



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía

Levantamiento con sistemas láser escáner y modelado 3D
de un avión Mirage F1



Curso 2018-2019

Carlos Félix González

Compromiso

El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante. No ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía.

Resumen

En este trabajo fin de grado, se ha realizado el levantamiento topográfico industrial de dos aviones militares para su modelización 3D. Para ello, se han medido con técnicas láser escáner dichas aeronaves, un avión francés de la casa Dassault modelo Mirage F1 situado en el hangar Pedro Duque de la Universitat Politècnica de Valencia, y un avión americano de la casa North American y modelo F-86 Sabre, situado en el Parque del Oeste de la ciudad de Valencia.

De esta forma se han obtenido unas nubes de puntos de alta densidad y precisión para su posterior modelización. Las nuevas técnicas de levantamiento de nube de puntos con sistemas láser escáner ofrecen un alto grado de detalle de las aeronaves, que permiten estudios de ingeniería inversa de la geometría y configuración de la misma.

Los modelos tridimensionales obtenidos de las aeronaves se ajustan sustancialmente a la estructura real de los aviones, los cuales podrán ser utilizados para realizar distintos estudios e incluso lograr prototipos físicos de ambos modelos.

Índice de figuras

<i>Figura 1 Diferencias básicas de las dos aeronaves.</i>	9
<i>Figura 2 Ejemplo de medición basada en la triangulación.</i>	11
<i>Figura 3 Ejemplo de medición basada en el tiempo de vuelo mediante pulsos.</i>	12
<i>Figura 4 Ejemplo de medición basada en el tiempo de vuelo mediante diferencia de fase.</i>	12
<i>Figura 5 Laser escáner estático.</i>	13
<i>Figura 6 Laser escáner cinemático.</i>	14
<i>Figura 7 Laser escáner Trimble TX6.</i>	15
<i>Figura 8 Descripción de los elementos del Trimble TX6.</i>	16
<i>Figura 9 Parámetros de escaneo.</i>	17
<i>Figura 10 Pantalla táctil.</i>	17
<i>Figura 11 Diana.</i>	18
<i>Figura 12 Nubes de puntos a correlacionar.</i>	20
<i>Figura 13 Nube de puntos final North American F-86 Sabre.</i>	20
<i>Figura 14 Herramienta Limit Box.</i>	21
<i>Figura 15 Levantamiento 3D.</i>	23
<i>Figura 16 Levantamiento 3D.</i>	24
<i>Figura 17 Croquis de los estacionamientos del avión Dassault Mirage F1.</i>	26
<i>Figura 18 Levantamientos 3D en zona abierta.</i>	27
<i>Figura 19 Croquis de los estacionamientos del avión North American F-86 Sabre.</i>	29
<i>Figura 20 Nube de puntos del hangar sin correlacionar.</i>	30
<i>Figura 21 Nube de puntos del parque del Oeste sin correlacionar.</i>	31
<i>Figura 22 Nube de puntos del hangar.</i>	33
<i>Figura 23 Segmentación media del avión Dassault Mirage F1.</i>	34
<i>Figura 24 Segmentación final del avión Dassault Mirage F1.</i>	34
<i>Figura 25 Nube de puntos del parque del Oeste.</i>	39
<i>Figura 26 Segmentación media del avión North American F-86 Sabre.</i>	40
<i>Figura 27 Segmentación final del avión North American F-86 Sabre.</i>	40
<i>Figura 28 Avión a modelar.</i>	43
<i>Figura 29 Ajuste de parámetros, para la creación del mallado 3D.</i>	44
<i>Figura 30 Malla 3D del avión Dassault Mirage F1.</i>	44
<i>Figura 31 Limpieza de deformidades.</i>	45
<i>Figura 32 Herramienta rellenar huecos.</i>	46
<i>Figura 33 Modelo 3D del avión Dassault Mirage F1.</i>	46
<i>Figura 34 Nube de puntos del caza North American F-86 Sabre. 3D Reshaper.</i>	47
<i>Figura 35 Visualización del mallado 3D en el caza F-86 Sabre.</i>	48
<i>Figura 36 Opciones del mallado 3D.</i>	48
<i>Figura 37 Falta de información en la punta del avión.</i>	49
<i>Figura 38 Herramienta rellenar orificios.</i>	50
<i>Figura 39 Herramienta limiar/separar.</i>	50
<i>Figura 40 Modelo 3D del North American F-86 Sabre.</i>	51
<i>Figura 41 Nube de puntos –Vista Frente.</i>	52
<i>Figura 42 Nube de puntos – Vista Arriba.</i>	52
<i>Figura 43 Nube de puntos – Vista isométrica.</i>	53

<i>Figura 44 Nube de puntos –Vista Frente</i>	53
<i>Figura 45 Nube de puntos – Vista Arriba</i>	54
<i>Figura 46 Nube de puntos – Vista isométrica</i>	54
<i>Figura 47 Modelo 3D – Alzado Dassault Mirage F1</i>	55
<i>Figura 48 Modelo 3D - Vista isométrica Dassault Mirage F1</i>	55
<i>Figura 49 Modelo 3D – Alzado North American F-86 Sabre</i>	56
<i>Figura 50 Modelo3D - Vista isométrica North American F-86 Sabre</i>	56
<i>Figura 51 Medición de la envergadura</i>	57
<i>Figura 52 Medición de la altura</i>	57
<i>Figura 53 Medición de la superficie alar</i>	58
<i>Figura 54 Tabla del salario base del boletín oficial del estado</i>	59
<i>Figura 55 Tabla de las actividades realizadas y sus características</i>	61
<i>Figura 56 Tabla con el presupuesto final</i>	61

Índice

1.	Introducción.....	7
2.	Descripción general de las aeronaves.....	8
	Dassault Mirage F1.....	8
	North American F-86 Sabre.....	9
3.	Instrumentación utilizada.....	10
	Laser escáner.....	10
	-Medición basada en triangulación.....	11
	-Medición basada en el tiempo de vuelo mediante pulsos.....	12
	-Medición basada en el tiempo de vuelo mediante diferencia de fase.....	12
	-Laser escáner 3D estático.....	13
	-Laser escáner 3D cinemático.....	14
	Laser escáner Trimble TX6.....	15
	Dianas.....	18
4.	Software utilizado.....	19
	Software Trimble RealWorks.....	19
	Software 3D Reshaper.....	22
5.	Metodología.....	23
	Levantamiento topográfico 3D.....	23
	-Levantamiento topográfico 3D del caza Dassault Mirage F1.....	25
	-Levantamiento topográfico 3D del caza F-86 Sabre.....	27
6.	Gestión de nubes de datos.....	30
	-Procesamiento de datos del avión Dassault Mirage F1.....	33
	-Procesamiento de datos del avión North American F-86 Sabre.....	39
7.	Modelado 3D.....	43
	-Modelado 3D del avión Dassault Mirage F1.....	43
	-Modelado 3D del avión North American F-86 Sabre.....	47
8.	Resultados obtenidos.....	52
9.	Presupuesto.....	59
10.	Conclusiones.....	62
11.	Bibliografía.....	64
	Libros.....	64
	Páginas web.....	64

1. Introducción

El presente documento tiene como finalidad la obtención del título de Grado de Ingeniería en Geomática y Topografía en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica de la Universitat Politècnica de Valencia.

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es obtener modelos 3D de alta resolución de aeronaves militares, a partir de la realización completa de dos levantamientos topográficos industriales de los aviones. Por un lado, se ha realizado el levantamiento 3D de un modelo Mirage F1, avión diseñado por la empresa francesa Dassault Aviation que está situado en el laboratorio Pedro Duque de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Diseño de la UPV. Por otro lado, se ha realizado el modelado 3D de otro avión de caza North American F-86 Sabre, situado en el Parque del Oeste.

Las nubes de puntos con coordenadas x , y , z obtenidas con un equipo láser escáner de la marca Trimble modelo TX-6, permiten definir la geometría exacta de la superficie del objeto a medir. Con el software específico, Trimble Real Works, se ha realizado la importación de los datos, la unión precisa de los diferentes escaneados realizados con el objetivo de mostrar la pieza en su totalidad, y la limpieza de puntos que no forman parte del objeto a escanear.

La información obtenida en el presente documento, incluye la descripción de las aeronaves a modelar, la descripción de la instrumentación y software utilizados para la posible modelización 3D, la metodología usada para poder llevar a cabo el proyecto, tanto la gestión de información y el procesamiento de datos, hasta obtener el modelo tridimensional. Ya obteniendo el resultado final, se procederá a mostrar los resultados obtenidos junto con el presupuesto del proyecto. Se finaliza el presente documento con la valoración económica de este trabajo y las conclusiones del proyecto realizado.

Esta nube de puntos puede ser utilizada para realizar diferentes estudios. En el caso de este proyecto, ha sido modelizada mediante una malla tridimensional, la cual permitirá obtener una aproximación de la superficie tridimensional de las aeronaves, mediante la utilización de un mallado del conjunto de triángulos y vértices. A partir de aquí, se logra obtener un modelo 3D de dichas aeronaves, mediante el programa 3D Reshaper, con el uso de diferentes herramientas, que permiten corregir errores e incongruencias en las superficies formadas, hasta obtener la modelización deseada.

Del modelo 3D obtenido se podrán realizar mediciones, sacar la información que resulte necesaria y visualizar los aviones desde distintas perspectivas, sin la necesidad de acudir personalmente a la zona donde están ubicados y de esta manera, poder trabajar cómodamente en la oficina.

2. Descripción general de las aeronaves

Dassault Mirage F1

El Dassault Mirage F1 es un caza de ataque de la tercera generación, que posee superioridad aérea, fue construido y diseñado en Francia, por la empresa Dassault Aviation. Esta aeronave entro al servicio del ejército del aire francés aproximadamente en los años 70.

Sus características generales son:

- La aeronave esta tripulada por un piloto.
- Longitud de 15.3 metros, envergadura de 8.4 metros y altura de 4.5 metros.
- Peso vacío de 7400 kg, peso cargado de 10900 kg y peso máximo al despegue de 16200 kg.
- La velocidad máxima operativa es de 2338 km/h a 11000 metros de altitud, teniendo un alcance de 2 horas con 15 minutos.
- El armamento utilizado es de 2 cañones DEFA 553, tiene 7 puntos de anclaje con una capacidad de 6300 kg en las que se puede cargar una combinación de 2 bombas SAMP 25, 2 Belouga, 2 BAP, 2 Matra Durandal, 2 Matra ARMAT, cohetes SNEB, misiles aire-aire, 2 Vympel R-73, 2 AIM-9 Sidewinder, 2 R.550 Magic, 2 Matra Super 530, 2 RAFAEL Derby, misiles aire-superficie, 1 AM.39 Exocet, 1 AS-30, 2 Kh-29.

North American F-86 Sabre

Es una aeronave caza a reacción, el cual fue fabricado por la aviación de Norte América, para las fuerzas aéreas de los Estados Unidos, desarrollada a finales de los años 40. Este tipo de aviones, son de los más producidos y utilizados por las fuerzas aéreas de todo el mundo.

Sus características generales son:

- La aeronave esta tripulada por un piloto.
- Longitud de 11.4 metros, envergadura de 11.3 metros y altura de 4.5 metros.
- Peso vacío de 5046 kg, peso cargado de 6894 kg y peso máximo al despegue de 8234 kg.
- La velocidad máxima operativa es de 1106 km/h.
- El armamento utilizado es de 6 ametralladoras M3 Browning, tiene 4 soportes externos con una capacidad de 2400 kg en las que se puede cargar una combinación de bombas de varios tipos con un máximo de 907 kg, 2 contenedores Matra con 18 cohetes SNEB, misiles aire-aire, 2 AIM-9B Sidewinder, 2 Shafrir II o contenedores de Napalm.

En la siguiente tabla, podemos ver las diferencias básicas entre las dos aeronaves.

	Tripulación	Longitud	Envergadura	Altura	Peso vacío	Peso cargado	Velocidad máxima operativa
North American F-86 Sabre	1 piloto	11,4m	11,3m	4,5m	5046kg	6894kg	1106 km/h
Dassault Mirage F1	1 piloto	15,3m	8,4m	4,5m	7400kg	10900kg	2338km/h

Figura 1 Diferencias básicas de las dos aeronaves.

3. Instrumentación utilizada

Láser escáner

El láser escáner 3D, es un instrumento que adquiere una gran cantidad de datos, el cual se basa en la tecnología LIDAR. Esta aporta la conocida nube de puntos tridimensional, una representación discreta de la superficie, medida en base a las distancias y a los ángulos con un haz de luz láser. Estas mediciones permiten la posibilidad de documentar de forma geométrica y visual, la propia realidad con alta velocidad y precisión. También se podría imitar el color de la superficie representada, añadiendo información del color que existe en cada uno de los puntos escaneados.

Hay que decir, que desde estos últimos años, la tecnología LIDAR ha experimentado un gran desarrollo en nuestro campo de trabajo, considerándose así por expertos, el gran futuro de la Topografía.

La principal tarea del láser escáner 3D, es la recogida de coordenadas geográficas, de aquellas superficies que se sitúan a su alrededor, obteniendo así, la información próxima al radio del escáner, de forma sencilla, rápida y eficaz. Con pocos minutos y sin necesidad de intervenir con los objetos escaneados, se podrá obtener toda la información requerida.

Cuando se obtiene la nube de puntos tridimensional, se tiene que saber, que está formada por millones de coordenadas (x, y, z), las cuales se sitúan en una magnitud real y bien posicionadas en el espacio, lo que permiten representar la realidad de forma precisa.

Dependiendo de qué tipo de escáner se escoja para la realización del trabajo, determinaremos la precisión y la escala del trabajo.

Las mediciones del láser escáner están basadas en tres principios fundamentales; la triangulación, el tiempo de vuelo mediante pulso y el tiempo de vuelo mediante diferencias de fase.

-Medición basada en triangulación

Este principio se basa en el cálculo del triángulo que forman los elementos del interior del escáner y los elementos que deseamos medir.

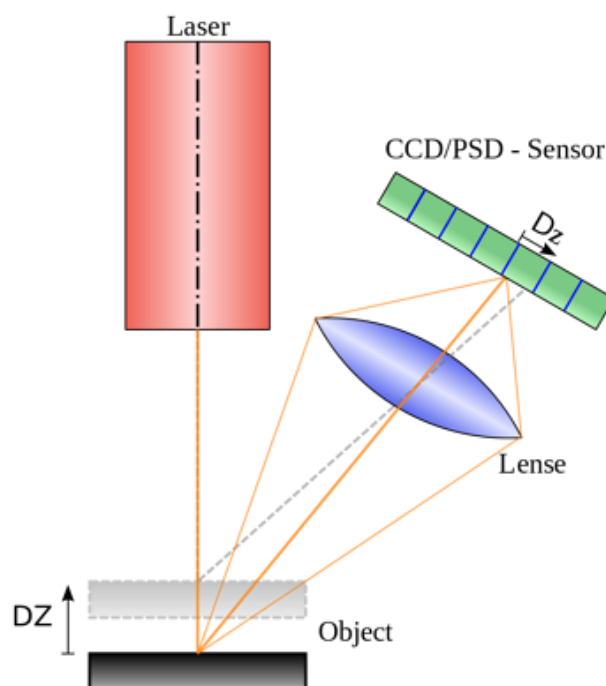


Figura 2 Ejemplo de medición basada en la triangulación.

Las principales características son:

- Elevada precisión (hablamos de centésimas de milímetro).
- La máxima distancia viene dada, por el ángulo de intersección entre el láser y el sensor.
- Alta frecuencia (hablamos de 100MHz o superior).

-Medición basada en el tiempo de vuelo mediante pulsos

Basada en calcular la distancia y la rotación del haz de luz láser.

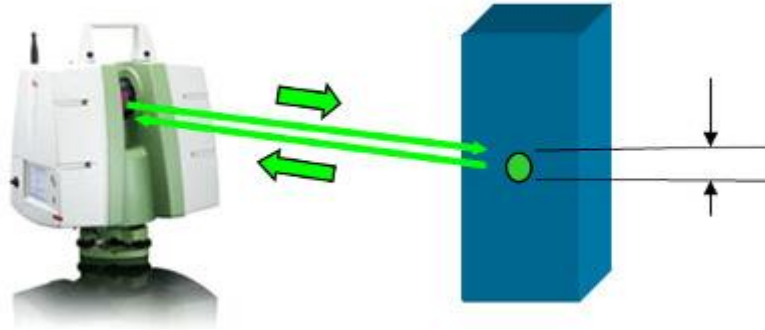


Figura 3 Ejemplo de medición basada en el tiempo de vuelo mediante pulsos.

-Medición basada en el tiempo de vuelo mediante diferencia de fase

Este principio se basa en calcular la distancia en base al número de longitudes de onda y el desfase que existe entre la onda emitida y la onda reflejada en la superficie.

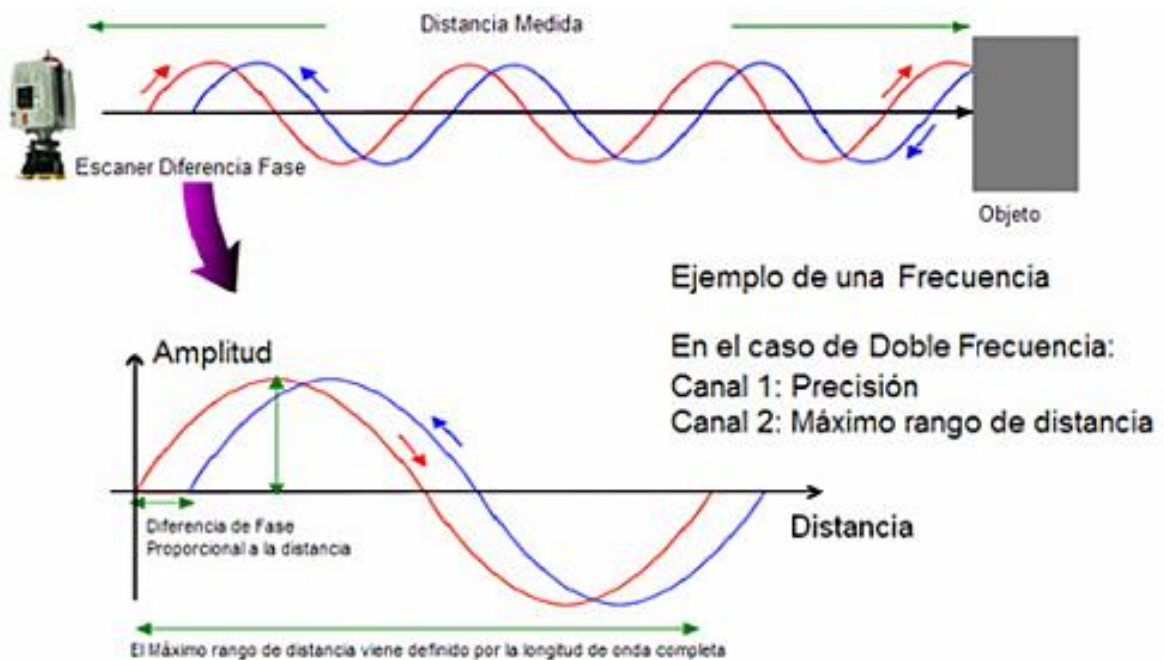


Figura 4 Ejemplo de medición basada en el tiempo de vuelo mediante diferencia de fase.

Las principales características son:

- Medio alcance (hablamos de menos de 100 metros).
- Extrema frecuencia (hablamos de 500 a 600 MHz o más)
- Precisión entre 2 y 10 milímetros.
-

Existen dos tipos de laser escáner, dependiendo de la posición en que se realizan las mediciones, el estático y el cinemático.

-Laser escáner 3D estático

Escáneres fijos que están sujetos a cualquier tipo de elemento, como puede ser un trípode. Cuando se toma datos, el láser se encuentra fijo en una posición, y gira sobre sí mismo de forma horizontal y vertical, de esta forma se consiguen los datos.

Las principales características son:

- Precisión alta (hablamos de 2 milímetros hasta los 10 metros).
- Buena conexión datos-imagen.
- Las uniones de los escaneados tiene una alta precisión.
- La productividad se obtendrá del tiempo que tarde el escaneado en finalizarse y del tiempo de desplazamiento del propio escáner.



Figura 5 Laser escáner estático.

-Laser escáner 3D cinemático

Se basa en el sensor LIDAR, el cual está en movimiento mientras se escanea la zona de trabajo. El sensor LIDAR dependerá de un operario, ya sea a pie o en vehículo.

Las principales características son:

- Alta productividad (sensores con velocidad de 60 hasta 70 km/h).
- Precisión inferior que la del sensor estático.
- Utilización de técnicas de SLAM para la unión de puntos.
- Herramienta estupenda para la toma de datos en zonas BIM.
- Toma de datos masivos, cuando el escáner se sitúa en vehículos.



Figura 6 Laser escáner cinemático.

Sabiendo las características y utilidades, se puede decir con certeza, que el láser escáner 3D es un producto accesible a todo profesional, ya sea topográfico o de distinto campo. Ya que con la aparición de industrias que están especializadas en la medición, se pueden alquilar a un coste razonable. Cabe anotar, que para poder obtener buenos resultados, se necesitará un buen software para poder gestionar los datos que nos ofrezca el laser escáner 3D y un operario que sepa tratarlos.

Láser escáner Trimble TX6

Para la realización de la toma de datos de las dos aeronaves, se utilizará el láser escáner 3D de la compañía Trimble, modelo Trimble TX6. El propio departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría de la Universidad Politécnica de Valencia nos proporcionó el instrumento.



Figura 7 Láser escáner Trimble TX6.

El láser escáner Trimble TX6 realiza la toma de datos de una forma precisa y a una alta velocidad. Dispone de la llamada tecnología Lightning, la cual es menos susceptible a los cambios superficiales y atmosféricos. También dispone de una cámara, que en solo dos minutos, tomará imágenes HDR de todo el entorno, para poder dar color a los escaneados.

La cámara que está integrada en el propio láser, tiene 10 megapíxeles de resolución.

El Trimble TX6 proporciona nubes de puntos tridimensionales, con una gran densidad de puntos.

El campo de visión del escáner es de $360^{\circ} \times 317^{\circ}$, teniendo así una precisión angular de 80 microradianes. Tarda en escanear 34 millones de puntos en tan solo tres minutos, o 138 millones de puntos en tan solo 6 minutos. El alcance del escáner es de 80 metros y se puede aumentar a 120 metros, manteniendo la precisión y la velocidad. El alcance mínimo es de 0.6 metros.

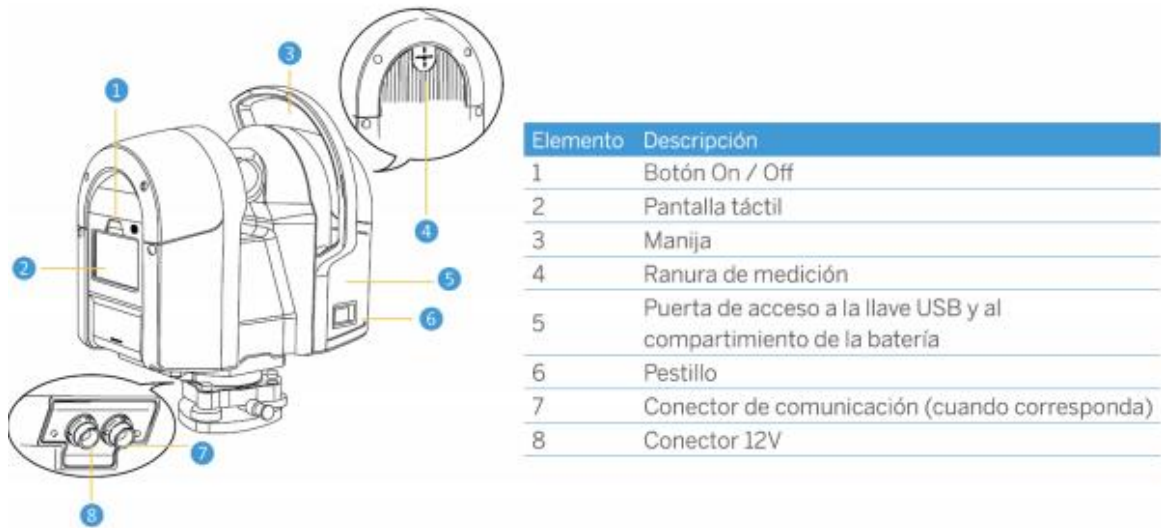


Figura 8 Descripción de los elementos del Trimble TX6.

Antes de la toma de datos, se podrá seleccionar el nivel de precisión y la densidad de la nube de puntos dependiendo del trabajo que se vaya a realizar. Se podrá elegir entre: el preview, nivel 1, nivel 2 y nivel 3. Según el nivel de precisión, se obtendrán distintas características, variando así, el tiempo de escaneado, el tamaño de la nube de puntos y por ende la cantidad de números tomados y la densidad de la matriz-puntos.

El nivel preview, es el más básico, realizando el escaneado en 4 minutos, tomando alrededor de 8.700.000 de puntos.

El nivel 1, es el nivel con el que realizaremos la mayoría de los escaneados, ya que nos proporcionará buena precisión y una alta velocidad en la toma de datos. Ya que tarda en realizar el escaneado 5 minutos, tomando alrededor de 34.700.000 puntos.

El nivel 2, realiza el escaneado en 7 minutos, tomando alrededor de 138.900.000 de puntos. Es un nivel estándar-alto.

El nivel 3, es el nivel con mayor cantidad de toma de datos, realizando en escaneado en 21 minutos, tomando alrededor de 555.550.000 puntos.

Parámetros de escaneo	Vista preliminar	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Alcance Máx. ¹	80/120 m	80/120 m	80/120 m	80/120 m
Duración del escaneo (minutos) ³	02:00	03:00	05:00	19:00
Espaciamiento entre puntos a 10 m	15,1 mm	—	—	—
Espaciamiento entre puntos a 30 m	—	22,6 mm	11,3 mm	5,7 mm
Espaciamiento entre puntos a 300 m	—	—	—	—
Número de puntos	8,7 Mpts	34 Mpts	138 Mpts	555 Mpts

Figura 9 Parámetros de escaneo.

El escáner lleva incorporado una pantalla táctil, cuya interfaz es muy intuitiva. Con la pantalla táctil se podrá seleccionar la resolución del escaneo que se precisa y definiremos la zona del proyecto. Esta pantalla tiene una resolución de 800x480 WVGA.



The screenshot shows a touch screen interface for a scanner. At the top, it displays 'Project 001' and 'Station: Station 001'. The main display area shows a large 'Scan' button with a play icon. Below this, there are four buttons: 'Projects', 'Leveling', 'Scan Parameters', and 'Settings'. The 'Scan Parameters' section shows 'Mode: Level 2', 'Spacing: 11 mm @ 30m', and 'Duration: 3min'. The interface is annotated with numbered circles (1-12) pointing to various elements.

Elemento	Descripción
1	Nombre del proyecto actual
2	Botón Trimble
3	Botón Escaneo
4	Botón Proyectos
5	Botón de nivelación
6	Botón de parámetros de escaneo
7	Botón de configuración
8	Parámetros actuales de escaneo
9	Icono de alto contraste
10	Icono de estado de energía
11	Muestra el número de escaneos que todavía pueden escribirse en la unidad USB con las configuraciones actuales.
12	Señal Wi-Fi

Figura 10 Pantalla táctil.

El escáner posee una burbuja externa, y una burbuja electrónica, con las que se podrá efectuar la nivelación.

El Trimble TX6 posee un espejo, lo que hace válida la toma de datos en entornos complicados y bajo la intensa luz del sol. El láser no es peligroso para las personas, pues es de clase 1 lo que hace segura la utilización de este. Para poder transportarlo, viene con una maleta que cumple los requisitos para poder facturarla en las distintas aerolíneas.

Las dimensiones del escáner son de 335 milímetros de ancho, 386 milímetros de alto y 242 milímetros de profundidad, pesando 11.7 kilogramos sin contar con las baterías. Las baterías son de li-ion, que las hacen tener una larga duración, el tiempo que pueden estar escaneando son de más de 2 horas y pesan 0.46 kilogramos cada una.

El rango de temperatura de funcionamiento del TrimbleTX6 ronda los 0 grados, hasta los 40 grados centígrados.

Cuando se haya acabado de realizar los escaneados, los datos se guardaran en la tarjeta de memoria, colocada con anterioridad en el láser escáner, dentro de una carpeta, creada antes de realizar los escaneados. Con solo desconectar el escáner, se podrán transportar dichos datos al ordenador donde se vaya a trabajar, y descargar la carpeta con todos los datos de interés. De esta forma se podrá empezar a trabajar con las nubes de puntos.

Dianas

Las dianas son elementos que se sitúan en la zona donde se realizan los escaneados, para poder tener una mayor cantidad de puntos de control. De esta forma, cuando se realice el procesado, nos podremos ayudar de las dianas, para correlacionar los puntos que hay entre escaneados.

Hay muchos tipos de dianas, pero las dianas que hemos usado en este tipo de proyecto, son dianas magnéticas con forma circular, de un tono azul oscuro en el exterior y en el interior un tono blanco.



Figura 11 Diana.

4. Software utilizado

Software Trimble RealWorks

El software Trimble RealWorks es un potente programa usado en oficinas, cuya tarea es la de importar gran cantidad de datos del sensor Spatial Imaging(imágenes espaciales) y posteriormente transformarlos en resultados 3D deseables.

Hay que decir, que el software Trimble RealWorks permite realizar varias tareas, donde se encuentra el registrar, visualizar y manejar datos de las nubes de puntos que fueron capturados con el sensor Trimble Spatial Imaging.

Este software tiene incorporado herramientas precisas, que son ideales para realizar modelados. Se puede emplear en varios campos, como puede ser la topografía civil, el catastro del patrimonio histórico, la construcción, aplicaciones relacionadas con la industria geoespacial y muchas otras más.

La gran ventaja de usar Trimble RealWorks, es que los datos de campo, fueron obtenidos con el láser escáner Trimble TX6, y al ser de la misma compañía, el programa y el propio láser, se complementan entre sí, es decir, que trabajas con la misma marca, tanto en la toma de datos en campo, como en el posterior procesamiento.

Esto se resume, en que todas las nubes de puntos obtenidas con el láser escáner Trimble TX6, guardadas en formato txf, se pueden abrir directamente y sin necesidad de convertirlas a otro formato. Trabajando así, de una forma más fluida.

Las nubes de puntos estarán en formato txf, y como se mencionó anteriormente, se podrán cargar sin necesidad de convertirlos, en el programa Trimble RealWorks, desde la herramienta importar. Cuando se tienen importados todas las nubes de puntos procederemos a registrar, desde la herramienta Registration -> Cloud-Based Registration. Esta es la parte del proceso, es donde se unirán los escaneados, hasta formar una gran nube de puntos. Hay que evitar al refinar, que la precisión sea mayor a 8 milímetros, ya que nuestro trabajo precisa una precisión menor. Cuanto mayor sea el solape, más puntos en común tendrán nuestros escaneados.

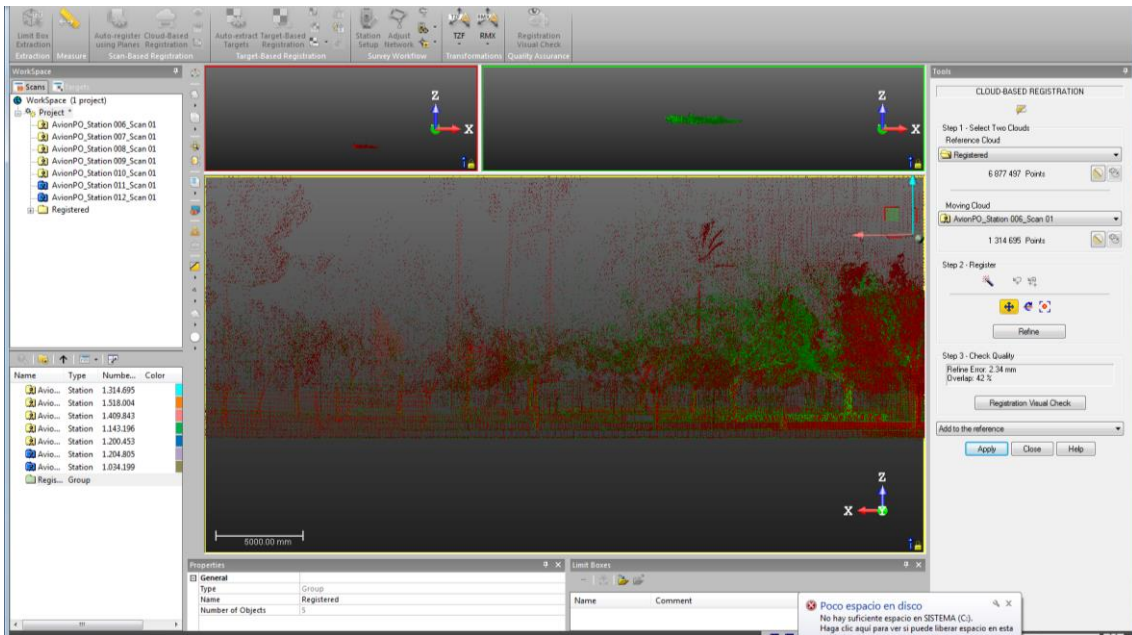


Figura 12 Nubes de puntos a correlacionar.

Cuando obtenemos la unión de todos los escaneados, se pasará al trabajo de producción. Que básicamente consiste en obtener los datos de interés.

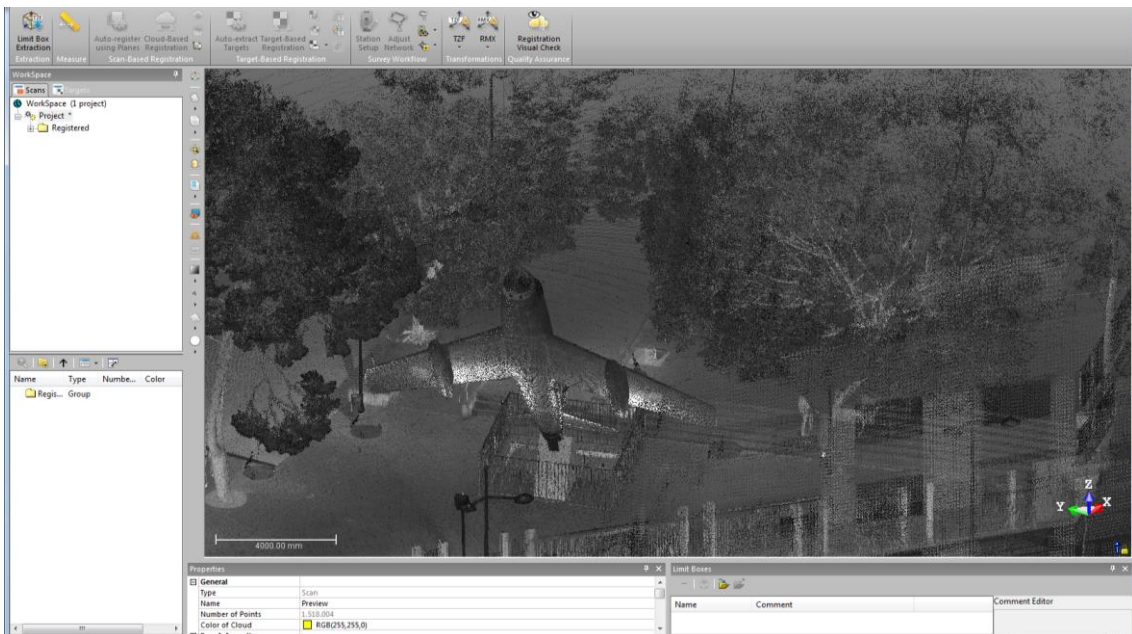


Figura 13 Nube de puntos final North American F-86 Sabre.

Nos dirigiremos a la herramienta Edit -> Segmentation, donde se procederá a segmentar, es decir, a quedarnos solo con los puntos necesarios de toda la nube. Hay una herramienta llamada Limit Box, que nos facilita el escoger una cantidad de puntos y trabajar individualmente con ellos, lo que es muy beneficioso, cuando se quiere un objeto en particular de toda la nube de puntos.

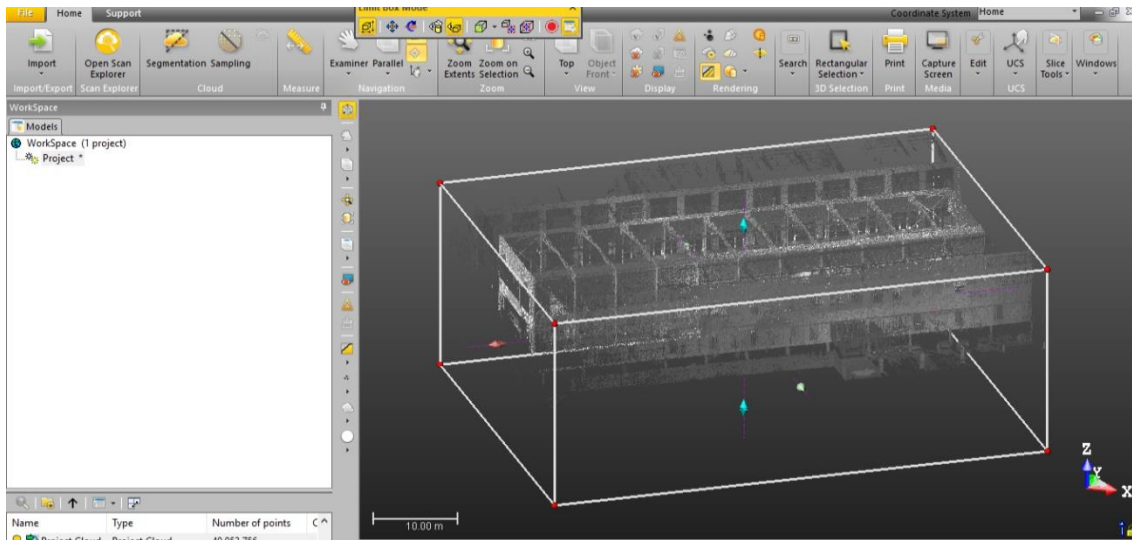


Figura 14 Herramienta Limit Box.

Cuando obtenemos la segmentación que buscábamos, es decir, únicamente los puntos que interfieren en el avión, procederemos a guardar y exportar dichos puntos, para realizar el modelado 3D final.

Software 3D Reshaper

El software 3D Reshaper es un programa asequible y fácil de usar, dedicado a procesar nubes de puntos. Sus características son:

- Procesado de nube de puntos
- Malla 3D
- Reconocimiento y extracción de características
- Alineaciones
- Sección y poli líneas
- Scripting
- Etc...

Cuando se obtiene la nube de puntos con la que se quiera trabajar, procederemos a abrir dicha información en un formato e57 con el programa 3D Reshaper.

Cuando la nube de puntos con la que deseemos trabajar este cargada, procederemos a realizar el modelado 3D con las diferentes herramientas que nos proporciona el programa.

5. Metodología

Levantamiento topográfico 3D

Antes de proceder a la toma de datos, será necesaria una buena planificación y distribución de donde y como se estacionará el láser escáner.

De esta forma se podrán evitar errores, como pueden ser, las superficies ocultas y las superficies con sombras, ya que provocaría que el modelo 3D tuviese zonas donde el láser no llegase a tomar datos, por ende tendríamos un modelado con falta de información.

Es aconsejable estudiar la zona donde se realizará el levantamiento 3D, y hacer un croquis antes de empezar la tomar datos. Ya que de esta forma se podrá saber dónde habrá que situar el láser para que realice los distintos escaneados y asegurarse de que no haya elementos que impidan la toma de datos de forma eficaz, como podrían ser objetos que se interpusiesen entre en laser y el avión.

Para llevar con éxito el levantamiento 3D, se necesitara que los escaneados tomen datos de la totalidad del avión. Por lo que se situará el escáner en diferentes posiciones, ángulos y alturas. De esta forma no habrá superficies ocultas.



Figura 15 Levantamiento 3D.

Teniendo en cuenta todas las pautas anteriores, se podrá realizar un correcto levantamiento industrial, evitando errores, al haber conseguido una buena planificación, realizada con anterioridad.

Para este trabajo, se realizarán dos levantamientos industriales 3D, uno para el avión Dassault Mirage F1 y el otro para el avión North American F-86 Sabre.



Figura 16 Levantamiento 3D.

-Levantamiento topográfico 3D del caza Dassault Mirage F1

Se pretende obtener un modelado tridimensional del avión Dassault Mirage F1, situado en el hangar de la universidad politécnica de valencia, el cual se encuentra en un espacio cubierto.

Antes de proceder a la toma de datos, se realizará un croquis, para saber dónde se situarán, cada una de las estaciones. Necesitaremos que estos estacionamientos estén situados de forma que den la vuelta al avión, así se obtendrán escaneados desde diferentes tipos de vista, alturas y ángulos.

Para poder realizar un modelo 3D completo del avión, se realizaron 23 escaneados. Con una nube final de 40.953.756 puntos.

Todos estos escaneados, los efectuaremos con una precisión nivel 1. No conviene escanear con alta (nivel 2) o máxima precisión (nivel 3), ya que en caso de hacerse, se tendría una gran densidad de puntos, lo que haría muy difícil el posterior procesamiento, ya que se necesitaría un ordenador muy potente para poder procesar dichos puntos con fluidez. Por lo que, al haber situado el escáner a una distancia próxima al avión, un nivel de precisión 1 sería suficiente, para el trabajo que queremos llevar a cabo.

No se obtuvieron problemas para la realización del levantamiento, ya que al situarse en una zona cubierta y reservada con anterioridad, la toma de datos se produjo de forma continuada y sin interrupciones.

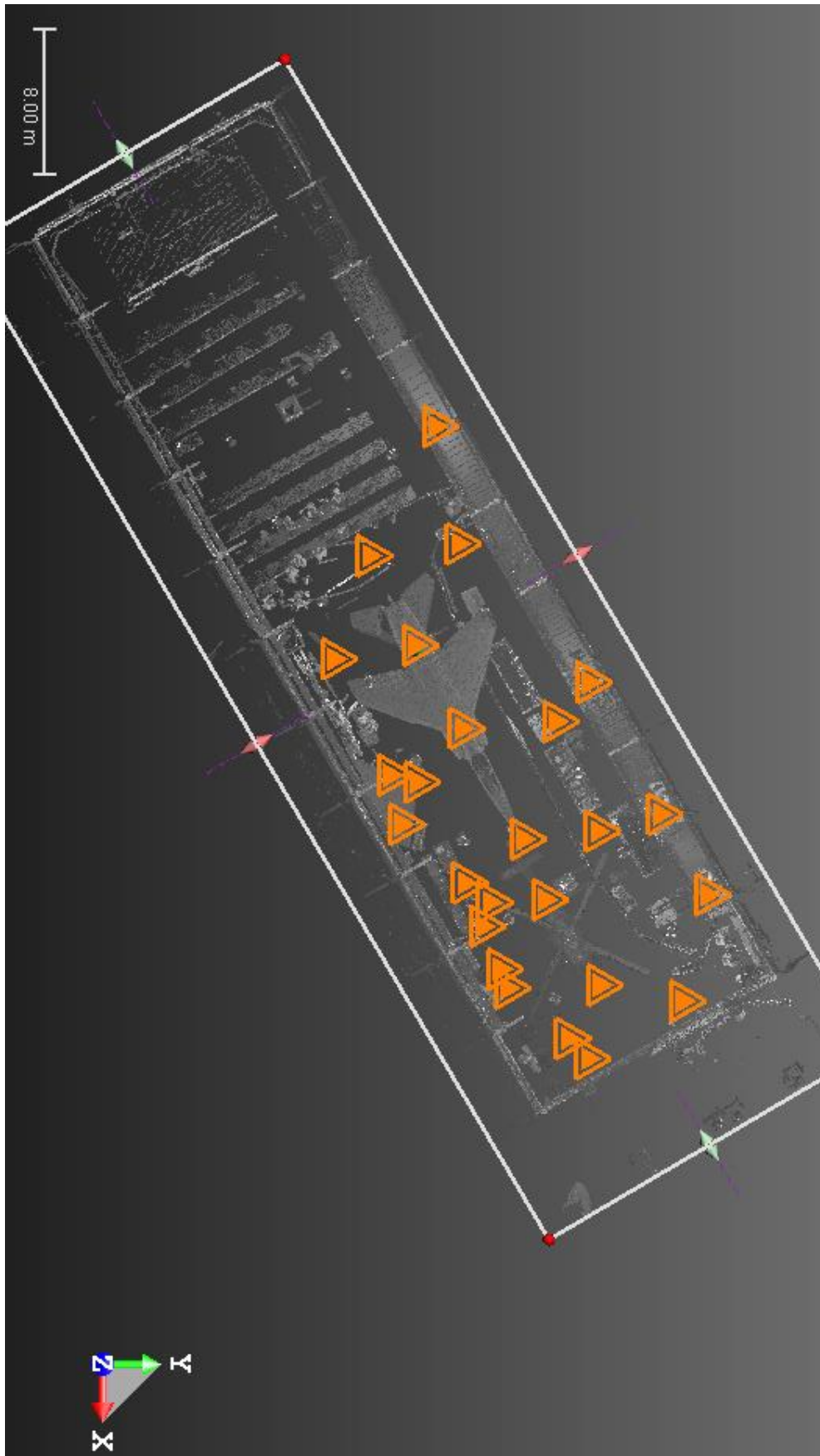


Figura 17 Croquis de los estacionamientos del avión Dassault Mirage F1.

-Levantamiento topográfico 3D del caza F-86 Sabre

Se pretende obtener un modelado tridimensional del avión North American F-86 Sabre, situado en el Parque del Oeste, en la provincia de Valencia, el cual se encuentra en un espacio público y al aire libre.

Antes de proceder a la toma de datos, se realizará un croquis, para saber dónde se tendrán que situar cada una de las estaciones. Se intentará, que estos estacionamientos, estén situados de forma que den la vuelta al avión, así se podrán obtener escaneados desde diferentes tipos de vista, alturas y ángulos.

Cabe destacar, que en este caso se han situado 4 dianas, para poder tener mayor cantidad de puntos de control, facilitando así el registro de la nube puntos.



Figura 18 Levantamientos 3D en zona abierta.

Para poder realizar un modelo 3D completo del avión, se realizaron 12 escaneados. Con una nube final de 15.701.970 puntos.

Todos estos escaneados menos el último, se efectuaron con una precisión nivel 1. Y el último con nivel 2. No conviene escanear con alta (nivel 2) o máxima precisión (nivel 3), ya que si hiciésemos esto, se tendría una gran densidad de puntos, lo que haría muy difícil el posterior procesamiento, ya que se necesitaría un ordenador muy potente para poder procesar dichos puntos con fluidez.

Por lo que, al haber situado el escáner a una distancia próxima al avión, un nivel de precisión 1 es suficiente para el trabajo que queremos llevar a cabo. No obstante realizamos uno de los escaneados con nivel 2, ya que se situó el escáner en una zona alejada del avión, por lo que se necesitó más precisión.

Al ser un espacio público, se tuvieron una serie de inconvenientes a la hora de la obtención de datos. Ya que era una zona transitada y hay que estar pendiente de que nadie interfiriera en la zona del escaneado, evitando así zonas con sobras u ocultas.



Figura 19 Croquis de los estacionamientos del avión North American F-86 Sabre.

6. Gestión de nubes de datos

Cuando ya se obtiene la nube de puntos del avión, se procederá a procesar dichos datos.

Hay que tener en cuenta, la importancia de unir correctamente las distintas nubes de puntos, ya que los estacionamientos se encuentran en diferentes puntos de vistas y alturas. Lo que pretendemos es correlacionar las distintas nubes de puntos para obtener un buen modelado 3D con su propio sistema de referencia. Ya que cada una de las nubes de puntos tiene su sistema de referencia individual, y esto no aporta información. Uniendo todos estos datos, pretendemos darle utilidad a la gran cantidad de puntos que se tomaron en las distintas ubicaciones.

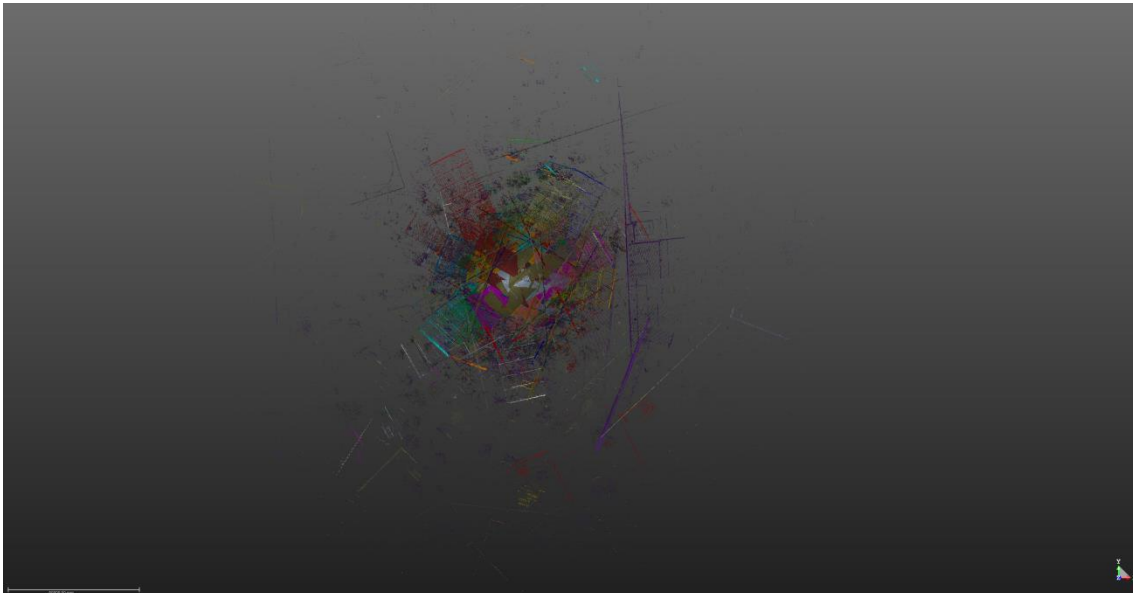


Figura 20 Nube de puntos del hangar sin correlacionar.

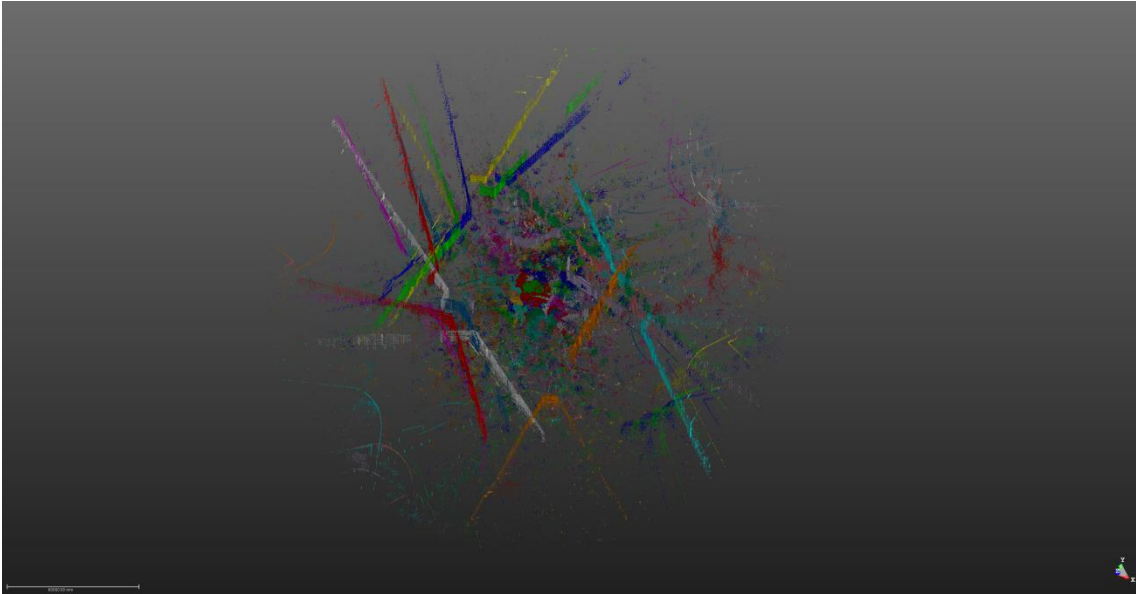


Figura 21 Nube de puntos del parque del Oeste sin correlacionar.

Lo primero que se tendrá que hacer, será utilizar el programa Trimble Realworks, el cual es óptimo para la realización de dicho proyecto, ya que el láser escáner Trimble TX6, pertenece a la misma compañía que el software.

Se procederá a abrir los escaneados que se encuentran en formato tzf, se guardará todo en un proyecto rwp.

Antes de proceder a registrar, hay que saber, que cuantos más puntos tengamos en común, el software realizará mejor la unión. Con tres puntos bien definidos, el software podrá realizar las rotaciones y traslaciones pertinentes, de una forma automática, para poder alinear las distintas nubes de puntos. Cuanto más solape haya entre nubes de puntos que se quieran unir, mayor coherencia tendrá trabajo.

Pero el registro llevado a cabo para este trabajo, ha sido realizado de forma manual, ya que de esta forma evitaremos futuros errores producidos por una ineficiente detección de puntos de control, tomada de forma automática por el programa.

Por cada escaneado obtendremos una nube de puntos, y nuestro objetivo será unir todas esas nubes de puntos, resultado de los múltiples escaneados del levantamiento 3D, hasta formar una densa nube de puntos, que acapare toda la información integrada en los escaneados.

Para poder obtener la unión de todas las nubes de puntos, procederemos a correlacionar puntos iguales, de los distintos escaneados. De esta forma, uniremos los puntos del escaneado 1 con los puntos del escaneado 2 que sean iguales, esto nos dará la unión de las nubes de puntos del escaneado 1 con el escaneado 2, obteniendo así una sola nube de puntos con toda la información de las dos anteriores.

Ahora se tendrá que repetir el procedimiento anterior, uniendo los puntos que sean iguales del escaneado 3 con el ya procesado escaneado 1-2. Se repetirá este procedimiento hasta tener todos los escaneados correlaciones y obteniendo una sola gran nube de puntos que acapare toda la información. A este procedimiento se le denomina registro o registro de nube de puntos.

El objetivo principal de la realización de este proyecto es el modelado del avión, por lo que es necesario segmentar la nube de puntos y quedarnos solo con los datos que nos interesen. Que en este caso son los puntos que forman el avión.

-Procesamiento de datos del avión Dassault Mirage F1

Para el avión del hangar modelo Dassault Mirage F1, se realizaron 23 escaneados.

El primer paso fue registrar las 23 nubes de puntos, y el resultado final fue la unión de todas estas, en una gran nube de puntos con una alta densidad.

Se obtuvieron 40.953.756 puntos.

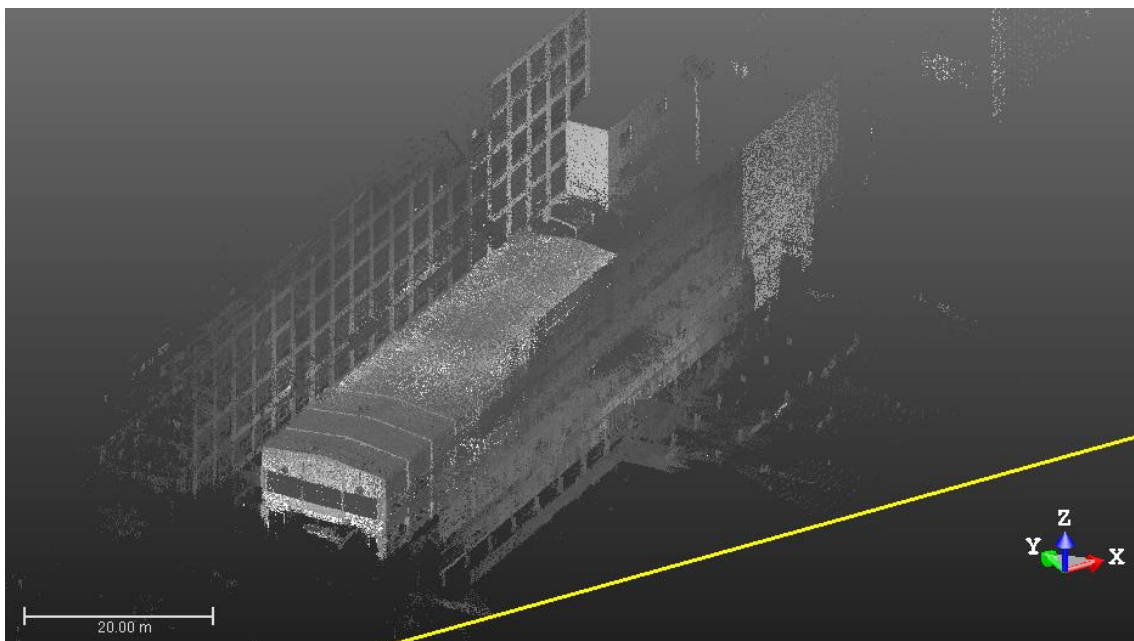


Figura 22 Nube de puntos del hangar.

Obteniendo la gran nube de puntos ya correlacionada, procederemos a segmentar, de esta forma nos quedaremos con un número reducido de puntos, en los cuales estarán los puntos de interés del avión y los que se situaban alrededor. Pasando así a 6.855.998 puntos.

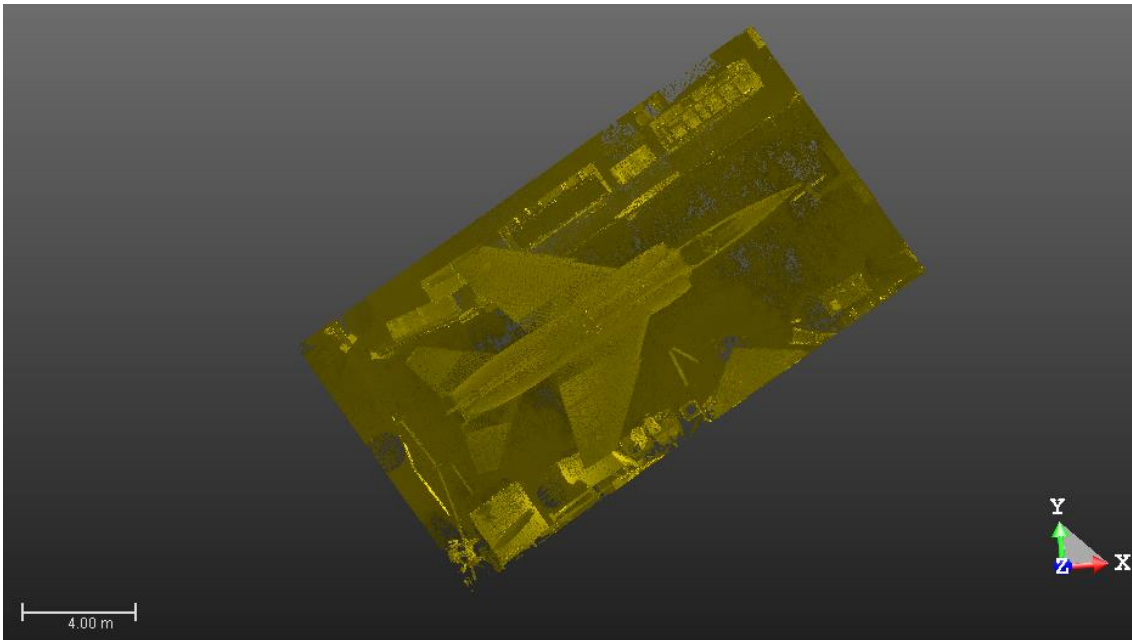


Figura 23 Segmentación media del avión Dassault Mirage F1.

En este punto, procederemos a realizar la última segmentación, donde se nos quedarán los puntos realmente necesarios, que son los pertenecientes al avión, con un total final de 1.374.578 puntos. De esta forma ya tendríamos realizada la segmentación completa.

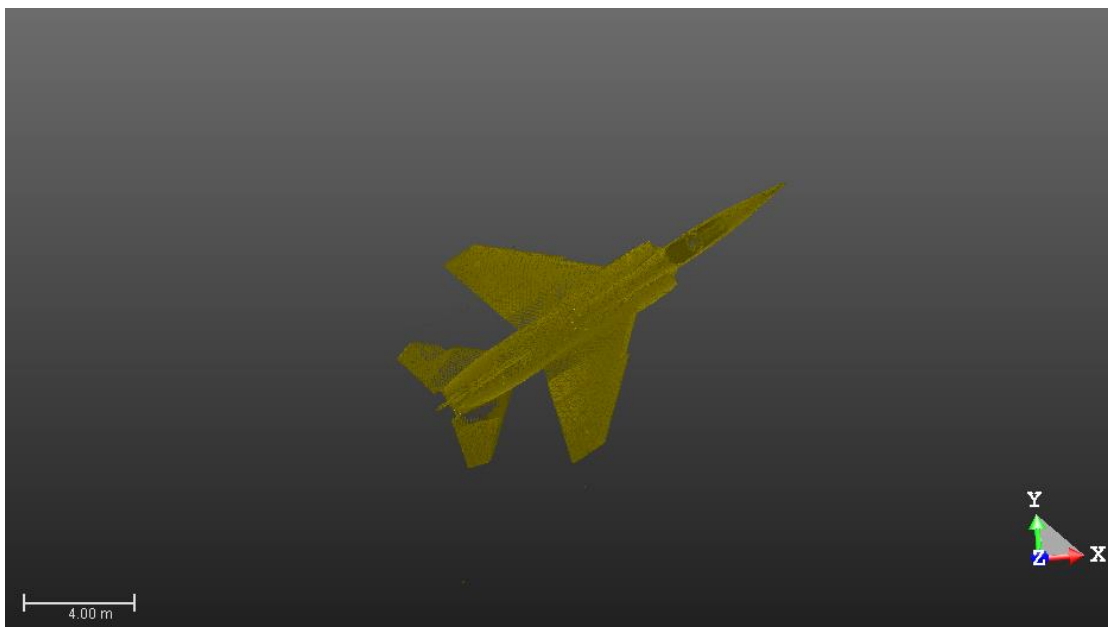


Figura 24 Segmentación final del avión Dassault Mirage F1.

A continuación se muestra el informe de los escaneados del Dassault Mirage F1.

Registration Report (using Extracted Scans)

User Name: Carlos Félix González

Date: Fri May 3 21:22:22 2019

Project Name: HANGAR Project

Length Measurement Units: Meters

Coordinate System: X, Y, Z

Overall Cloud-to-Cloud Error: 2.05 mm

hangar2019_Station 009_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
100%	hangar2019_Station 028_Scan 01	1.23 mm	81%	

hangar2019_Station 010_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
100%	hangar2019_Station 025_Scan 01	1.30 mm	80%	

hangar2019_Station 008_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
100%	hangar2019_Station 009_Scan 01	1.53 mm	78%	

hangar2019_Station 011_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
100%	hangar2019_Station 026_Scan 01	1.41 mm	77%	

hangar2019_Station 010_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
100%	hangar2019_Station 028_Scan 01	1.36 mm	74%	

hangar2019_Station 027_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
100%	hangar2019_Station 028_Scan 01	1.87 mm	69%	

hangar2019_Station 021_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
100%	hangar2019_Station 028_Scan 01	1.10 mm	74%	

hangar2019_Station 025_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
100%	hangar2019_Station 026_Scan 01	1.82 mm	65%	

hangar2019_Station 001_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
59%	hangar2019_Station 009_Scan 01	2.44 mm	62%	

hangar2019_Station 001_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
86%	hangar2019_Station 002_Scan 01	2.65 mm	61%	

hangar2019_Station 007_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
--	-------------	----------------------	-----------------------	------------

(%)

hangar2019_Station 019_Scan 01	1.90 mm	65%
--------------------------------	---------	-----

100%

hangar2019_Station 002_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
hangar2019_Station 003_Scan 01	3.09 mm	51%	

(%)

53%

hangar2019_Station 019_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
hangar2019_Station 020_Scan 01	1.50 mm	71%	

(%)

100%

hangar2019_Station 011_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
hangar2019_Station 019_Scan 01	1.99 mm	63%	

(%)

100%

hangar2019_Station 011_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
hangar2019_Station 013_Scan 01	1.77 mm	64%	

(%)

100%

hangar2019_Station 006_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
hangar2019_Station 019_Scan 01	2.56 mm	55%	

(%)

100%

hangar2019_Station 005_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
hangar2019_Station 016_Scan 01	2.05 mm	57%	

(%)

100%

hangar2019_Station 013_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
100%	hangar2019_Station 014_Scan 01	1.46 mm	66%	

hangar2019_Station 011_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
100%	hangar2019_Station 012_Scan 01	2.62 mm	44%	

hangar2019_Station 005_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
100%	hangar2019_Station 006_Scan 01	3.74 mm	38%	

hangar2019_Station 004_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
26%	hangar2019_Station 016_Scan 01	2.88 mm	51%	

hangar2019_Station 014_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
100%	hangar2019_Station 015_Scan 01	2.15 mm	52%	

hangar2019_Station 017_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
100%	hangar2019_Station 018_Scan 01	1.68 mm	55%	

hangar2019_Station 018_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

(%)	Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence
57%	hangar2019_Station 026_Scan 01	3.14 mm	22%	

-Procesamiento de datos del avión North American F-86 Sabre

Para el avión del Parque del Oeste modelo North American F-86 Sabre, se realizaron 12 escaneados.

El primer paso fue registrar las 12 nubes de puntos, y el resultado fue la unión de todas estas, en una gran nube de puntos con una alta densidad.

Se obtuvieron 15.701.970 puntos.

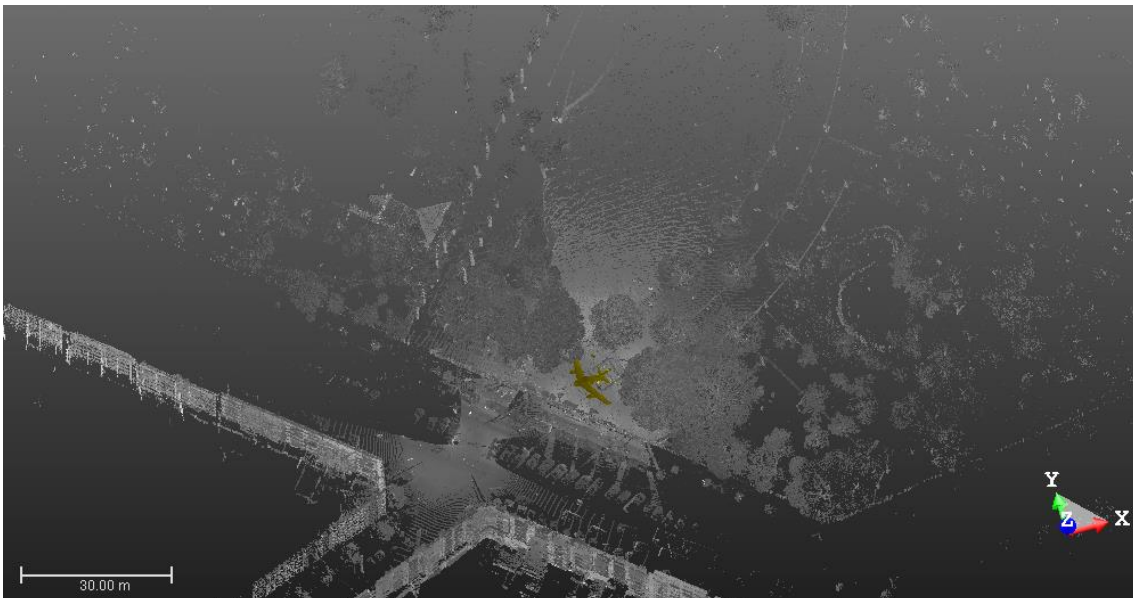


Figura 25 Nube de puntos del parque del Oeste.

Procederemos a segmentar hasta quedarnos con un número reducido de puntos, en los cuales, se encontrarán los puntos de interés del avión y los circundantes, quedándonos con un número de puntos de 2.498.274.

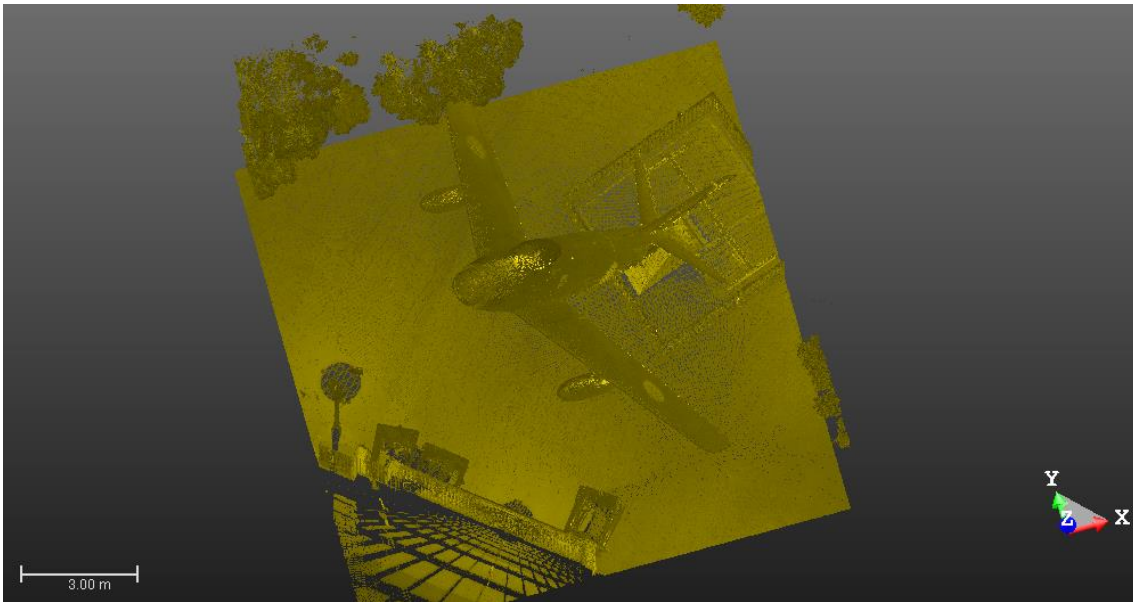


Figura 26 Segmentación media del avión North American F-86 Sabre.

En este punto, realizaremos el último proceso de segmentación, donde se nos quedarán los puntos realmente necesarios, los que pertenecen al avión, con un total final de 456.509 puntos. De esta forma ya tendríamos realizada la segmentación completa.

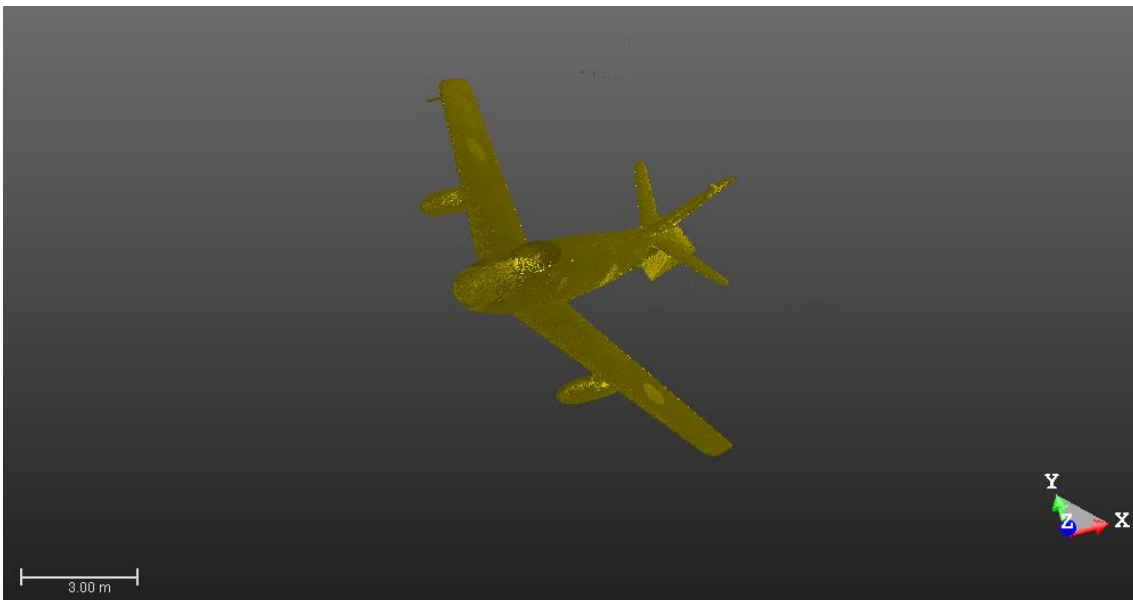


Figura 27 Segmentación final del avión North American F-86 Sabre.

Tras la obtención del avión, en forma de nube de puntos, pasaremos a modelarlo dándole texturas y mallas para mejorar su visualización y manipulación.

A continuación se muestra el informe de los escaneados del North American F-86 Sabre.

Registration Report (using Extracted Scans)

User Name: Carlos Félix González

Date: Fri May 3 21:27:45 2019

Project Name: PARQUE OESTE Projectpo

Length Measurement Units: Meters

Coordinate System: X, Y, Z

Overall Cloud-to-Cloud Error: 2.46 mm

AvionPO_Station 003_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence (%)
AvionPO_Station 004_Scan 01	1.63 mm	64%	
100%			

AvionPO_Station 005_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence (%)
AvionPO_Station 006_Scan 01	2.14 mm	57%	
100%			

AvionPO_Station 004_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence (%)
AvionPO_Station 005_Scan 01	2.38 mm	51%	
100%			

AvionPO_Station 001_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence (%)
AvionPO_Station 002_Scan 01	1.62 mm	59%	
100%			

AvionPO_Station 002_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence (%)
AvionPO_Station 011_Scan 01	1.64 mm	48%	
100%			

AvionPO_Station 006_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence (%)
AvionPO_Station 007_Scan 01	2.20 mm	53%	

100%

AvionPO_Station 003_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence (%)
AvionPO_Station 011_Scan 01	1.84 mm	39%	

100%

AvionPO_Station 007_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence (%)
AvionPO_Station 008_Scan 01	2.08 mm	40%	

100%

AvionPO_Station 007_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence (%)
AvionPO_Station 009_Scan 01	2.05 mm	49%	

100%

AvionPO_Station 003_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence (%)
AvionPO_Station 010_Scan 01	4.15 mm	19%	

100%

AvionPO_Station 007_Scan 01 - 1 Station(s) with Points in Common -

Object Name	Cloud-to-Cloud Error	Coincident Points (%)	Confidence (%)
AvionPO_Station 012_Scan 01	5.30 mm	6%	

0%

7. Modelado 3D

La última fase del tratamiento de datos, es la del modelado 3D, el cual nos dará la información que precisamos. Con esta información se podrá comparar las dos aeronaves en su totalidad y sacar las conclusiones pertinentes.

Para realizar la modelización tridimensional, se necesitará exportar la aeronave segmentada deseada, desde el programa Trimble Realworks en formato e57. Luego se abrirá dicha nube de puntos, con el programa 3D Reshaper.

-Modelado 3D del avión Dassault Mirage F1

Con el programa 3D Reshaper se abrirá la nube de puntos segmentada (los puntos de interés) de nuestro caza Dassault Mirage F1. Cuando esta información este cargada en el programa, seleccionaremos el avión, obteniendo así textura de un color único.

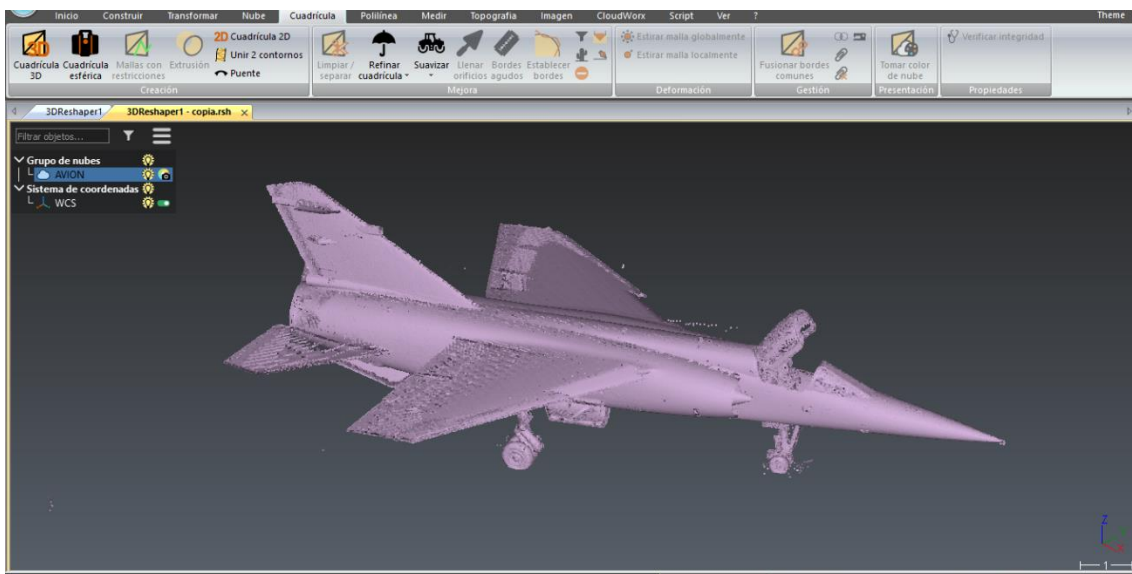


Figura 28 Avión a modelar.

Hecho esto, nos dirigiremos a la herramienta cuadrícula -> cuadrícula 3D, aun teniendo seleccionada la aeronave, se abrirá una pestaña, ajustaremos los parámetros y de esta forma obtendremos una malla 3D.

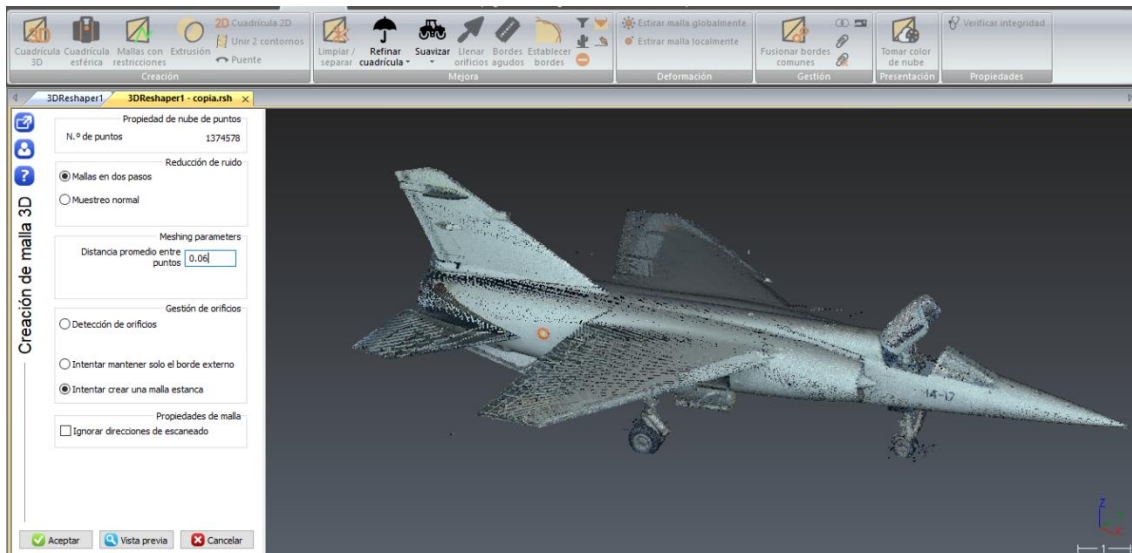


Figura 29 Ajuste de parámetros, para la creación del mallado 3D.

La malla creada, cubrirá toda la nube de puntos, formando así una superficie rugosa, la cual permitirá apreciar con mayor facilidad los errores que se han formado.

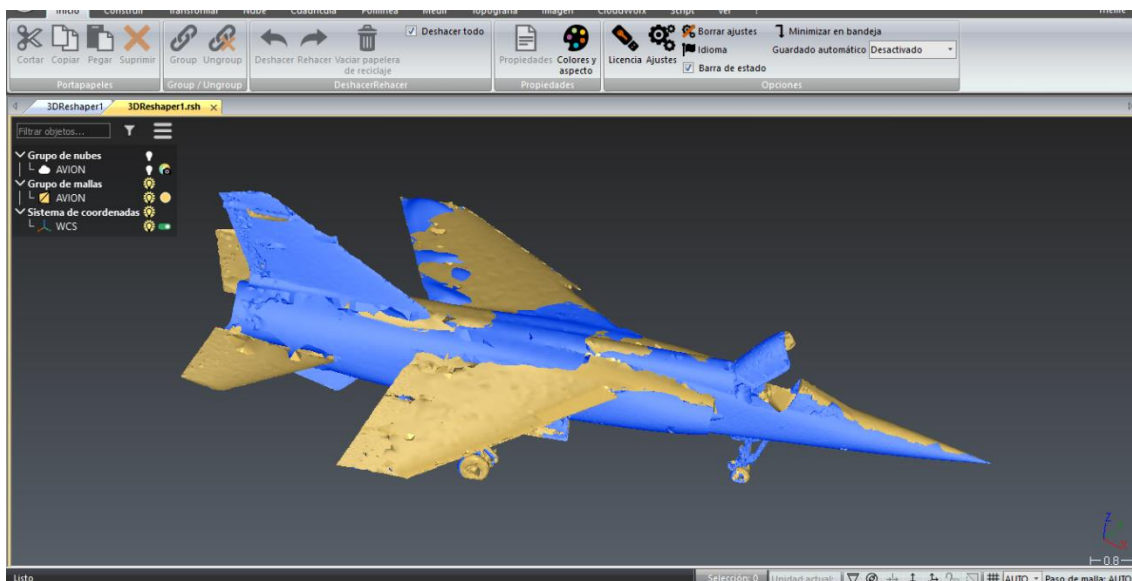


Figura 30 Malla 3D del avión Dassault Mirage F1.

En este punto, si existiesen errores se corregirían con la herramienta limpiar/separar. En la siguiente fotografía, apreciamos como el tren de aterrizaje principal, se encuentra deformado. Por lo que procederemos a limpiar la zona, dejándola acorde a la realidad.

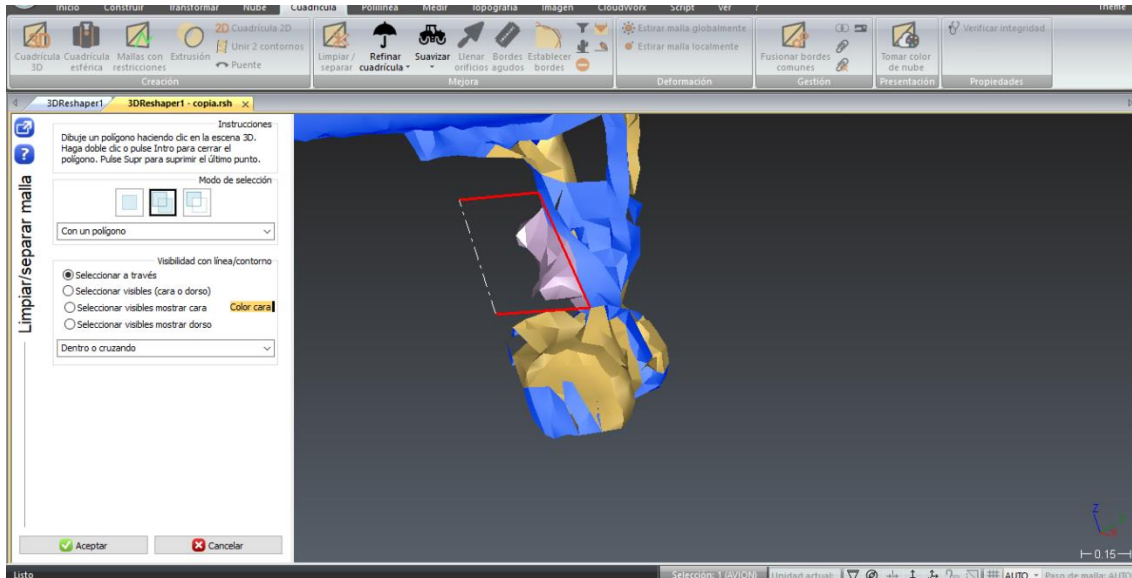


Figura 31 Limpieza de deformidades.

Cuando todas las deformidades hayan sido tratadas con éxito, nos fijaremos si existen huecos incompletos o sin rellenar. Si es así, con la herramienta llenar orificios se corregirán las imperfecciones del avión. En la siguiente fotografía, se aprecia como el ala de la aeronave, no se une correctamente con el fuselaje de la misma. Por lo que se tendrá que rellenar el orificio con la herramienta mencionada con anterioridad.

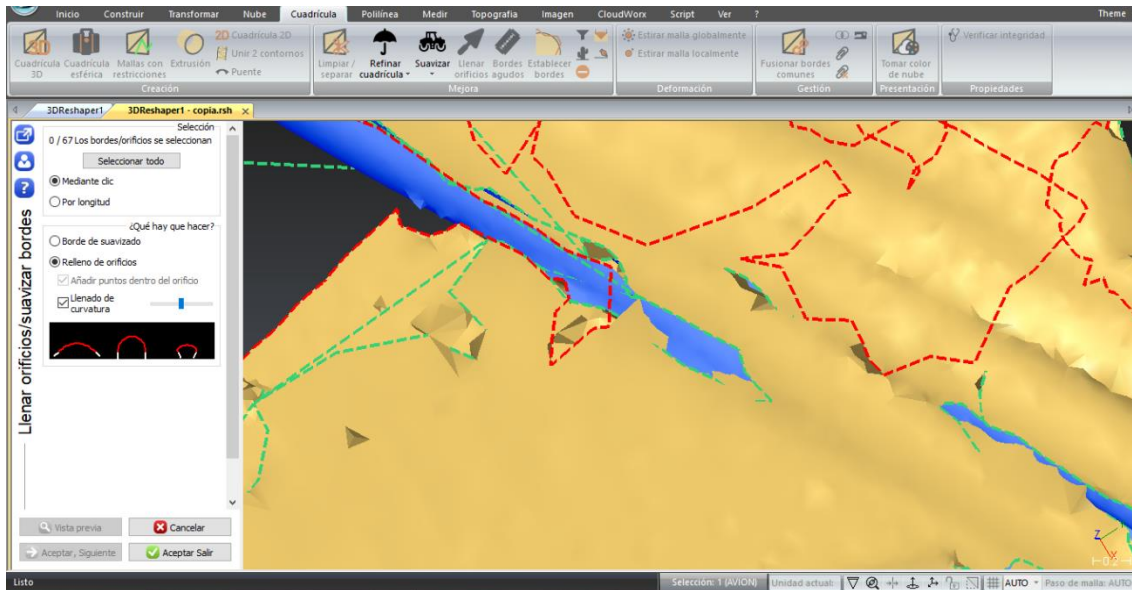


Figura 32 Herramienta rellenar huecos.

El ultimo tratamiento, será la de suavizar texturas. Así se apreciará el modelo de una forma mucho más estética. Este procedimiento se realiza, porque la obtención de un modelado rugoso no es estéticamente aceptable a la finalidad del trabajo. Cuando ya tengamos el modelo 3D formado, se podrá visualizar desde diferentes puntos de vista.

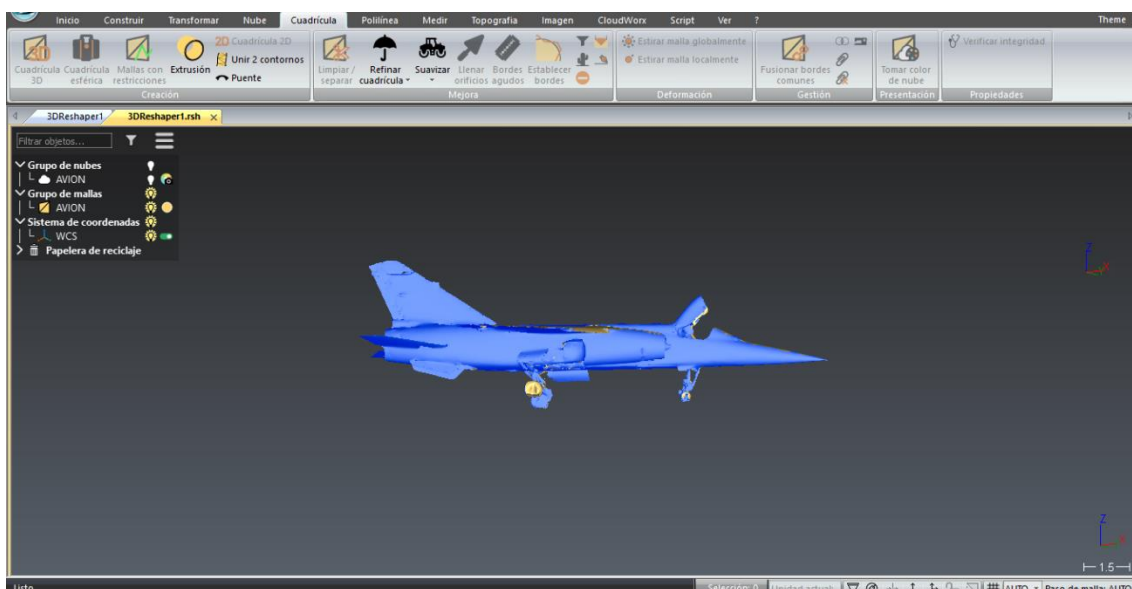


Figura 33 Modelo 3D del avión Dassault Mirage F1.

-Modelado 3D del avión North American F-86 Sabre

Para modelar el caza North American F-86 Sabre, seguiremos el mismo procedimiento que del caza Dassault Mirage F1.

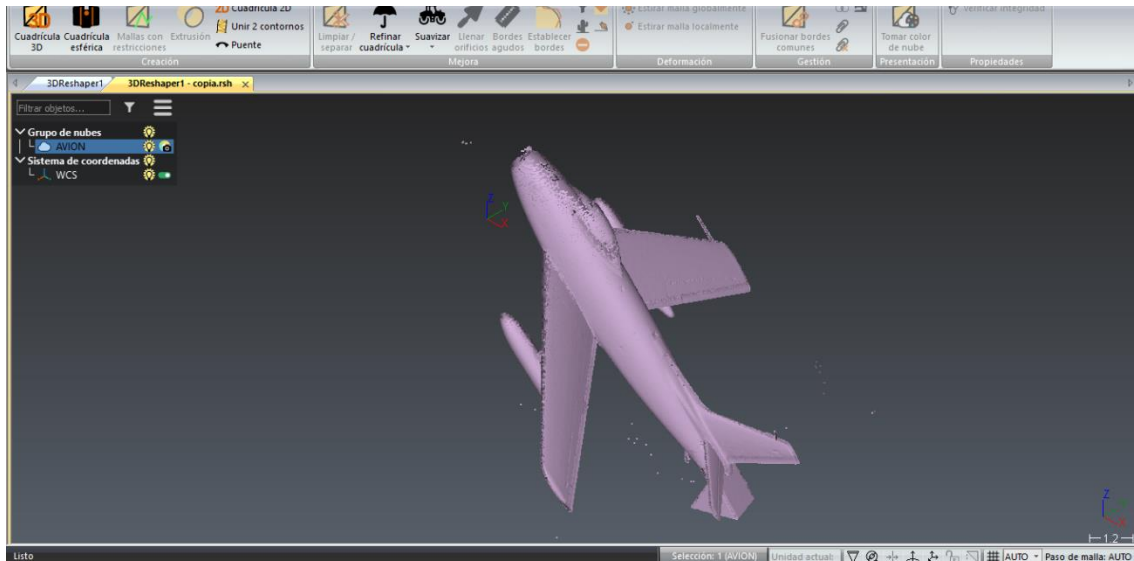


Figura 34 Nube de puntos del caza North American F-86 Sabre. 3D Reshaper.

Se cargará la nube de puntos de nuestro avión en el programa 3D Reshaper, y se procederá a crear una malla tridimensional, que nos permitirá divisar los errores formados con mayor facilidad.

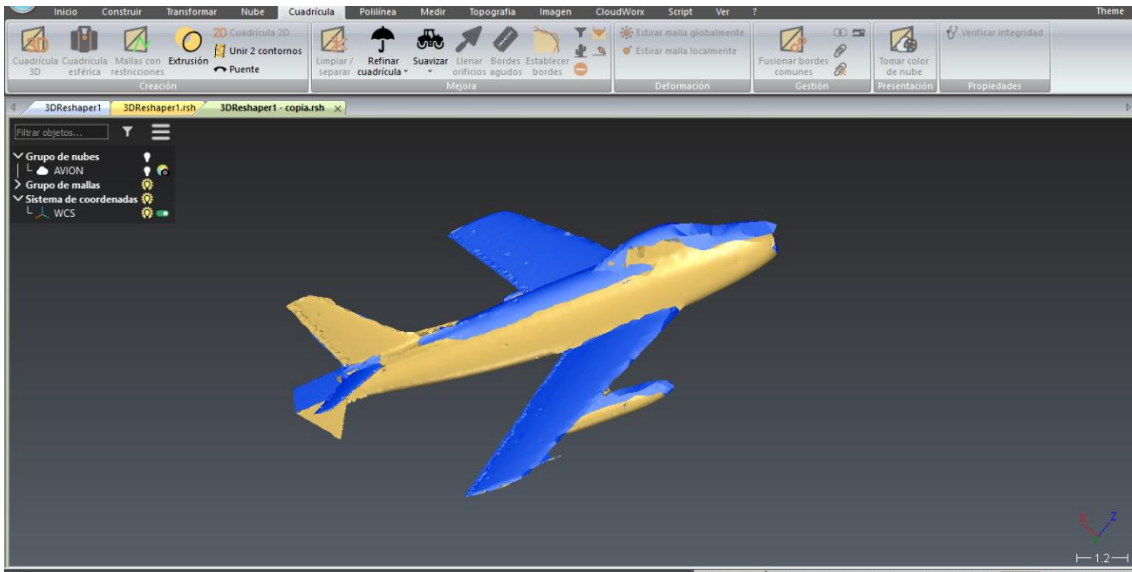


Figura 35 Visualización del mallado 3D en el caza F-86 Sabre.

Antes de crear el mallado, hay que indicar los ajustes que se quieran emplear en el modelado. Como se muestra en la siguiente fotografía.

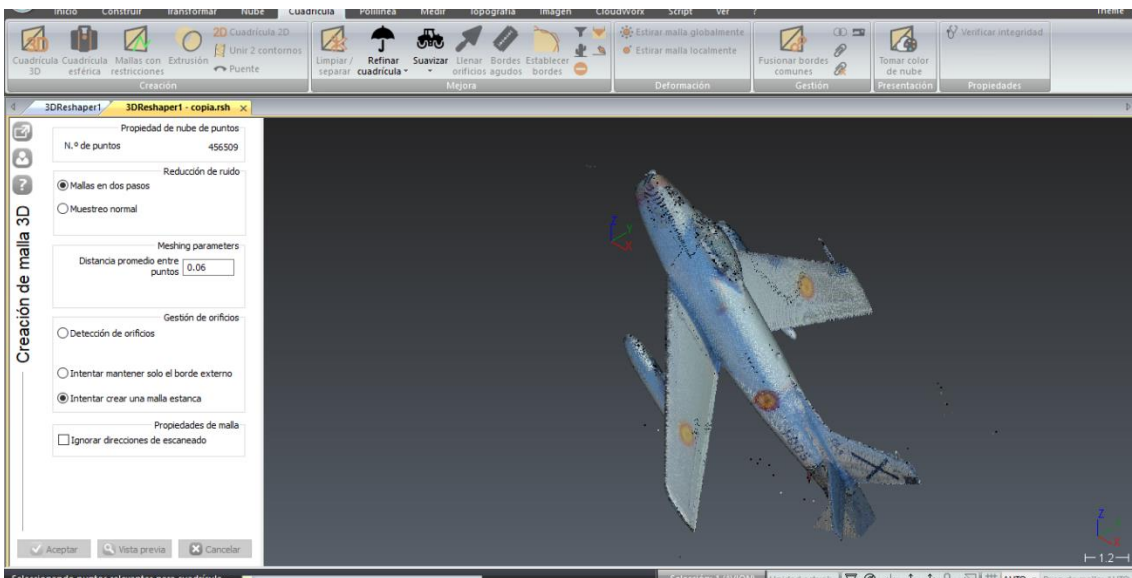


Figura 36 Opciones del mallado 3D.

Cuando tengamos la malla creada, procederemos a visualizar el avión y detectar posibles errores. En el caso del caza North American F-86 Sabre, podemos ver como la zona más elevada, se encuentra sin información. Esto es debido a la imposibilidad de captar datos del escáner en los puntos del pico del caza, ya que se situaba en una zona alta y vertical

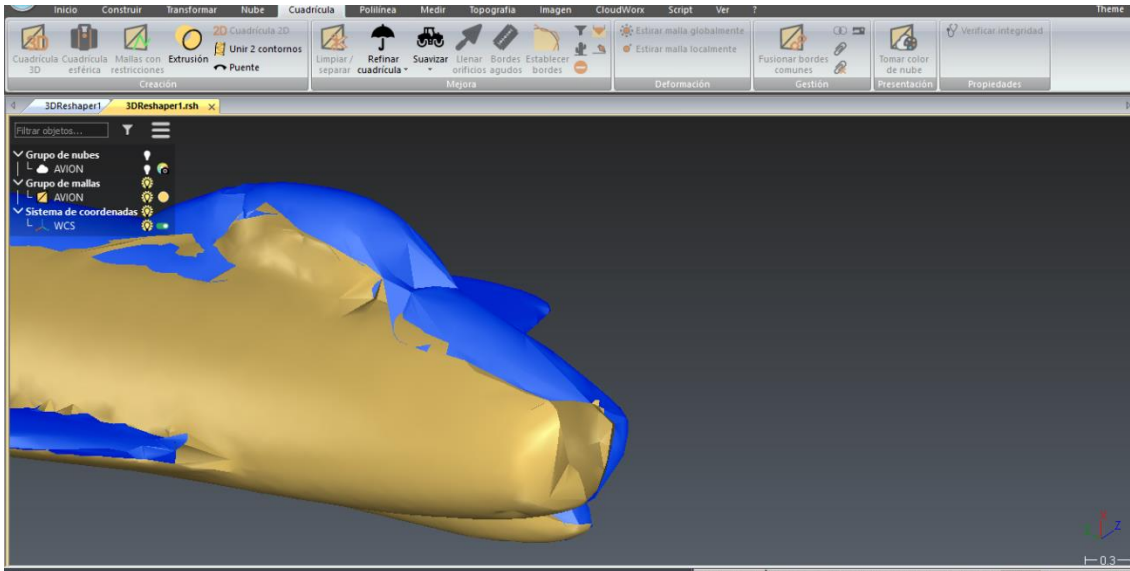


Figura 37 Falta de información en la punta del avión.

Procederemos a rellenar el hueco formado en la punta del avión con la herramienta llenar orificios y de esta forma corregir las imperfecciones de la superficie del caza. A parte de esta imperfección, también tendremos que corregir las incongruencias que vayamos encontrando.

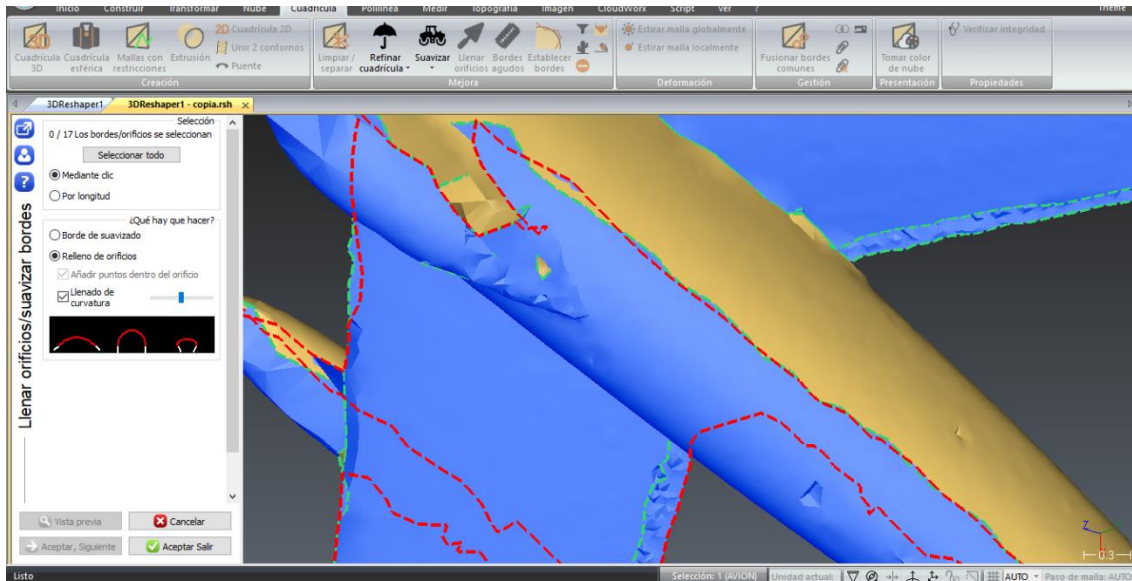


Figura 38 Herramienta rellenar orificios.

Una utensilio que sirve para dejar el modelo 3D más acorde con la realidad, es la conocida herramienta limpiar/separar, la cual también sirve para corregir errores. Como podemos ver en la siguiente fotografía, el ala del caza, presenta un pico, el cual no se encuentra en el avión a modelar. Por lo que procederemos a deshacernos de ella.

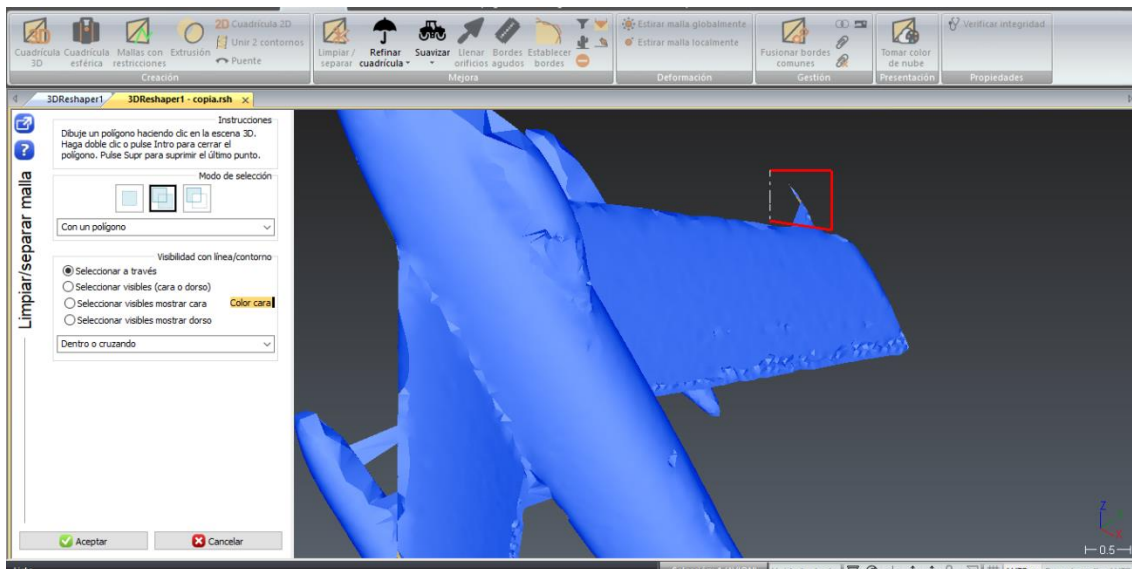


Figura 39 Herramienta limpiar/separar.

Cuando veamos que el modelo 3D está correctamente formado, se procederá a suavizar el mallado, dejando el modelado del caza North American F-86 Sabre, listo para su posterior tratamiento y visualización.

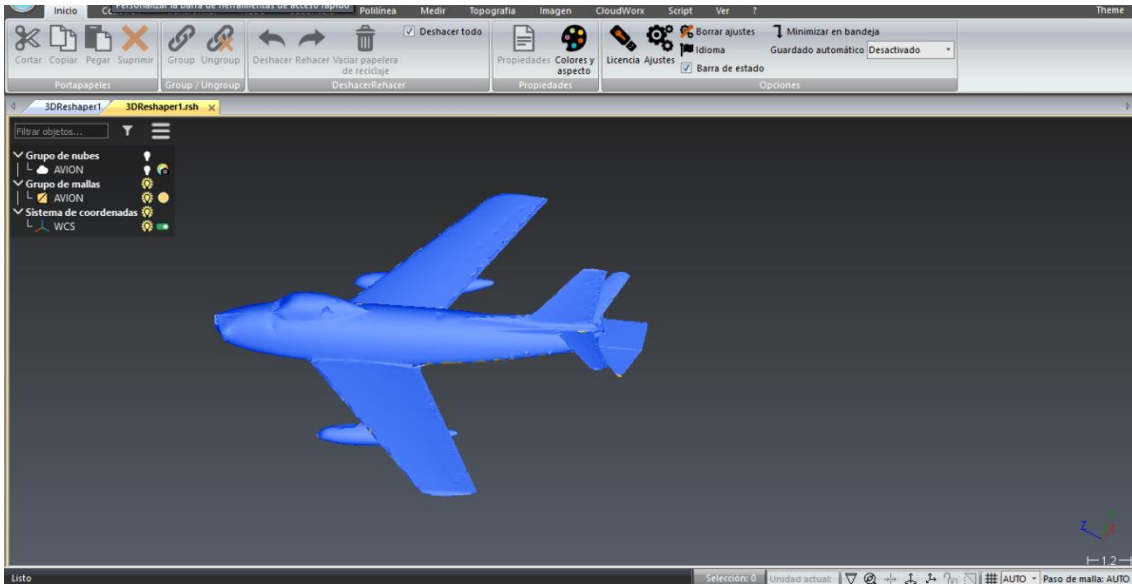


Figura 40 Modelo 3D del North American F-86 Sabre.

8. Resultados obtenidos

Los resultados que se obtienen tras realizar el proyecto son ficheros digitales en donde esta toma la información de la geometría de los aviones en magnitud real. Para presentar unos resultados gráficos en este documento, se han seleccionado una serie de vistas resumidas en las siguientes imágenes, donde se pueden visualizar las nubes de puntos y los modelos digitales 3D de las aeronaves desde distintas perspectivas, ofreciendo así, el resultado final de las nubes de puntos ya tratadas.

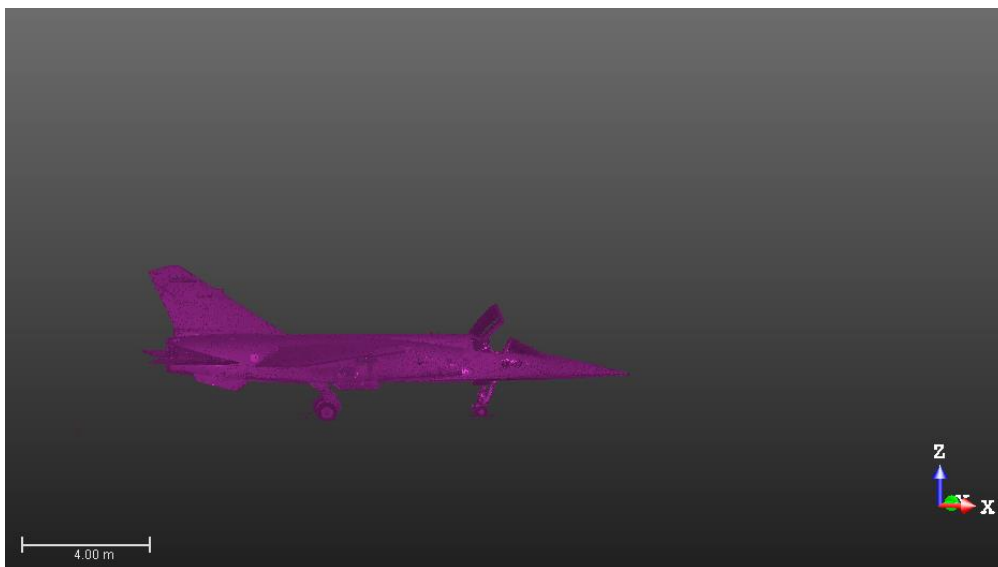


Figura 41 Nube de puntos –Vista Frente.

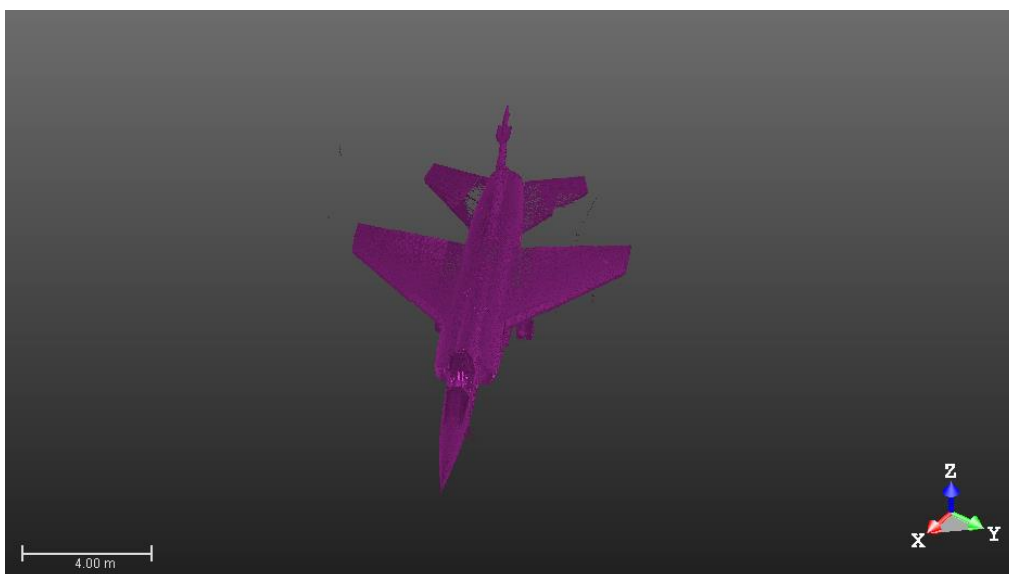


Figura 42 Nube de puntos – Vista Arriba.



Figura 43 Nube de puntos – Vista isométrica.

En las figuras anteriores 41, 42 y 43 se muestran las nubes de puntos ya tratadas del levantamiento industrial del caza Dassault Mirage F1, desde diferentes puntos de vista.

En las siguientes figuras 44, 45 y 46 se muestran las nubes de puntos ya tratadas del levantamiento industrial del caza North American F-86 Sabre, desde diferentes puntos de vista.

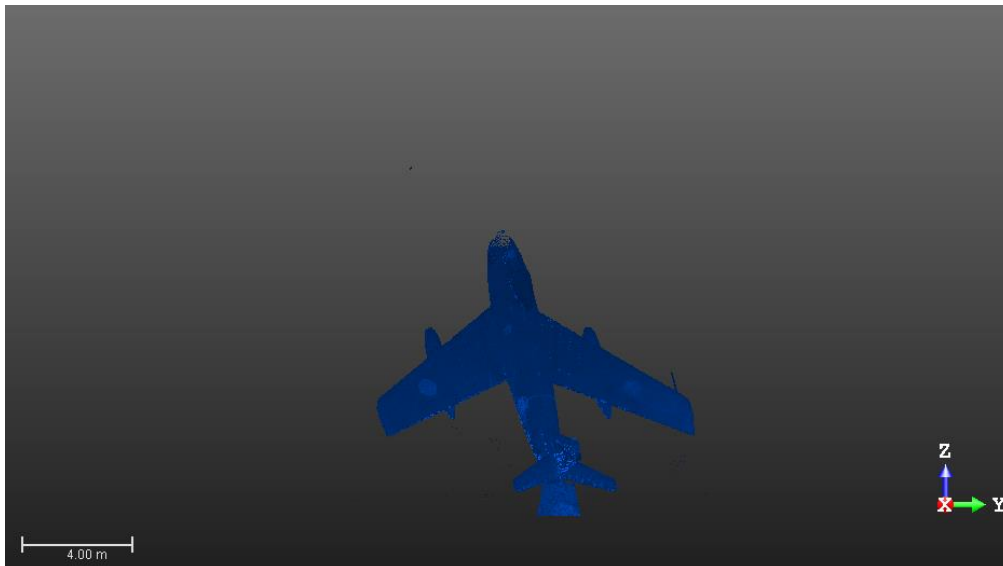


Figura 44 Nube de puntos –Vista Frente.

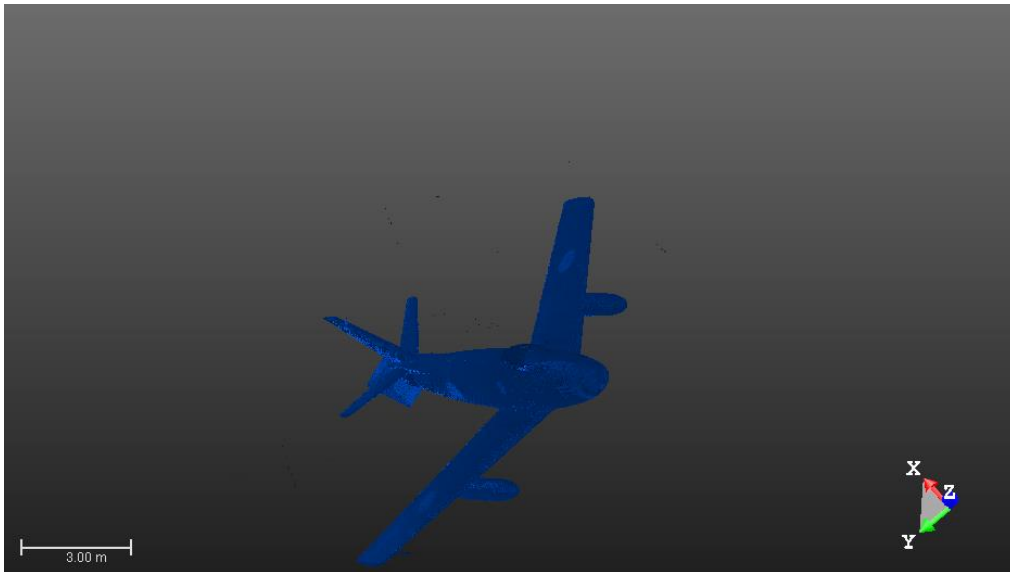


Figura 45 Nube de puntos – Vista Arriba.



Figura 46 Nube de puntos – Vista isométrica.

Cuando se finaliza el proceso de limpieza y corrección de las nubes de puntos, se obtienen los modelos digitales tridimensionales. Previamente se ha procedido a un suavizado de las distintas mallas creadas, obteniendo así, el resultado final.

A continuación se muestran varias perspectivas de los modelos 3D obtenidos:

Observando los resultados obtenidos por el láser escáner Trimble TX6, se puede decir que los datos son tolerables para la realización de un modelado tridimensional, ya que son realmente aplicables a un trabajo industrial. Esto es posible, por el gran avance tecnológico sufrido en estos últimos años, ya que la toma de datos realizada con el láser escáner, fue rápida y precisa. No como antaño, que era impensable la adquisición de datos de una forma tan eficaz y con una alta precisión.



Figura 47 Modelo 3D – Alzado Dassault Mirage F1.

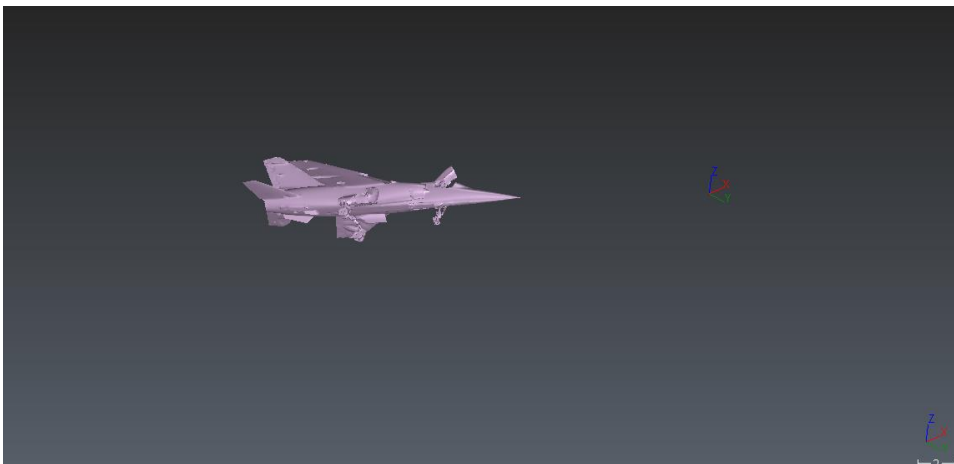


Figura 48 Modelo 3D - Vista isométrica Dassault Mirage F1.

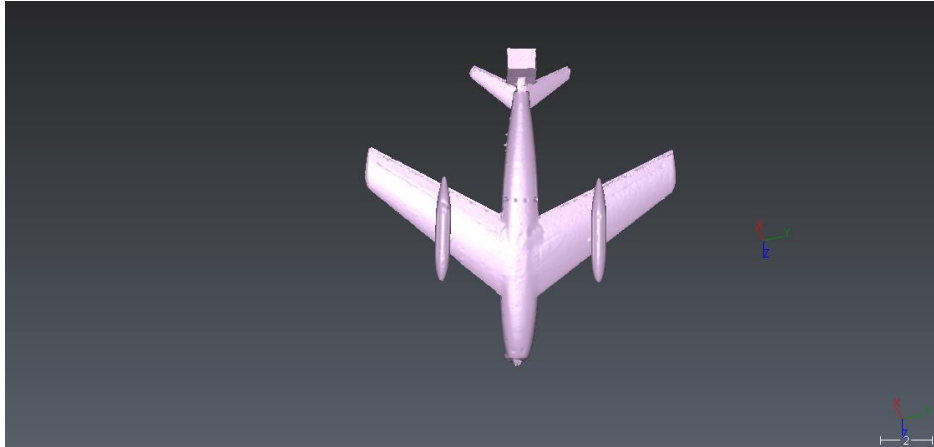


Figura 49 Modelo 3D – Alzado North American F-86 Sabre

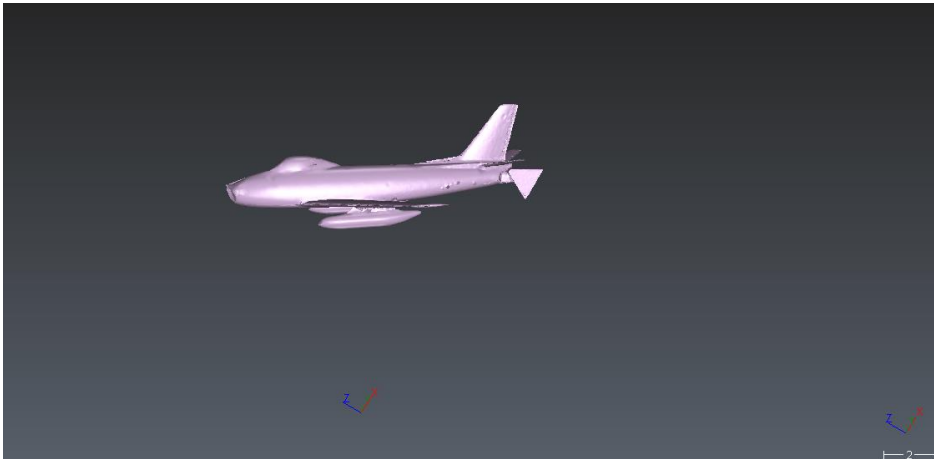


Figura 50 Modelo3D - Vista isométrica North American F-86 Sabre

Y por último, y como aplicación industrial se presentan un pequeño estudio de ingeniería inversa mediante la realización de una serie de medidas realizadas en el modelo obtenido en este trabajo fin de grado.

Para ello, se ha seleccionado el caza militar Mirage F1, el cual posee una serie de dimensiones determinadas, las cuales ha sido establecida en el proceso de diseño del mismo. Estas medidas pueden ser comparadas con las obtenidas a partir del modelo tridimensional desarrollado con el programa 3DReshaper. Además, se podrá comprobar si el modelo obtenido a partir de la nube de puntos del sistema de medición resulta obtener un aceptable grado de exactitud, comparado para ello la medida obtenida mediante el software, con la definida en los planos de la aeronave. Lo cual representará detalle que se puede llegar a logra mediante este sistema de medición.

De esta forma, con el programa 3DReshaper se pueden obtener las dimensiones de longitud, envergadura, altura y superficie alar del avión, por ejemplo, con el objetivo de contrastar unas y otras.

En las figuras 51 y 52 se muestra la medición lineal de las magnitudes de envergadura y altura del avión:

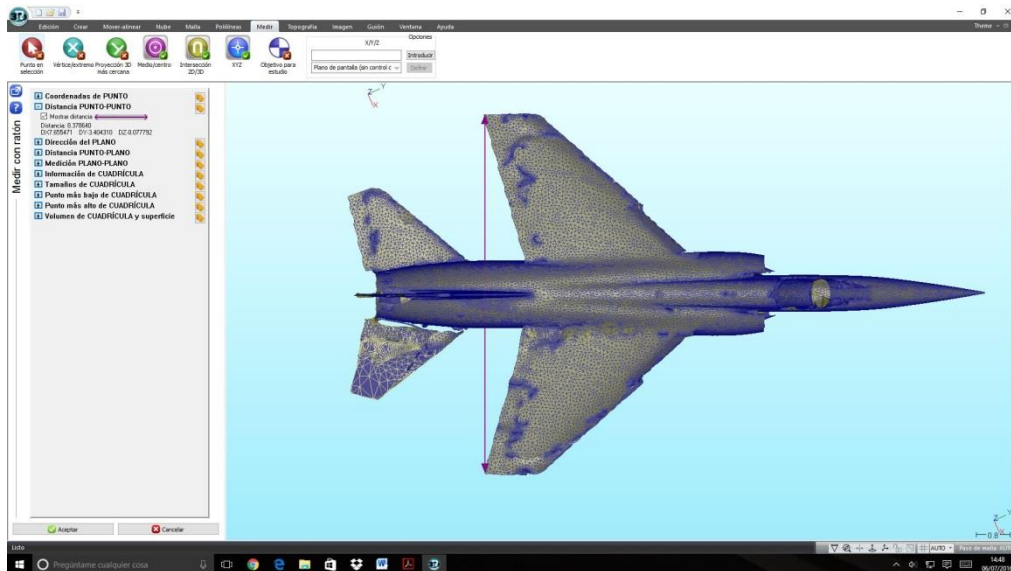


Figura 51 Medición de la envergadura

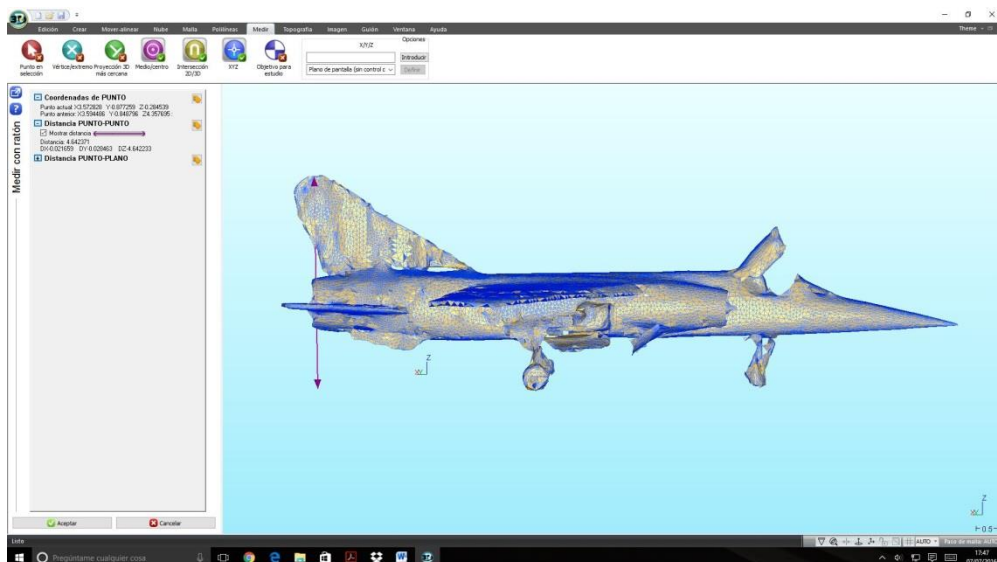


Figura 52 Medición de la altura

Para obtener el valor de la superficie alar de la aeronave con el programa 3DReshaper, se ha aproximado el ala a un trapecio perfecto, lo cual resulta bastante preciso, ya que las alas del Mirage F1 son trapeciales con cierta flecha. En las figura 53 se muestra la medición superficial de la magnitud de superficie alar:

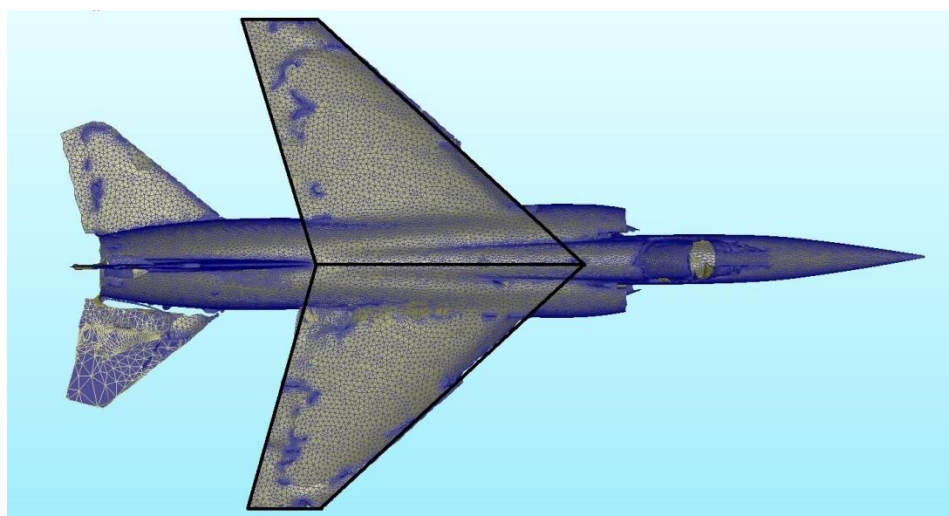


Figura 53 Medición de la superficie alar

Por lo tanto, realizando la medición de las bases del trapecio mediante 3DReshaper, se obtiene un valor para dicha superficie correspondiente a las alas.

En la tabla siguiente se muestran las distintas medidas del avión Dassault Mirage F1:

Medición	Real	Modelo 3D
Longitud	15.3 m	15.27173
Envergadura	8.4 m	8.378640
Altura	4.5 m	4.513362
Superficie Alar	25.0 m ²	25.07676

Observando la tabla se puede observar que los valores obtenidos mediante el programa 3DReshaper, resultan tener un gran grado de exactitud bastante elevado, ya que estos números difieren en una pequeña cantidad de los definidos en los planos de la aeronave.

9. Presupuesto

Al realizar un presupuesto, se realizará desde una perspectiva de un trabajador autónomo, el cual dispone de mano de trabajo. Por lo que hay que tener en cuenta varios factores, los cuales afectaran significativamente en la suma total del presupuesto final.

Uno de esos factores a tener en cuenta, es el salario del trabajador. Para poder obtener lo que le costaría al autónomo contratar a dicho ingeniero en Geomática y Topografía, habrá que ceñirse al salario base dictaminado por el convenio.

También será de vital importancia, saber la duración de dicho proyecto, el trabajo realizado tendrá una duración de 15 días. Hay que ser cauto, por lo que es conveniente dejar un margen de seguridad a la hora de presupuestar un proyecto, pues pueden surgir imprevistos, los que causaran un incremento económico a la hora de realizar el trabajo.

El margen de beneficio industrial de la empresa será del 25% del coste total del proyecto realizado.

Hay que saber, que al realizar cualquier trabajo, será necesaria una inversión inicial, la cual será efectuada por parte del autónomo, para poder llevar a cabo el proyecto. Esto supone cierto riesgo, ya que el coste de nuestro proyecto es elevado, y hay alrededor de un 3% de trabajos no pagados a final de año.

Entonces para poder presupuestar de forma correcta el proyecto, habrá que tener en cuenta las distintas herramientas y objetos que se deberán alquilar, los programas que se utilizaran y el sueldo que se pagará al empleado encargado de realizar el trabajo.

Para saber a cuanto se paga la hora a un ingeniero en Geomática, se accederá al boletín oficial del estado, donde se puede encontrar el salario base, de todas las profesiones clasificadas por categorías. Se escogerá la tabla que se adecue a la profesión requerida. Obteniendo así un salario base, reflejado en la siguiente tabla.

CATEGORIAS AD PERSONAM		Salarios a partir del 01-01-2019			Salarios a partir del 31-12-2019		
		Salario Base	Plus Convenio	Salario Total	Salario Base	Plus Convenio	Salario Total
	Tit. grado superior	23.542,78	1.646,24	25.189,02	23.542,78	1.646,24	25.189,02
	Tit. grado medio	17.004,81	1.200,51	18.205,32	17.004,81	1.200,51	18.205,32
	Definiente	13.302,77	936,00	14.238,77	13.302,77	936,00	14.238,77

Figura 54 Tabla del salario base del boletín oficial del estado.

Salario total sin la seguridad social al año: 25189.02 euros.

Sabiendo el salario total, tocara aplicar la seguridad social, que tendría que pagar el autónomo.

Se supone que es el 40% del salario total, que suma una cantidad al año de 10075.608 euros.

Por lo que queda un salario anual de 35264.628 euros.

Lo que corresponde a una mensualidad de 2938.719 euros.

Ahora se pretende saber cuánto paga un autónomo la hora trabajada del ingeniero.

Al año se trabajan unas 48 semanas, y se trabajan unas 40 horas a la semana, es decir, 8 horas al día. Haciendo cálculos, un empleado trabaja unas 1920 horas al año.

Por lo que dividiendo el salario anual total, entre las horas laborables anuales. Nos sale una cantidad de 18.40 euros/hora.

Como el proyecto se realiza en 15 días, se dedicaran 120 horas. Lo que suma una cantidad de 2204 euros en la quincena. Esta cantidad es la cobrará el ingeniero.

Ahora pasaremos a calcular lo que costara el software y el hardware para poder realizar el proyecto.

Para poder procesar los datos y realizar el modelado 3D, se necesitará un equipo potente para poder trabajar con fluidez. Por lo que se tendrá que comprar un equipo informático, ordenador y los demás componentes.

Un ordenador potente con todos sus accesorios, costara unos 1500 euros. El cual se amortizará en dos años. Obteniendo así un precio de 62.5 euros/mes y 2.08 euros/día.

Los gastos que cuesta abrir una oficina y poder afrontar los costes indirectos, es decir los costes generales, son de unos 2800 euros al mes. Esto quiere decir que se tendrá un gasto de 93.3 euros/día.

Para poder registrar, segmentar y construir el modelado 3D necesitaremos trabajar con programas industriales, lo que hace que se tenga que pagar unas licencias.

La licencia de Trimble RealWorks cuesta 128 euros/mes sin IVA, si se le aplica el IVA, suma una cantidad de 166.98 euros/mes. Por lo que se tendrá que pagar 5.56 euros/día.

La licencia de 3D Reshaper cuesta 1227 euros/año sin IVA, si se le aplica el IVA, suma una cantidad de 1484.67 euros/año. Por lo que se tendrá que pagar 4.07 euros/día.

Alquilar el Trimble TX6, tiene un coste de 600 euros/día sin IVA, si se le aplica el IVA, suma una cantidad de 726 euros/día.

Por último se tendrá que calcular el gasto que supone contratar un ingeniero en Geomática al realizar el trabajo. Es decir, el alquiler del coche más la gasolina gastada y a todo esto le sumamos las dietas pertinentes.

Las dietas tienen un coste de 7.7 euros/día, lo que hace tener un coste de dietas total de 116.55 euros la quincena.

Alquilar un coche cuesta 40 euros/día, si le sumamos el coste de la gasolina sumara un total de 49.1 euros/día.

Sabiendo que el trabajo se efectúa en 15 días, se calculará el coste total. Estos son los resultados obtenidos.

Actividades	Duración	Equipo	Materiales Usados	Gastos directos
Levantamiento Topográfico	1 día	1 ingeniero	1 coche 1 laser escáner	Dieta + alquiler coche + gasolina + alquiler láser escáner
Trabajo gabinete	14 días	1 ingeniero	Licencia de los 2 software + equipo informático + oficina	Dieta + oficina + amortización del equipo informático + licencias

*Las actividades se realizan de forma continua, por lo que no existe solape entre ellas

Figura 55 Tabla de las actividades realizadas y sus características.

Costes	Detalles	Total con IVA
Gastos generales	Costes indirectos -> 93,3 €/día por 14 días	1306,2
Compra equipo informatico	Amortizacion en dos años, 2,08 €/día por 14 días trabajados	29,12
Sueldo bruto ingeniero	18,4 €/hora por 15 días trabajados	2208
Dietas	7,77 €/día por 15 días trabajados	115,5
Alquiler coche + gasolina	40 €/día alquiler coche (usado solo 1 día) + 1,33 €/litro gasolina * 7 litros gastados	49,03
Alquiler TrimbleTX6	726 €/día con IVA incluido , usado solo 1 día	726
Licencia Trimble RealWorks	5,56 €/día con IVA incluido , usado 8 días	44,4
Licencia 3D Reshaper	4,07 €/día con IVA incluido, usado 6 días	24,3
	Coste de realizar el proyecto	4502,55
	Beneficio industrial del 25%	1125,6375
	Coste total del trabajo realizado	5628,1875

Figura 56 Tabla con el presupuesto final.

10. Conclusiones

Cuando el proyecto esta finalmente realizado, se puede sacar las conclusiones pertinentes, que determinaran si realmente merecía la pena haber desarrollado todo el trabajo.

Observando los resultados obtenidos por el láser escáner Trimble TX6, se puede decir que los datos son tolerables para la realización de un modelado tridimensional, ya que son realmente aplicables a un trabajo industrial. Esto es posible, por el gran avance tecnológico sufrido en estos últimos años, ya que la toma de datos realizada con el láser escáner, fue rápida y precisa. No como antaño, que era impensable la adquisición de datos de una forma tan eficaz y con una alta precisión.

Al trabajar con programas profesionales, creados especialmente para el procesamiento de nubes de puntos, el tratamiento que se aplica a los datos para poder obtener información de ellos, son precisos. Lo que hace que se pueda trabajar de forma segura al registrar y segmentar todas las nubes de puntos.

Cabe decir, que un levantamiento topográfico 3D, conlleva una toma de puntos de cientos de millones de puntos. Lo que hace que se tengan que procesar de una forma adecuada y tener una planificación previa. También en necesaria, la adquisición de un buen equipo informático, si se quiere trabajar de una forma fluida y eficaz. Ya que, con tanta información obtenida, sería imposible registrar, segmentar y crear un modelo 3D con un equipo que no estuviese preparado para ello.

Cuando se procede a correlacionar los puntos de las distintas nubes de puntos, se puede apreciar como el error de refinamiento está por debajo del máximo permitido para que el trabajo sea aceptable, y las nubes de puntos, entre ellas tienen un solapamiento alto, lo que hace ver, que la nube de puntos final, esta correcta y no hay incoherencias. Apreciables en las fotografías mostradas con anterioridad.

Ya acabado el modelado 3D de los aviones, apreciamos como las superficies están uniformes y bien tratadas, lo que hace posible poder sacar información relevante y poder trabajar con dichos modelos 3D, en otros proyectos. Como podría ser incorporarlos en algún videojuego o recrear aviones de esa época, con la información obtenida.

Al tratar los datos, se puede apreciar un error en el avión North American F-86 Sabre. Ya que al intentar crear el modelo 3D, se comprobó que en la punta del avión, faltaba información. Esto fue debido, a la gran altura y a la verticalidad en la que se encontrada la parte superior del F-86 Sabre, haciendo imposible la toma de puntos en esa superficie. Pero gracias a las herramientas que ofrece el programa 3D Reshaper, con varios procesos de corrección, se pudo solucionar.

A la hora de realizar la toma de datos en el hangar, un espacio cubierto y una zona reservada, no se tuvieron problemas en el escaneado. Sin embargo, a la hora de realizar la segmentación, al encontrarse numerosos objetos entre el escáner y el avión, la tarea de limpieza fue más delicada y costosa. La aeronave Dassault Mirage F1, al haber pasado largo tiempo en una misma posición estática, el peso hizo que las ruedas perdieran su forma circular y se aplanaran, formando así una paralela con el suelo. Por lo que se tuvo que arreglar el error, con el 3D Reshaper, para obtener un modelo más fiel a la realidad.

Por el contrario, al realizar los escaneados en el parque del Oeste, un espacio público y al aire libre, se tuvo que prestar excesiva atención a las personas que se encontraban paseando, para que no interfirieran en la toma de datos, cuando el escáner apuntaba al avión. Ya que eso provocaría sombras y superficies ocultas. También a la hora de procesar los datos, se aprecia, que las palomas situadas en el avión, provocaron zonas ocultas.

La mayor conclusión que me llevo de la realización del proyecto, es que con las herramientas enseñadas durante todo el grado de Ingeniería en Geomática y Topografía y con los conocimientos aprendidos, pude realizar un trabajo industrial de esta magnitud. Lo que me hace pensar, que estoy preparado para trabajar en aquello a lo que dedique en mis años de estudio.

Por último, observando los resultados finales, podemos afirmar, que los objetivos que se nos plantearon antes de realizar el trabajo, han sido cumplidos con éxito. De esta forma, el proyecto ejecutado, valdrá como formación extra de todo la carrera cursada.

11. Bibliografía

Libros

- Trimble Inc. (2016). Hoja de datos TrimbleTX6 escáner láser.
- Trimble Inc. (2017). User's Guide Trimble RealWorks®.
- Enciclopedia Ilustrada de la Aviación. Tomo 4.
- Máquinas de Guerra. Enciclopedia de las Armas del Siglo XX. Tomo 1.
- BOLETÍN OFICIAL DE LA PROVINCIA DE VALENCIA. (2019). Oficinas y despachos T.S. (BOP).

Páginas web

<https://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/f-86>

<https://web.archive.org/web/20151028234919/http://www.vuelolibre.tv/index.php/aviacion-militar/809-mirage-f-1>

Turnitin Informe de Originalidad

Procesado el: 06-may.-2019 7:12 p. m. CEST

Identificador: 1125860391

Número de palabras: 8522

Entregado: 1

44895180:TFG_Carlos_entrega_final.docx
Por Carlos Felix Gonzalez

1% match (Internet desde 03-jul.-2017)

Índice de similitud 4%	Similitud según fuente
	Internet Sources: 3%
	Publicaciones: 0%
	Trabajos del estudiante: 2%

<https://ucm.es/data/cont/docs/3-2013-02-07-1-589.pdf>

1% match (Internet desde 05-dic.-2018)

<http://naricesrojas66.blogspot.com/2015/08/algunas-armas-utilizadas-durante-el.html>

< 1% match (trabajos de los estudiantes desde 21-abr.-2019)

[Submitted to Universitat Politècnica de València on 2019-04-21](#)

< 1% match (Internet desde 11-mar.-2017)

<https://riunet.upv.es/handle/10251/49628>

< 1% match (trabajos de los estudiantes desde 23-dic.-2017)

[Submitted to Universitat Politècnica de València on 2017-12-23](#)

< 1% match (trabajos de los estudiantes desde 18-oct.-2018)

[Submitted to Universitat Politècnica de València on 2018-10-18](#)

< 1% match (trabajos de los estudiantes desde 05-jul.-2016)

[Submitted to Universidad de Vigo on 2016-07-05](#)

< 1% match (Internet desde 23-may.-2016)

<http://www.upv.es/entidades/DICGF/index-en.html>

< 1% match (Internet desde 22-feb.-2019)

https://es.wikipedia.org/wiki/North_American_F-86_Sabre

< 1% match (Internet desde 06-sept.-2016)

http://www.eurekalert.org/pub_releases_ml/2015-01/aaft-lmc012815.php

< 1% match (Internet desde 15-feb.-2019)

<https://forodeculturadedefensa.blogspot.com/2013/07/los-angeles-del-ejercito-del-aire.html?showComment=1378569079255>

< 1% match (Internet desde 17-nov.-2006)

<http://eps.ujaen.es/noticias/libro.pdf>

< 1% match (Internet desde 11-mar.-2019)

http://ruvid.org/wordpress/index.php/nggallery/image/mc2-jpg?category_name=tecnologia&paged=2

< 1% match (Internet desde 16-oct.-2014)
<http://www.cyclopaedia.es/wiki/Topografia-1>

< 1% match (Internet desde 30-sept.-2016)
<http://oa.upm.es/cgi/exportview/year/2015/RefWorksUpload/2015.html>

< 1% match (Internet desde 21-nov.-2017)
<https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/1318>

< 1% match (Internet desde 23-dic.-2007)
http://sp1.hpwis.com/dir/Medios_de_Comunicacion/Prensa/Periodicos/

< 1% match (Internet desde 12-may.-2003)
<http://www.canalcoruna.com/todos2.asp>

< 1% match (Internet desde 29-nov.-2002)
<http://www.aztecmodels.com/pantera/articulo/pantera.htm>

< 1% match ()
<http://eco2site.com/news/Marzo-04/frigo-energ.asp>

< 1% match (trabajos de los estudiantes desde 21-dic.-2016)
[Submitted to Universidad Carlos III de Madrid on 2016-12-21](#)

TRABAJO FIN DE GRADO Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía
 Levantamiento con sistemas láser escáner y modelado 3D de un avión Mirage F1 Curso 2018-2019 Carlos Félix González Compromiso El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante. No ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía. Resumen En este trabajo fin de grado, se ha realizado el levantamiento topográfico industrial de dos aviones militares para su modelización 3D. Para ello, se han medido con técnicas láser escáner dichas aeronaves, un avión francés de la casa Dassault modelo Mirage F1 situado en el hangar Pedro Duque de la Universitat Politècnica de Valencia, y un avión americano de la casa North American y modelo F-86 Sabre, situado en el Parque del Oeste de la ciudad de Valencia. De esta forma se han obtenido unas nubes de puntos de alta densidad y precisión para su posterior modelización. Las nuevas técnicas de levantamiento de nube de puntos con sistemas láser escáner ofrecen un alto grado de detalle de las aeronaves, que permiten estudios de ingeniería inversa de la geometría y configuración de la misma. Los modelos tridimensionales obtenidos de las aeronaves se ajustan sustancialmente a la estructura real de los aviones, los cuales podrán ser utilizados para realizar distintos estudios e incluso lograr prototipos físicos de ambos modelos. Índice de figuras Figura 1 Diferencias básicas de las dos aeronaves. 9 Figura 2 Ejemplo de medición basada en la triangulación. 11 Figura 3 Ejemplo de medición basada en el tiempo de vuelo mediante pulsos. 12 Figura 4 Ejemplo de medición basada en el tiempo de vuelo mediante diferencia de fase. 12 Figura 5 Laser escáner estático. 13 Figura 6 Laser escáner cinemático. 14 Figura 7 Laser escáner Trimble TX6..... 15 Figura 8 Descripción de los elementos del Trimble TX6. 16 Figura 9 Parámetros de escaneo. 17 Figura 10 Pantalla táctil. 17 Figura 11 Diana.

18 Figura 12 Nubes de puntos a correlacionar.	
.....	20 Figura 13 Nube de puntos final North American F-86 Sabre.....
20 Figura 14 Herramienta Limit Box.	
.....	21 Figura 15 Levantamiento 3D.
.....	23
Figura 16 Levantamiento 3D.	
.....	24
Figura 17 Croquis de los estacionamientos del avión Dassault Mirage F1.	
.....	26 Figura 18 Levantamientos 3D en zona abierta.
.....	27 Figura 19 Croquis de los estacionamientos del avión North American F-86 Sabre.....
Figura 20 Nube de puntos del hangar sin correlacionar.	29
.....	30 Figura 21 Nube de puntos del parque del Oeste sin correlacionar.
Figura 22 Nube de puntos del hangar.	31
.....	33 Figura 23 Segmentación media del avión Dassault Mirage F1.
.....	34 Figura 24 Segmentación final del avión Dassault Mirage F1.
Figura 25 Nube de puntos del parque del Oeste.	34
.....	39 Figura 26 Segmentación media del <u>avión North American F-86 Sabre</u>
Figura 27 Segmentación final del <u>avión North American F-86 Sabre</u>	40
Figura 28 Avión a modelar.	40
.....	43
Figura 29 Ajuste de parámetros, para la creación del mallado 3D.	
.....	44 Figura 30 Malla 3D del avión Dassault Mirage F1.
Figura 31 Limpieza de deformidades.	44
.....	45 Figura 32 Herramienta rellenar huecos.
.....	46 Figura 33 Modelo 3D del avión Dassault Mirage F1.
.....	46 Figura 34 Nube de puntos del caza North American F-86 Sabre. 3D Reshaper.
Figura 35 Visualización del mallado 3D en el caza F-86 Sabre.....	47
.....	48 Figura 36 Opciones del mallado 3D.....
Figura 37 Falta de información en la punto del avión.....	48
.....	49 Figura 38 Herramienta rellenar orificios.
Figura 39 Herramienta limiar/separar.	50
.....	50 Figura 40 Modelo 3D del North American F-86 Sabre.
.....	51 Figura 41 Nube de puntos – Vista Frente.
Figura 42 Nube de puntos – Vista Arriba.	52
.....	52 Figura 43 Nube de puntos – Vista isométrica.
.....	53 Figura 44 Nube de puntos –Vista Frente.
.....	53 Figura 45 Nube de puntos – Vista Arriba.
.....	54 Figura 46 Nube de puntos – Vista isométrica.
.....	54 Figura 47 Modelo 3D – Alzado Dassault Mirage F1.
Figura 48 Modelo 3D - Vista isométrica Dassault Mirage F1.	55
.....	55 Figura 49 Modelo 3D – Alzado North American F-86 Sabre.....
.....	56 Figura 50

Modelo3D - Vista isométrica North American F-86 Sabre
 56 Figura 51 Medición de la envergadura
 57 Figura 52
 Medición de la altura
 57
 Figura 53 Medición de la superficie alar
 58 Figura 54
 Tabla del salario base del boletín oficial del estado.
 59 Figura 55 Tabla de las actividades
 realizadas y sus características. 61 Figura 56
 Tabla con el presupuesto final.
 61 Índice 1.
 Introducción

 7 2. Descripción general de las aeronaves
 8 Dassault Mirage
 F1

 8 North American F-86 Sabre
 9 3.
 Instrumentación utilizada
 10
 Laser escáner

 10 -Medición basada en triangulación
 11 -Medición
 basada en el tiempo de vuelo mediante pulsos
 12 -Medición basada en el tiempo de vuelo
 mediante diferencia de fase 12 -Laser escáner 3D
 estático
 13 -
 Laser escáner 3D cinemático
 14 Laser
 escáner Trimble TX6
 15
 Dianas

 18 4. Software utilizado

 19 Software Trimble RealWorks
 19
 Software 3D
 Reshaper.....
 22 5. Metodología

 23 Levantamiento topográfico 3D
 23 -
 Levantamiento topográfico 3D del caza Dassault Mirage
 F1..... 25 -Levantamiento topográfico 3D del
 caza F-86 Sabre 27 6. Gestión de
 nubes de
 datos..... 30
 -Procesamiento de datos del avión Dassault Mirage F1
 33 -Procesamiento de datos del avión
 North American F-86 Sabre 39 7. Modelado 3D

 43 -Modelado 3D del avión Dassault Mirage F1
 43 -Modelado 3D del
 avión North American F-86 Sabre
 47 8. Resultados obtenidos

 52 9. Presupuesto

 59 10.

Conclusiones.....

62 11. Bibliografía

64 Libros

64 Páginas

web.....

64 5 1. Introducción [El presente documento tiene como finalidad la obtención del título de Grado de Ingeniería en Geomática y Topografía en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica de la Universitat Politècnica de Valencia.](#) El objetivo de [este Trabajo Fin de Grado](#) es obtener modelos 3D de alta resolución de aeronaves militares, a partir de la realización completa de dos levantamientos topográficos industriales de los aviones. Por un lado, se ha realizado el levantamiento 3D de un modelo Mirage F1, avión diseñado por la empresa francesa Dassault Aviation que está situado en el laboratorio Pedro Duque [de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Diseño de la UPV.](#) Por otro lado, se ha realizado el modelado 3D de otro [avión de caza North American F-86 Sabre](#), situado en el Parque del Oeste. Las nubes de puntos con coordenadas x, y, z obtenidas con un equipo láser escáner de la marca Trimble modelo TX-6, permiten definir la geometría exacta de la superficie del objeto a medir. Con el software específico, Trimble Real Works, se ha realizado la importación de los datos, la unión precisa de los diferentes escaneados realizados con el objetivo de mostrar la pieza en su totalidad, y la limpieza de puntos que no forman parte del objeto a escanear. La información obtenida en el presente documento, incluye la descripción de las aeronaves a modelar, la descripción de la instrumentación y software utilizados para la posible modelización 3D, la metodología usada para poder llevar a cabo el proyecto, tanto la gestión de información y el procesamiento de datos, hasta obtener el modelo tridimensional. Ya obteniendo el resultado final, se procederá a mostrar los resultados obtenidos junto con el presupuesto del proyecto. Se finaliza el presente documento con la valoración económica de este trabajo y las conclusiones del proyecto realizado. Esta nube de puntos puede ser utilizada para realizar diferentes estudios. En el caso de este proyecto, ha sido modelizada mediante una malla tridimensional, la cual permitirá obtener una aproximación de la superficie tridimensional de las aeronaves, mediante la utilización de un mallado del conjunto de triángulos y vértices. A partir de aquí, se logra obtener un modelo 3D de dichas aeronaves, mediante el programa 3D Reshaper, con el uso de diferentes herramientas, que permiten corregir errores e incongruencias en las superficies formadas, hasta obtener la modelización deseada. Del modelo 3D obtenido se podrán realizar mediciones, sacar la información que resulte necesaria y visualizar los aviones desde distintas perspectivas, sin la necesidad de acudir personalmente a la zona donde están ubicados y de esta manera, poder trabajar cómodamente en la oficina.

2. Descripción general de las aeronaves Dassault Mirage F1 El Dassault Mirage F1 es un caza de ataque de la tercera generación, que posee superioridad aérea, fue construido y diseñado en Francia, por la empresa Dassault Aviation. Esta aeronave entro al servicio del ejército del aire francés aproximadamente en los años 70. Sus características generales son: ? La aeronave esta tripulada por un piloto. ? [Longitud de 15. 3 metros,](#) [envergadura de 8.4 metros y altura de 4. 5 metros.](#) ? Peso vacío de 7400 kg, peso cargado de 10900 kg y peso máximo al despegue de 16200 kg. ? La velocidad máxima operativa [es de 2338 km/h a 11000 metros de altitud,](#) teniendo un alcance de 2 horas con 15 minutos. ? El armamento utilizado es de 2 cañones DEFA 553, tiene 7 [puntos de anclaje con una capacidad de 6300 kg](#) en las que se puede cargar una combinación de 2 bombas SAMP 25, 2 Belouga, 2 BAP, 2 Matra Durandal, 2 Matra ARMAT, cohetes SNEB, misiles aire-aire, 2 Vympel R-73, 2 AIM-9 Sidewinder, 2 R.550 Magic, 2 Matra Super 530, 2 RAFAEL Derby, misiles aire-superficie, 1 AM.39 Exocet, 1 AS-30, 2 Kh-29.

North American F-86 Sabre Es una aeronave caza a reacción, el cual fue fabricado por la aviación de Norte América, [para las fuerzas aéreas de los Estados Unidos](#), desarrollada a finales de los años 40. Este tipo de aviones, son de los más producidos y utilizados [por las fuerzas aéreas de todo el mundo.](#) Sus características generales son: ? La aeronave esta tripulada por un piloto. ? Longitud de 11.4 metros, [envergadura de 11. 3 metros y altura de 4. 5](#)

metros. ? Peso vacío de 5046 kg, peso cargado de 6894 kg y peso máximo al despegue de 8234 kg. ? La velocidad máxima operativa es de 1106 km/h. ? El armamento utilizado es de 6 ametralladoras M3 Browning, tiene 4 soportes externos con una capacidad de 2400 kg en las que se puede cargar una combinación de bombas de varios tipos con un máximo de 907 kg, 2 contenedores Matra con 18 cohetes SNEB, misiles aire-aire, 2 AIM- 9B Sidewinder, 2 Shafrir II o contenedores de Napalm. En la siguiente tabla, podemos ver las diferencias básicas entre las dos aeronaves. Tripulación Longitud Envergadura Altura Peso vacío Peso cargado Velocidad máxima operativa North American F-86 Sabre 1 piloto 11,4m 11,3m 4,5m 5046kg 6894kg 1106 km/h Dassault Mirage F1 1 piloto 15,3m 8,4m 4,5m 7400kg 10900kg 2338km/h

Figura 1 Diferencias básicas de las dos aeronaves. 3. Instrumentación utilizada Láser escáner El láser escáner 3D, es un instrumento que adquiere una gran cantidad de datos, el cual se basa en la tecnología LIDAR. Esta aporta la conocida nube de puntos tridimensional, una representación discreta de la superficie, medida en base a las distancias y a los ángulos con un haz de luz láser. Estas mediciones permiten la posibilidad de documentar de forma geométrica y visual, la propia realidad con alta velocidad y precisión. También se podría imitar el color de la superficie representada, añadiendo información del color que existe en cada uno de los puntos escaneados. Hay que decir, que desde estos últimos años, la tecnología LIDAR ha experimentado un gran desarrollo en nuestro campo de trabajo, considerándose así por expertos, el gran futuro de la Topografía. La principal tarea del láser escáner 3D, es la recogida de coordenadas geográficas, de aquellas superficies que se sitúan a su alrededor, obteniendo así, la información próxima al radio del escáner, de forma sencilla, rápida y eficaz. Con pocos minutos y sin necesidad de intervenir con los objetos escaneados, se podrá obtener toda la información requerida. Cuando se obtiene la nube de puntos tridimensional, se tiene que saber, que está formada por millones de coordenadas (x, y, z), las cuales se sitúan en una magnitud real y bien posicionadas en el espacio, lo que permiten representar la realidad de forma precisa. Dependiendo de qué tipo de escáner se escoja para la realización del trabajo, determinaremos la precisión y la escala del trabajo. Las mediciones del láser escáner están basadas en tres principios fundamentales; la triangulación, el tiempo de vuelo mediante pulso y el tiempo de vuelo mediante diferencias de fase. -Medición basada en triangulación Este principio se basa en el cálculo del triángulo que forman los elementos del interior del escáner y los elementos que deseamos medir. Figura 2 Ejemplo de medición basada en la triangulación. Las principales características son: ? Elevada precisión (hablamos de centésimas de milímetro). ? La máxima distancia viene dada, por el ángulo de intersección entre el láser y el sensor. ? Alta frecuencia (hablamos de 100MHz o superior). -Medición basada en el tiempo de vuelo mediante pulsos Basada en calcular la distancia y la rotación del haz de luz láser. Figura 3 Ejemplo de medición basada en el tiempo de vuelo mediante pulsos. -Medición basada en el tiempo de vuelo mediante diferencia de fase Este principio se basa en calcular la distancia en base al número de longitudes de onda y el desfase que existe entre la onda emitida y la onda reflejada en la superficie. Figura 4 Ejemplo de medición basada en el tiempo de vuelo mediante diferencia de fase. Las principales características son: ? Medio alcance (hablamos de menos de 100 metros). ? Extrema frecuencia (hablamos de 500 a 600 MHz o más) ? Precisión entre 2 y 10 milímetros. ? Existen dos tipos de laser escáner, dependiendo de la posición en que se realizan las mediciones, el estático y el cinemático. -Laser escáner 3D estático Escáneres fijos que están sujetos a cualquier tipo de elemento, como puede ser un trípode. Cuando se toma datos, el láser se encuentra fijo en una posición, y gira sobre sí mismo de forma horizontal y vertical, de esta forma se consiguen los datos. Las principales características son: ? Precisión alta (hablamos de 2 milímetros hasta los 10 metros). ? Buena conexión datos-imagen. ? Las uniones de los escaneados tiene una alta precisión. ? La productividad se obtendrá del tiempo que tarde el escaneado en finalizarse y del tiempo de desplazamiento del propio escáner. Figura 5 Laser escáner estático. -Laser escáner 3D cinemático Se basa en el sensor LIDAR, el cual está en movimiento mientras se escanea la zona de trabajo. El sensor LIDAR dependerá de un operario, ya sea a pie o en vehículo. Las principales características son: ? Alta

productividad (sensores con velocidad de 60 hasta 70 km/h). ? Precisión inferior que la del sensor estático. ? Utilización de técnicas de SLAM para la unión de puntos. ? Herramienta estupenda para la toma de datos en zonas BIM. ? Toma de datos masivos, cuando el escáner se sitúa en vehículos. Figura 6 Laser escáner cinemático. Sabiendo las características y utilidades, se puede decir con certeza, que el láser escáner 3D es un producto accesible a todo profesional, ya sea topográfico o de distinto campo. Ya que con la aparición de industrias que están especializadas en la medición, se pueden alquilar a un coste razonable. Cabe anotar, que para poder obtener buenos resultados, se necesitará un buen software para poder gestionar los datos que nos ofrezca el laser escáner 3D y un operario que sepa tratarlos. Laser escáner Trimble TX6 [Para la realización de la toma de datos](#) de las dos aeronaves, se utilizará el láser escáner 3D de la compañía Trimble, modelo Trimble TX6. El propio [departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría de la Universidad Politécnica de Valencia](#) nos proporcionó el instrumento. Figura 7 Laser escáner Trimble TX6. El láser escáner Trimble TX6 realiza la toma de datos de una forma precisa y a una alta velocidad. Dispone de la llamada tecnología Lightning, la cual es menos susceptible a los cambios superficiales y atmosféricos. También dispone de una cámara, que en solo dos minutos, tomará imágenes HDR de todo el entorno, para poder dar color a los escaneados. La cámara que está integrada en el propio láser, tiene 10 megapíxeles de resolución. El Trimble TX6 proporciona nubes de puntos tridimensionales, con una gran densidad de puntos. El campo de visión del escáner es de 360° x 317°, teniendo así una precisión angular de 80 microradianes. Tarda en escanear 34 millones de puntos en tan solo tres minutos, o 138 millones de puntos en tan solo 6 minutos. El alcance del escáner es de 80 metros y se puede aumentar a 120 metros, manteniendo la precisión y la velocidad. El alcance mínimo es de 0.6 metros. Figura 8 Descripción de los elementos del Trimble TX6. Antes de la toma de datos, se podrá seleccionar el nivel de precisión y la densidad de la nube de puntos dependiendo del trabajo que se vaya a realizar. Se podrá elegir entre: el preview, nivel 1, nivel 2 y nivel 3. Según el nivel de precisión, se obtendrán distintas características, variando así, el tiempo de escaneado, el tamaño de la nube de puntos y por ende la cantidad de números tomados y la densidad de la matriz-puntos. El nivel preview, es el más básico, realizando el escaneado en 4 minutos, tomando alrededor de 8.700.000 de puntos. El nivel 1, es el nivel con el que realizaremos la mayoría de los escaneados, ya que nos proporcionará buena precisión y una alta velocidad en la toma de datos. Ya que tarda en realizar el escaneado 5 minutos, tomando alrededor de 34.700.000 puntos. El nivel 2, realiza el escaneado en 7 minutos, tomando alrededor de 138.900.000 de puntos. Es un nivel estándar-alto. El nivel 3, es el nivel con mayor cantidad de toma de datos, realizando el escaneado en 21 minutos, tomando alrededor de 555.550.000 puntos. Figura 9 Parámetros de escaneo. El escáner lleva incorporado una pantalla táctil, cuya interfaz es muy intuitiva. Con la pantalla táctil se podrá seleccionar la resolución del escaneo que se precisa y definiremos la zona del proyecto. Esta pantalla tiene una resolución de 800x480 WVGA. Figura 10 Pantalla táctil. El escáner posee una burbuja externa, y una burbuja electrónica, con las que se podrá efectuar la nivelación. El Trimble TX6 posee un espejo, lo que hace válida la toma de datos en entornos complicados y bajo la intensa luz del sol. El láser no es peligroso para las personas, pues es de clase 1 lo que hace seguro la utilización de este. Para poder transportarlo, viene con una maleta que cumple los requisitos para poder facturarla en las distintas aerolíneas. Las dimensiones del escáner son de 335 milímetros de ancho, 386 milímetros de alto y 242 milímetros de profundidad, pesando 11.7 kilogramos sin contar con las baterías. Las baterías son de li-ion, que las hacen tener una larga duración, el tiempo que pueden estar escaneando son de más de 2 horas y pesan 0.46 kilogramos cada una. El rango de temperatura de funcionamiento del TrimbleTX6 ronda los 0 grados, hasta los 40 grados centígrados. Cuando se haya acabado de realizar los escaneados, los datos se guardaran en la tarjeta de memoria, colocada con anterioridad en el láser escáner, dentro de una carpeta, creada antes de realizar los escaneados. Con solo desconectar el escáner, se podrán transportar dichos datos al ordenador donde se vaya a trabajar, y descargar la carpeta con todos los datos de interés. De esta forma se podrá empezar a trabajar con las

nubes de puntos. Dianas Las dianas son elementos que se sitúan en la zona donde se realizan los escaneados, para poder tener una mayor cantidad de puntos de control. De esta forma, cuando se realice el procesado, nos podremos ayudar de las dianas, para correlacionar los puntos que hay entre escaneados. Hay muchos tipos de dianas, pero las dianas que hemos usado en este tipo de proyecto, son dianas magnéticas con forma circular, de un tono azul oscuro en el exterior y en el interior un tono blanco. Figura 11 Diana. 4.

Software utilizado Software Trimble RealWorks El software Trimble RealWorks es un potente programa usado en oficinas, cuya tarea es la de importar gran cantidad de datos del sensor Spatial Imaging(imágenes espaciales) y posteriormente transformarlos en resultados 3D deseables. Hay que decir, que el software Trimble RealWorks permite realizar varias tareas, donde se encuentra el registrar, visualizar y manejar datos de las nubes de puntos que fueron capturados con el sensor Trimble Spatial Imaging. Este software tiene incorporado herramientas precisas, que son ideales para realizar modelados. Se puede emplear en varios campos, como puede ser la topografía civil, el catastro del patrimonio histórico, la construcción, aplicaciones relacionadas con la industria geoespacial y muchas otras más. La gran ventaja de usar Trimble RealWorks, es que los datos de campo, fueron obtenidos con el láser escáner Trimble TX6, y al ser de la misma compañía, el programa y el propio láser, se complementan entre sí, es decir, que trabajas con la misma marca, tanto en la toma de datos en campo, como en el posterior procesamiento. Esto se resume, en que todas las nubes de puntos obtenidas con el láser escáner Trimble TX6, guardadas en formato txf, se pueden abrir directamente y sin necesidad de convertirlas a otro formato. Trabajando así, de una forma más fluida. Las nubes de puntos estarán en formato txf, y como se mencionó anteriormente, se podrán cargar sin necesidad de convertirlos, en el programa Trimble RealWorks, desde la herramienta importar. Cuando se tienen importados todas las nubes de puntos procederemos a registrar, desde la herramienta Registration -> Cloud-Based Registration. Esta es la parte del proceso, es donde se unirán los escaneados, hasta formar una gran nube de puntos. Hay que evitar al refinar, que la precisión sea mayor a 8 milímetros, ya que nuestro trabajo precisa una precisión menor. Cuanto mayor sea el solape, más puntos en común tendrán nuestros escaneados. Figura 12 Nubes de puntos a correlacionar. Cuando obtenemos la unión de todos los escaneados, se pasará al trabajo de producción. Que básicamente consiste en obtener los datos de interés. Figura 13 Nube de puntos final North American F-86 Sabre. Nos dirigiremos a la herramienta Edit -> Segmentation, donde se procedera a segmentar, es decir, a quedarnos solo con los puntos necesarios de toda la nube. Hay una herramienta llamada Limit Box, que nos facilita el escoger una cantidad de puntos y trabajar individualmente con ellos, lo que es muy beneficioso, cuando se quiere un objeto en particular de toda la nube de puntos. Figura 14 Herramienta Limit Box. Cuando obtenemos la segmentación que buscábamos, es decir, únicamente los puntos que interfieren en el avión, procederemos a guardar y exportar dichos puntos, para realizar el modelado 3D final. Software 3D Reshaper El software 3D Reshaper es un programa asequible y fácil de usar, dedicado a procesar nubes de puntos. Sus características son: -Procesado de nube de puntos -Malla 3D -Reconocimiento y extracción de características -Alineaciones -Sección y poli líneas -Scripting - Etc... Cuando se obtiene la nube de puntos con la que se quiera trabajar, procederemos a abrir dicha información en un formato e57 con el programa 3D Reshaper. Cuando la nube de puntos con la que deseemos trabajar este cargada, procederemos a realizar el modelado 3D con las diferentes herramientas que nos proporciona el programa. 5. Metodología Levantamiento topográfico 3D Antes de proceder a la toma de datos, será necesaria una buena planificación y distribución de donde y como se estacionará el láser escáner. De esta forma se podrán evitar errores, como pueden ser, las superficies ocultas y las superficies con sombras, ya que provocaría que el modelo 3D tuviese zonas donde el láser no llegase a tomar datos, por ende tendríamos un modelado con falta de información. Es aconsejable estudiar la zona donde se realizará el levantamiento 3D, y hacer un croquis antes de empezar la tomar datos. Ya que de esta forma se podrá saber dónde habrá que situar el láser para que realice los distintos escaneados y asegurarse de que no haya elementos que impidan la toma de datos de forma eficaz, como podrían

ser objetos que se interpusiesen entre en laser y el avión. Para llevar con éxito el levantamiento 3D, se necesitara que los escaneados tomen datos de la totalidad del avión. Por lo que se situará el escáner en diferentes posiciones, ángulos y alturas. De esta forma no habrá superficies ocultas. Figura 15 Levantamiento 3D. Teniendo en cuenta todas las pautas anteriores, se podrá realizar un correcto levantamiento industrial, evitando errores, al haber conseguido una buena planificación, realizada con anterioridad. Para este trabajo, se realizarán dos levantamientos industriales 3D, uno para el avión Dassault Mirage F1 y el otro para el avión North American F-86 Sabre. Figura 16 Levantamiento 3D. -Levantamiento topográfico 3D del caza Dassault Mirage F1 Se pretende obtener un modelado tridimensional del avión Dassault Mirage F1, situado en el hangar de la universidad politécnica de valencia, el cual se encuentra en un espacio cubierto. Antes de proceder a la toma de datos, se realizará un croquis, para saber dónde se situarán, cada una de las estaciones. Necesitaremos que estos estacionamientos estén situados de forma que den la vuelta al avión, así se obtendrán escaneados desde diferentes tipos de vista, alturas y ángulos. Para poder realizar un modelo 3D completo del avión, se realizaron 23 escaneados. Con una nube final de 40.953.756 puntos. Todos estos escaneados, los efectuaremos con una precisión nivel 1. No conviene escanear con alta (nivel 2) o máxima precisión (nivel 3), ya que en caso de hacerse, se tendría una gran densidad de puntos, lo que haría muy difícil el posterior procesamiento, ya que se necesitaría un ordenador muy potente para poder procesar dichos puntos con fluidez. Por lo que, al haber situado el escáner a una distancia próxima al avión, un nivel de precisión 1 sería suficiente, para el trabajo que queremos llevar a cabo. No se obtuvieron problemas para la realización del levantamiento, ya que al situarse en una zona cubierta y reservada con anterioridad, la toma de datos se produjo de forma continuada y sin interrupciones. Figura 17 Croquis de los estacionamientos del avión Dassault Mirage F1. -Levantamiento topográfico 3D del caza F-86 Sabre Se pretende obtener un modelado tridimensional del avión North American F-86 Sabre, situado en el Parque del Oeste, en la provincia de Valencia, el cual se encuentra en un espacio público y al aire libre. Antes de proceder a la toma de datos, se realizará un croquis, para saber dónde se tendrán que situar cada una de las estaciones. Se intentará, que estos estacionamientos, estén situados de forma que den la vuelta al avión, así se podrán obtener escaneados desde diferentes tipos de vista, alturas y ángulos. Cabe destacar, que en este caso se han situado 4 dianas, para poder tener mayor cantidad de puntos de control, facilitando así el registro de la nube puntos. Figura 18 Levantamientos 3D en zona abierta. Para poder realizar un modelo 3D completo del avión, se realizaron 12 escaneados. Con una nube final de 15.701.970 puntos. Todos estos escaneados menos el último, se efectuaron con una precisión nivel 1. Y el último con nivel 2. No conviene escanear con alta (nivel 2) o máxima precisión (nivel 3), ya que si hiciésemos esto, se tendría una gran densidad de puntos, lo que haría muy difícil el posterior procesamiento, ya que se necesitaría un ordenador muy potente para poder procesar dichos puntos con fluidez. Por lo que, al haber situado el escáner a una distancia próxima al avión, un nivel de precisión 1 es suficiente para el trabajo que queremos llevar a cabo. No obstante realizamos uno de los escaneados con nivel 2, ya que se situó el escáner en una zona alejada del avión, por lo que se necesitó más precisión. Al ser un espacio público, se tuvieron una serie de inconvenientes a la hora de la obtención de datos. Ya que era una zona transitada y hay que estar pendiente de que nadie interfiriera en la zona del escaneado, evitando así zonas con sobras u ocultas. Figura 19 Croquis de los estacionamientos del avión North American F-86 Sabre. 6. Gestión de nubes de datos Cuando ya se obtiene la nube de puntos del avión, se procederá a procesar dichos datos. Hay que tener en cuenta, la importancia de unir correctamente las distintas nubes de puntos, ya que los estacionamientos se encuentran en diferentes puntos de vistas y alturas. Lo que pretendemos es correlacionar las distintas nubes de puntos para obtener un buen modelado 3D con su propio sistema de referencia. Ya que cada una de las nubes de puntos tiene su sistema de referencia individual, y esto no aporta información. Uniendo todos estos datos, pretendemos darle utilidad a la gran cantidad de puntos que se tomaron en las distintas ubicaciones. Figura 20 Nube de puntos del hangar sin correlacionar. Figura 21 Nube de puntos del

parque del Oeste sin correlacionar. Lo primero que se tendrá que hacer, será utilizar el programa Trimble Realworks, el cual es óptimo para la realización de dicho proyecto, ya que el láser escáner Trimble TX6, pertenece a la misma compañía que el software. Se procederá a abrir los escaneados que se encuentran en formato txf, se guardará todo en un proyecto rwp. Antes de proceder a registrar, hay que saber, que cuantos más puntos tengamos en común, el software realizará mejor la unión. Con tres puntos bien definidos, el software podrá realizar las rotaciones y traslaciones pertinentes, de una forma automática, para poder alinear las distintas nubes de puntos. Cuanto más solape haya entre nubes de puntos que se quieran unir, mayor coherencia tendrá trabajo. Pero el registro llevado a cabo para este trabajo, ha sido realizado de forma manual, ya que de esta forma evitaremos futuros errores producidos por una ineficiente detección de puntos de control, tomada de forma automática por el programa. Por cada escaneado obtendremos una nube de puntos, y nuestro objetivo será unir todas esas nubes de puntos, resultado de los múltiples escaneados del levantamiento 3D, hasta formar una densa nube de puntos, que acapare toda la información integrada en los escaneados. Para poder obtener la unión de todas las nubes de puntos, procederemos a correlacionar puntos iguales, de los distintos escaneados. De esta forma, uniremos los puntos del escaneado 1 con los puntos del escaneado 2 que sean iguales, esto nos dará la unión de las nubes de puntos del escaneado 1 con el escaneado 2, obteniendo así una sola nube de puntos con toda la información de las dos anteriores. Ahora se tendrá que repetir el procedimiento anterior, uniendo los puntos que sean iguales del escaneado 3 con el ya procesado escaneado 1-2. Se repetirá este procedimiento hasta tener todos los escaneados correlaciones y obteniendo una sola gran nube de puntos que acapare toda la información. A este procedimiento se le denomina registro o registro de nube de puntos. [El objetivo principal de la realización de este proyecto es el](#) modelado del avión, por lo que es necesario segmentar la nube de puntos y quedarnos solo con los datos que nos interesen. Que en este caso son los puntos que forman el avión. -Procesamiento de datos del avión Dassault Mirage F1 Para el avión del hangar modelo Dassault Mirage F1, se realizaron 23 escaneados. El primer paso fue registrar las 23 nubes de puntos, y el resultado final fue la unión de todas estas, en una gran nube de puntos con una alta densidad. Se obtuvieron 40.953.756 puntos. Figura 22 Nube de puntos del hangar. Obteniendo la gran nube de puntos ya correlacionada, procederemos a segmentar, de esta forma nos quedaremos con un número reducido de puntos, en los cuales estarán los puntos de interés del avión y los que se situaban alrededor. Pasando así a 6.855.998 puntos. Figura 23 Segmentación media del avión Dassault Mirage F1. En este punto, procederemos a realizar la última segmentación, donde se nos quedarán los puntos realmente necesarios, que son los pertenecientes al avión, con un total final de 1.374.578 puntos. De esta forma ya tendríamos realizada la segmentación completa. Figura 24 Segmentación final del avión Dassault Mirage F1. A continuación se muestra el informe de los escaneados del Dassault Mirage F1. -Procesamiento de datos del avión [North American F-86 Sabre](#) Para [el](#) avión del Parque del Oeste modelo [North American F-86 Sabre](#), se realizaron 12 escaneados. [El primer](#) paso fue registrar las 12 nubes de puntos, y el resultado fue la unión de todas estas, en una gran nube de puntos con una alta densidad. Se obtuvieron 15.701.970 puntos. Figura 25 Nube de puntos del parque del Oeste. Procederemos a segmentar hasta quedarnos con un número reducido de puntos, en los cuales, se encontrarán los puntos de interés del avión y los circundantes, quedándonos con un número de puntos de 2.498.274. Figura 26 Segmentación media del avión [North American F-86 Sabre](#). [En](#) este punto, realizaremos [el](#) último proceso de segmentación, donde se nos quedarán los puntos realmente necesarios, los que pertenecen al avión, con un total final de 456.509 puntos. De esta forma ya tendríamos realizada la segmentación completa. Figura 27 Segmentación final del avión North American F-86 Sabre. Tras la obtención del avión, en forma de nube de puntos, pasaremos a modelarlo dándole texturas y mallas para mejorar su visualización y manipulación. A continuación se muestra el informe de los escaneados del North American F-86 Sabre. 7. Modelado 3D La última fase del tratamiento de datos, es la del modelado 3D, el cual nos dará la información que precisamos. Con esta información se podrá comparar las dos aeronaves en

su totalidad y sacar las conclusiones pertinentes. Para realizar la modelización tridimensional, se necesitará exportar la aeronave segmentada deseada, desde el programa Trimble Realworks en formato e57. Luego se abrirá dicha nube de puntos, con el programa 3D Reshaper. -Modelado 3D del avión Dassault Mirage F1 Con el programa 3D Reshaper se abrirá la nube de puntos segmentada (los puntos de interés) de nuestro caza Dassault Mirage F1. Cuando esta información este cargada en el programa, seleccionaremos el avión, obteniendo así textura de un color único. Figura 28 Avión a modelar. Hecho esto, nos dirigiremos a la herramienta cuadrícula -> cuadrícula 3D, aun teniendo seleccionada la aeronave, se abrirá una pestaña, ajustaremos los parámetros y de esta forma obtendremos una malla 3D. Figura 29 Ajuste de parámetros, para la creación del mallado 3D. La malla creada, cubrirá toda la nube de puntos, formando así una superficie rugosa, la cual permitirá apreciar con mayor facilidad los errores que se han formado. Figura 30 Malla 3D del avión Dassault Mirage F1. En este punto, si existiesen errores se corregirían con la herramienta limpiar/separar. En la siguiente fotografía, apreciamos como el tren de aterrizaje principal, se encuentra deformado. Por lo que procederemos a limpiar la zona, dejándola acorde a la realidad. Figura 31 Limpieza de deformidades. Cuando todas las deformidades hayan sido tratadas con éxito, nos fijaremos si existen huecos incompletos o sin rellenar. Si es así, con la herramienta llenar orificios se corregirán las imperfecciones del avión. En la siguiente fotografía, se aprecia como el ala de la aeronave, no se une correctamente con el fuselaje de la misma. Por lo que se tendrá que rellenar el orificio con la herramienta mencionada con anterioridad. Figura 32 Herramienta rellenar huecos. El ultimo tratamiento, será la de suavizar texturas. Así se apreciará el modelo de una forma mucho más estética. Este procedimiento se realiza, porque la obtención de un modelado rugoso no es estéticamente aceptable a la finalidad del trabajo. Cuando ya tengamos el modelo 3D formado, se podrá visualizar desde diferentes puntos de vista. Figura 33 Modelo 3D del avión Dassault Mirage F1. -Modelado 3D del avión [North American F-86 Sabre](#) Para modelar el caza [North American F-86 Sabre](#), seguiremos el mismo procedimiento que del caza Dassault Mirage F1. Figura 34 Nube de puntos del caza North American F-86 Sabre. 3D Reshaper. Se cargará la nube de puntos de nuestro avión en el programa 3D Reshaper, y se procederá a crear una malla tridimensional, que nos permitirá divisar los errores formados con mayor facilidad. Figura 35 Visualización del mallado 3D en el caza F-86 Sabre. Antes de crear el mallado, hay que indicar los ajustes que se quieran emplear en el modelado. Como se muestra en la siguiente fotografía. Figura 36 Opciones del mallado 3D. Cuando tengamos la malla creada, procederemos a visualizar el avión y detectar posibles errores. En el caso del caza North American F-86 Sabre, podemos ver como la zona más elevada, se encuentra sin información. Esto es debido a la imposibilidad de captar datos del escáner en los puntos del pico del caza, ya que se situaba en una zona alta y vertical Figura 37 Falta de información en la punta del avión. Procederemos a rellenar el hueco formado en la punta del avión con la herramienta llenar orificios y de esta forma corregir las imperfecciones de la superficie del caza. A parte de esta imperfección, también tendremos que corregir las incongruencias que vayamos encontrando. Figura 38 Herramienta rellenar orificios. Una utensilio que sirve para dejar el modelo 3D más acorde con la realidad, es la conocida herramienta limpiar/separar, la cual también sirve para corregir errores. Como podemos ver en la siguiente fotografía, el ala del caza, presenta un pico, el cual no se encuentra en el avión a modelar. Por lo que procederemos a deshacernos de ella. Figura 39 Herramienta limpiar/separar. Cuando veamos que el modelo 3D está correctamente formado, se procederá a suavizar el mallado, dejando el modelado del caza North American F-86 Sabre, listo para su posterior tratamiento y visualización. Figura 40 Modelo 3D del North American F-86 Sabre. 8. Resultados obtenidos Los resultados que se obtienen tras realizar el proyecto son ficheros digitales en donde esta toma la información de la geometría de los aviones en magnitud real. Para presentar unos resultados gráficos en este documento, se han seleccionado una serie de vistas resumidas en las siguientes imágenes, donde se pueden visualizar las nubes de puntos y los modelos digitales 3D de las aeronaves desde distintas perspectivas, ofreciendo así, el resultado final de las nubes de puntos ya tratadas. Figura 41 Nube de puntos -Vista Frente. Figura

42 Nube de puntos – Vista Arriba. Figura 43 Nube de puntos – Vista isométrica. En las figuras anteriores 41, 42 y 43 se muestran las nubes de puntos ya tratadas del levantamiento industrial del caza Dassault Mirage F1, desde diferentes puntos de vista. En las siguientes figuras 44, 45 y 46 se muestran las nubes de puntos ya tratadas del levantamiento industrial del caza North American F-86 Sabre, desde diferentes puntos de vista. Figura 44 Nube de puntos –Vista Frente. Figura 45 Nube de puntos – Vista Arriba. Figura 46 Nube de puntos – Vista isométrica. Cuando se finaliza el proceso de limpieza y corrección de las nubes de puntos, se obtienen los modelos digitales tridimensionales. Previamente se ha procedido a un suavizado de las distintas mallas creadas, obteniendo así, el resultado final. A continuación se muestran varias perspectivas de los modelos 3D obtenidos: Observando los resultados obtenidos por el láser escáner Trimble TX6, se puede decir que los datos son tolerables para la realización de un modelado tridimensional, ya que son realmente aplicables a un trabajo industrial. Esto es posible, por el gran avance tecnológico sufrido en estos últimos años, ya que la toma de datos realizada con el láser escáner, fue rápida y precisa. No como antaño, que era impensable la adquisición de datos de una forma tan eficaz y con una alta precisión. Figura 47 Modelo 3D – Alzado Dassault Mirage F1. Figura 48 Modelo 3D - Vista isométrica Dassault Mirage F1. Figura 49 Modelo 3D – Alzado North American F-86 Sabre Figura 50 Modelo3D - Vista isométrica North American F-86 Sabre Y por último, y como aplicación industrial se presentan un pequeño estudio de ingeniería inversa mediante la realización de una serie de medidas realizadas en el modelo obtenido en este trabajo fin de grado. Para ello, se ha seleccionado el caza militar Mirage F1, el cual posee una serie de dimensiones determinadas, las cuales ha sido establecida en el proceso de diseño del mismo. Estas medidas pueden ser comparadas con las obtenidas a partir del modelo tridimensional desarrollado con el programa 3DReshaper. Además, se podrá comprobar si el modelo obtenido a partir de la nube de puntos del sistema de medición resulta obtener un aceptable grado de exactitud, comparado para ello la medida obtenida mediante el software, con la definida en los planos de la aeronave. Lo cual representará detalle que se puede llegar a logra mediante este sistema de medición. De esta forma, con el programa 3DReshaper se pueden obtener las dimensiones de longitud, envergadura, altura y superficie alar del avión, por ejemplo, con el objetivo de contrastar unas y otras. En las figuras 51 y 52 se muestra la medición lineal de las magnitudes de envergadura y altura del avión: Figura 51 Medición de la envergadura Figura 52 Medición de la altura Para obtener el valor de la superficie alar de la aeronave con el programa 3DReshaper, se ha aproximado el ala a un trapecio perfecto, lo cual resulta bastante preciso, ya que las alas del Mirage F1 son trapeciales con cierta flecha. En las figura 53 se muestra la medición superficial de la magnitud de superficie alar: Figura 53 Medición de la superficie alar Por lo tanto, realizando la medición de las bases del trapecio mediante 3DReshaper, se obtiene un valor para dicha superficie correspondiente a las alas. [En la tabla siguiente se muestran las distintas medidas del avión Dassault Mirage F1: Medición Real Modelo 3D Longitud 15.3 m 15.27173 Envergadura 8.4 m 8.378640 \[Altura 4.5 m\]\(#\) 4.513362 \[Superficie Alar 25.0 m2\]\(#\) 25.07676](#) Observando la tabla se puede observar que los valores obtenidos mediante el programa 3DReshaper, resultan tener un gran de exactitud bastante elevado, ya que estos números difieren en una pequeña cantidad de los definidos en los planos de la aeronave. 9. Presupuesto Al realizar un presupuesto, se realizará desde una perspectiva de un trabajador autónomo, el cual dispone de mano de trabajo. Por lo que hay que tener en cuenta varios factores, los cuales afectaran significativamente en la suma total del presupuesto final. Uno de esos factores a tener en cuenta, es el salario del trabajador. Para poder obtener lo que le costaría al autónomo contratar a dicho ingeniero en Geomática y Topografía, habrá que ceñirse al salario base dictaminado por el convenio. También será de vital importancia, saber la duración de dicho proyecto, el trabajo realizado tendrá una duración de 15 días. Hay que ser cauto, por lo que es conveniente dejar un margen de seguridad a la hora de presupuestar un proyecto, pues pueden surgir imprevistos, los que causaran un incremento económico a la hora de realizar el trabajo. El margen de beneficio industrial de la empresa será del 25% del coste total del proyecto realizado. Hay que saber, que al realizar cualquier

trabajo, será necesaria una inversión inicial, la cual será efectuada por parte del autónomo, para poder llevar a cabo el proyecto. Esto supone cierto riesgo, ya que el coste de nuestro proyecto es elevado, y hay alrededor de un 3% de trabajos no pagados a final de año. Entonces para poder presupuestar de forma correcta el proyecto, habrá que tener en cuenta las distintas herramientas y objetos que se deberán alquilar, los programas que se utilizaran y el sueldo que se pagará al empleado encargado de realizar el trabajo. Para saber a cuánto se paga la hora a un ingeniero en Geomática, se accederá al [boletín oficial del estado, donde se puede encontrar](#) el salario base, de todas las profesiones clasificadas por categorías. Se escogerá la tabla que se adecue a la profesión requerida. Obteniendo así un salario base, reflejado en la siguiente tabla. Figura 54 Tabla del salario base del boletín oficial del estado. Salario total sin la seguridad social al año: 25189.02 euros. Sabiendo el salario total, tocara aplicar la seguridad social, que tendría que pagar el autónomo. Se supone que es el 40% del salario total, que suma una cantidad al año de 10075.608 euros. Por lo que queda un salario anual de 35264.628 euros. Lo que corresponde a una mensualidad de 2938.719 euros. Ahora se pretende saber cuánto paga un autónomo la hora trabajada del ingeniero. Al año se trabajan unas 48 semanas, y se trabajan unas 40 horas a la semana, es decir, 8 horas al día. Haciendo cálculos, un empleado trabaja unas 1920 horas al año. Por lo que dividiendo el salario anual total, entre las horas laborables anuales. Nos sale una cantidad de 18.40 euros/hora. Como el proyecto se realiza en 15 días, se dedicaran 120 horas. Lo que suma una cantidad de 2204 euros en la quincena. Esta cantidad es la cobrará el ingeniero. Ahora pasaremos a calcular lo que costara el software y el hardware para poder realizar el proyecto. Para poder procesar los datos y realizar el modelado 3D, se necesitará un equipo potente para poder trabajar con fluidez. Por lo que se tendrá que comprar un equipo informático, ordenador y los demás componentes. Un ordenador potente con todos sus accesorios, costara unos 1500 euros. El cual se amortizará en dos años. Obteniendo así un precio de 62.5 euros/mes y 2.08 euros/día. Los gastos que cuesta abrir una oficina y poder afrontar los costes indirectos, es decir los costes generales, son de unos 2800 euros al mes. Esto quiere decir que se tendrá un gasto de 93.3 euros/día. Para poder registrar, segmentar y construir el modelado 3D necesitaremos trabajar con programas industriales, lo que hace que se tenga que pagar unas licencias. La licencia de Trimble RealWorks cuesta 128 euros/mes sin IVA, si se le aplica el IVA, suma una cantidad de 166.98 euros/mes. Por lo que se tendrá que pagar 5.56 euros/día. La licencia de 3D Reshaper cuesta 1227 euros/año sin IVA, si se le aplica el IVA, suma una cantidad de 1484.67 euros/año. Por lo que se tendrá que pagar 4.07 euros/día. Alquilar el Trimble TX6, tiene un coste de 600 euros/día sin IVA, si se le aplica el IVA, suma una cantidad de 726 euros/día. Por último se tendrá que calcular el gasto que supone contratar un ingeniero en Geomática al realizar el trabajo. Es decir, el alquiler del coche más la gasolina gastada y a todo esto le sumamos las dietas pertinentes. Las dietas tienen un coste de 7.7 euros/día, lo que hace tener un coste de dietas total de 116.55 euros la quincena. Alquilar un coche cuesta 40 euros/día, si le sumamos el coste de la gasolina sumara un total de 49.1 euros/día. Sabiendo que el trabajo se efectúa en 15 días, se calculará el coste total. Estos son los resultados obtenidos.

Actividades Levantamiento Topográfico Duración 1 día Equipo 1 ingeniero
Materiales Usados 1 coche 1 laser escáner Gastos directos Dieta + alquiler coche + gasolina + alquiler láser escáner Trabajo gabinete 14 días 1 ingeniero
Licencia de los 2 software + Dieta + oficina + amortización del equipo informático + oficina equipo informático + licencias *Las actividades se realizan de forma continua, por lo que no existe solape entre ellas

Figura 55 Tabla de las actividades realizadas y sus características. Costes Detalles Total con IVA Gastos generales Costes indirectos -> 93,3 €/dia por 14 dias 1306,2
Compra equipo informatico Amortizacion en dos años, 2,08 €/dia por 14 dias trabajados 29,12 Sueldo bruto ingeniero 18,4 €/hora por 15 dias trabajados 2208 Dietas 7,77 €/dia por 15 dias trabajados 115,5 Alquiler coche + gasolina 40 €/dia alquiler coche (usado solo 1 dia) + 1,33 €/litro gasolina * 7 litros gastados 49,03 Alquiler TrimbleTX6 726 €/dia con IVA incluido , usado solo 1 dia 726 Licencia Trimble RealWorks 5,56 €/dia con IVA incluido , usado 8 dias 44,4 Licencia 3D Reshaper 4,07 €/dia con IVA incluido, usado 6 dias 24,3

Coste de realizar el proyecto 4502,55 Beneficio industrial del 25% 1125,6375
Coste total del trabajo realizado 5628,1875 Figura 56 Tabla con el presupuesto final. 10. Conclusiones Cuando el proyecto esta finalmente realizado, se puede sacar las conclusiones pertinentes, que determinaran si realmente merecía la pena haber desarrollado todo el trabajo. Observando los resultados obtenidos por el láser escáner Trimble TX6, se puede decir que los datos son tolerables para la realización de un modelado tridimensional, ya que son realmente aplicables a un trabajo industrial. Esto es posible, por el gran avance tecnológico sufrido en estos últimos años, ya que la toma de datos realizada con el láser escáner, fue rápida y precisa. No como antaño, que era impensable la adquisición de datos de una forma tan eficaz y con una alta precisión. Al trabajar con programas profesionales, creados especialmente para el procesamiento de nubes de puntos, el tratamiento que se aplica a los datos para poder obtener información de ellos, son precisos. Lo que hace que se pueda trabajar de forma segura al registrar y segmentar todas las nubes de puntos. Cabe decir, que un levantamiento topográfico 3D, conlleva una toma de puntos de cientos de millones de puntos. Lo que hace que se tengan que procesar de una forma adecuada y tener una planificación previa. También en necesaria, la adquisición de un buen equipo informático, si se quiere trabajar de una forma fluida y eficaz. Ya que, con tanta información obtenida, sería imposible registrar, segmentar y crear un modelo 3D con un equipo que no estuviese preparado para ello. Cuando se procede a correlacionar los puntos de las distintas nubes de puntos, se puede apreciar como el error de refinamiento está por debajo del máximo permitido para que el trabajo sea aceptable, y las nubes de puntos, entre ellas tienen un solapamiento alto, lo que hace ver, que la nube de puntos final, esta correcta y no hay incoherencias. Apreciables en las fotografías mostradas con anterioridad. Ya acabado el modelado 3D de los aviones, apreciamos como las superficies están uniformes y bien tratadas, lo que hace posible poder sacar información relevante y poder trabajar con dichos modelos 3D, en otros proyectos. Como podría ser incorporarlos en algún videojuego o recrear aviones de esa época, con la información obtenida. Al tratar los datos, se puede apreciar un error en el avión North American F-86 Sabre. Ya que al intentar crear el modelo 3D, se comprobó que en la punta del avión, faltaba información. Esto fue debido, a la gran altura y a la verticalidad en la que se encontrada la parte superior del F-86 Sabre, haciendo imposible la toma de puntos en esa superficie. Pero gracias a las herramientas que ofrece el programa 3D Reshaper, con varios procesos de corrección, se pudo solucionar. A la hora de realizar la toma de datos en el hangar, un espacio cubierto y una zona reservada, no se tuvieron problemas en el escaneado. Sin embargo, a la hora de realizar la segmentación, al encontrarse numerosos objetos entre el escáner y el avión, la tarea de limpieza fue más delicada y costosa. La aeronave Dassault Mirage F1, al haber pasado largo tiempo en una misma posición estática, el peso hizo que las ruedas perdieran su forma circular y se aplanaran, formando así una paralela con el suelo. Por lo que se tuvo que arreglar el error, con el 3D Reshaper, para obtener un modelo más fiel a la realidad. Por el contrario, al realizar los escaneados en el parque del Oeste, un espacio público y al aire libre, se tuvo que prestar excesiva atención a las personas que se encontraban paseando, para que no interfirieran en la toma de datos, cuando el escáner apuntaba al avión. Ya que eso provocaría sombras y superficies ocultas. También a la hora de procesar los datos, se aprecia, que las palomas situadas en el avión, provocaron zonas ocultas. La mayor conclusión que me llevo de la realización del proyecto, es que con las herramientas enseñadas durante todo el [grado de Ingeniería en Geomática y Topografía y](#) con los conocimientos aprendidos, pude realizar un trabajo industrial de esta magnitud. Lo que me hace pensar, que estoy preparado para trabajar en aquello a lo que dedique en mis años de estudio. Por último, observando los resultados finales, podemos afirmar, que los objetivos que se nos plantearon antes de realizar el trabajo, han sido cumplidos con éxito. De esta forma, el proyecto ejecutado, valdrá como formación extra de todo la carrera cursada. 11. Bibliografía Libros -Trimble Inc. (2016). Hoja de datos TrimbleTX6 escáner láser. -Trimble Inc. (2017). User's Guide Trimble RealWorks®. -Enciclopedia Ilustrada de la Aviación. Tomo 4. -Máquinas de Guerra. Enciclopedia de las Armas del Siglo XX. Tomo 1. -BOLETÍN OFICIAL DE LA PROVINCIA DE VALENCIA. (2019). Oficinas y despachos T.S. (BOP). Páginas

