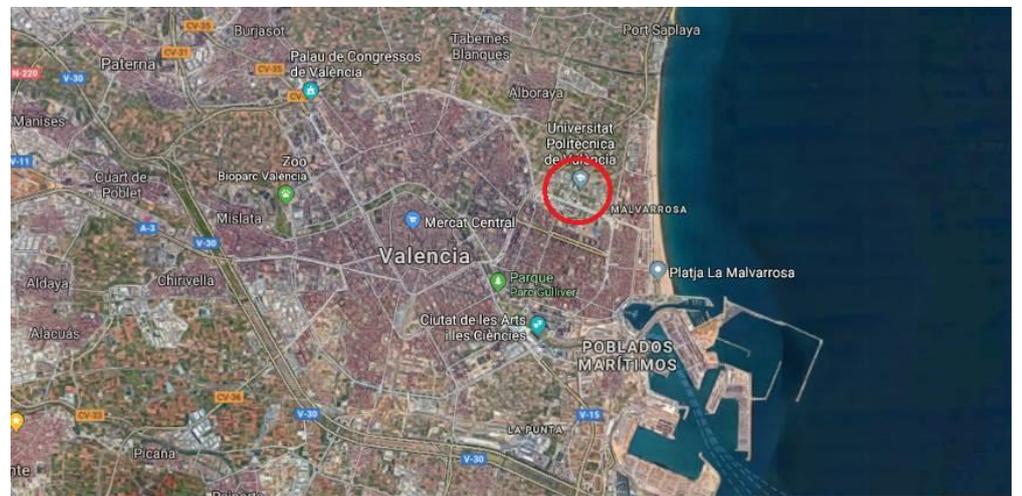
En segundo lugar, se busca la metodología más efectiva, comparando tanto la calidad y precisión de los datos como la utilidad del resultado. Así como el aprendizaje de nuevos programas en las distintas técnicas para el modelado 3D del accidente de coche.

En tercer y último lugar, se mostrará para un público determinado, en este caso para el grupo de policías de investigación, una página en la que se podrá sacar información y mediciones del suceso a través de una ventana virtual creada mediante un programa del láser escáner " RealWorks" y editada previamente.

## 2. ZONA DE ESTUDIO

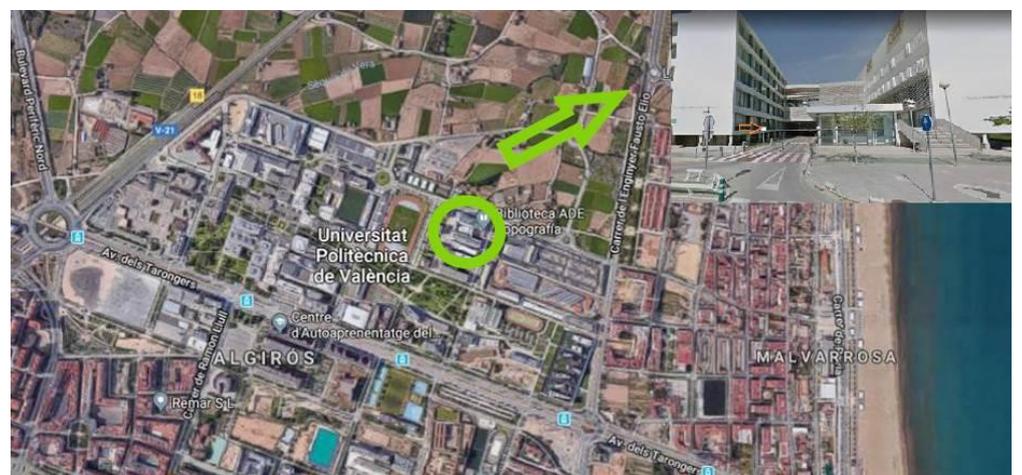
Lo más común hoy en día son los accidentes de tráfico, por ello se ha realizado una simulación de un accidente de coche, ya que también es una escena criminal de fácil representación. La zona de estudio sobre la que se centra este trabajo se encuentra dentro de la provincia de Valencia, situado dentro de las instalaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, concretamente a la salida del parking subterráneo entre la Facultad de ADE y la ETSIGCT.

PLANO DE SITUACION:



Il·lustració 3: Plano de situació

PLANO DE EMPLAZAMIENTO:



Il·lustració 4: Plano de emplazamiento

## 3. FOTOGRAMETRIA

### 3.1. Generalidades

La fotogrametría es una técnica que crea modelos en 3D a partir de imágenes 2D, cuyo objetivo es 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 en forma natural el ser humano. Utilizando varias imágenes fotográficas de los objetos. Los trabajos fotogramétricos deben apoyarse sobre puntos visibles y localizados por métodos de triangulación topográfica o geodésicos que sirven de control tanto planimétrico como altimétrico. Como una derivación de la fotogrametría, está la fotointerpretación que se emplea para el análisis cualitativo de los terrenos. Tiene las ventajas de la rapidez con que se hace el trabajo, la profusión de los detalles y su empleo en lugares de difícil o imposible acceso desde el propio terreno. Esta disciplina se emplea tanto para fines militares, como para los levantamientos topográficos generales, anteproyecto de carreteras, canales y usos agrícolas catastrales, estudios de tránsito, puertos, urbanismo, etc. El trabajo consiste en esencia en tomar fotografía desde dos o más estaciones adecuadas y utilizarlas después para obtener los detalles del terreno fotografiado, tanto en planta como en alzado o perfil.

Actualmente se han desarrollado otros tipos de fotogrametría como la espacial o satelital, inercial y los sensores remotos, las cuales tienen aplicaciones específicas en la estrategia militar y control de itinerarios de transporte a largas distancias. Los levantamientos por satélite incluyen la determinación de la posición de sitios en el terreno utilizando imágenes de satélite para la medición y mapeo de grandes superficies sobre la tierra.

### 3.2. Definición de la fotogrametría

Según Boneval, la fotogrametría se define como “ la técnica cuyo objetivo es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto”.

Una definición más actualizada que nos da la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS) es “el arte, la ciencia y la tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”. Esta última es más completa y abarca técnicas modernas y elimina casi la diferencia existente entre Fotogrametría y Teledetección.

En cualquier caso podemos decir que la Fotogrametría es la ciencia que nos permite, a partir de fotografías ya sea áreas o terrestres, obtener las medidas de objeto fotografiado.

### 3.3. Fundamento de la fotogrametría

El principio en el que se basa la fotogrametría consiste en proyectar en forma ortogonal sobre un plano de referencia, la imagen registrada en una fotografía, la cual ha sido proyectada sobre el negativo mediante la proyección central, que es la usada por las lentes.

En fotogrametría se asume que la proyección central es perfecta, lo cual implica que:

No existe desviación de los rayos de luz que atraviesan los lentes de la cámara. La imagen se proyecta sobre una superficie perfectamente plana. La relación matemática que relaciona el objeto y su imagen se conoce con el nombre de principio de colinealidad.

### 3.4. Tipos de Fotogrametría

A lo largo de la historia, la fotogrametría se fue desarrollando distintos tipos que se adaptaban a los distintos campos de aplicación, de ahí se obtienen las siguientes tres grandes grupos.

#### 3.4.1. Fotogrametría Aérea

Se basa principalmente en la toma de fotografías desde una cámara aerotransportada, es decir desde un transporte aéreo como es el avión. Por ello, implica que su eje óptico casi siempre es vertical, y que su posición en el espacio es desconocida. Generalmente, las cámaras usadas son de formato 23 × 23 cm, ya que son las más apropiadas para los trabajos cartográficos a los cuales está destinada. Actualmente cobra importancia la fotografía aérea de pequeño formato, debido a sus ventajas de accesibilidad económica, velocidad de ejecución y precisión. Otra modalidad que gana importancia la constituye la fotogrametría espacial, que utiliza imágenes estereoscópicas tomadas desde satélites de observación de la tierra.

#### 3.4.2. Fotogrametría Terrestre

En este caso las fotografías son tomadas sobre un soporte terrestre; este hecho, implica que la posición y los elementos de orientación externa de la cámara son conocidos de antemano. La cámara fotogramétrica se encuentra apoyada sobre el terreno, y en el caso normal, los ejes de la cámara (o cámaras) son horizontales, paralelos entre sí y perpendiculares a la base. Fue la primera aplicación práctica de la fotogrametría hoy derivada en fotogrametría cercana, actualmente se usa principalmente en labores de apoyo a la arquitectura, arqueología, ingeniería estructural y en levantamientos topográficos.

### 3.4.3. Fotogrametría de objetos cercanos

Esta es la que mayor importancia tiene para este proyecto. Puesto que hemos trabajado con fotografías digitales de una escena criminal ( a escala grande) realizadas desde el mismo terreno.

La fotogrametría de objeto cercano es aquella que toma fotografías de escalas muy grandes desde la superficie terrestre. Se utiliza una cámara convencional fija apoyada sobre el terreno, cuyos ejes son horizontales, paralelos entre si y perpendiculares a la base.

### 3.5. El método SFM

El método Structure-from-Motion (SFM), es el método que hemos utilizado para la realización de la fotogrametría de objeto cercano, ya que nos permite trabajar con grupos de imágenes desordenadas a través de las cuales se buscan puntos o aspectos comunes que permiten obtener un modelo 3D.

Hoy en día estas herramientas se están volviendo tremendamente populares en los ámbitos de la arqueología, arte rupestre y en escenas de gran importancia, ya que son muy ágiles de emplear sobre el terreno y con unos costes muy bajos, y permite una documentación tridimensional muy potente, ya que aunque los escáneres láser 3D tienen unas ciertas virtudes, sus costes los hacen muy poco asequibles en la mayoría de procesos.

El algoritmo SFM opera bajo los mismos principios básicos que la fotogrametría estereoscópica, es decir, las estructuras 3D pueden resolverse a partir de series de solapamiento entre imágenes. Sin embargo, se diferencia fundamentalmente de la fotogrametría clásica en que, la geometría de la escena, las posiciones de la cámara y la orientación, se resuelven automáticamente sin necesidad de especificar previamente una red de elementos con coordenadas tridimensionales conocidas. En cambio, todos los parámetros anteriormente mencionados, son resueltos utilizando un procedimiento de ajuste de haces iterativo con un elevado número de redundancias,

basado en una base de datos de elementos extraídos automáticamente de un set de múltiples imágenes con solape (Snavely, 2008).

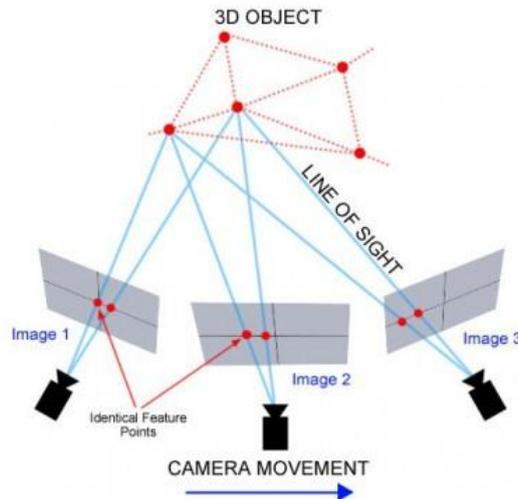


Ilustración 5: Ejemplo del funcionamiento del algoritmo SFM

#### 4. LÁSER ESCÁNER 3D:

Un láser escáner es un dispositivo que analiza un objeto o el ambiente físico con el fin de generar una captura masiva de puntos en un tiempo breve para tener una representación digital de lo escaneado.

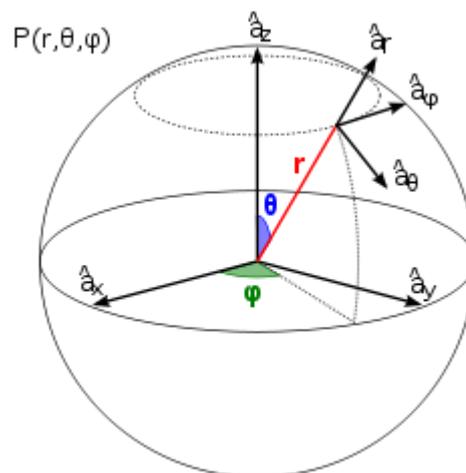
Los datos capturados son puntos, los cuales aparte de incluir posición, pueden incluir color e intensidad para posteriormente ser tratados con la finalidad de construir modelos digitales tridimensionales que se usan en multitud de aplicaciones.

El propósito de un escáner 3D terrestre es, generalmente, el de crear una nube de puntos a partir del barrido láser que se realiza en el que si se define un sistema esférico de coordenadas y se considera que el origen es el escáner, cada punto analizado se asocia con una coordenada  $\phi$  y  $\theta$  y con una distancia, al igual que si se define un sistema de coordenadas cartesiano cada punto analizado se asocia con una coordenada X e Y y con una distancia. Por lo que su funcionamiento es idéntico al de una estación total con medición sin prisma salvo que este aparato permite captar fácilmente más de 100.000 puntos por segundo.

La desventaja es que el barrido láser no atraviesa los materiales, únicamente capta el dato de donde incide el rayo, por lo que habría que hacer como mínimo 3 estacionamientos para captar todos los ángulos posibles, de esta forma evitar la existencia de zonas de sombra y lograr tener vista de todos los puntos del objeto. Estos escaneos tienen que ser introducidos en un sistema común de referencia, en un proceso que se llama registro, para posteriormente crear un modelo.

Igual que en las cámaras los escáneres 3D tienen un campo de visión en forma de cono pero a diferencia de estas pueden tomar información sin iluminación, pues los escáneres reúnen información de la superficie mediante posición (ángulos y distancias de cada punto), mientras que las cámaras reúnen información del color dentro de su campo de visión.

Si se define un sistema esférico de coordenadas en el cual se define que el sensor del escáner es el retrato origen y el vector fuera de la frente del escaneo son  $\phi=0$  y  $\theta=0$ , entonces cada punto en el retrato se asocia con un  $\phi$  y  $\theta$  junto con una distancia, que corresponde al componente  $r$ , estas coordenadas esféricas describen completamente la posición tridimensional de cada punto en el retrato, en un sistema de coordenadas local el cual es relativo al escáner.



*Ilustración 6: Ejemplo del sistema de coordenadas esféricas*

## 4.1. Clasificación del láser escáner

Hay muchas maneras de clasificación, podemos clasificar el láser escáner en función de la técnica empleada para la obtención de distancias, o según la técnica que empleen en los levantamientos, o en función del alcance.

### 4.1.1 Clasificación según la técnica de trabajo

Existen dos tipos de escáneres 3D, el de contacto y el de sin contacto, el primero examina el objeto por medio de contacto físico, estos son utilizados en su mayoría para fabricación y contienen gran precisión pero existe la desventaja del dañado de la pieza por el contacto, por otra parte están el de sin contacto, estos emplean señales que se pueden propagar en el medio e implican una menor distorsión en el objeto.

### 4.1.2 Clasificación en función del alcance

En este caso también existe dos tipos, por un lado los de medio y largo alcance, y por el otro los de corto alcance.

Los escáneres de medio y largo alcance tienen precisiones entre 2 y 6 mm y se utilizan para seguimientos de zonas extensas donde no se requiera gran precisión (Excavaciones arqueológicas, restauración de monumentos, levantamientos arquitectónicos, minería...).

Los escáneres de corto alcance tienen unas precisiones mucho mayores a los anteriores que van desde 0,1 mm hasta 50  $\mu\text{m}$ , estos son utilizados en trabajos que requieran unas precisiones muy elevadas como (topografía industrial, ingeniería aerodinámica, medicina...).

### 4.1.3 Clasificación en función de la técnica empleada para la obtención de distancias

**Escáner de triangulación:** Esta técnica se llama triangulación porque el punto de láser, la cámara y el emisor del láser forman un triángulo. La longitud de un lado del triángulo definido por la cámara y el emisor del láser es conocida, el ángulo del vértice del emisor de láser también y el ángulo del vértice de la cámara (paralaje) puede ser determinado. Estos tres valores permiten determinar el resto de las dimensiones del triángulo, y por tanto, la posición de cada punto en el espacio. Estos escáneres suelen tener como ventajas una buena precisión de hasta 0,002mm y una alta velocidad de toma de puntos hasta 500000 puntos por segundo, aunque como inconveniente que poseen es que la distancia máxima al objeto debe ser muy corta 2,5m como máximo.

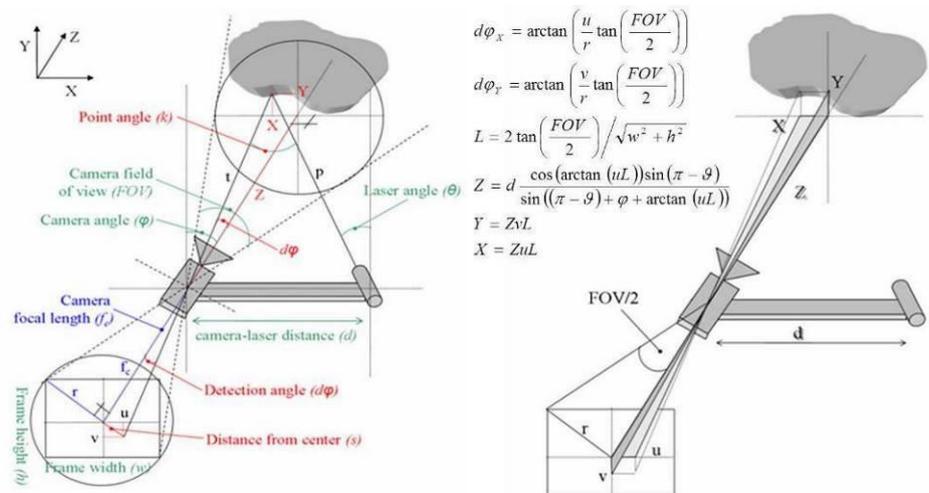


Ilustración 7: Ejemplo de la técnica del escáner de triangulación

Escáner de tiempo de vuelo: Esta técnica determina la distancia a la escena cronometrando el tiempo del viaje de ida y vuelta de un pulso de luz, es decir el tiempo de su recorrido. Debido a que la velocidad de la luz es de 300.000 km/s, un error en la determinación del tiempo de un nanosegundo induciría a un error en la obtención de la distancia de 30 centímetros. Por lo tanto los instrumentos que emplean esta técnica deben disponer de un mecanismo para determinar el instante justo de la emisión y recepción del láser, con una precisión considerable. Por ello la precisión de estos tipos de láser depende directamente de la precisión de sus relojes.

Este tipo de láseres escáner no emiten haces de luz continuos sino a pulsos, para concentrar la energía transmitida de manera que la intensidad de la señal reflejada no se deteriore por el ruido. Por lo tanto, para evitar la ambigüedad de sus mediciones, la amplitud de los pulsos ha de ser menor al tiempo de vuelo medido, es decir el emisor láser no debe emitir un pulso hasta haber recibido el anterior, pues esto podría confundir la llegada de los pulsos, lo que se conoce como máximo rango de certeza.

Esta tecnología permite una toma de 50.000 puntos por segundo con precisiones de 4mm a 50m.

Escáner de diferencia de fase: En estos escáneres el láser se propaga según ondas sinusoidales, mide la diferencia de fase entre la luz emitida y la recibida, y utiliza dicha medida para estimar la distancia al objeto. El haz láser emitido por este tipo de escáner es continuo y de potencia modulada. Estos permiten distancias máximas de 80 metros, con una toma de puntos que oscila entre los 100.000 y 1.000.000 puntos con unas precisiones de 2mm en 25 metros.

De esta forma nos evitamos la necesidad de disponer de relojes de alta precisión que suponen un encarecimiento del instrumento.

Interferometría: Este láser escáner determina la distancia por la frecuencia de las interferencias de los dos haces, por lo que se trata, de un haz reflejado en una superficie que atraviesa un cristal birrefringente, esto es, un cristal que posee dos índices de refracción, uno ordinario y fijo y otro extraordinario que depende en función del ángulo de incidencia del rayo en la superficie del cristal.

Como resultado de atravesar el cristal obtienen dos rayos paralelos que se hacen interferir utilizando para ello una lente cilíndrica, esta interferencia es capturada por el sensor de una cámara convencional obteniendo un patrón de franjas. Esta técnica permite la medición de orificios en su configuración colineal, alcanzando precisiones mejores que una micra. La ventaja de esta técnica es que permite utilizar luz no coherente, esto quiere decir que la fuente de iluminación no tiene porqué ser un láser, la única condición es que sea monocromática.

## 4.2. Ventajas del láser escáner

La principal ventaja es la rapidez en la toma de datos, la velocidad de lectura puede medir un millón de puntos por segundo, obteniendo una nube de puntos tridimensional muy densa y con una fidelidad a la realidad prácticamente exacta, sin perturbar el objeto de levantamiento (excepto en el caso de los láseres escáner de contacto mencionados anteriormente).

Por otra lado permite realizar un levantamiento preciso en cuestión de poco tiempo (hablamos de una precisión milimétrica), que como consecuencia repercute en un ahorro de costes.

Debido a lo mencionado anteriormente aparecen varias ventajas añadidas, todo lo que repercute en tiempo equivale a dinero y seguridad, es decir en eficacia, un correcto levantamiento da lugar a una única solución y elimina cualquier posibilidad de duda o mala interpretación, evitando la realización de mediciones adicionales o comprobación.

Otra ventaja a mencionar es la versatilidad, es una herramienta muy adaptable a todo tipo de terrenos y situaciones. La maniobrabilidad del escáner y su capacidad incluso de escanear en ausencia total de luz, no obliga a estar limitados en el trabajo por la oscuridad.

### 4.3. Desventajas del láser escáner

Por otro lado, una de las desventajas es el peso que tiene la captura masiva de puntos que supone un gran reto para algunos de los equipos informáticos, procesar los datos de campo, por lo que deberían ser equipos de gran potencia para la hora de trabajar en gabinete.

Existen casos, en los que las figuras irregulares, requieren más puntos por sus sombras u obstáculos más grandes como árboles o edificios que no dejan ver detrás de ellos, por lo que precisan de más estacionamientos.

Otra desventaja que presenta es la dificultad de retorno de la señal de algunas superficies, o por distancias muy largas, aunque en este caso mantiene la alta precisión hasta los 120 m.

También, debemos añadir que en las nubes de puntos, muchos contienen errores groseros, a pesar de que la calibración del instrumento sea correcta, existen errores instrumentales imposibles de evitar como el fenómeno del borde partido. Este fenómeno sucede cuando el haz incide en el borde de un objeto dividiéndose en dos, de manera que una parte rebota en una cara del borde y la otra sigue su curso hasta encontrar un objeto en el que reflejarse, entonces al receptor le llegan dos señales con dos distancias medidas distintas y procesa la distancia como la media de las dos señales obteniendo una posición errónea del punto.

Otra limitación son los errores añadidos por condiciones ambientales como puede ser las variaciones de temperatura, la humedad, etc...

#### 4.4. Aplicaciones láser escáner

Con la llegada de esta técnica se han abierto multitud de aplicaciones y hoy en día siguen abriendo nuevas expectativas; como es la medicina, topografía, patrimonio, minería, geología, arqueología, arquitectura, criminología, etc...

En este caso, es la criminología: El láser escáner permite obtener toda la documentación del lugar de la zona accidentada y de sus objetos colindantes, con un grado de detalle muy alto, del cual disponemos métricamente en todo momento. Además el tiempo de ejecución es extremadamente corto, por lo que permite en caso de algún cambio volver a la normalidad.

### 5. MATERIAL UTILIZADO

Para la realización de la nube de puntos con las fotografías se ha utilizado una cámara réflex Canon EOS-1Ds Mark III y el trípode, como soporte de la cámara. Y para la nube de puntos con el otro método se ha utilizado el láser escáner 3D Trimble TX6.

#### 5.1. Cámara Réflex Canon EOS-1100D



*Ilustración 8: Cámara Réflex Canon EOS-1100D*

A continuación mostraremos las características de la Cámara Réflex Canon EOS 1100D perteneciente al departamento de fotogrametría de la escuela técnica superior de ingeniería geodésica, cartografía y topografía de la UPV.

-Sensor CMOS de fotograma completo y 21 megapíxeles: El sensor proporciona el detalle espectacular de 21 megapíxeles, lo que supera la calidad estándar exigida por las agencias fotográficas más importantes del mundo. Las imágenes son procesadas con una profundidad de color de 14 bits para conseguir gradaciones tonales más precisas. La calidad de imagen está garantizada mediante una reducción del ruido más efectiva a altas sensibilidades, así como un filtro de paso bajo que combate los colores falsos y el muaré. La amplia gama tonal del sensor puede ser ajustada para preservar más detalles en las áreas más luminosas ("luces altas") mediante la función Prioridad tonal de altas luces.

-Dos procesadores "DIGIC III" en paralelo: Permiten que la cámara funcione a mayor velocidad, permitiendo una puesta en marcha y unos tiempos de respuesta prácticamente instantáneos.

-Hasta 5 fps con ráfagas de 56 imágenes : Ofrece ráfagas continuas de hasta 5 imágenes por segundo en series de hasta 56 imágenes JPEG (12 en RAW).

-AF de área amplia con 19 sensores tipo cruz: Un sistema AF de alta precisión emplea 19 sensores tipo cruz distribuidos en todo el área AF, con sensibilidad hasta  $f/2,8$ , para detectar los sujetos no situados en el centro de la escena. Un total de 26 puntos de ayuda AF posibilitan el seguimiento AF para una mayor precisión.

-Sistema integrado de limpieza EOS: El Sistema utiliza una combinación de tecnologías para reducir, repeler y eliminar el polvo del sensor. Una Unidad de autolimpieza del sensor agita y desprende el polvo del mismo cada vez que se enciende la cámara.

-Gama ISO amplia: Dispone de una gama de sensibilidad ISO amplia de serie, desde 100 a 1.600 ISO, ampliable a Baja:50 y Alta:3.200.

-LCD de 3,0" (7,6 cm) con modo Live View: La luminosa pantalla de 3" dispone de una definición súper nítida para comprobar el enfoque y la composición, con un aumento 10x para los detalles más finos. Cuando se dispara en posiciones no habituales, el modo Live View Mode ofrece la opción de encuadrar la imagen en la pantalla LCD.

**-Cuerpo de aleación de magnesio, protegido contra el tiempo:**

Un cuerpo de aleación de magnesio, con protección al polvo y la humedad, protege a la cámara contra los agentes atmosféricos y los rigores del uso diario.

**-Compatibilidad del sistema EOS:** La cámara digital es compatible con todos los objetivos EF (exceptuando objetivos EF-S), las unidades de flash Speedlite de la serie EX y el Transmisor de Archivos Inalámbrico WFT-E2.

## 5.2. Láser escáner 3D Trimble TX6



*Ilustración 9: Láser escáner 3D Trimble TX6*

En este apartado mostraremos las características del láser escáner 3D Trimble TX6 perteneciente al departamento de fotogrametría de la escuela técnica superior de ingeniería geodésica, cartografía y topografía de la UPV.

**-Principio de escaneo:** espejo que gira verticalmente en la base que gira horizontalmente.

**-Ruido de rango:** <2 mm en la mayoría de las superficies.

**-Datos de alta calidad:** 500,000 puntos por segundo sin comprometer la calidad o rango de escaneo, capta rápidamente datos limpios incluso con luz solar brillante.

-**Cámara HDR integrada:** la tecnología Trimble VISION™ proporciona una captura de imágenes rápida para colorear escaneos con un impacto mínimo en la productividad del campo.

-**WLAN integrada:** permite el funcionamiento remoto inalámbrico desde dispositivos móviles Windows, Apple y Android.

-**Rangos efectivos:** se puede elegir entre el rango estándar de 80 metros o incluso a un rango extendido de 120 metros para que coincida con el rango de escaneo estándar del Trimble TX8.

-**Fácil de operar:** la interfaz intuitiva a bordo hace que el TX6 sea fácil de aprender, reduciendo el tiempo de inicio. Tiempo de escaneo de alta densidad de solo 5 minutos.

-**Especificaciones técnicas:**

Escaneo de rendimiento: Campo de visión 360° x 317° y precisión angular de 80 µrad.

PARÁMETROS DE ESCANEO	AVANCE	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
rango máximo	80/120 m	80/120 m	80/120 m	80/120 m
Duración del escaneo (minutos)	2:00	3:00	5:00	19:00
Distancia entre puntos a 10 m	15.1 mm	-	-	-
Distancia entre puntos a 30 m	-	22.6 mm	11.3 mm	5.7 mm
Número de puntos	8.7 Mpts	34 Mpts	138 Mpts	555 Mpts

Ilustración 10: Tabla de las especificaciones técnicas

-**Especificaciones ambientales:**

Rango de temperatura de funcionamiento (atmósfera sin condensación): -0 °C a +40 °C (32 °F a 104 °F).

Temperatura de almacenamiento: -20 °C a +50 °C (-4 °F a 122 °F).

Rango de humedad de funcionamiento: sin condensación.

Condiciones de iluminación: todas las condiciones de interior y exterior en todo el rango (sin limitaciones de iluminación).

Clase de protección: IP54.

## 6. HERRAMIENTAS EMPLEADAS

### 6.1 Agisoft PhotoScan Professional

Agisoft PhotoScan es un software de escritorio independiente que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D, para ser utilizados en aplicaciones GIS, así como para mediciones indirectas de objetos diversos.

Existen dos versiones diferentes. La versión estándar está pensada para usuarios estándar que desean generar nubes de puntos a partir de múltiples imágenes. La versión profesional incluye funcionalidades específicas para la generación de productos más enfocados a las ciencias de la geomática. Esta edición permite obtener ortofotos georreferenciadas de alta resolución y modelos digitales del terreno con densidad y precisión. Incluso, a los modelos tridimensionales generados, es posible añadirles textura fotográfica, generando así modelos más reales. Todo ello utilizando sistemas de referencia cartográficos estándar.

### 6.2 Trimble Realworks

El RealWorks es un software de modelado que permite registrar, visualizar, explorar y manipular los datos recogidos desde el escáner láser 3D. Perteneciente a la casa de Trimble.

La versión empleada en el proyecto es la 10.4, versión más moderna hasta la fecha la cual incorpora pequeñas mejoras respecto a sus antecesoras.

La función principal del programa consiste en procesar nubes de puntos 3D, una vez que la nube de puntos recopilada se registra dentro del RealWorks se modela fácilmente, a partir de los datos de la nube de puntos mediante la herramienta de modelado. También exporta la nube de puntos modelada en distintos formatos para importarla a los paquetes CAD / BIM para iniciar las tareas de estimación y detalle de MEP.

Otra función que tiene es que se puede ver los escaneos desde cualquier ubicación de la estación o desde vistas clave del plan con todo detalle. La simple ventana gráfica permite ver y extraer fácilmente la información de la nube de puntos. Se puede editar y eliminar los puntos generados por ruido. Además, contiene una herramienta de publicación del escaneo.

### 6.3. 3DReshaper

El 3DReshaper es un software de metrología perteneciente a la casa HEXAGON.

El software se ha empleado para la generación de la malla de la nube de puntos.

La versión empleada en el proyecto presente es la 18.0, versión más moderna hasta la fecha la cual incorpora pequeñas mejoras respecto a sus antecesoras.

Las nubes de puntos 3D usadas para hacer modelos 3D pueden venir de cualquier sistema o tecnología de la medida: exploradores 3D, digitizador, CMM, punto del laser, seguidores del laser, plano del laser (triangulación del laser), laser de tiempo-de-vuelo (lasergrammetry), la fotogrametría o stereophotogrammetry.

## 7. METODOLOGIA

Antes de realizar el proyecto se generó varias simulaciones de escenas criminales con distintos factores como es la luz, el espacio, los elementos, etc... Para probar la calidad de la información obtenida con los dos métodos de obtención de la nube de puntos.

Una vez determinada la escena a realizar y aprendiendo con anterioridad a utilizar el software "RealWorks", se comenzó a coger los datos en campo. Antes de partir, se escogió un día oportuno en el que las condiciones de luz fuesen las idóneas y la meteorología permitiese realizar el levantamiento. Además, se comprobó que los equipos se encontraban cargados y en buen estado.

Tras llegar a la zona de estudio se observó primero la zona de escaneo y el lugar optimo donde estacionar el instrumento, viendo la situación se realizó 5 estacionamientos alrededor del accidente, al igual que la toma de fotografías se realizó varias imágenes de forma circular, de esta forma se captaría el objeto desde todos los ángulos posibles.

En los estacionamientos se colocó el trípode a una altura confortable, lo más horizontal posible para la posterior nivelación del instrumento y firme sobre el suelo con la ayuda de la estrella de apoyo debido a que nos encontramos en una superficie rígida y plana, y así evitar cualquier deslizamiento del aparato.

Otros elementos que utilizamos para el escaneo fueron las esferas blancas, como puntos de control para el registro de las nubes de puntos.

El escaneo fue muy sencillo, en la misma estación se creó una carpeta de trabajo que la llamamos “Coche” y seleccionamos una precisión de nivel 1, ya que en este trabajo su objetivo es obtener una resolución alta con un procesamiento lo suficientemente rápido para obtener toda la información necesaria antes de cualquier manipulación de la escena. Por lo que se consideró una buena interdistancia de los puntos de 22,6 mm y una duración del escaneo de 3 minutos.



*Ilustración 11: Primer estacionamiento del láser escáner*



*Ilustración 12: Segundo estacionamiento del láser escáner*

En la toma de fotografías se utilizó un trípode, para obtener las imágenes más nítidas sin ningún movimiento. Utilizando una distancia al objeto muy similar en todas las imágenes y un focal fijo de 18mm. Para evitar errores a la hora de alinear las fotos en el software.

También, se ha utilizado dos cajas pequeñas como puntos de referencia. Una blanca y otra amarilla.

Una vez conseguido todos los datos necesarios, se da paso al trabajo en gabinete. Donde se debe comenzar con la descarga del escaneo. Con un USB extraemos la carpeta de trabajo “Coche”, que contiene un archivo RWP con el mismo nombre y una carpeta llamada “coche.rwi” donde contiene los 5 estacionamientos en fichero TZF.

Al igual con la cámara, nos descargamos las fotos de la tarjeta SD de la réflex y la guardamos en nuestra carpeta de trabajo.

## 7.1 Procesamiento con fotografías digitales

Normalmente, el objetivo final del procesamiento de las imágenes en PhotoScan es construir un modelo 3D georreferenciado con textura, aunque en este proyecto no se ha dado importancia a la georreferenciación, debido a que la zona de estudio se ha realizado a una escala muy grande no ha hecho falta las coordenadas de los puntos de apoyo, lo que se introducirá la escala del proyecto con la distancia medida en campo desde los dos puntos de apoyo que en este caso son la caja blanca y amarilla, del cual son 7,5m, de este modo el sistema de referencia es “ el sistema de referencia imagen”. El procedimiento del procesado de las fotografías comprende 4 etapas principales: alineación de la cámara, creación de la nube de puntos densa, construcción de malla y aplicación de textura. Estas etapas se explicaran más adelante.

Tras la importación de las imágenes al software se debe comprobar la calibración que muestra la cámara a partir de las 47 fotografías y ver si es la correcta, como se muestra en la siguiente ilustración nº 13, PhotoScan determina la cámara utilizada, la Canon EOS 1100D, puesto que coincide continuamos con la siguiente etapa.

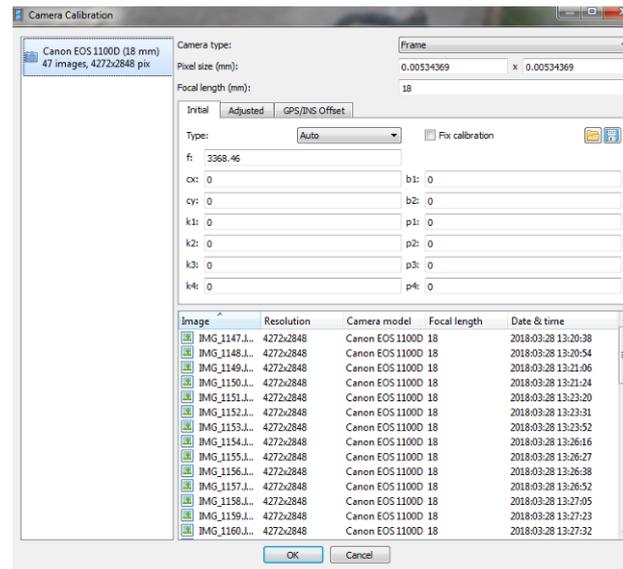


Ilustración 13: Calibración de la cámara

### 7.1.1. Orientación de las imágenes

En la etapa de la alineación de la cámara, PhotoScan busca los puntos de apoyo comunes en las fotografías y los compara. Además, encuentra la posición de la cámara para cada imagen y ajusta los parámetros de calibración. Una vez alineada las imágenes se crea la nube de puntos dispersa.

Esto se consigue con el comando *Align Photos* localizado en *Workflow*. Es importante definir correctamente los parámetros a utilizar en dicha alineación, ya que, este proceso puede demorarse algunas horas. Estos parámetros a definir se muestran a continuación en la ilustración nº14.

El primer parámetro es la *exactitud* que utilizara el programa para alinear las imágenes, del cual hemos elegido alta ya que esto influirá en la precisión final del modelo 3D. El segundo es el *Pre-procesar emparejamiento de imágenes* (útil si se dispone de las coordenadas de las fotografías, el cual no es el caso de este trabajo) que se mantendrá en la opción de desactivado "Disabled".

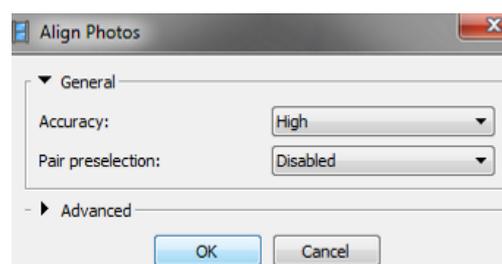
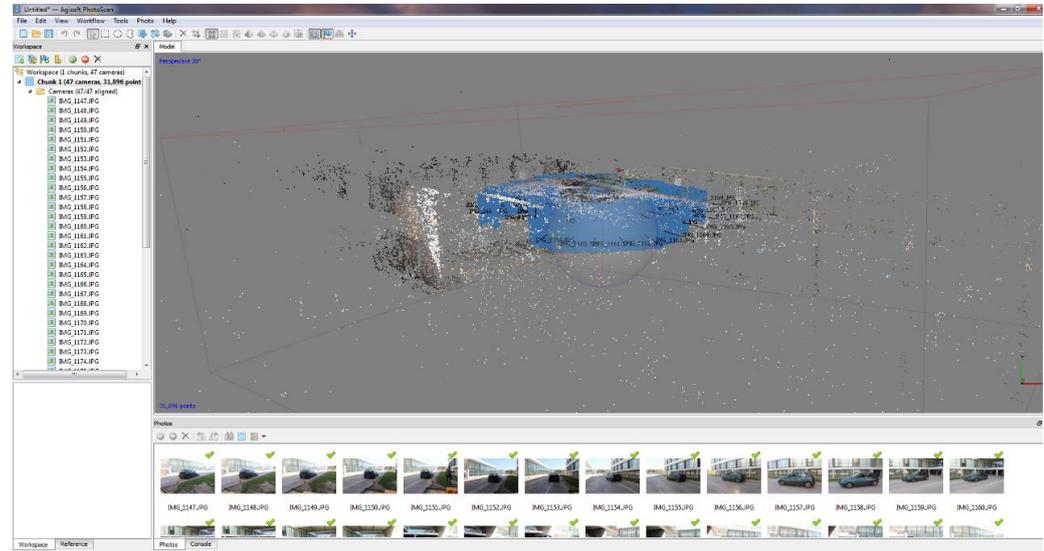


Ilustración 14: Parámetros de la alineación de las imágenes

Por lo general la alineación de las cámaras no tiene por qué completarse en el primer intento, aunque en este caso se han alineado todas las imágenes como se muestra en la siguiente ilustración nº 15. Debido a que se ha hecho muchas fotografías y de forma circular al objeto.



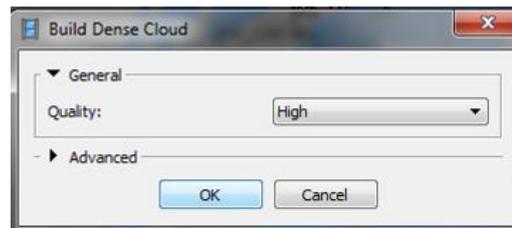
*Ilustración 15: La alineación de las imágenes en PhotoScan*

Al localizar los puntos de apoyo en cada imagen y realizar el procesamiento de datos con PhotoScan se están utilizando técnicas de transformación de sistema de coordenadas de las imágenes como método de georreferenciación. En este proceso participa el sistema de coordenadas propio de la imagen, ya que la fotografía es un documento con un formato matricial o raster. Internamente los píxeles de la imagen se localizan por medio de sus coordenadas. Dicho sistema, consiste en un conjunto de filas y columnas organizado de modo que la posición de cada píxel está determinada por la fila y columna que este ocupa, situando el origen del mismo en la esquina superior izquierda.

### 7.1.2. Creación de la nube de puntos densa:

La siguiente etapa es la construcción de la nube de puntos densa. Apoyándose de las posiciones y las propias imágenes de la cámara, PhotoScan genera una nube densa, la cual puede ser editada y clasificada antes de la exportación o de proceder a la generación de modelos de malla 3D (*ilustración 17*).

PhotoScan contiene un proceso automático para la creación de la nube de puntos densa, donde los únicos parámetros a introducir es la precisión del procesamiento, en avanzado, el número máximo de puntos a procesar y si hay algún objeto enmascarado poder excluirlo o no. En este caso se ha realizado siempre una nube de puntos a la más alta precisión. La herramienta la podemos encontrar en la ventana de *Workflow*, y escogemos la opción *Build Dense Cloud*, donde el parámetro escogido es *High*.



*Ilustración 16: Parámetros de la nube densa*

Este proceso puede durar varias horas. Y el resultado que se obtiene es el siguiente:

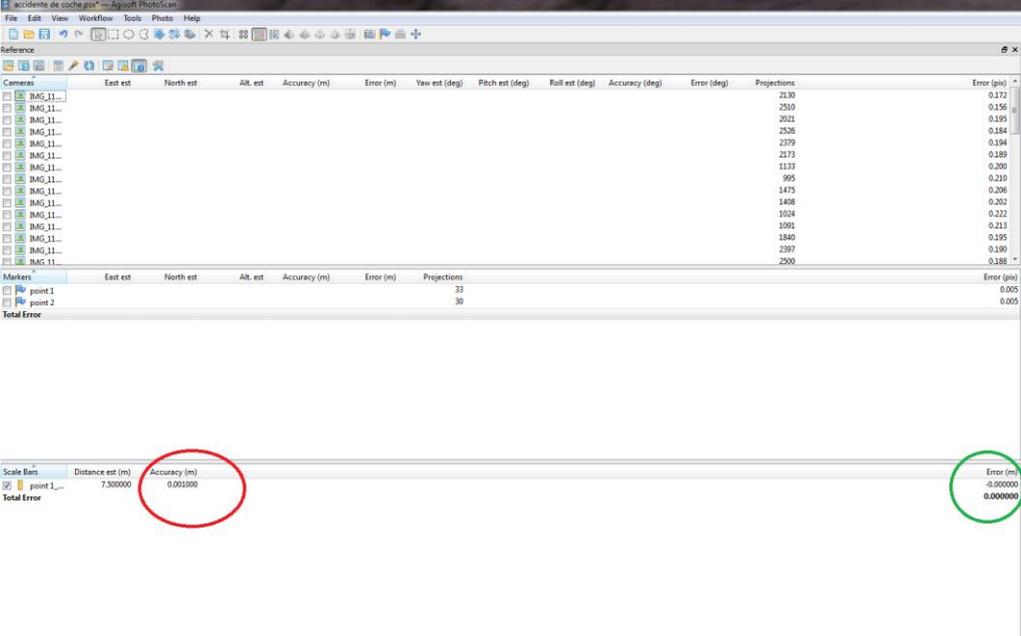


*Ilustración 17: La nube de puntos densa en PhotoScan*

Una vez finalizada la nube de puntos densa, ya siendo más visible los objetos, se puede continuar con la creación de los marcadores de los puntos de referencia que son las dos cajas (blanca y amarilla), para introducir la escala del proyecto.

Teniendo los dos marcadores damos a la herramienta de *Scale Bars*  para intruducir la distancia real (de 7,5m).

Y sin olvidarnos del siguiente paso importante, que tan solo es presionar un boton, de *optimizar las camaras*, esto se consigue desde la ventana de Refence, presionando en *Optimize Cameras* . Activando este boton podemos visualizar el error total del trabajo (*ilustración 18*).



Cameras	East est	North est	Alt. est	Accuracy (m)	Error (m)	Yaw est (deg)	Pitch est (deg)	Roll est (deg)	Accuracy (deg)	Error (deg)	Projections	Error (pix)
BMS_11_...											2130	0.172
BMS_11_...											2510	0.156
BMS_11_...											2021	0.195
BMS_11_...											2526	0.184
BMS_11_...											2379	0.194
BMS_11_...											2173	0.189
BMS_11_...											1133	0.200
BMS_11_...											995	0.210
BMS_11_...											1475	0.206
BMS_11_...											1408	0.202
BMS_11_...											1024	0.222
BMS_11_...											1091	0.213
BMS_11_...											1840	0.195
BMS_11_...											2397	0.190
BMS_11_...											2500	0.188

Markers	East est	North est	Alt. est	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
point 1						33	0.005
point 2						30	0.005

Scale Bars	Distance est (m)	Accuracy (m)	Error (m)
point 1...	7.500000	0.001000	-0.000000

Total Error	Error (m)
	0.000000

Ilustración 18: La nube de puntos densa en PhotoScan

Como se puede observar en la ilustracion anterior ha salido un error de 0,001 m y un error por pixel de 0m, es decir con un error escalar de 1 cm y un error por pixel nulo. Sin embargo el error por pixel medio de las imágenes orientadas ha salido un poco alto 0,194 m ( 19,4 cm) pero comparando otros resultados de otras orientaciones por pixel no se considera mala precisión.

Viendo estos resultados, la precision ha sido muy buena y el error escalar ha sido practicamente exacta.

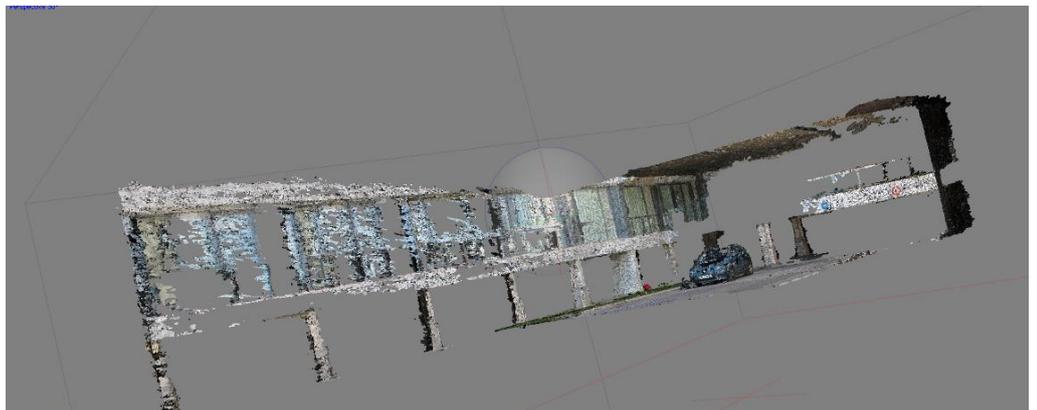
### 7.1.3. Eliminación del ruido

Para la eliminación de ruido se ha utilizado el comando *Free Form Selection*, que nos permite seleccionar todos los puntos encerrados dentro de una geometría dibujada de los cuales se han considerado erróneos, para su posterior eliminación. En este caso se ha eliminado tanto el ruido como los elementos que no se consideraban relevantes.



*Ilustración 19: Ejemplo de la eliminación del ruido en PhotoScan*

El modelo resultante tras la eliminación del ruido se muestra en la siguiente ilustración nº20.



*Ilustración 20: Resultado de la nube de puntos sin ruido*

#### 7.1.4. Creación de la malla y textura:

El siguiente paso es la construcción de la malla. PhotoScan genera una malla poligonal 3D que representa la superficie, arbitraria, para el modelado de cualquier tipo de objeto cerrado, tal como un coche o un edificio. También se puede especificar si se quiere utilizar a partir de la nube de puntos densa o dispersa. En este proyecto hemos escogido la fuente de datos de la nube de puntos densa, que se traduce en un mayor tiempo de espera, pero genera un resultado de mayor calidad.

Como se puede visualizar en la siguiente ilustración nº21, se realiza desde el comando *Batch Process* de la ventana de *Workkflow*. Se escoge en orden, primero *Build Mes*, para la creación de la malla, y a continuación *Build Textura*, el proceso que nos genera la textura del modelo.

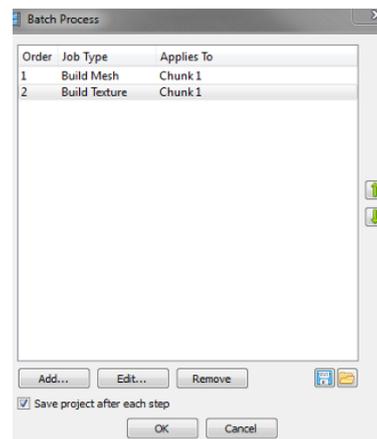


Ilustración 21: Parámetros de la malla y textura

Y el resultado es el siguiente (*ilustraciones 22,23y 24*), como se puede ver la información relevante, en este caso es la zona del choque y las huellas de frenado, tienen buena resolución:



Ilustración 22: Resultado de la malla y textura. Vista general



Ilustración 23: Resultado de la malla y textura. Vista del frenado.

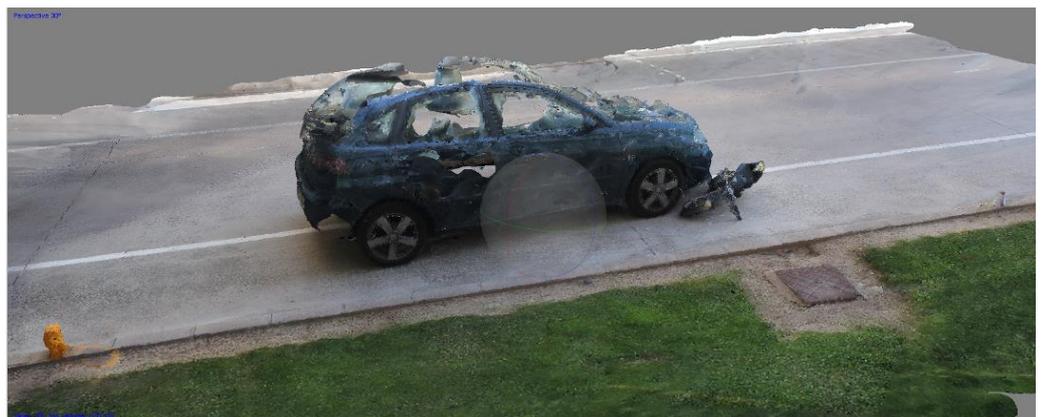


Ilustración 24: Resultado de la malla y textura. Vista del frenado

Después de la construcción de la malla, puede ser necesario editarla. Algunas correcciones como eliminación de los componentes separados, el cierre de los agujeros en la malla, suavizarla, etc, pueden efectuarla con un software de edición 3D externo para una edición más compleja, PhotoScan permite exportar la malla, editarla con otro programa e importar la de nuevo.

### 7.1.5. Exportación de datos

Una vez realizado todos los pasos anteriores en el tratamiento de las imágenes digitales, se puede exportar los resultados de procesamiento en diversas representaciones: puntos dispersos, nube de puntos densa, calibración de la cámara, datos de orientación de la cámara, malla, etc.

Los datos de la cámara se pueden exportar cuando se completa la alineación de las fotografías. El resto de las opciones se pueden exportar al completar la construcción del modelo 3D.

En definitiva, pueden exportarse los dos siguientes ficheros a partir de los resultados obtenidos.

- Exportación del modelo 3D: se puede exportar el modelo tridimensional generado en formatos planos como Adobe PDF(.pdf), en U3D models(.u3d) para poder introducir el modelo en un archivo pdf y en Wavefront OBJ (.obj) para posteriormente subir el modelo a la red o simplemente para ser directamente impreso pasando por un software tridimensional. También se puede exportar el modelo 3D generado en un modelo de triangulación en formato Autodesk DXF 3DFace o Polyline (.dxf) para editarlo posteriormente en AutoCad.
- Exportación de la nube de puntos: se extrae a partir de la opción de extracción de puntos. La nube de puntos, al ser un conjunto de vértices en el sistema de coordenadas tridimensional, tiene múltiples aplicaciones, por lo que PhotoScan permite exportar ese conjunto de datos en varios formatos, como es ;.pts,.obj, .txt, .las, .laz, .pdf, donde la nube puede continuar siendo tratada.

En este apartado nos interesa exportar la nube de puntos densa en formato .pts para importarlo en 3DReshaper como hemos comentado anteriormente para una edición más compleja. El objetivo final del proyecto es obtener un modelo 3D con la mejor resolución posible.

### 7.1.6. Posterior edición con 3DReshaper

Para mejorar la malla de puntos hemos utilizado el programa 3DReshaper, ya que es un software libre y permite la importación de ficheros “.pts”.

Como en este programa no permite la importación directa del modelo 3D, se ha tenido que crear la malla a partir de la nube de puntos densa exportada anteriormente.

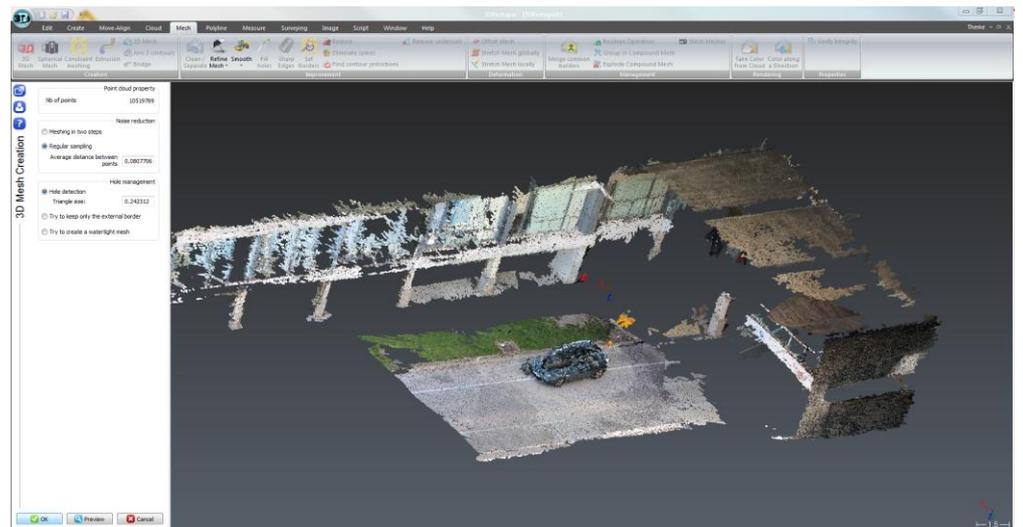
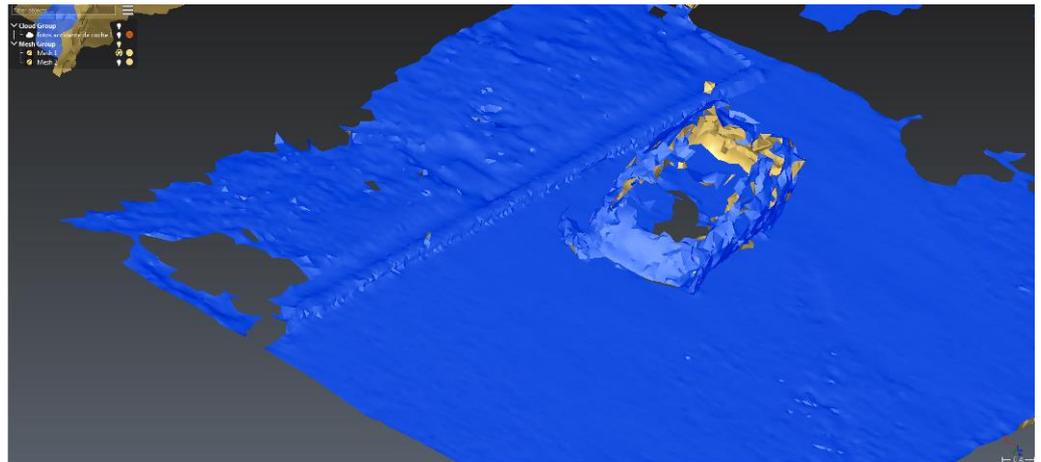


Ilustración 25: Creación de la malla en 3DReshaper

Como se puede ver en la ilustración nº25 para la creación de la malla seleccionamos la herramienta “3D Mesh”, y para ello realizamos distintas pruebas para llegar a la elección de la malla óptima, la primera de ellas consiste en el mallado en dos pasos dejando los primeros valores por defecto, los cuales nos generan un primer mallado de aproximación, en la opción de reducción del ruido la distancia media del muestreo entre los puntos sale 0.0807706, en el apartado de la gestión de agujeros, la opción de detección de agujeros sale un tamaño del triángulo de 0.24312 .El resultado de este mallado es el siguiente (ilustración 26).



*Ilustración 26: Resultado del mallado*

Como se observa el tamaño de los triángulos son bastante grandes, por lo tanto se ha ido probando la distancia media del muestreo que fuera un punto intermedio en el que la distancia media no fuera ni lo bastante pequeño para no perder gran parte del detalle y suavice en exceso la forma del objeto, ni lo bastante grande para no añadir huecos que no existan. Por ello la distancia media de muestreo entre los puntos ideal para esta nube de puntos es de 0,0307706 y un tamaño del triángulo de 0.0923.

Debido a los materiales reflectantes como el coche y las zonas con sombra carecerán de puntos, lo que al originar la malla nos generará huecos. Estos huecos pueden ser rellenados, para ello seleccionaremos la malla y accionaremos el comando Mesh//Fill holes//smooth borders, a continuación se abre un menú en el cual existen múltiples formas de seleccionar los agujeros y múltiples formas de taparlos.

En el caso de este proyecto al tratarse de un objeto irregular (el coche), a la hora de la triangulación existen muchísimos huecos, algunos de estos son inapreciables pero otros tienen un gran tamaño.

Los huecos de gran tamaño como es la parte superior del coche, no se podrían solucionar porque al no tener un mínimo de puntos la triangulación de la superficie deformaría el coche, lo dejaría prácticamente plano. Por lo tanto, seleccionaremos los orificios pequeños o medianos que no deformarían el objeto. Para ello elegiremos la opción only the select contours.

Una vez los huecos están rellenos realizaremos el suavizado, de esta forma eliminamos las aristas y vértices existentes entre la malla de triángulos TIN.

En este paso es muy importante llegar al nivel óptimo de suavizado acorde a la figura con la que se trate, pues un suavizado escaso nos dejaría el modelado con vértices y ángulos dando un resultado irreal, mientras que si metemos un exceso de suavizado terminamos degradando la figura en exceso y perdiendo por una parte precisión matemática del modelo.

El modo de operar pues con esta herramienta consistirá en escoger la intensidad de suavizado más baja, que en el 3DReshaper corresponde al de reorganización de triángulos tras esto iremos subiendo niveles hasta encontrar el punto justo en el que desaparecen las figuras angulosas, sin perder las irregularidades y recovecos que contiene el objeto en este caso ha sido una intensidad 6 de suavizado.

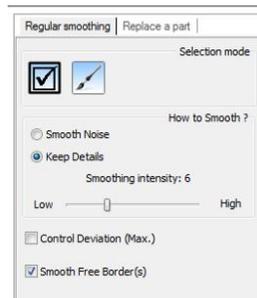


Ilustración 27: Parámetros del suavizado

Una vez teniendo la malla optima, se puede importar la malla de nuevo a PhotoScan y asi obtener el siguiente resultado (ilustración 28).



Ilustración 28: Resultado del mallado en 3DReshaper

## 7.2 Procesamiento con láser escáner

El procesamiento del escaneo se ha realizado con el software Realworks con el mismo objetivo que el anterior método es construir un modelo 3D con textura, partiendo de un sistema de referencia centrado donde cada estacionamiento es su centro de proyección, coordenadas x, y, z 0. El procedimiento del procesado de los escaneos comprende también 4 etapas principales: creación del escaneo en nube de puntos, registro de las nubes, eliminación del ruido y construcción de malla o modelización. Estas etapas se explicaran más adelante.

Se comienza con la importación de los 5 escaneos en fichero TZF (\*.tzf), con el comando importar. Entonces se crea un proyecto en el área de trabajo en este caso llamado “Accidente de coche” donde se encuentra los escaneos.

### 7.2.1 Creación del escaneo en nube de puntos

En este apartado tenemos dos formas de crear las nubes de puntos. Una forma es con la herramienta de “crear escaneos muestreados”, dentro de la ventana en la sección de Muestreado seleccionamos el tipo de Muestreado espacial y una resolución de 10mm, ya que consideramos adecuado una resolución inferior al cm. En el apartado de Muestreado (opcional) seleccionamos la opción de Muestrear por rango a una distancia máxima de 30m, para no tener más información de la innecesaria y así también acortamos el tiempo de procesamiento.

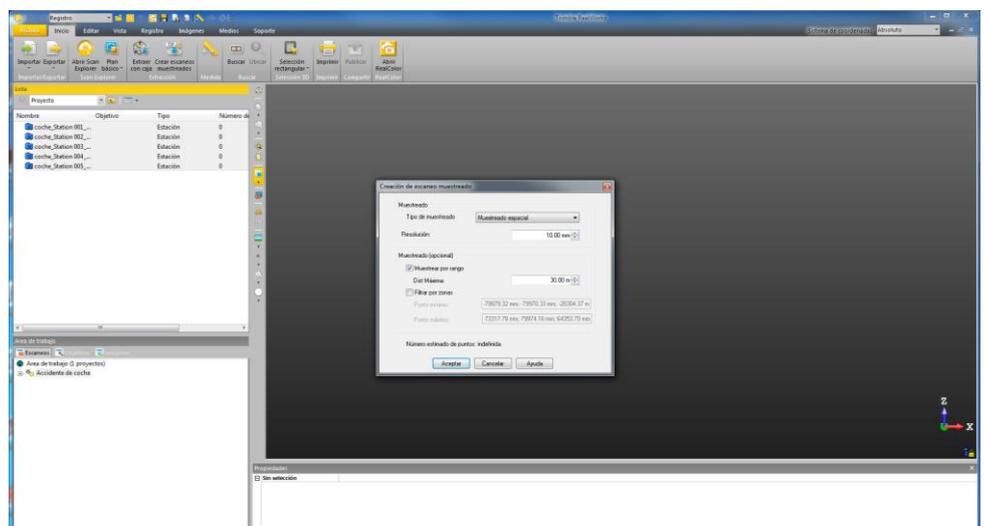


Ilustración 29: Parámetros de la creación del escaneo muestreado en Realworks

Tras haber transcurrido el tiempo del muestreo, nos aparece las 5 estaciones con su número de puntos de cada una y todas las nubes de puntos mezcladas. Por lo que nos hace pasar a la siguiente etapa.

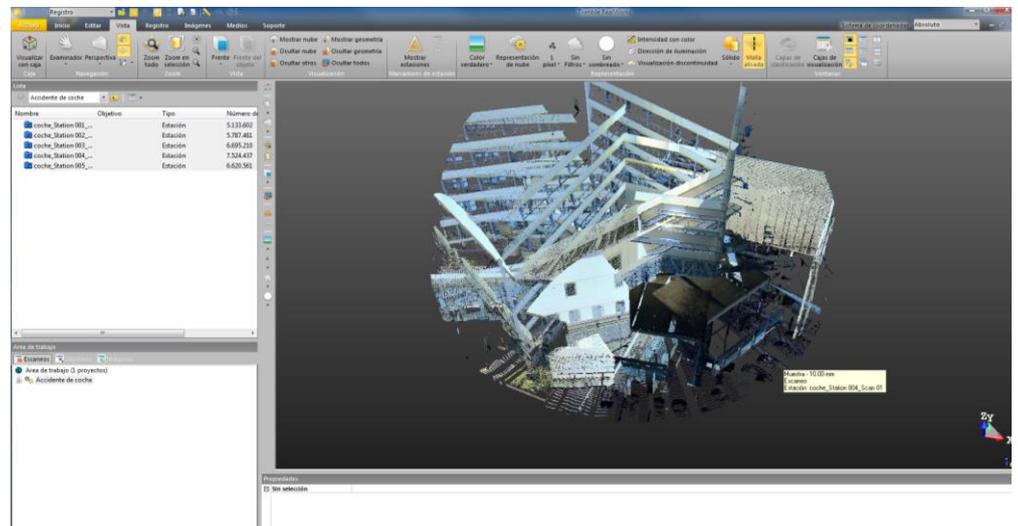


Ilustración 30: Resultado del muestreo de los escaneos

La otra forma de extraer las nubes de puntos es con el comando “Scan Explorer”. En la ventana del comando dentro del apartado estación aparecen los 5 escaneos donde podemos seleccionar la estación que se quiere tomar como referencia. Una vez seleccionado la estación se activa la herramienta de extracción de puntos, dentro de este apartado clicamos en el icono de



extraer todos los puntos para que se obtenga todos los puntos del escaneo, por lo que también se selecciona la opción de incluir todas las estaciones y eliminar puntos coincidentes para adquirir todos los puntos desde las distintas estaciones y optimizar el tiempo y espacio eliminando los puntos coincidentes. El tiempo de reacción dependerá de la cantidad de los puntos extraídos, por lo que puede llevar unos cuantos minutos.

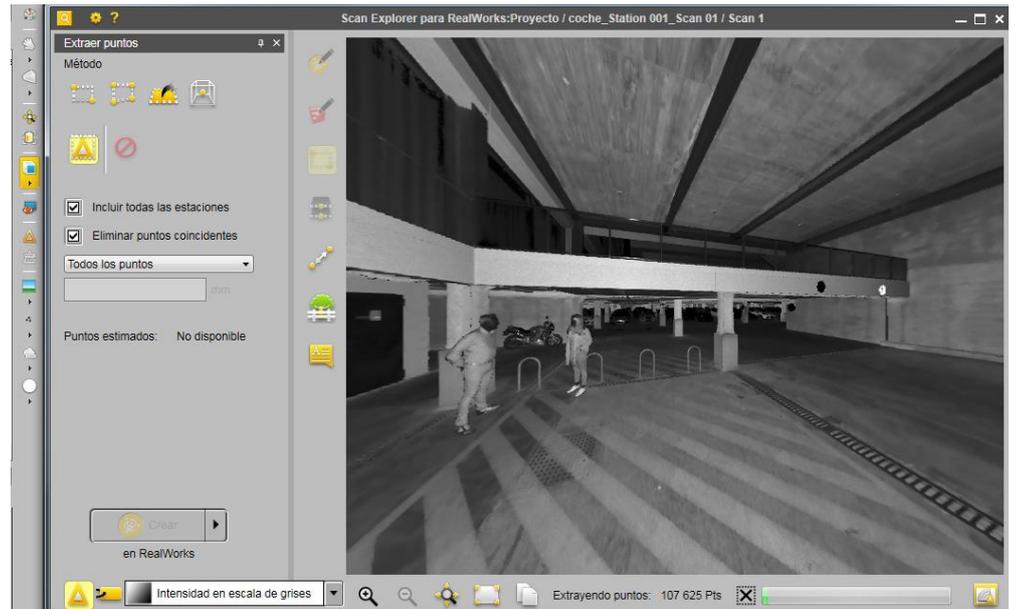


Ilustración 31: Extracción de puntos con Scan Explorer

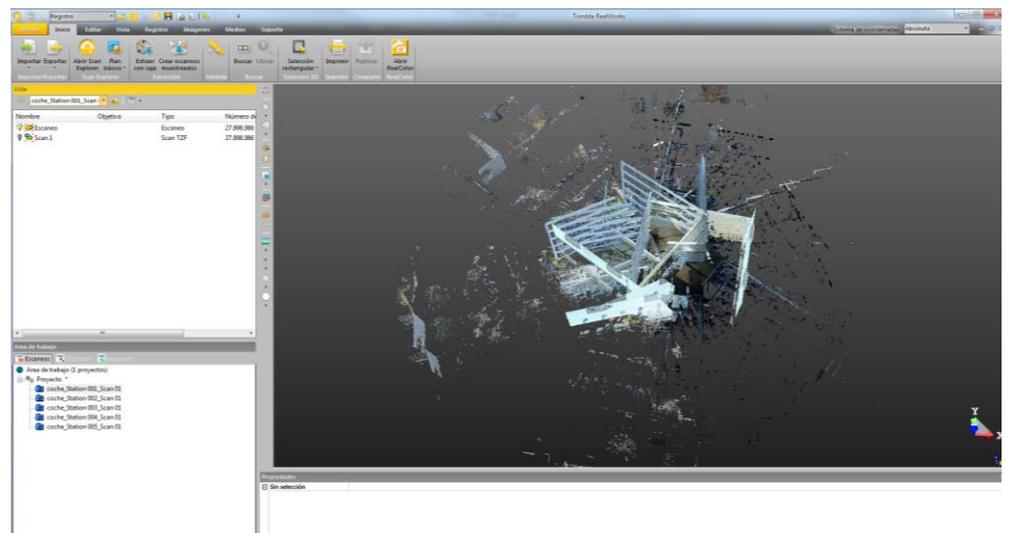


Ilustración 32: Resultado de la extracción de puntos con Scan Explorer

Viendo los dos resultados (*ilustración 30 y 32*), en la segunda extracción de puntos del escaneo se ha obtenido un resultado total de 27.998,986 puntos con más información de la necesaria ya que se ha dado ha extraer todos los puntos sin limitar la distancia como la primera extracción sin embargo se ha obtenido más puntos con un total de todas las estaciones de 32.061,161 puntos, por lo que se ha considerado mejor opción la primera.

### 7.2.2. Registro de las nubes

En esta etapa tiene dos tipos de registro, registro con objetos o registro por escaneos, cada uno de ellos tiene un sub-apartado con dos opciones de registro, dentro de la opción de registro con objetos tenemos; Auto-Extracción de objetos y Registro basado en objetos, y dentro de la opción registro por escaneos tenemos; Auto-registro con Planos y Registro basado en nubes. Por lo que al final tenemos 4 opciones para hacer el registro de las nubes, una vez realizado cada apartado se seleccionará el resultado más óptimo.

Empezamos con la Auto-extracción de objetos; en este apartado nos pide el tipo de objetivo, si es un objetivo esférico o un objetivo blanco y negro. En nuestro caso se ha utilizado las bolas esféricas de un material de plástico especial similar al carboneo y con una base magnética, del cual proporciona más accesibilidad a determinados espacios.



*Ilustración 33: bola esférica blanca*

Cuando seleccionamos el objetivo esférico nos pide el diámetro de la esfera, que son 0,10m. En la opción de Creación de escaneo (opcional), se ha seleccionado “generar un escaneo de vista previa” por seguridad. Y por último se selecciona la estación de referencia del cual se ha escogido la primera estación.

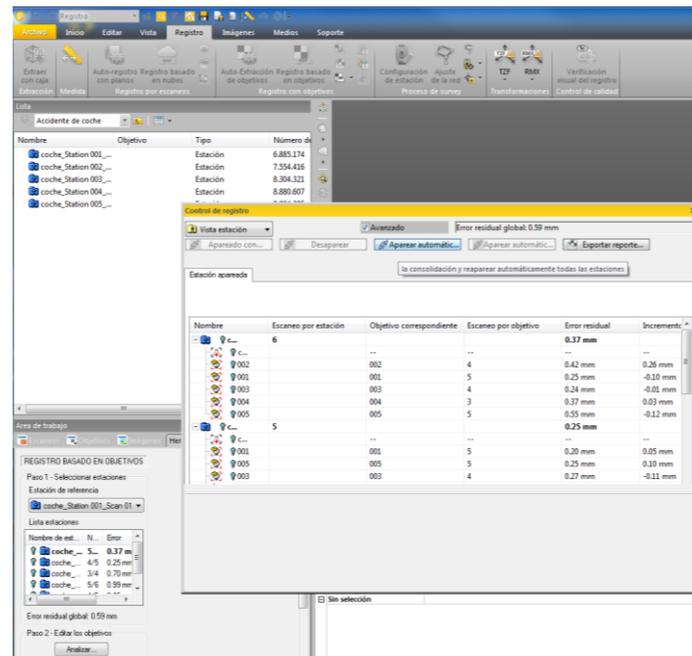


Ilustración 34: ventana de control del registro

Una vez terminado el tiempo de espera nos aparece la ventana de control del registro con el error residual y el error de ajuste de cada escaneo por estación, al visualizar que el error residual global es de 0,59mm, se ha considerado que es un error muy bueno y no ha hecho falta editar los objetos por lo que se ha dado directamente a “Aparear automáticamente”, una vez clicado, se ha puesto en marcha la consolidación y apareación automática de todas las estaciones con el resultado siguiente (ilustración 35).

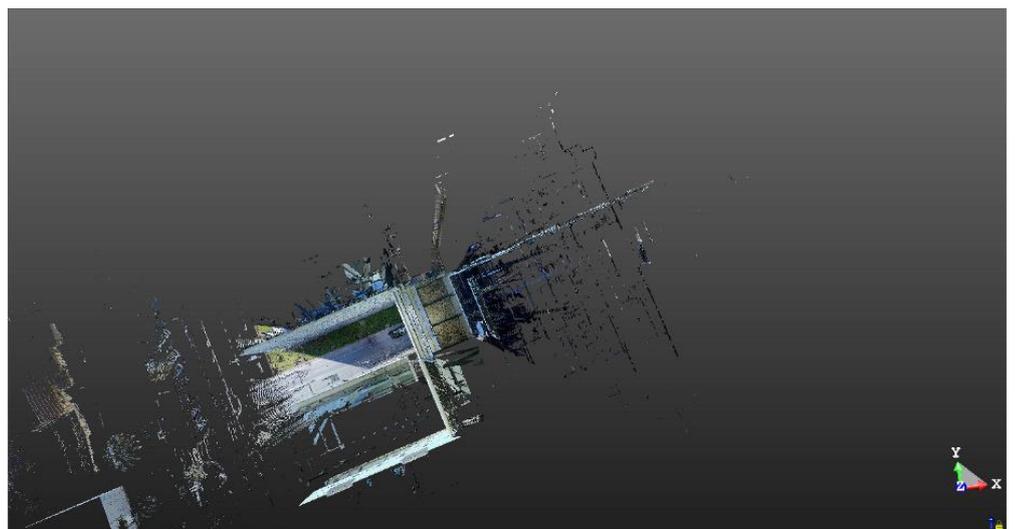


Ilustración 35: Resultado de la Auto-extracción de objetos

Como se puede ver se han registrado las nubes correctamente.

El siguiente registro es Auto-registro con planos; esta opción es automática y sin objetivos, directamente nos da a elegir la estación de referencia como anteriormente escogemos la primera estación y seleccionamos todas las demás estaciones para que haga el registro de todas y damos a iniciar.

Reporte de registro (basado en escaneos TZF)

Name	Error nube a nube	Puntos en común (%)	Confianza (%)
<b>Accidente de coche</b>			
coche_Station 001_Scan 01			
coche_Station 0...	0.69 mm	81%	100%
coche_Station 0...	1.39 mm	54%	100%
coche_Station 0...	1.16 mm	61%	100%
coche_Station 0...	1.00 mm	72%	100%
coche_Station 002_Scan 01			
coche_Station 0...	0.69 mm	81%	100%
coche_Station 0...	1.24 mm	64%	100%
coche_Station 0...	1.21 mm	63%	100%
coche_Station 0...	0.93 mm	69%	100%
coche_Station 003_Scan 01			
coche_Station 0...	1.39 mm	54%	100%
coche_Station 0...	1.24 mm	64%	100%
coche_Station 0...	1.42 mm	74%	100%
coche_Station 0...	0.97 mm	64%	100%
coche_Station 004_Scan 01			
coche_Station 0...	1.16 mm	61%	100%
coche_Station 0...	1.21 mm	63%	100%
coche_Station 0...	1.42 mm	74%	100%

Error residual global (nube a nube): 1.11 mm

Guardar en RTF Cerrar Ayuda

Ilustración 36: Ventana del reporte de registro

Comparando el anterior resultado (*ilustración 36*), esta opción de registro al ser más automatizado el error residual global es superior, por eso sale un error de 1,11mm. Y cada error de nube a nube también se aprecia que es mayor, pero sin embargo tiene una confianza del 100% y un porcentaje de puntos en común superior al 60%, por lo que se considera aceptable con 0,111 cm de error.



Ilustración 37: Resultado del Auto-registro con planos

Otra de las opciones es el Registro basado en nubes; este registro utiliza parejas de escaneos (nube a nube). Antes de utilizar la herramienta hay que seleccionar el conjunto de estaciones o todo el proyecto, en este proyecto se ha utilizado todos los escaneos, y así poder activar el comando.

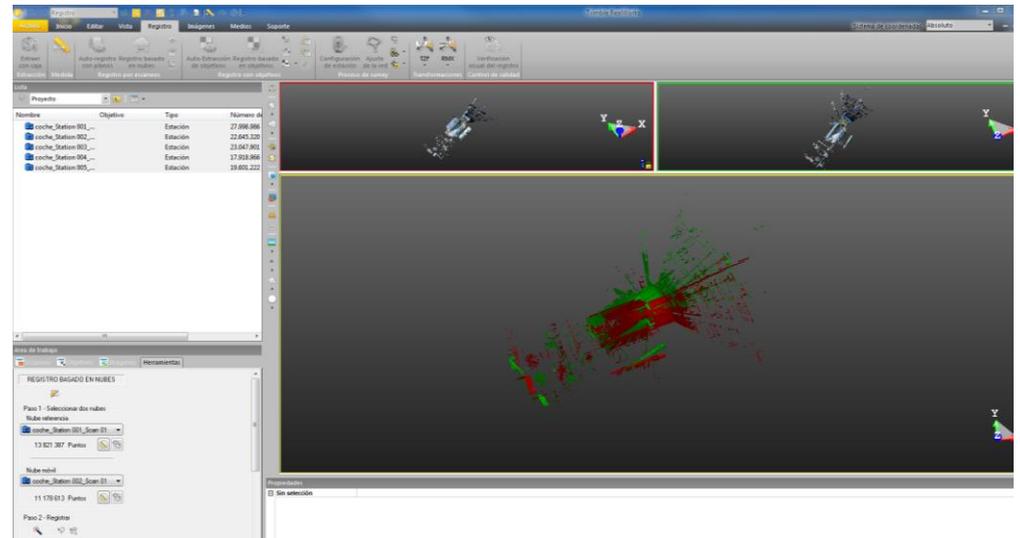


Ilustración 38: Parámetros del Registro basado en nubes

Como se muestra en la ilustración nº 38 aparecen tres ventanas , la primera que se observa en la parte superior a mano izquierda en rojo es la nube de referencia , la segunda ventana que esta en verde es la nube móvil y la tercera ventana más grande aparece las dos nubes juntas pero no registradas con sus respectivos colores, por lo que el primer paso es seleccionar cual va ser el escaneo de referencia y cual es la móvil.

El segundo paso es registrar las nubes, primero probamos con la herramienta que lo hace automáticamente  y le damos a refinar, por ello el siguiente paso será comprobar la calidad del registro , seleccionamos a “verificación visual del registro” y nos aparece el error global de 2 mm y una superposicion de 17%, del cual hemos considerado un error aceptable y visualmente se ve encajado, habiendo considerado bueno el registro se agrega a la referencia y le damos a aplicar para continuar con el resto de escaneos. En el caso de utilizar el comando de registro automático y el error es muy grande o no concuerdan las nubes se puede registrar manualmente como sucede en la siguiente ilustración nº 39, con el escaneo de la estacion 3 , se ha tenido que usar el comando de girar manualmete  y el de visualización con caja  para visualizar mejor las paredes ya

que son un punto de referencia para encajar bien el edificio, con esta herramienta se visualiza solo lo que hay dentro de la caja, entonces en este caso se ha acortado el suelo y un poco de altura para emparejar mejor.

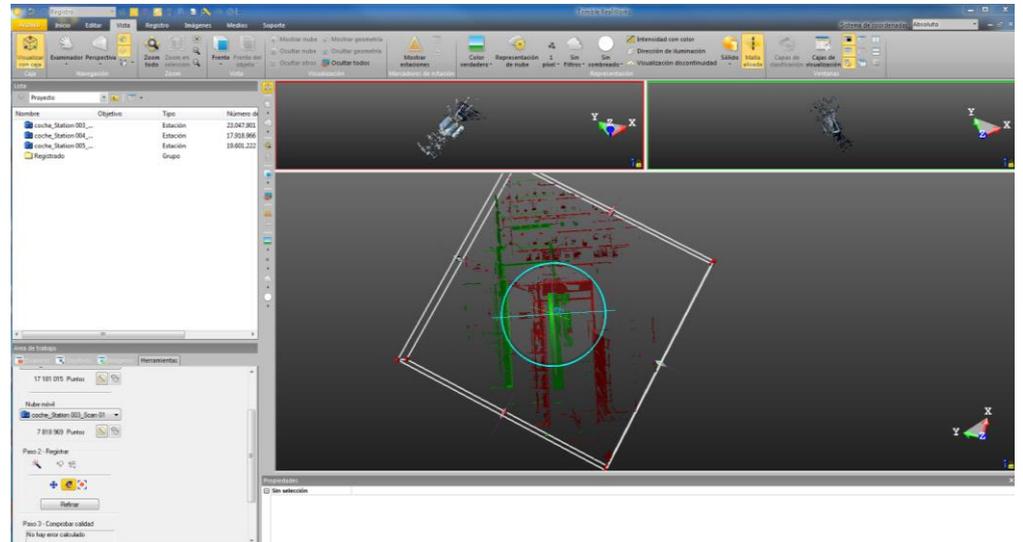


Ilustración 39: Registro manual dentro del Registro basado en nubes

Cuando terminamos de encajar las dos nubes refinamos ,como resultado nos sale un error global de 2,56mm y una superposición del 30%, por lo que se acepta y se aplica el resultado.

Otra forma de emparejar manualmente es con la herramienta de dibujar los puntos de control en común en las dos nubes  y usamos el comando de segmentación para borrar la información innecesaria como hemos hecho anteriormente con la caja de visualización, y así en los 5 escaneos hasta completar todos los registros.

Este caso se ha usado en el escaneo 4 como se observa en la siguiente ilustración nº40, con un resultado de error global de 2,13mm y una superposición del 61%.

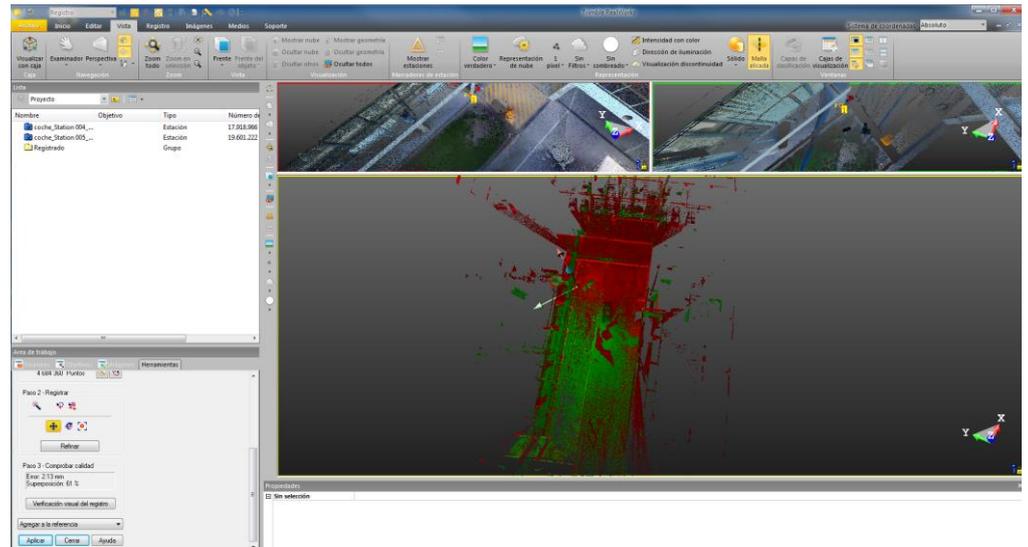


Ilustración 40: Registro manual dentro del Registro basado en nubes

Una vez finalizado todos los registros se cierra la aplicación, al tener un error bueno en cada uno de los registros de escaneos, se ha obtenido un resultado final correcto, como se puede ver en la siguiente ilustración nº41.

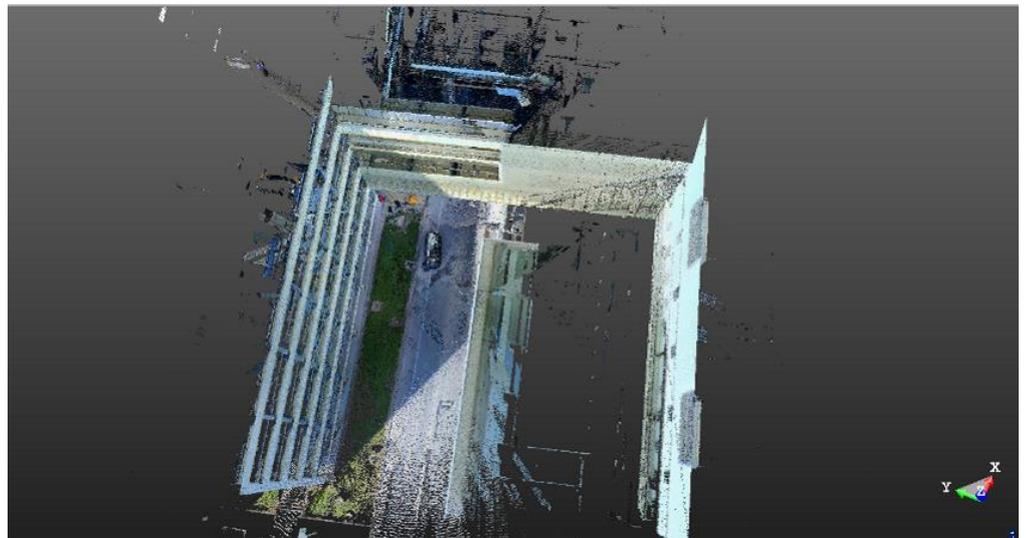


Ilustración 41: Resultado del Registro basado en nubes

Y por último, nos queda el Registro basado en objetos: es una forma de detectar los targets (puntos de control) manualmente. Una vez seleccionamos esta opción nos aparece dos ventanas, en la primera nos figura el primer escáner (que es la primera estación) y en la segunda ventana sale un fondo gris.

En la ventana de visualización del “Área de trabajo” nos aparece los pasos a seguir, donde el primer paso es seleccionar el escáner donde extraer los objetos, en este caso por defecto se queda con el primer escáner, el segundo paso es seleccionar un objeto, del cual tenemos una barra de herramientas que aparece automáticamente cuando seleccionamos el comando “Extraer”, la barra se llama “Creador de objetos” que es donde seleccionamos de que tipo es el objeto si es una esfera o blanco y negro, y si es una esfera nos pide el diámetro como aparece en la ilustración nº42. Seleccionamos con el puntero en el centro de la esfera y automáticamente nos sale la segunda barra de “Ajuste” y en la segunda ventana que estaba vacía la nube de puntos del objeto con un cuadro en la esquina superior derecha con el número de puntos, la desviación estándar y el diámetro utilizado, por lo que esta información nos ayuda a elegir si el objeto se ha extraído correctamente y darle al tic o a la cruz de la barra de ajuste en el caso de no ser así.

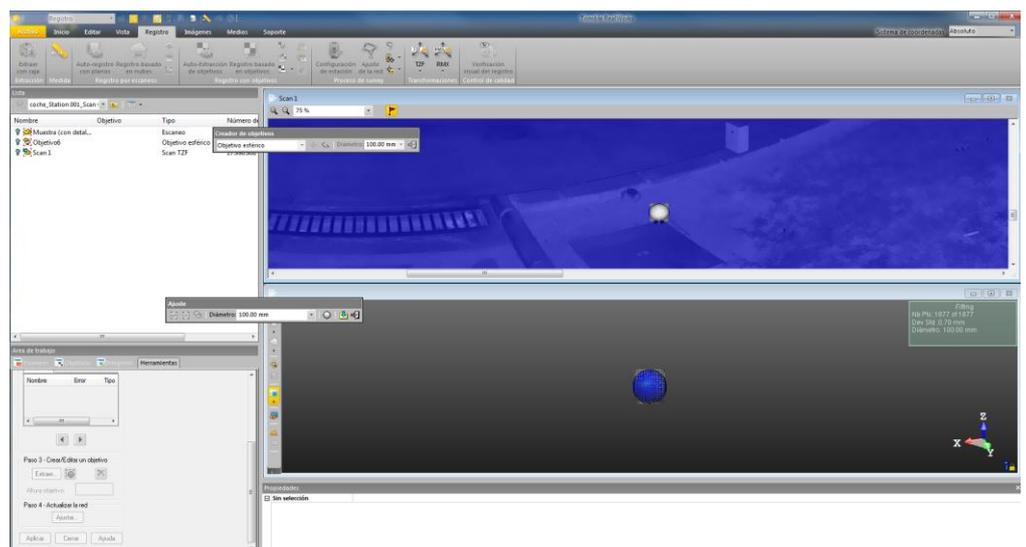
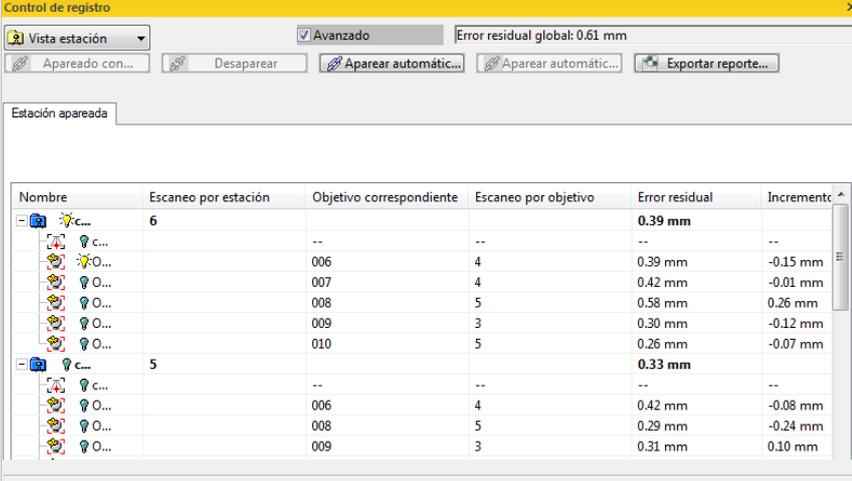


Ilustración 42: Parámetros del Registro basado en objetos

Una vez terminado el ajuste se selecciona a guardar  y le ponemos un nombre para archivar todos los objetos encontrados en el primer escáner, utilizaremos el mismo nombre de ese mismo objeto en todos los escaneos encontrados para emparejarlos, cuando se crea que se haya encontrado todos los objetos de la misma tipología se sale de la barra de ajuste. Y así, cuando se ha terminado totalmente de buscar todos los objetos se sale de la barra de “Creador de objetos”, porque podría ser el caso en que en un mismo escaneo aparezcan las dos tipologías, entonces en este caso en la primera barra de “Creador de objetos”, sería seleccionar la otra opción de objetos blanco y negro. Y esto sucesivamente en todos los escaneos.

En el tercer paso podemos editar algún objetivo y crear de nuevo. Todos los objetivos extraídos se pueden visualizar en el paso dos en el listado de “Ajustado” y de ahí seleccionar el objeto que se quiera modificar. En el paso cuarto de actualizar la red, ajustamos y se da a aplicar para continuar con la siguiente estación.

Cuando se ha finalizado de extraer todos los objetivos de todos los escaneos damos a cerrar y nos aparece un listado con los objetivos encontrados en cada estación con los errores obtenidos en cada uno de ellos y un error residual global de 0,61mm. Viendo el resultado del listado se observa que en la cuarta estación hay un error bastante grande comparado al resto de estaciones, por lo que tenemos una opción de “Analizar” donde podemos editar de nuevo los objetivos y mejorar el error. Como se observan en las ilustraciones nº 43 y 44 hay una diferencia de casi del 50% de mejora al editar esa estación, teniendo finalmente un error residual global de 0,33mm. Una vez terminado la edición seleccionamos a registrar y nos aparece una ventana parecido al listado anterior, donde figura el error residual de cada objetivo y el global con sus escaneos correspondientes, viendo esto damos a aparear automáticamente para finalizar el registro y adquirir el siguiente resultado.



Control de registro

Vista estación: Avanzado Error residual global: 0.61 mm

Estación apareada

Nombre	Escaneo por estación	Objetivo correspondiente	Escaneo por objetivo	Error residual	Incremento
Estación 1	6	--	--	<b>0.39 mm</b>	--
Objetivo 006		006	4	0.39 mm	-0.15 mm
Objetivo 007		007	4	0.42 mm	-0.01 mm
Objetivo 008		008	5	0.58 mm	0.26 mm
Objetivo 009		009	3	0.30 mm	-0.12 mm
Objetivo 010		010	5	0.26 mm	-0.07 mm
Estación 2	5	--	--	<b>0.33 mm</b>	--
Objetivo 006		006	4	0.42 mm	-0.08 mm
Objetivo 008		008	5	0.29 mm	-0.24 mm
Objetivo 009		009	3	0.31 mm	0.10 mm

Ilustración 43: Control de registro sin editar

Control de registro

Vista estación Avanzado Error residual global: 0.33 mm

Apareado con... Desaparear Aparear automàtic... Aparear automàtic... Exportar reporte...

Estación apareada

Nombre	Escaneo por estación	Objetivo correspondiente	Escaneo por objetivo	Error residual	Incremento
[-] C...	6	--	--	0.45 mm	--
[+] C...		006	3	0.17 mm	-0.16 mm
[+] C...		007	3	0.88 mm	0.36 mm
[+] C...		008	5	0.66 mm	0.23 mm
[+] C...		009	3	0.28 mm	-0.27 mm
[+] C...		010	5	0.27 mm	-0.18 mm
[-] C...	5	--	--	0.22 mm	--
[+] C...		006	3	0.25 mm	0.06 mm
[+] C...		008	5	0.32 mm	-0.26 mm
[+] C...		009	3	0.09 mm	0.01 mm

Ilustración 44: Control de registro con la edición de la cuarta estación

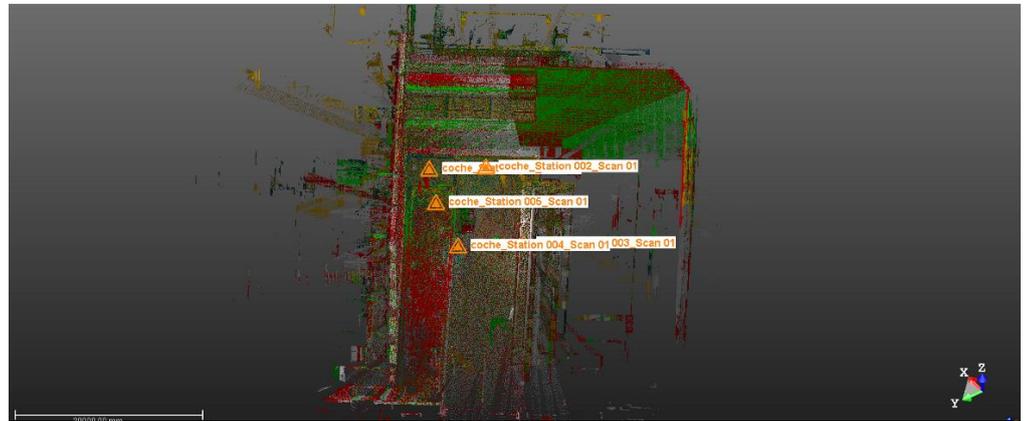


Ilustración 45: Resultado final del Registro basado en objetos

Observando todos los resultados de cada registro hemos concluido que el registro más fiable y con mejor resultado de error global ha sido este último con un error de 0,33mm , el “Registro basado en objetos”.

### 7.2.3. Otras funciones del Realworks

El programa Realworks, tiene otras pequeñas funciones que facilitan el manejo de la nube de puntos como es el cambio de textura. La herramienta se localiza en la barra de herramientas que tiene en el costado izquierdo de la ventana principal.

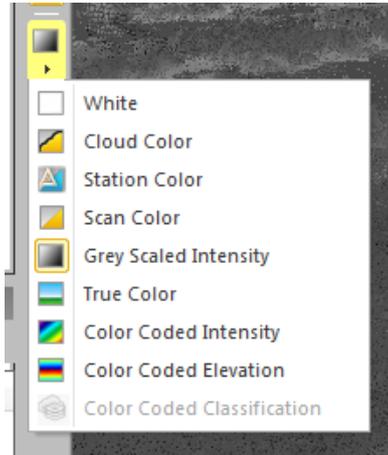


Ilustración 46: Tipos de textura

Como se ve en la ilustración nº46, tiene varias opciones de texturas entre ellas se encuentra el “verdadero color” e “intensidad en escala de grises” del escaneo, estos dos son los más usados, ya que para la edición de la nube de puntos se ha utilizado la intensidad en escala de grises y el color verdadero para visualizar el resultado final de la edición.

A continuación se muestran las herramientas que han sido utilizadas y su función;

-  : señala con un triángulo los posicionamientos de las estaciones.
-  : muestra las etiquetas de las estaciones , es decir el nombre que se ha puesto en campo.
-  : posiciona la vista de la nube de puntos desde todos los lados del cuadrado.
-  : es la caja de visualización, es decir se visualiza solo lo que se encuentra dentro de la caja y lo que sobre sale no lo elimina.

#### 7.2.4. Eliminación del ruido y modelado de la nube de puntos

La eliminación del ruido es una de las etapas más relevantes para la optimización de la nube de puntos.

En este apartado la eliminación del ruido o elementos irrelevantes se realiza manualmente con la herramienta de segmentación, que en realidad esta función no elimina directamente si no segmenta la nube de puntos en tantas veces que se quiera dibujar el area, pero una vez segmentada se puede eliminar el grupo de nubes que no se quiera usar. Para poder utilizar tanto la segmentación como el comando de modelización se tiene que cambiar el modo de edicion a Producción, como se puede observar en la ilustración nº47 en la parte superior del todo al lado del icono de trimble aparece que esta en modo “Producción” por el cual esta activada la edición.

Teniendo señalado la nube de puntos a la cual se va a editar, se selecciona la herramienta de segmentación. El método es bastante sencillo solo hay que elegir la forma de la geometria que se va a usar para dibujar los poligonos en los que se va a borrar o se van a excluir del resto. Hay tres formas, circular, rectangular o irregular, el más usado en este proyecto es el irregular. Una vez dibujado el polígono se selecciona si se quiere mantener los puntos fuera del area dibujada (que es el símbolo de la cruz roja) o al revés solo mantener los puntos de dentro del area ( que es el símbolo del tic verde). Uno de los elementos que se ha eliminado son las personas que han ido pasando durante el escaneo como se muestra en la ilustración nº47.

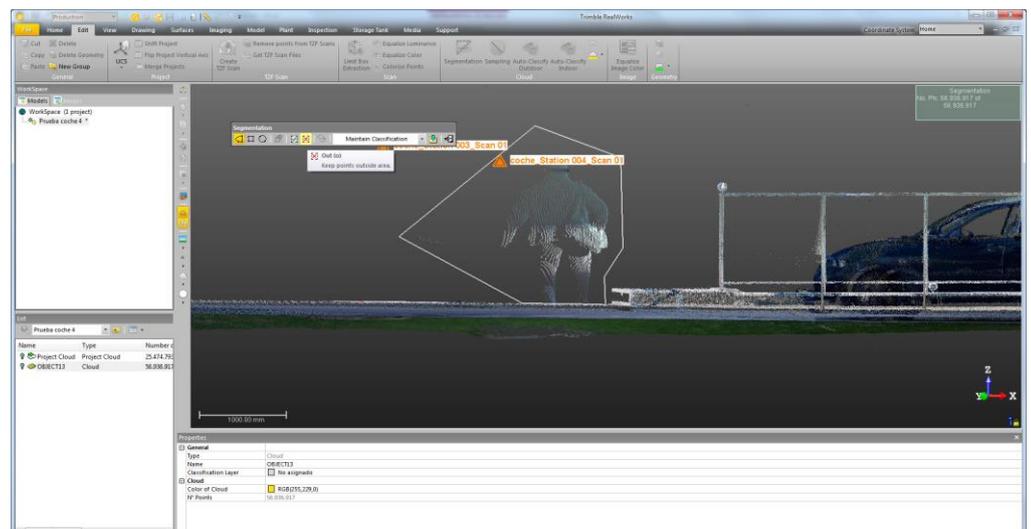


Ilustración 47: Parámetros de la segmentación

Finalmente después de la eliminación del ruido se ha quedado un resultado bastante bueno con el que se aprecia en gran detalle todos los elementos.



Ilustración 48: Resultado de la eliminación de ruido

A continuación se comienza con la modelización de la nube de puntos, en este paso se utiliza el “modelador basado en nubes”, que se encuentra en la pestaña de modelado, al igual que el resto de funciones seleccionamos la nube de puntos a modelizar. Una vez ejecutado la función, nos aparece el comando de segmentación con el que segmentamos solo el elemento a modelar en este caso comenzamos con la ruedas, por lo que el tipo de figura de la segmentación es circular. El primer paso a realizar es elegir el tipo de geometría de la modelización, que en este caso será cilíndrica para la rueda. El segundo paso es calcular la geometría, es decir hace un previa visualización de como quedaria el resultado, si el resultado es correcto se da a ajustar y automáticamente se crea la geometría, como se observa en las siguientes imagenes.

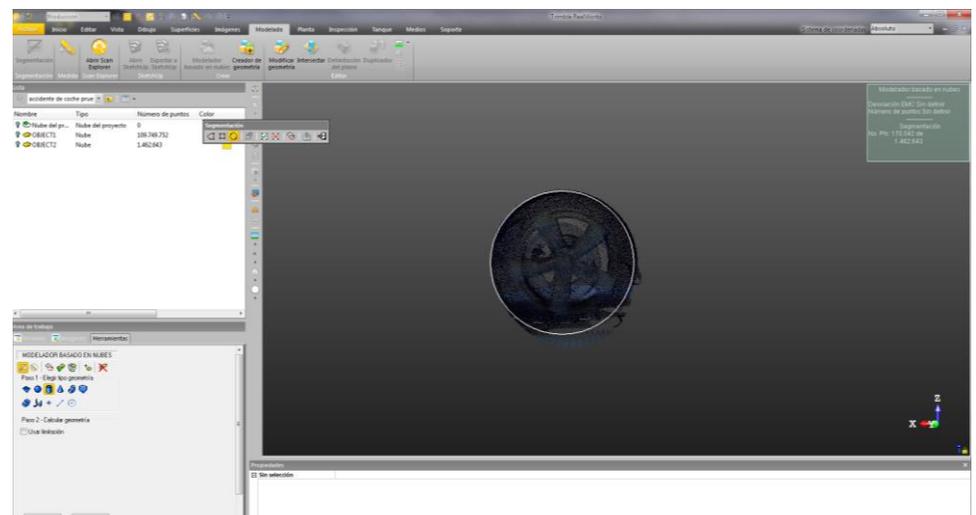


Ilustración 49: Segmentación del modelado

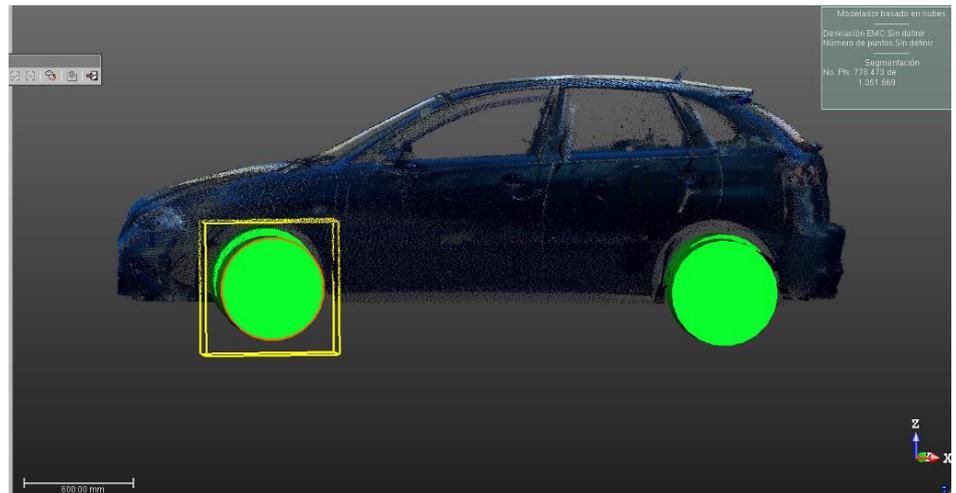


Ilustración 50: Generación de la geometría de las ruedas

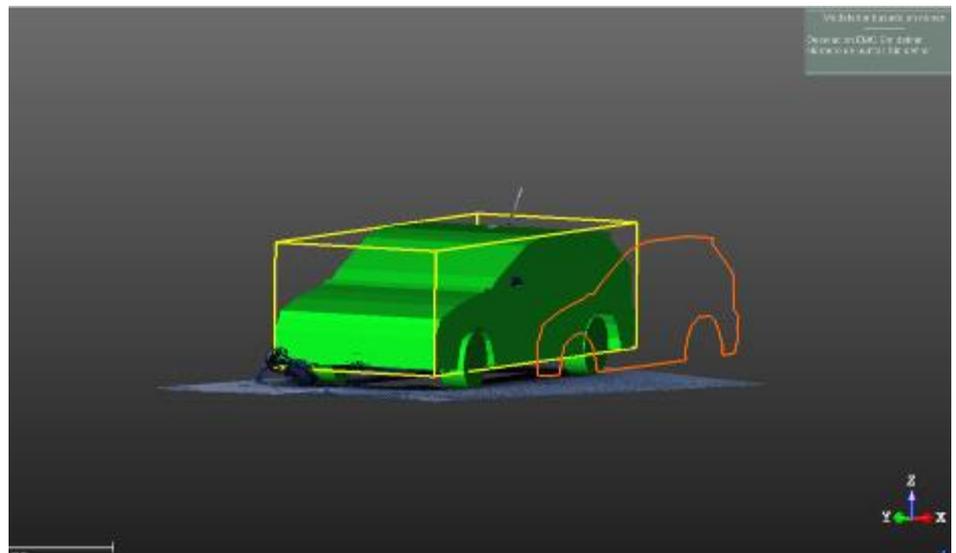


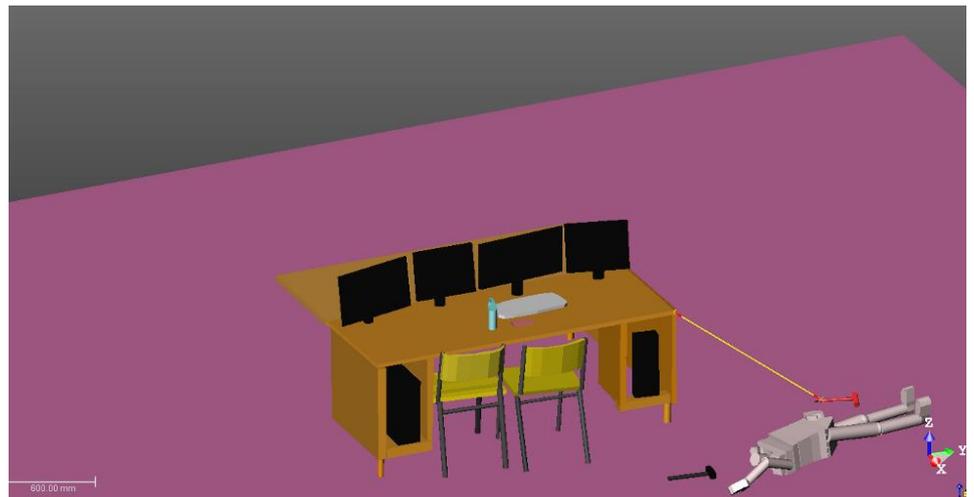
Ilustración 51: Generación de la geometría del coche



Ilustración 52: Visualización general de la geometría con la nube de puntos

Con esta herramienta se puede dibujar todo tipo de formas por lo que facilita la creación de un modelo 3D y así poder crear una simulación del accidente de forma más representativa, aunque en este tipo de accidente es más representativo la nube de puntos o la malla, debido a que de esta forma desaparece mucha información relevante al caso como es el golpe del coche con la moto, los hoyos del coche demuestran que encajan con la moto y verifican el suceso.

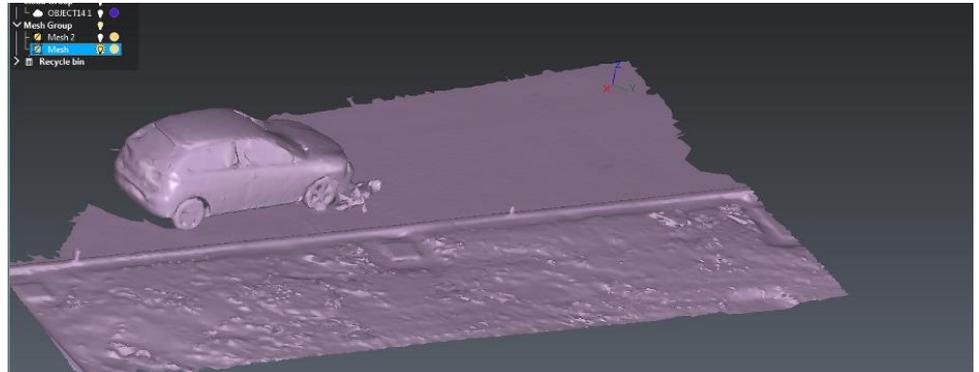
Sin embargo esta modelización es más representativa para un asesinato como es la modelización de la primera simulación antes de comenzar con el proyecto, debido a que la modelización nos sitúa en la escena del crimen y nos ayuda a observar las distintas representaciones del suceso. Como se puede apreciar en el siguiente ejemplo (*ilustración 53*), lo representativo es el cuerpo, las dos posibles herramientas del crimen, el escritorio y la distancia entre ellas.



*Ilustración 53: Modelado 3D de la primera simulación*

Al haber concluido que en este apartado lo ideal es dejar la nube de puntos o la malla como representativo, continuamos con el mallado de la nubes de puntos. Como sucede en las fotografías digitales, el programa que mejor crea y edita la malla es el software libre 3D Reshaper, por lo tanto exportamos la nube de puntos en fichero “.pts”, incluso se podría exportar también en fichero “.dxf” por si queremos hacer alguna modificación en autocad de la modelización. Una vez importado el fichero PTS creamos la malla, rellenamos huecos y suavizamos, como se ha explicado en el apartado 7.1.6. .

Comparando los dos métodos (*ilustraciones 26 y 54*), en el mallado se observa una gran diferencia entre el método SFM y el láser escáner, ya que con el láser escáner se ha obtenido muchos más puntos y no ha deformado los objetos.



*Ilustración 54: Modelado 3D de la primera simulación*

### 7.2.5 Publicación de los escaneos

Una de las herramientas más importantes del proyecto es la publicación del mismo. Como ventaja el Realworks tiene una función que lo crea directamente, llamada “Publisher”, con esta herramineta se puede publicar el proyecto para visualizarlo en Internet Explorer. El proyecto publicado permite la visualización del proyecto en una vista 2.5D con la posibilidad de tomar medidas y agregar anotaciones. La publicación puede incluir medios tales como imágenes y videos así como enlaces a documentos y sitios web. Al crear el proyecto publicado se puede optar por habilitar o deshabilitar la posibilidad de que el receptor extraiga datos del proyecto. Este comando se localiza en la barra de herramientas, en el modo de edición de “Registro”, de la pestaña de Inicio en el apartado de compartir. Aparece una ventana donde la primera opción es elegir el Título, Logo, Salida del fichero, Fondo y Color de fuente que se encuentra en la pestaña de configuración de página, y más abajo tenemos la opción de simplificar el tamaño del fichero. Por lo que sale una barra vertical para seleccionar el tamaño del archivo pequeño, que en este caso el más pequeño es de 44MB con un muestreo de 6mm y un tiempo estimado de 1 min. Debajo de la barra vertical se encuentra la opción de deshabilitar la extracción. En este proyecto la idea es que un determinado público pueda extraer toda la información, para que se pueda dar un uso a la investigación del accidente, por eso no se ha señalado esta función.

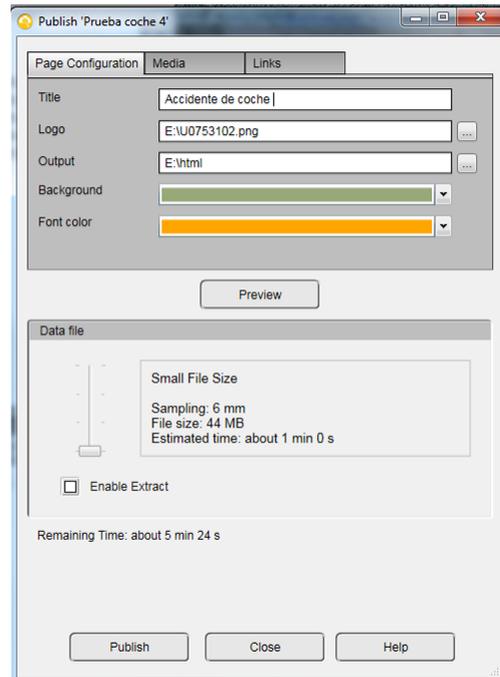


Ilustración 55: Parámetros de la publicación

La segunda pestaña son los medios, donde da a elegir las imágenes que se quiere añadir o videos. Además se puede editar el nombre de la imagen o video, de esta manera una vez se publique los escaneos si el puntero pasa por encima de la imagen aparecerá una etiqueta con el nombre editado. La última pestaña son los links, donde se puede subir todo los links que se crean necesarios. En este caso no nos ha hecho falta subir ningún link pero si que se ha subido las imágenes del accidente ya que se ha considerado un dato adicional muy importante.

Antes de publicar, nos deja previsualizar la publicación por si queremos hacer algún cambio. Esta opción es muy útil ya que es muy difícil averiguar como puede quedar sin visualizarlo. Al ejecutar el comando, se crea automáticamente una carpeta en el directorio de salida del fichero con el nombre del proyecto seguido de la fecha de realización del escaneo. Dentro de esa carpeta contiene dos subcarpetas, las carpetas bin y Data, y el fichero html de la pagina de publicación llamado index.

Antes de todo, para poder visualizar la publicación es necesario tener instalado el Realworks de Trimble, si no sólo se visualizara el diseño pero no la ventana de Scan Explorer, donde se observa los escaneos y se crean las mediciones, es decir la función principal de la herramienta. Una vez dado doble click sobre el fichero HTML se abre una ventana en el Internet Explorer con la siguiente publicación (*ilustraciones 56 y 57*).

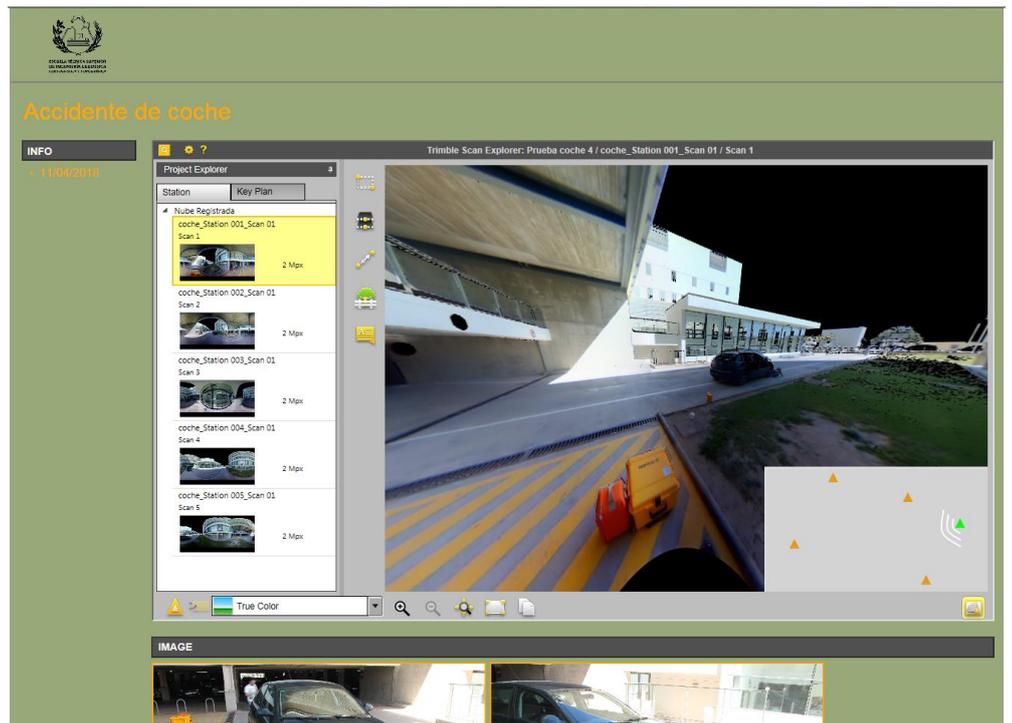


Ilustración 56: Primera visualización de la página

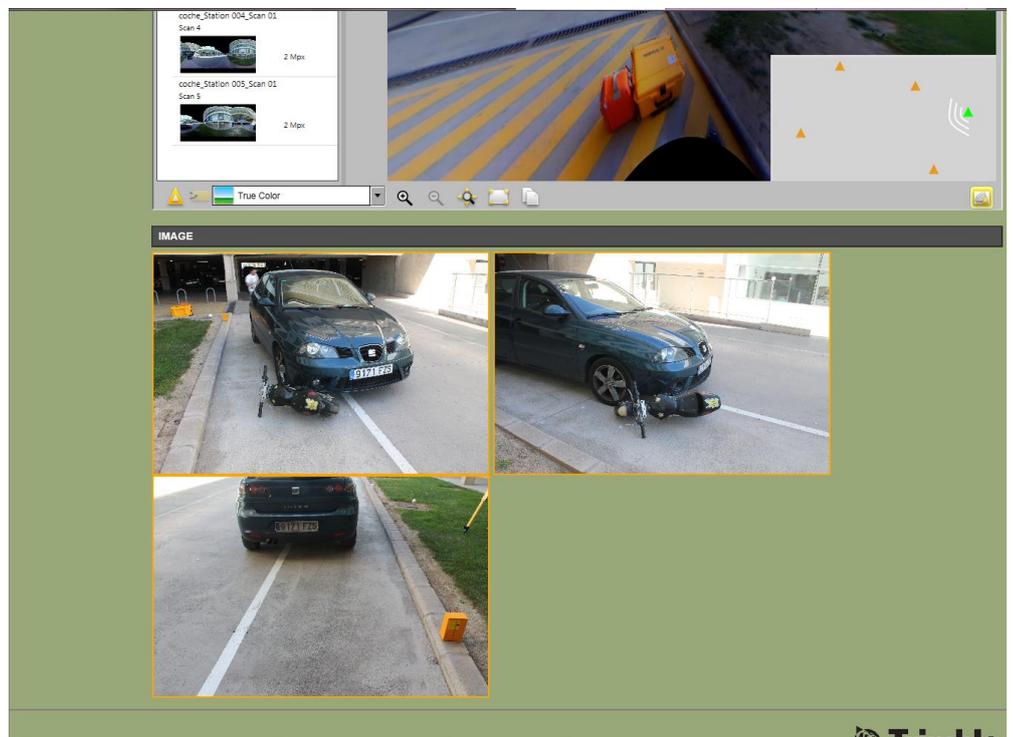


Ilustración 57: Segunda visualización de la página

Viendo el resultado final automatizado, nos quedamos insatisfechos del resultado por lo que se investiga la forma de mejorar la publicación internamente. Comprobando los ficheros creados por Trimble en la carpeta de “bin” encontramos un fichero llamado “Style.css”, un documento de hoja de estilos en cascada, perfectamente editado con WordPad. El cual pertenece al fichero del estilo de la pagina, por lo que leyendo los demás ficheros javascript, se descubrió que el propio fichero HTML se podía editar, utilizando el software libre Notepad ++.

El fichero “Style.css”, que posteriormente se edita para cambiar el diseño de

```
4 <meta charset='utf-8' />
5 <meta http-equiv='X-UA-Compatible' content='IE=9' />
6 <!--[if !IE 9]>
7 <script src='bin/html5.js'></script>
8 <![endif]-->
9 <link rel='stylesheet' href='bin/style.css'>
10 <title>Accidente de coche 11/04/2018 </title>
11 <script src='bin/script.js'></script>
12 </head>
13 <body onkeydown='detectKeyDown(event)''>
14 <header>
15 <img id='logo' src='bin/U0753102.png'>
16 </header>
17 <div id='title'>
18 <hr>
19 <h2>Accidente de coche 11/04/2018 </h2>
20 <!--[if !IE]>...
21 <div id='BrowserWarning' class='warning'>Warning: please use Internet Explorer 8 or above.</div>
22 <!--[[endif]-->
23 <!--[if !IE 8]>
24 <div id='BrowserWarning' class='warning'>Warning: please use Internet Explorer 8 or above.</div>
25 <![endif]-->
26 </div>
27 <div id='nav'>
28 <ul>
29 <li>INFORMACION</li>
30 </ul>
31 <li>SUCESO OCURRIDO EL 11 DE ABRIL DEL 2018 A LAS 13:36 H.
32 la salida del parking de la Universidad politecnica de Valencia, choque frontal con una moto.
33
34 -->Conductor de la moto: menor de edad. (14)
35 -->Conductor del coche: edad 48, estado ebrio.</li>
36 </ul>
37 </div>
38 </body>
39 </html>
```

La imagen del logo de la escuela

Título de la publicación

Texto formativo del accidente de coche, como una breve introducción. También se ha modificado el nombre del título como INFORMACION en vez de INFO.

Ilustración 58: Primera edición del fichero index.html

Las imágenes del accidente de coche que se visualizan debajo del Scan Explorer. También se ha modificado el Título a IMÁGENES DEL SUCESO.

```

30
31         <ul>
32         <li>SUCESO OCURRIDO EL 11 DE ABRIL DEL 2018 A LAS 13:36 H.
33         A la salida del parking de la Universidad politecnica de Valencia, choque frontal con una moto.
34         </li>
35         <li>Conductor de la moto: menor de edad. (14)
36         </li>
37         <li>Conductor del coche: edad 48, estado ebrio.</li>
38         </ul>
39     </div>
40     <div id='content'>
41     <section id='viewer_section'>
42     <iframe src = 'Bin/Trimble Web Scan Explorer.xbap' height='650px' width='100%'></iframe>
43     </section>
44     </div>
45     <section id='multi_section'>
46     <article id='picture'>
47     <h2>IMAGENES DEL SUCESO</h2><a href='bin/IMG_1186.JPG' target='_blank'><img src='bin/IMG_1186.JPG' alt='Vista de lado' /> </a>
48     <a href='bin/IMG_1188.JPG' target='_blank'><img src='bin/IMG_1188.JPG' width='445px' title='Vista de lado' /> </a>
49     <a href='bin/IMG_1176.JPG' target='_blank'><img src='bin/IMG_1176.JPG' width='445px' title='Frenazo' /> </a>
50     </article>
51     </section>
52     </div>
53     </div>
54     <div style='clear:both' />
55     <hr>
56     <foot><img id='univlogo' src='bin/marcoa_logo.png'></footer>
57     </script>
58     <script>
59     onLoad();
60     </script>
61 </body>
62 </html>
63

```

La imagen de logo de la Universidad politécnica de Valencia, en vez del logo de Trimble.

Ilustración 59: Segunda edición del fichero index.html

Como se puede observar en la imagen se encuentra perfectamente estructurada las secuencias del ejecutable. Se aprecia como lee el fichero “Style.css” y por siguiente todos los elementos introducidos en la herramienta de “Publisher” como es el caso del logo, el título y las imágenes de la escena con sus respectivos títulos. Pero sin embargo se ha querido modificar pequeños puntos, como el contenido del recuadro de información, el logo de debajo de la pagina por el logo de la Universidad, etc.

Cuando abrimos el documento “Style.css” nos aparece la siguiente información, del cual se ha podido editar y mejorar el diseño de la publicación.

```
border:2px outset #505050;
padding-left:7px;
color:white;
padding:auto;
}
header
{
background-color:rgba(153,168,121,1.0);
background-color:#99A879;
height:100px;
}
#logo
{
max-height:80px;
max-width:80px;
position:relative;
left:50px;
top:10px;
float:left;
}
#trimblelogo
{
padding-right:10px;
width:200px;
}
#picture image
{
vertical-align:top;
}
#nav
{
background-color:rgba(153,168,121,1.0);
background-color:#99A879;
width:180px;
float:left;
margin-top:0px;
padding-top:16px;
}
#nav > ul > li
{
text-align:center;
background:#505050;
width:140px;
padding:5px 5px 5px 5px;
margin-bottom:7px;
margin-top:4px;
border:2px outset #505050;
list-style-type:none;
color:white;
}
```

En las características del Logo se ha aumentado el tamaño a 140 px y en las características del “trimblelogo” se ha disminuida a 120px.

Ilustración 60: Primera edición del fichero Style.css

```
list-style-type:none;
color:white;
font-weight:bold;
font-size:14px;
height:14px;
text-align:left;
}
#nav > ul > ul
{
text-align:left;
list-style-type:circle;
color:rgba(225,225,225,1.0);
color:#4B0D17;
max-width:120px;
overflow:hidden;
margin-left:8px;
word-wrap: break-word;
}
#nav > ul > ul > ul > li
{
font-size:12px;
}
#nav ul
{
margin-top:0px;
padding-left:15px;
color:white;
}
section
{
padding-bottom: 15px;
}
```

En el apartado de # nav > ul > ul, se ha cambiado el color del texto de blanco al negro, este texto es el que aparece debajo del recuadro de información. (Se ha cambiado el color porque se visualizaba mejor el color negro con el fondo verde).

Ilustración 61: Segunda edición del fichero Style.css

Una vez finalizado todos los cambios, se ejecuta de nuevo el fichero HTML, con el siguiente resultado final (*ilustraciones 62 y 63*). Donde se puede apreciar las mejoras.

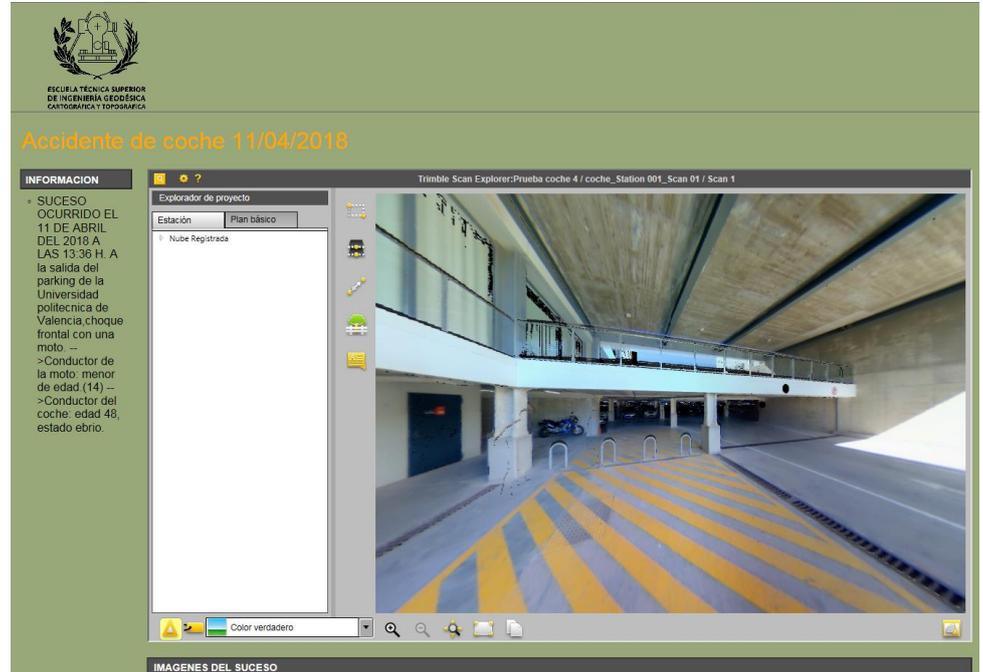


Ilustración 62: Primera visualización del resultado final de la publicación

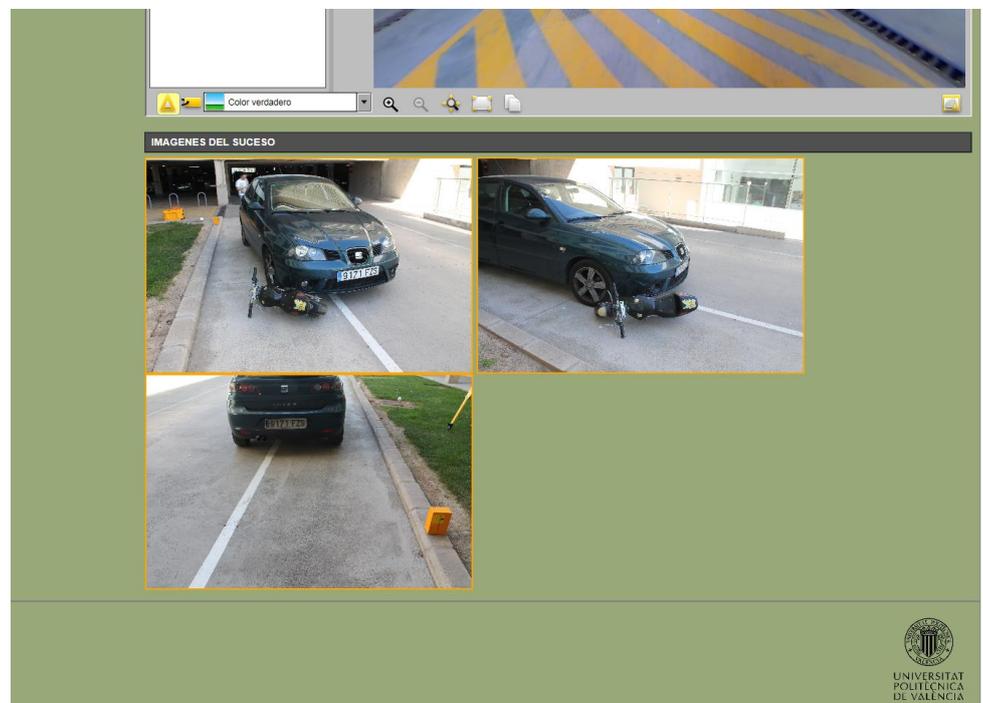


Ilustración 63: Segunda visualización del resultado final de la publicación

Después de terminar la publicación, damos comienzo al uso de la página. Una de las funciones es extraer la nube de puntos de las cinco estaciones en distintos formatos, puede ser en fichero LAS, LAZ, E57 Y ASCII. La extracción de la nubes de puntos se hace de la misma forma como se explicó anteriormente, seleccionando la nube que se quiere extraer y dependiendo de lo que se quiera obtener se usa unas funciones o otras, y en el botón de crear se encuentra un subapartado donde se puede escoger en que tipo de fichero se quiere extraer.

Otra de las funciones importantes son las mediciones, como se muestra en la siguiente ilustración nº64, para dar ejemplo de que con las mediciones se obtiene información relevante se ha realizado un cálculo. En este caso hemos calculado la velocidad del coche con la huella de frenado, por ello se ha medido la distancia de frenado, que se aprecia ligeramente en el escáner pero podemos confirmarlo con la imágenes que se han añadido en la página. Esta función se encuentra en la misma barra de herramientas que la extracción de puntos con este botón . Dentro de esta función nos da a elegir el tipo de medición, mediciones simples en línea en todos los ángulos , mediciones verticales , mediciones horizontales  o puntos . Además una vez seleccionado el tramo a medir en la misma ventana nos aparece el resultado de la medición su longitud, el incremento de la recta en x, y, z, la posición del primer punto (x, y, z) y la posición del segundo punto (x, y, z).

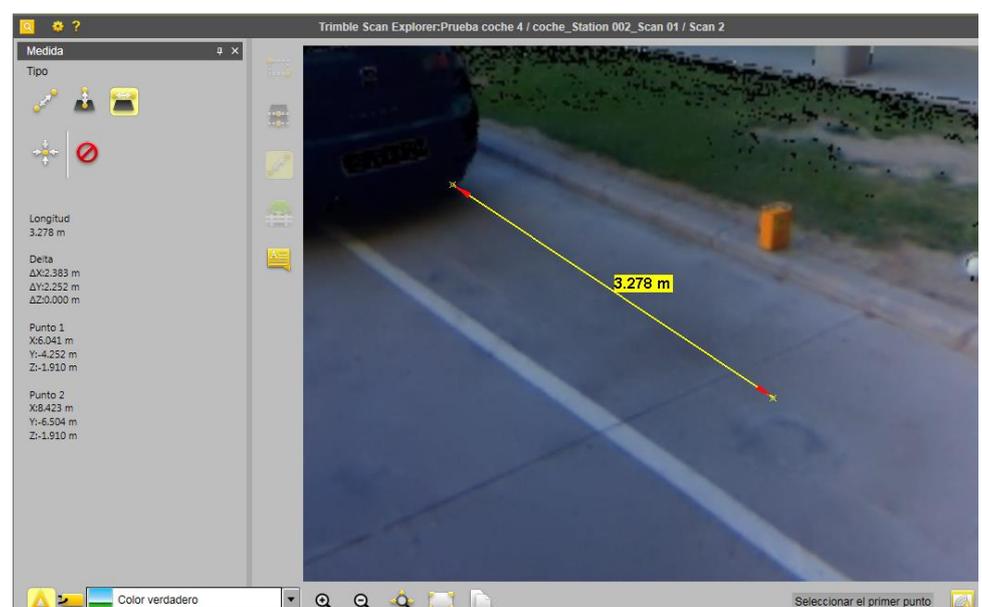


Ilustración 64: Parámetros de la medición

Para el cálculo de la velocidad del coche, hemos considerado condiciones normales, con suelo seco, en carretera sin pendiente. Es decir, trataremos de calcular la velocidad a la que circulaba el automóvil antes de que su conductor pisara los frenos completamente en una carretera llana.

En este análisis aplicaremos el primer principio de la termodinámica (la conservación de las energías), gracias al cuál sabemos que la energía cinética que posee un automóvil mientras se mueve, debe ser igual a la energía que pierde completamente cuando se ha detenido. Y como la energía que ha hecho falta emplear para detener el vehículo la han aportado los frenos, podemos decir que, aproximadamente, toda la energía cinética del vehículo se ha convertido en energía de rozamiento.

En realidad, la energía cinética del vehículo se ha disipado en multitud de "pequeñas" energías: parte de ella se ha desperdiciado en forma de calor (al pisar los frenos, los discos de freno se han calentado bastante), otra pequeña porción se ha convertido en energía potencial (al frenar, los amortiguadores delanteros se han comprimido), un poco más se ha utilizado para calentar los neumáticos (al frenar bruscamente contra el asfalto), otra pequeña porción se ha usado para calentar el propio asfalto, etc... Pero todas esas "pequeñas pérdidas" de energía son infinitamente menores que la energía de rozamiento del neumático contra el asfalto, por tanto, consideraremos casi nulas las pequeñas pérdidas y nos centraremos exclusivamente en esta última.

Gracias al primer principio de la termodinámica, podemos decir que, aproximadamente, "la energía cinética del vehículo se ha convertido en energía de rozamiento de las ruedas contra el asfalto".

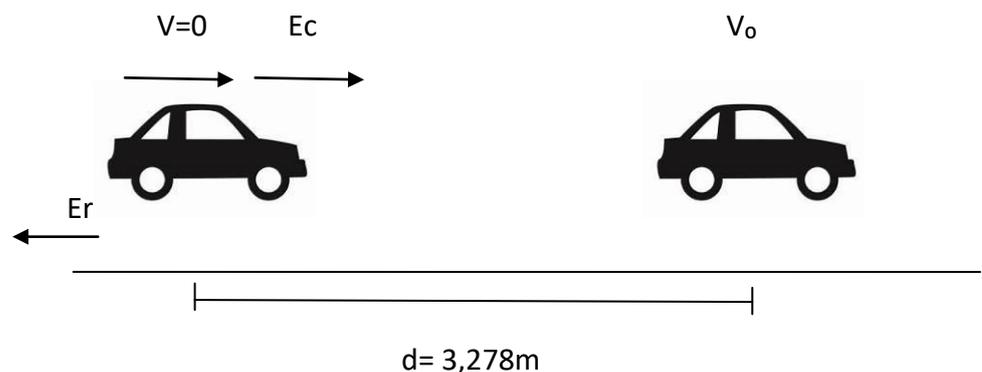


Ilustración 65: Representación del frenazo

Como vemos en el dibujo de arriba (*ilustración 65*), el lado izquierdo indica la zona donde el vehículo dispone de Energía Cinética: una masa en movimiento tiende a mantener su marcha en la misma dirección, debido a la inercia del objeto que se mueve. La cantidad o el valor de esta energía cinética es igual a  $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$  ( $m$  = masa del vehículo en kg ,  $V$  = velocidad del vehículo en m/s).

Para detener esta inercia, hay que aplicar un trabajo muy grande. Cuanta mayor es la masa del vehículo, más fuerza hay que hacer para frenarlo, y cuanto mayor velocidad lleve, también.

En el punto central del dibujo, el conductor pisa los frenos completamente. A partir de ahora, los neumáticos se "clavan" en el suelo y comienzan a absorber o disipar toda la "energía cinética" que el vehículo poseía: el rozamiento de las ruedas contra el asfalto comienza a "consumir" la inercia que llevaba el automóvil, hasta que se detiene completamente. Para calcular esta energía de rozamiento, ( $E_r$ ) se utiliza una fórmula cuya expresión más sencilla es:  $E_r = m \cdot g \cdot d \cdot \mu$  ( $m$ = masa del vehículo en kg ,  $g$ = la gravedad  $9.8m/s^2$   $d$ = distancia del frenado en m,  $\mu$  = coeficiente de rozamiento).

El coeficiente de rozamiento lo conocemos, es una constante que depende exclusivamente del tipo de material que roza. Si hacemos que se deslicen entre sí dos materiales muy deslizantes, el valor es muy pequeño (por ejemplo teflón contra hielo). Y si rozamos dos materiales muy rugosos, su valor es grande (por ejemplo, caucho contra caucho). En el caso que nos ocupa, los materiales que entran en contacto entre sí son caucho contra asfalto, y el coeficiente de rozamiento  $\mu$  si consideramos que los neumáticos no llegan a ser ni viejos ni nuevos según la tabla (*ilustración 66*) se debería considerar un valor aproximado de 0,65.

MATERIAL 1	MATERIAL 2	$\mu$ estático	$\mu$ dinámico	$\mu$ rodadura
Neumático viejo	asfalto seco		0.4 – 0.6	
Neumático viejo	asfalto mojado		0.3 – 0.4	
Neumático nuevo	asfalto seco		0.7 – 0.9	
Neumático nuevo	asfalto mojado		0.4 – 0.6	
Neumático viejo	Hormigón seco		0.4 – 0.6	
Neumático viejo	Hormigón mojado		0.3 – 0.4	
Neumático nuevo	Hormigón seco		0.7 – 0.9	
Neumático nuevo	Hormigón mojado		0.4 – 0.6	
Neumático viejo	Barro		0.1	
Neumático nuevo	Barro		0.2	
Neumático viejo	Tierra dura		0.3	
Neumático nuevo	Tierra dura		0.4	
Neumático viejo	Hielo		0.08	
Neumático nuevo	Hielo		0.1	
Metal (carrocería)	Asfalto		0.2 – 0.5 media 0.4	
Metal (carrocería)	Hormigón		0.2 – 0.4	
Metal (carrocería)	Barro-tierra		0.2 – 0.5	
Metal (carrocería)	Hielo		0.07 – 0.2	

Ilustración 66: Tabla de los coeficientes de rozamiento

Así que ya podemos comenzar a operar, habiendo dicho anteriormente que la energía cinética se convierte casi completamente en Energía de rozamiento, se considera la igualdad entre ellas:

$$E_c = E_r$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot d \cdot \mu$$

$$\frac{1}{2} \cancel{m} \cdot v^2 = \cancel{m} \cdot g \cdot d \cdot \mu$$

Y nos queda:

$$\frac{1}{2} v^2 = g \cdot d \cdot \mu$$

Como nos interesa averiguar la velocidad del vehículo, despejamos ésta y queda:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot d \cdot \mu}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 3,278 \cdot 0,65} = 6,46233 \text{ m/s}$$

Esta velocidad vendrá expresada en m/s. Si quisiéramos conocer dicha velocidad expresada en km/h, bastaría con multiplicar el resultado por 3,6:

$$v = 6,46233 \times 3,6 = 23,264 \text{ km/h}$$

$$V = 23, 264 \text{ km/h}$$

Como se ve en el resultado final, el coche tenía una velocidad inicial de 23 km/h, por lo que tiene sentido ya que estaba saliendo del aparcamiento no podía tener una velocidad mucho mayor.

## 8. PLANTEAMIENTO

Llegados a este punto, es imprescindible valorar el resultado final del estudio, extrayendo las ventajas e inconvenientes que este presenta y error final cometido.

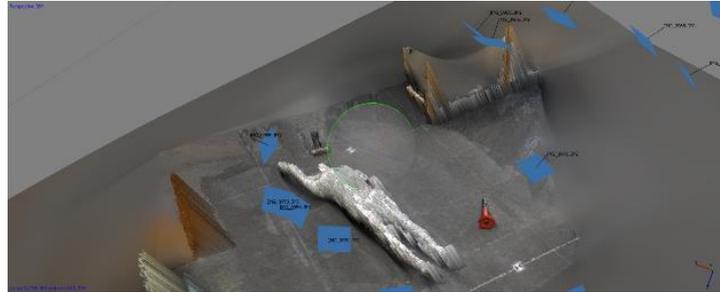
Con todo ello, partiendo de lo comentado anteriormente acerca de las otras simulaciones que se han hecho para la calidad de la información, es importante comentar que se realizaron 4 escenas criminales para la técnica SFM .La primera con un maniquí , la segunda con un maniquí sin luz, la tercera con un maniquí sin luz y con periódicos y la última con un maniquí sin luz, con periódico y con vestimenta.

De esta manera hemos observado con el PhotoScan que la primera escena es la que peor resultado ha tenido debido a que el manequí es blanco , al igual que los tonos negros no se pueden obtener puntos debido a su longitud de onda. Entonces en la zona del maniquí tenemos pocos puntos, por lo que nos deforma la imagen. También sucede con el suelo , el tipo de suelo es reflectante, por lo tanto a la hora de crear la malla nos crea unos picos muy grandes debido a que al reflejar en la imagen crea puntos en el espacio de los cuales no son reales.

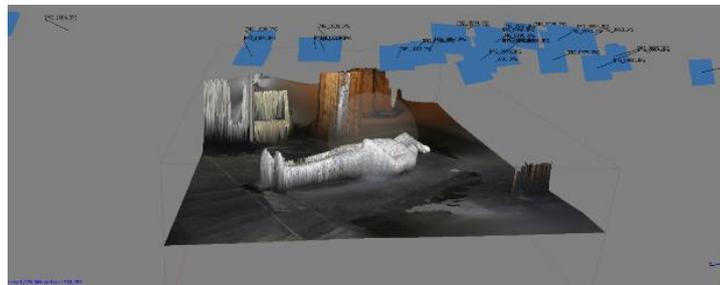
En la segunda escena desaparece ligeramente el problema de los picos del suelo y del maniquí, debido a que se ha realizado las fotografías sin luz. Pero sigue siendo un mal resultado.

En la tercera escena el problema de los picos del suelo desaparece totalmente la resolución de los periódicos es bastante buena debido a que el inconveniente lo tenía el suelo reflectante. Pero la resolución del maniquí es peor ya que el suelo reflejaba al maniquí y eso creaba más puntos, pero sin embargo seguía siendo puntos falsos.

En la última escena se soluciona los dos problemas, debido a que el suelo con periódicos tapa la reflectancia del suelo y el maniquí al estar vestido no tiene tonalidades blancas, por lo tanto detecta todos los puntos de la imagen perfectamente.



*Ilustración 67: Primera simulación de la malla con un maniquí*



*Ilustración 68: Primera simulación de la malla con un maniquí y sin luz*



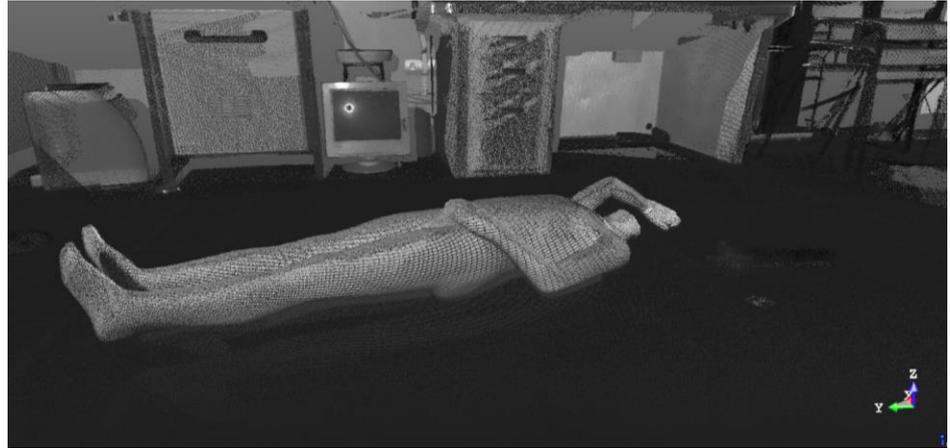
*Ilustración 69: Primera simulación de la malla con un maniquí, sin luz y con periódicos en el suelo*



*Ilustración 70: Primera simulación de la malla con un maniquí, sin luz, con periódicos en el suelo y vestido*

Viendo el resultado de estas escenas llegamos a la conclusión que con el método de SFM si queremos obtener una buena resolución, tendremos que evitar objetos reflectantes y elementos con tonalidades de blancos y negros.

También usamos la primera escena con el láser escáner, en este caso se hizo tres estacionamientos ya que esta zona es más pequeña.



*Ilustración 71: Primera simulación con láser escáner*

Por lo que se puede observar en la ilustración nº 71 con esta técnica el maniquí no ha obtenido ninguna deformación, lo único que no detecta el láser ( haz de luz) son las superficies negras debido a que el láser es absorbido por el negro y no rebota al aparato para dar constancia de la existencia de ese punto. Con esto se puede decir que la técnica del láser escáner es bastante buena sin contar los objetos negros que no son detectados.

Estas simulaciones nos ha ayudado a plantear mejor los resultados obtenidos en el proyecto, debido a que el objetivo principal del trabajo es encontrar la metodología más factible para la obtención de toda la información in-situ de la escena criminal o accidente.

En general, el estudio realizado cumple con los objetivos prefijados, situándose dentro del umbral de tolerancia aceptable para poder tomar los resultados como ciertos.

## 9. CONCLUSIÓN

Tras todos los procesos de trabajo, análisis y generación de resultados, se llega a la conclusión de que la metodología más factible es por el método de Láser Escáner. Ya que es el mejor resultado que se ha dado al obtener la nube de puntos y el modelo tridimensional del accidente con buenas resoluciones y precisiones al milímetro.

Además se puede comprobar que tanto la malla como la nube de puntos con la técnica SFM no se obtiene todos los puntos suficientes, debido a ciertos materiales que perjudican a la obtención de los puntos por las fotografías tomadas. Esto afecta mucho al caso porque no se obtiene todos los datos de la escena. En cambio con el Láser escáner se ha obtenido una resolución muy buena. La malla no ha deformado el coche y si fuera el caso real se podría ver con detalle un golpe, para que luego los investigadores comprueben en oficina si encajan con la moto y hacer suposiciones del suceso.

Otra de las ventajas que tiene es que con el programa Realworks puedes elegir varias formas de registrar la nube de puntos y obtener un resultado tan bueno como hemos visto de 0,33mm de error. Además de que tiene una herramienta muy útil, que es el caso de la función “publicar”.

La única desventaja es que el coste es menos asequible que el método SFM, debido a que el software (Realworks) no es libre y el alquiler del material, el láser escáner, es más caro que la cámara digital, sin embargo el programa PhotoScan es libre.

Pero como en este caso tiene más importancia la calidad de los datos no consideraría lo anterior, es más utilizaría el láser escáner para la escena del accidente y en el caso que hubiera algún objeto que necesitara más precisión utilizaría el sistema de fotogrametría por objetos cercanos, ya que no supondría casi ningún coste.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

William L. Hamilton Jan. 10, 2018 for The New York Times.  
'Heiress Plotted 19 Grisly Crimes. Investigation Underway'.

Miguel Jorge, 'La fascinante historia de la mujer que guardaba 20  
escenas del crimen en su casa'.

Matilde Balaguer Puig, (2017). 'Fotogrametría de objeto  
cercano: Conceptos basicos'.

García, J. L. L. (2002). 'Fotogrametría moderna: analítica y  
digital'.

Trimble, © 2016.' TX6 LÁSER SCANNER'.

Photoscan, A. (2014). 'Agisoft PhotoScan User Manual  
Professional Edition, Version 1.1. 0'.

Forensic Science International, Available online 21 June 2012.  
'Accident or homicide – Virtual crime scene reconstruction using  
3D methods'.

ScienceDirect, Available online 25 September 2006. 'Application  
of 3D documentation and geometric reconstruction methods in  
traffic accident analysis: with high resolution surface scanning,  
radiological MSCT/MRI scanning and real data based animation'.