

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL DISEÑO

GRADO EN INGENIERÍA AEROESPACIAL

CURSO 2015/16



**CONTROL DIMENSIONAL DE PIEZAS
AEROESPACIALES CON SISTEMAS LÁSER
ESCÁNER: HELICÓPTERO BO-105**

PROYECTO FINAL DE CARRERA

ALUMNO

D. SIMÓN VERGARA GÓMEZ

DIRECTOR ACADÉMICO

D. JOSÉ ENRIQUE PRIEGO DE LOS SANTOS

VALENCIA, JULIO DE 2016

Este trabajo significa la finalización de mis estudios de grado en la Universidad Politécnica de Valencia, y el fin de una etapa de 4 años que ha significado muchísimo para mí, mucho más allá de los logros académicos.

En primer lugar, tengo que dar las gracias a Enrique, por haberme dado la posibilidad de realizar el trabajo final con él, ayudándome en todo lo posible y guiándome en la realización del trabajo, así como al resto de personal de la UPV que nos ha facilitado esta tarea.

Dar las gracias a todos mis compañeros, especialmente a *incestidumbre*, convertidos en amigos en estos 4 años, por todo el apoyo recibido no solo durante esta etapa final sino durante todo el grado. A toda la gente que me he cruzado en el camino y que han aparecido para quedarse como algo más que gente: esos que viven en la resi, Ana, *Gatetes*, medicina, bellas artes, pero sobre todo a los *brestons* y *señora*. Sin todos ellos no hubiera sido posible.

Agradecer el apoyo de toda mi cuadrilla de Falces, por ser tan importante para mí y por estar siempre que he tenido momentos de desánimo o flaqueza; así como a la cuadrilla de Varsovia y a la Lady, por convertirse en una familia para mí y acompañarme en una de las mejores experiencias de mi vida.

Para finalizar, dar gracias a toda mi familia sin excepción, por todos los sacrificios y esfuerzos que han tenido que realizar para que pudiera venir a esta ciudad y vivir todo lo que he vivido. Han sido un ejemplo de trabajo y motivación.

Gracias de corazón a todos los que me han enseñado que no era una carrera, sino un buen viaje.

ÍNDICE

APARTADO 1 – INTRODUCCIÓN	14
APARTADO 2 – ESCÁNER LÁSER	16
2.1 Introducción.....	17
2.2 Historia.....	17
2.3 Descripción.....	18
2.4 Ventajas	19
2.5 Clasificación	20
2.5.1 Escáneres activos.....	20
2.4.1.1 Tiempo de vuelo	20
2.4.1.2 Medida de fase.....	22
2.4.1.3 Instrumentos de triangulación.....	23
2.5.2 Métodos pasivos.....	24
2.4.2.1 Estereoscópicos	24
2.4.2.2 Silueta	25
2.4.2.3 Modelado basado en imagen.....	25
2.6 Aplicaciones	26
2.6.1 Introducción.....	26
2.6.2 Topografía.....	26
2.6.3 Automoción	27
2.6.4 Aeroespacial.....	28
2.6.5 Canteras y minas.....	28
2.6.6 Catástrofes naturales.....	29
2.6.7 Medicina forense.....	29
2.6.8 Industria del entretenimiento.....	30
2.6.9 Ingeniería.....	30
2.7 Futuro.....	33
APARTAO 3 – EQUIPO Y ESTRATEGIA DE PROCESADO	34
3.1 Equipo.....	35
3.1.1 ScanStation 2.....	35
3.1.1.1 Características.....	35
3.1.1.2 Especificaciones y prestaciones	36
3.1.2 LeicaScanStation P40.....	36

3.1.2.1. Características	37
3.1.2.2. Especificaciones y prestaciones	37
3.1.3 Estación de trabajo	38
3.2 Proceso de escaneado	38
3.2.1 Determinación de los objetivos	38
3.2.2 Preparación de la zona de estudio	39
3.2.3 Planificación del posicionamiento del láser	39
3.2.4 Elección de puntos de referencia y posicionamiento de dianas	39
3.2.5 Estacionamiento del escáner	40
3.2.6 Preparación del escáner	41
3.2.7 Ajuste de parámetros	42
3.2.8 Adquisición de datos	43
3.2.9 Registro	43
APARTADO 4 – MODELADO HELICÓPTERO B0 105 CON SCANSTATION 2	45
4.1 Introducción	46
4.2 Helicóptero	46
4.2.1 Desarrollo	46
4.2.2 Especificaciones	47
4.2.2.1 Características	47
4.2.2.2 Actuaciones	47
4.2.2.3 Armamento	47
4.2.3 Descripción	47
4.3 Escaneado	48
4.4 Resultados	52
4.5 Postprocesado Cyclone	56
4.6 Postprocesado 3DReshaper	63
4.6.1 Mallado	63
4.6.2 Puentes y llenado de orificios	64
4.6.3 Suavizado	67
4.6.4 Apariencia y aspecto	68
4.7 Medidas	69

APARTADO 5 – MODELADO HELICÓPTERO B0 105 CON SCANSTATION 2	72
5.1 Introducción.....	73
5.2 Escaneado.....	73
5.3 Resultados	75
5.4 Postprocesado Cyclone.....	76
5.5 Postprocesado 3DReshaper.....	78
5.6 Medidas.....	85
APARTADO 6 – CONCLUSIONES.....	88
APARTADO 7 – PRESUPUESTO.....	90
7.1 ScanStation 2.....	91
7.2 P40.....	92
7.3 Postprocesado.....	93
7.4 Total.....	93
APARTADO 8 – ANEXOS.....	95
8.1 Hoja especificaciones ScanStation 2.....	96
8.2 Hoja especificaciones P40.....	97
8.3 Plano helicóptero Bo-105.....	98
APARTADO 9 – BIBLIOGRAFÍA.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Escáner del tipo tiempo de vuelo
- Figura 2. Espejos direccionales
- Figura 3. Principio de funcionamiento del escáner de tiempo de vuelo
- Figura 4. Evolución de los escáneres láser del tipo tiempo de vuelo
- Figura 5. Principio de funcionamiento del escáner de medida de fase
- Figura 6. Evolución de los escáneres láser del tipo medida de fase
- Figura 7. Principio de funcionamiento de la triangulación
- Figura 8. Funcionamiento del escáner láser médico
- Figura 9. Pieza de automóvil escaneada y modelada
- Figura 10. Escáner láser en planta Eurocopter
- Figura 11. Escáneres láser en minas y canteras
- Figura 12. Rescate a un grupo atrapado tras un terremoto en China
- Figura 13. Escáner láser en aplicaciones forenses
- Figura 14. Escáner láser en animación 3D
- Figura 15. Aeropuerto de Frankfurt
- Figura 16. Clasificación de las aplicaciones de los equipos escáner láser
- Figura 17. Leica Pegasus Two
- Figura 18. Leica Nova MS50 MultiStation
- Figura 19. Modelo texturizado de la ciudad de Waldshut-Tiengen
- Figura 20. Características del ScanStation 2
- Figura 21. Panel táctil del equipo Leica P40
- Figura 22. Variación de la huella láser con el ángulo de incidencia
- Figura 23. Tipos de dianas
- Figura 24. Trípode y apoyo de trípode
- Figura 25. Nivelación del escáner láser
- Figura 26. Ángulos de barrido del láser escáner
- Figura 27. Estrategia de intersección inversa
- Figura 28. Registration
- Figura 29. Helicóptero Bo 105
- Figura 30. Posicionamiento de dianas en planta
- Figura 31. Posicionamiento de dianas en 3D
- Figura 32. Posicionamiento del escáner láser en perfil
- Figura 33. Posicionamiento del escáner láser en planta

- Figura 34. Posicionamiento del escáner láser 1
- Figura 35. Posicionamiento del escáner láser 2
- Figura 36. Posicionamiento del escáner láser 3
- Figura 37. Escaneado de la parte trasera izquierda
- Figura 38. Escaneado de la parte trasera derecha
- Figura 39. Escaneado de la parte delantera derecha
- Figura 40. Escaneado de la parte trasera central izquierda
- Figura 41. Escaneado de la parte delantera izquierda
- Figura 42. Escaneado de la parte trasera central delantera
- Figura 43. Escaneado de la parte interior trasera
- Figura 44. Escaneado de la parte Interior izquierda
- Figura 45. Escaneado de la parte interior central
- Figura 46. Escaneado de la parte superior
- Figura 47. Ventana CloudMess del entorno Cyclone
- Figura 48. CloudMess del escaneado del helicóptero
- Figura 49. Escaneado global de la parte izquierda
- Figura 50. Escaneado global de la parte derecha
- Figura 51. Escaneado global en alzado
- Figura 52. Escaneado global de la parte trasera superior
- Figura 53. Escaneado global en planta
- Figura 54. Escaneado global en perfil izquierdo
- Figura 55. Contribuciones de los escaneados al escaneado global
- Figura 56. Tratamiento de datos en software Cyclone
- Figura 57. 1^{er} paso del mallado del helicóptero
- Figura 58. 2^o paso del mallado del helicóptero
- Figura 59. Helicóptero mallado con orificios
- Figura 60. Helicóptero mallado sin orificios
- Figura 61. Fuselaje inferior con orificio
- Figura 62. Fuselaje inferior con puente
- Figura 63. Fuselaje inferior sin orificio
- Figura 64. Helicóptero con malla sin suavizar
- Figura 65. Suavizado de carenado y cola
- Figura 66. Helicóptero con malla suavizada

- Figura 67. Modelo final del helicóptero
- Figura 68. Medidas en Cyclone de rotor principal y antipar
- Figura 69. Medidas en Cyclone de ancho del helicóptero
- Figura 70. Medidas en 3DReshaper del helicóptero
- Figura 71. Posicionamiento del escáner P40
- Figura 72. Diana del escáner P40
- Figura 73. Escaneo trasero derecho
- Figura 74. Escaneo global
- Figura 75. Escaneo en planta del helicóptero limpio
- Figura 76. Escaneo en alzado del helicóptero limpio
- Figura 77. Escaneo en perfil del helicóptero limpio
- Figura 78. Escaneo del helicóptero limpio
- Figura 79. Perfil de la nube de puntos en 3DReshaper
- Figura 80. Planta de la nube de puntos en 3DReshaper
- Figura 81. Alzado de la nube de puntos en 3DReshaper
- Figura 82. Nube de puntos en 3DReshaper
- Figura 83. Detalle de la nube de puntos en 3DReshaper
- Figura 84. 1er paso mallado
- Figura 85. 2º paso mallado
- Figura 86. Malla con orificios 1
- Figura 87. Malla con orificios 2
- Figura 88. Malla sin orificios 1
- Figura 89. Malla sin orificios 2
- Figura 90. Malla sin suavizar 1
- Figura 91. Malla sin suavizar 2
- Figura 92. Malla suavizada 1
- Figura 93. Malla suavizada 2
- Figura 94. Modelo final (P40)
- Figura 95. Medidas del alzado en Cyclone (P40)
- Figura 96. Medidas en planta en Cyclone (P40)
- Figura 97. Medidas del perfil en 3DReshaper (P40)
- Figura 98. Medidas del alzado en 3DReshaper (P40)
- Figura 99. Hoja de especificaciones del ScanStation 2

- Figura 100. Hoja de especificaciones del P40
Figura 101. Plano del helicóptero Bo 105

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Evolución de las características de los escáneres
- Tabla 2. Discrepancias de medidas en Cyclone
- Tabla 3. Discrepancias de medidas en 3DReshaper
- Tabla 4. Discrepancias de medidas en Cyclone (P40)
- Tabla 5. Discrepancias de medidas en 3DReshaper(P40)
- Tabla 6. Costes del escaneado láser con ScanStation 2
- Tabla 7. Costes del escaneado láser con P40
- Tabla 8. Costes del postprocesado
- Tabla 9. Coste total

1. INTRODUCCIÓN

El objeto de este trabajo es la obtención del título académico de Grado en Ingeniería Aeroespacial de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño (ETSID), en la Universitat Politècnica de Valencia. Para lograrlo, se realiza dicho proyecto bajo la supervisión y tutoría del doctor Enrique Priego de los Santos, profesor del Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría.

El objetivo de este trabajo fin de carrera es la descripción y aplicación de la tecnología láser de escaneo tridimensional a la industria aeroespacial. La modelización 3D, es una técnica en pleno auge, que apoyada en aplicaciones típicamente topográficas y debido a su alta precisión, ha permitido su implantación en mediciones de aparatos, elementos u objetos aeroespaciales. En este trabajo, se ha llevado a cabo la medición de un helicóptero militar, mediante la utilización de dos escáneres láser para el modelado 3D. El hecho de obtener el levantamiento tridimensional con dos instrumentos de diferente generación, ha permitido establecer una comparación entre los distintos modelos y, por consiguiente, los distintos láser escáner, pudiendo observar su evolución en el tiempo y sus características potenciales.

El primer capítulo hace referencia a la teoría que permite conocer el funcionamiento de la tecnología láser. Asimismo, se describe su evolución a lo largo de los años, se realiza una clasificación atendiendo a diferentes criterios, y se indican algunas de sus aplicaciones en la actualidad y sus posibles orientaciones futuras.

En un segundo y tercer apartados, se describe el proceso llevado a cabo para la modelización digital del helicóptero militar BO-105 que se encuentra en el hangar Pedro Duque de la Universitat Politècnica de Valencia. Para ello se ha utilizado el escáner láser ScanStation 2 del Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, y el láser escáner P-40, instrumento más moderno y de última generación, prestado por la empresa Leica Geosystems. En estos apartados, se describen detalladamente los equipos empleados, así como los procesos de medición y tratamiento de las nubes de puntos obtenidas.

Además, se describen las técnicas de postprocesado para conseguir el modelo 3D final con distintos software que realizan la fusión de nubes de puntos desde distintos estacionamientos del láser escáner, la limpieza de información no útil, la triangulación del modelo, para llegar a una renderizado o texturización del objeto medido.

A la vista de los resultados finales, quedará constatada la posibilidad de la utilización de los escáneres láser en la industria aeronáutica. De la misma forma, las diferencias más notables entre ambos modelos serán claramente visibles, siendo indicadoras de la evolución del escaneo láser, y sus proyecciones futuras.

2. ESCANEADO LÁSER

2.1 INTRODUCCIÓN:

Se define por escaneado láser a una serie de procedimientos a partir de los cuales una superficie se muestrea mediante el uso de tecnología láser, barriendo una superficie, obteniendo miles de puntos por segundo, así como su forma y su radiometría. Se denomina también "Lidar", asociándolo con la tecnología que determina la intensidad y la distancia a un objeto usando pulsos láser.

Son de gran importancia debido a sus considerables y provechosas ventajas como es la obtención de una gran cantidad de puntos en un periodo corto de tiempo con total precisión y de forma remota.

En un primer momento se pueden separar dos grandes tipos de escáneres: los dinámicos, y los estáticos. Debido al elevado coste y complejo funcionamiento de los escáneres láser dinámicos (sistema compuesto por uno o más escáneres sobre el techo de un vehículo), el trabajo se fundamentará en un escáner láser estático (posición fija) de la compañía Leica. Debido a que se trata de instrumentos de línea de vista, es necesario realizar diferentes mediciones para cubrir todo el rango de estudio, siendo de vital importancia el procedimiento de unión de las diferentes nubes procedentes de cada escaneo. Sin embargo, se realizan pruebas con otros escáneres proporcionados por la propia compañía, para poder contrastar sus resultados y evaluar su eficacia y precisión.

2.2 HISTORIA:

Hace 5000 años los antiguos babilónicos y egipcios ya usaban técnicas de triangulación; hace 2500, Euclides y Arquímedes ya habían sentado las bases de la trigonometría; y en el siglo 17, Snell von Rojen ya había estudiado las leyes de la triangulación óptica. Sin embargo, no fue hasta hace unos 30 años, después de unas décadas de acercamientos teóricos y de desarrollo de sistemas de procesamiento de imágenes, cuando se desarrollaron escáneres 3D, basados en la triangulación, capaces de modelar una imagen 3D con suficiente nitidez y resolución.

La tecnología de escáner 3D comenzó a desarrollarse en la segunda mitad del siglo 20, en un intento de recrear de forma precisa diferentes superficies y lugares. Con el desarrollo de las computadoras, quedó patente la necesidad del desarrollo de tecnologías ópticas para el reconocimiento y recreación de modelos, puesto que los métodos de contacto físico mostraban importantes carencias.

Los primeros intentos se llevaron a cabo en los años 60, cuando los escáneres empleaban luces, cámaras y proyectores para realizar sus mediciones. Sin embargo, debido a sus limitaciones, conllevaba un gran esfuerzo para obtener resultados con una precisión adecuada. Así pues, derivaron a finales de los 80 en la utilización de luz blanca, láser y sombras para mapear las distintas superficies.

Tras tratar diferentes alternativas, se optó por el escáner a partir de bandas, para reflejar conjuntos de puntos. El reto que surgió entonces fue el desarrollo de un procedimiento para tratar de unir los diferentes barridos de un mismo cuerpo, para tanto eliminar los puntos redundantes como para rellenar las zonas que no estaban presentes en cada uno de ellos.

Año	CPU/RAM	Memoria de imagen	Capacidad HD	Resolución de cámara
1980	64 KB	512 KB	5 MB	
1985	512 KB	2 MB	20 MB	256 KB
1990	2 MB	16 MB	100 MB	1 MB
2000	200 MB	100 MB	100 GB	4 MB
2010	4 GB	2 GB	1 TB	8 MB
2014	64 GB	32 GB	10 TB	16 MB

Tabla 1. Evolución de las características de los escáneres

El rápido progreso en la tecnología de procesamiento de imagen, especialmente el disponer de cámaras con muy alta resolución, ha permitido el diseño de escáneres 3D para una gran variedad de aplicaciones, desde la ingeniería hasta la medicina. Desde hace unos años, los avanzados dispositivos de proyección han permitido diseños de escáneres más compactos con un menor consumo de potencia.

2.3 DESCRIPCIÓN:

Los instrumentos de medición láser se presentan como instrumentos cuya medición se realiza sin que sea necesario el contacto con el objeto. Se fundamenta en la emisión de un haz que se dirige al objeto, obteniendo la medición a través de la parte de la emisión que regresa por reflexión.

La medición de la distancia de cada punto se puede realizar por tres métodos distintos, los cuales se detallarán en el apartado de clasificación. Aunque los datos obtenidos componen un modelo de puntos muy simple, es posible obtener representaciones tridimensionales con nubes de puntos de alta densidad, que serán de gran utilidad para estudiarlo en un entorno CAD o para su estudio en otros campos.

Los procedimientos de escaneo láser 3D llegan a permitir obtener una representación bastante cercana a la realidad, puesto que incluso es posible asociar el color real de la muestra a los distintos puntos a partir de una cámara fotográfica de alta resolución. Para ello, desde un mismo punto de estacionamiento del escáner, se realiza un barrido fotográfico anterior al propio escaneo.

2.4 VENTAJAS:

Los sistemas de alta definición cuentan con numerosos beneficios que permiten contar con nuevos estándares para llevar a cabo un trabajo. Podemos englobar dentro de dichos beneficios los generados debido al ahorro de costes y los relativos al valor añadido de la tecnología.

Son numerosos las características que hacen que contar con algún tipo de sistema HDS ayuda a reducir los costes del proceso requerido. Entre ellos se pueden destacar los siguientes:

- Disminución del número de visitas repetidas al lugar de estudio.
- Al contar con mayor exactitud y estudios más completos, permite reducir los trabajos de reconstrucción por interferencias, y permite realizar dichos escáneres en el propio lugar de trabajo en lugar de realizarlo en el campo.
- Gracias a la exactitud y rapidez de la captación, es posible llevar al mínimo los tiempos de espera e inactividad de los equipos.
- La tarea de campo se reduce a una quinta parte de la necesaria con métodos tradicionales.

Ofrecen un valor agregado, englobando todos los recursos y particularidades, que hacen que los equipos no solo cumplan con los requisitos para los que han sido adquiridos, sino que permitan obtener resultados con muy elevadas características:

- Resultados rápidos en menor tiempo y con mayor precisión.
- Alto nivel de detalle con mayor seguridad y flexibilidad de trabajo.

2.5 CLASIFICACIÓN:

El propósito principal del escaneado láser es el obtener una nube de puntos de una superficie continua para tratar de reconstruirla posteriormente. A pesar de que se puede realizar una clasificación exhaustiva atendiendo a si existe o no contacto con el objeto, nos centraremos únicamente en esta clasificación en los segundos, puesto que el tipo de escáner que vamos a emplear es de este tipo.

Un escáner láser sin contacto se define como aquel que no necesita contacto físico y emplea técnicas activas o pasivas para escanearlo.

2.5.1 Escáneres activos:

Este tipo de escáner emite algún tipo de radiación (ultrasonido, rayos X,...) o luz y detecta su reflexión en el objeto de estudio para conocer sus propiedades y dimensiones. Se subdividen a su vez en tres tipos: tiempo de vuelo, triangulación, medida de fase. A pesar de que se usan independientemente, se pueden usar de forma conjunta para obtener un escaneo más completo. Como principales ventajas cabe destacar la gran cantidad de información que genera en poco tiempo y su uso en superficies de difícil definición. Por el contrario, su fuente de luz puede verse afectada por diversos factores.

2.5.1.1 Tiempo de vuelo:

Se emite un haz de láser que se refleja en el objeto, regresando con una porción de la energía emitida al inicio. El detector es capaz de determinar con precisión el tiempo transcurrido desde la emisión hasta la recepción (a partir de un conversor digital), siendo posible a partir de la misma obtener la distancia a la que se encuentra el punto. La precisión dependerá de la precisión de medición del aparato que viene condicionada por la electrónica. Mencionar que, si es necesario distinguir una precisión de 3 mm, debería de medirse el tiempo con una precisión de 10^{-11} seg.



Figura 1. Escáner del tipo tiempo de vuelo. Fuente: Leica

El telémetro láser (dispositivo capaz de medir distancias de forma remota) únicamente detecta la distancia de un punto en la dirección del aparato, por lo que realiza un barrido de todo el campo de visión mediante la variación de la dirección del telémetro o mediante la utilización de espejos direccionales, que permiten direccionar el haz vertical y horizontalmente. Para nuestro modelado, emplearemos un escáner láser de este tipo, con espejos rotatorios, debido a su facilidad para manejarlos y su ligereza. Sin embargo, se han desarrollado nuevos sistemas como prismas ópticos así como círculos de fibra óptica que aceleran y simplifican el proceso.

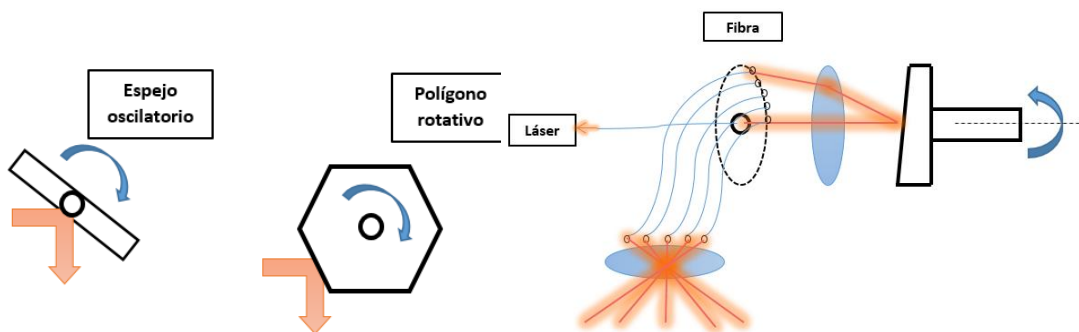


Figura 2. Espejos direccionales

Este tipo de escáneres son más adecuados para medir grandes distancias (200-300 m), pudiendo llegar a medir hasta a kilómetros de distancia, con una precisión comprendida entre los 4 mm y 3 cm.

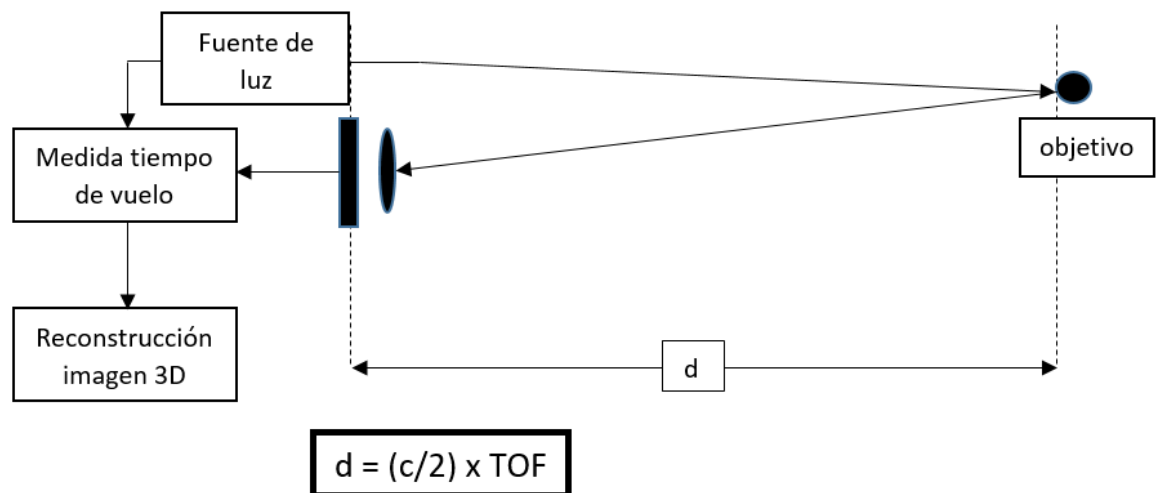


Figura 3. Principio de funcionamiento del escáner de tiempo de vuelo.

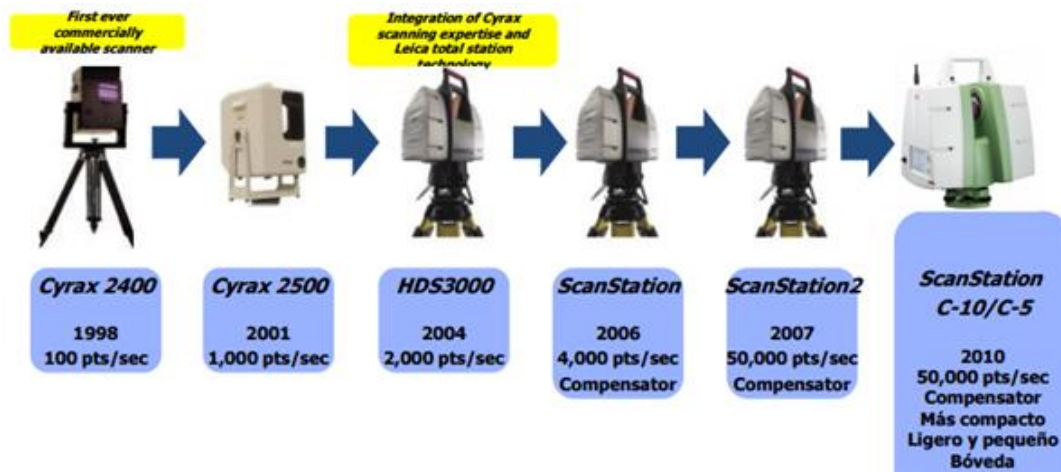


Figura 4. Evolución de los escáneres láser del tipo tiempo de vuelo. Fuente: Leica

2.5.1.2 Medida de fase:

Se basa en la emisión de una onda sinusoidal continua que, de forma análoga y conjunta al haz láser, se refleja y regresa al receptor. Utiliza un haz láser continuo al que se le va modulando la potencia. A partir de la medición del desfase entre la onda emitida y la recibida, y mediante su relación con la longitud de onda del láser emitido, es posible conocer la distancia recorrida: $d = \lambda * \frac{\Delta\phi}{2\pi}$

Cuenta con la ventaja de que la diferencia de fase es más sencilla de obtener que el tiempo de vuelo, por lo que es ampliamente utilizado en instrumentos topográficos. Sin embargo, es necesario que la onda cuente con una gran cantidad de energía para poder medir correctamente la diferencia de fase, por lo que o bien se emite una onda con mucha energía o se miden objetos cercanos. Además, su precisión se ve condicionada por la estabilidad del oscilador de modulación. Por ello, se consideran instrumentos de gran precisión y corto alcance (70-80 m).

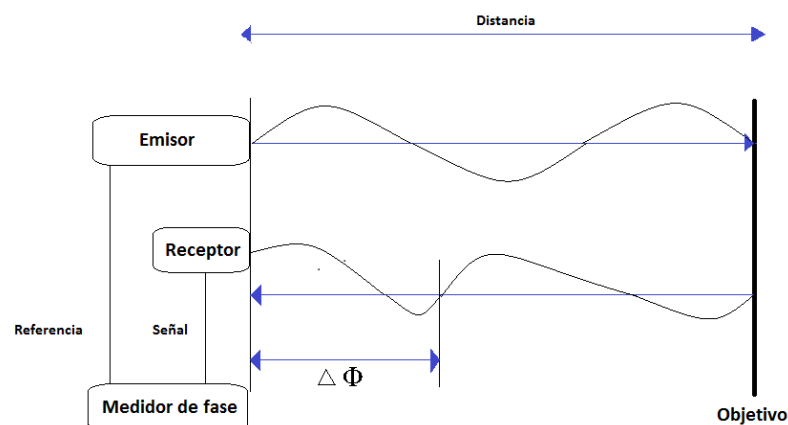


Figura 5. Principio de funcionamiento del escáner de medida de fase



Figura 6. Evolución de los escáneres láser del tipo medida de fase. Fuente: Leica

2.5.1.3 Instrumentos de triangulación:

Disponen de un sistema de emisión y otro de recepción, separados una distancia conocida ("base"). Cuentan con un láser para medir el entorno y una cámara para focalizar el punto en el objeto. Según lo lejano que se encuentre, la proyección aparecerá en distintos lugares del sensor de la cámara. En la mayoría de los casos, en lugar de analizar un solo punto, se analiza un segmento, de manera que se acelera el proceso de captura y se reduce el tiempo de escaneo.

Estos escáneres son más precisos que los de tiempo de vuelo, llegando a la milésima de milímetro, sin embargo, cuanto más se aleje el ángulo del vértice opuesto al escáner de 90° menor será. Por ello, se restringe el tamaño del objeto a analizar (20-30 cm).

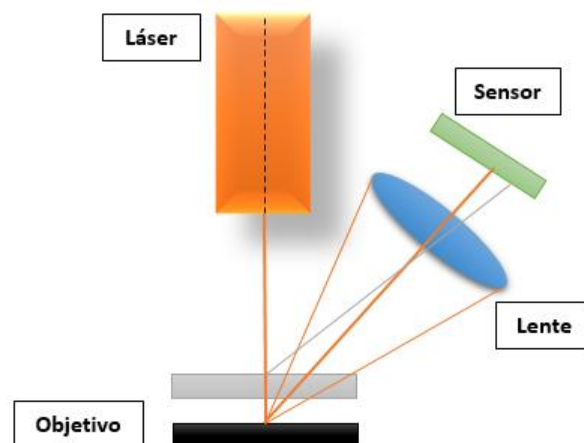


Figura 7. Principio de funcionamiento de la triangulación

Atendiendo a la velocidad de toma de datos, podemos establecer que los equipos de diferencia de fase (1200000 puntos/seg) son con diferencia más rápidos que los de tiempo de vuelo (128000 puntos/seg). Si evaluamos la precisión, ambas tecnologías se encuentran en el mismo nivel en sus usos habituales y se encuentra entre 4 mm y 3 cm. Por último, si nos fijamos en el rango de cada tipo de aparato, es mayor en el caso del primer tipo de aparato explicado, en torno a 350 m, mientras que el de los segundos es de 100 m.

Atendiendo ahora a sus características comunes, podemos recoger que los 3 tipos de escáner emplean la medición mediante pulsos láser, utilizando una fuente generada por el propio cuerpo (sensor activo). Así mismo, cuentan con la ventaja del pequeño grado de divergencia del haz láser pudiendo localizar el reflejo del haz durante el barrido en el objeto.

Todos los escáneres se complementan con un software CAD auxiliar para el tratamiento de la gran cantidad de datos (millones de puntos), mediante el cual se registran y se modelan para posteriormente poder realizar tareas de visualización, medición y gestión.

2.5.2 Métodos pasivos:

Las técnicas pasivas, al contrario que las activas, no emiten ningún tipo de radiación, sino que se fundamentan en tratar de detectar la radiación ambiental reflejada, aunque también pueden usar otro tipo de radiación como el infrarrojo. Existe una gran variedad dentro de esta categoría debido a que cuentan con la ventaja de que únicamente es necesaria una cámara digital. No son métodos tan fiables como los activos, puesto que su precisión está fuertemente influenciada por la resolución de las imágenes y la densidad de los elementos identificables en ellas.

2.5.2.1 Estereoscópicos:

Estos sistemas emplean el mismo principio de la fotometría: usando las medidas entre dos imágenes con dos cámaras de video, ligeramente separadas, consigue determinar la distancia de cada pixel. Está basado en la visión estereoscópica humana. Tiene múltiples aplicaciones en distintos ámbitos, como en la medicina, en la cual se llevan empleando durante años, como respuesta al rápido desarrollo y diversificación de los láseres escáner.



Figura 8. Funcionamiento del escáner láser médico. Fuente: Framepool

2.5.2.2 Silueta:

Se realiza un proceso por el cual se fotografía repetidamente un objeto tridimensional contra un fondo bien contrastado, para posteriormente entremezclar las siluetas originadas y formar el modelo. A pesar de que se emplean principios bastantes semejantes, las aplicaciones de cada método están bien especificadas.

2.5.2.3 Modelado basado en imagen:

Son todos los métodos que emplean la ayuda del usuario para identificar características y construir una primera aproximación rápida de edificios. Esta también basado en los principios de la fotogrametría.

2.6 **APLICACIONES:**

2.6.1 Introducción:

En un primer periodo, los escáneres láser eran de corto alcance y se emplearon fundamentalmente en facilitar las tareas de diseño automatizado e industrial (CAD), lo que permitió la producción en masa de productos de consumo. Más adelante y gracias al vertiginoso desarrollo tecnológico, escáneres de medio alcance se desarrollaron para la industria petroquímica, cuyas plantas únicamente se encontraban documentadas en 2D

Gracias a las ventajas del láser escáner, se pueden encontrar aplicaciones de los equipos 3D en muchas otras disciplinas que se han interesado en adoptar esta tecnología.

2.6.2 Topografía:

Agiliza el proceso de recogida de datos, obteniendo una nube de puntos 3D de millones puntos, componiendo de forma precisa y rápida una representación tridimensional del objeto registrado.

Se ha llevado a cabo un macroproyecto en Dubrovnik (Croacia), en el cual se realizó el escaneo y documentación de más de 2 km de la muralla que rodea la ciudad, en relación a asociaciones de defensa de la cultura histórica. Los datos se emplearon para un estudio del estado de la ciudad, planificando futuras reparaciones y restauraciones, con el fin de preservar su naturaleza.

2.6.3 Automoción:

Es indispensable la obtención de información rápida y precisa para la elaboración de modelos a partir de los productos reales (ingeniería inversa). En la automoción, es una herramienta clave en la creación de maquetas, análisis de modelos, y desarrollo de piezas para el control de calidad, así como para el control dimensional y el perfilado.

El equipo Red Bull Racing de fórmula 1 adquirió un equipo de la compañía Leica, que contaba con un sensor manual portátil de contacto inalámbrico. Con él, trataron de conseguir la mayor precisión posible en los escasos intervalos que disponen entre carreras, siendo conscientes de la gran importancia que supone el correcto rediseño de los elementos aerodinámicos de los coches, los cuales se realizan continuamente.

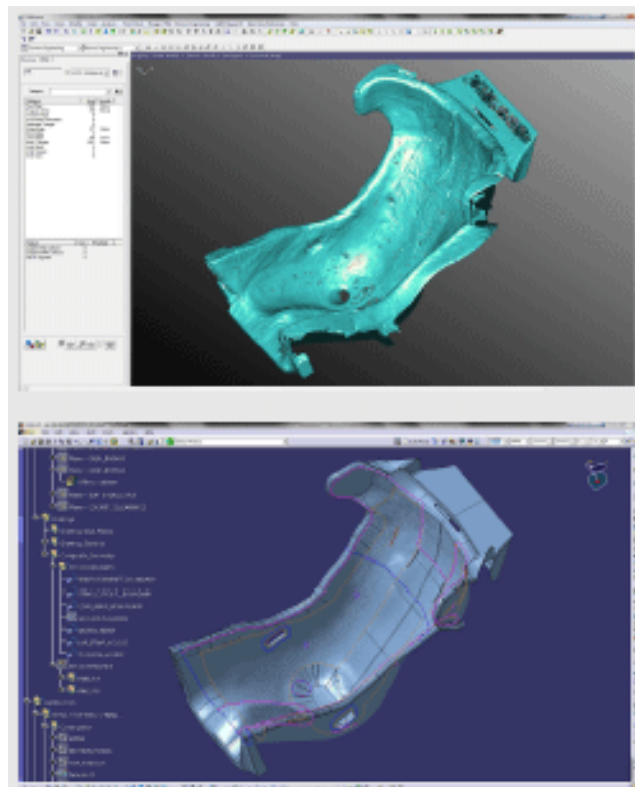


Figura 9. Pieza de automóvil escaneada y modelada. Fuente:Leica

2.6.4 Aeroespacial:

Dentro de un volumen de medición único, tanto los dispositivos y objetos grandes como pequeños pueden ser reconocidos y analizados con una precisión de micras.

La compañía líder en fabricación de helicópteros Eurocopter consiguió aumentar su eficiencia en la línea de producción un 70 %, gracias a la implementación de dos nuevos sistemas de medida por láser de la compañía Leica Geosystems, orientados a afianzar su garantía de calidad. Permiten realizar medidas directas en la propia línea de producción, sin ser necesario trasladarlos objetos de estudio al punto fijo de realización de mediciones.



Figura 10. Escáner láser en planta Eurocopter. Fuente: Leica

2.6.5 Canteras y minas:

Se incluyen todas las actividades relacionadas con la extracción de recursos naturales. Se engloban los procesos de realización, registro y cálculo de las medidas de viabilidad de la mina, sentando las bases para la planificación y el control de las operaciones en dichos yacimientos. Se realizan cálculos en las superficies irregulares para el cálculo del volumen extraído. Así mismo, también se emplea en topografía de zonas inestables o con taludes, y de acceso difícil; en estudios de depósitos para residuos; etc.

Se llevó a cabo un modelado 3D de la mina más profunda del mundo, Mponeng (Sudáfrica), para evaluar sus condiciones antes de llevar a cabo un proyecto en el que se pretendía instalar un monorail y un ascensor en la misma. Remarcar las condiciones atmosféricas extremas de temperatura a las que se tuvo que realizar. A pesar de que se encontraron algunas discrepancias entre el modelo y la mina real, dada la magnitud del objeto de estudio, se consideró bastante acertado.



Figura 11. Escáneres láser en minas y canteras. Fuente:Leica

2.6.6 Catástrofes naturales:

Permite la simulación de maremotos y control de estructuras ya existentes expuestas a algún tipo de carga extrema como puede ser un terremoto.

Es especialmente remarcable el hecho acontecido en Sichuan (China) tras el terremoto sucedido en 2008, en el cual gracias a la ayuda de un equipo láser, los equipos de rescate captaron un mensaje en el tejado de un viejo edificio en el cual se podía leer "SOS700". A pesar de que no entendieron en un primer momento el mensaje, un equipo acudió al lugar donde 700 personas que se encontraban atrapadas sin comida ni agua pudieron ser rescatadas.



Figura 12. Rescate a un grupo atrapado tras un terremoto en China. Fuente:Leica

2.6.7 Medicina forense:

Herramienta muy potente para la planificación y la investigación desde un simple accidente de tráfico hasta un accidente aéreo, siendo incluso posible recrear una simulación

del suceso. Permite el registro de escenas de crímenes mediante la comparación de perfiles de daños, sin alterar las pruebas y haciendo posible la rápida evacuación de la escena.



Figura 13. Escáner láser en aplicaciones forenses. Fuente:Leica

2.6.8 Industria del entretenimiento:

Son empleados para crear modelos 3D digitales, siendo mucho más rápido y sencillo el escáner del objeto real que su modelado manual por medio de algún software. Se usan para el desarrollo tanto de animaciones para videojuegos como para películas animadas. Han supuesto un gran avance en la industria del entretenimiento, haciendo posible reducir los costes y aumentar la capacidad de creación.

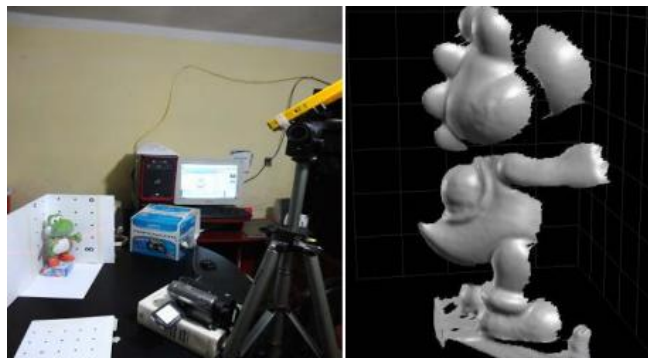


Figura 14. Escáner láser en animación 3D

2.6.9 Ingeniería:

Son múltiples sus aplicaciones en las distintas ramas de la ingeniería; desde la generación de modelos de cauces de ríos y puentes, hasta el de aeropuertos, vías de tren y estadios. Se ha empleado sobre todo en la documentación de lugares históricos.

En 2012 se comenzaron las obras en el aeropuerto de Frankfurt (Almenaia), uno de los más grandes del mundo, para crear la nueva zona de embarque "A-plus". Se plantearon la posibilidad de realizar una comparativa nominal/real de los datos obtenidos por CAD, por lo que decidieron emplear para la construcción de la misma las ventajas y recursos de la tecnología láser 3D. En su momento, se convirtió en la obra de escaneo más grande de Europa, en la que llegaron a trabajar simultáneamente hasta 4 escáneres.



Figura 15. Aeropuerto de Frankfurt. Fuente: Leica

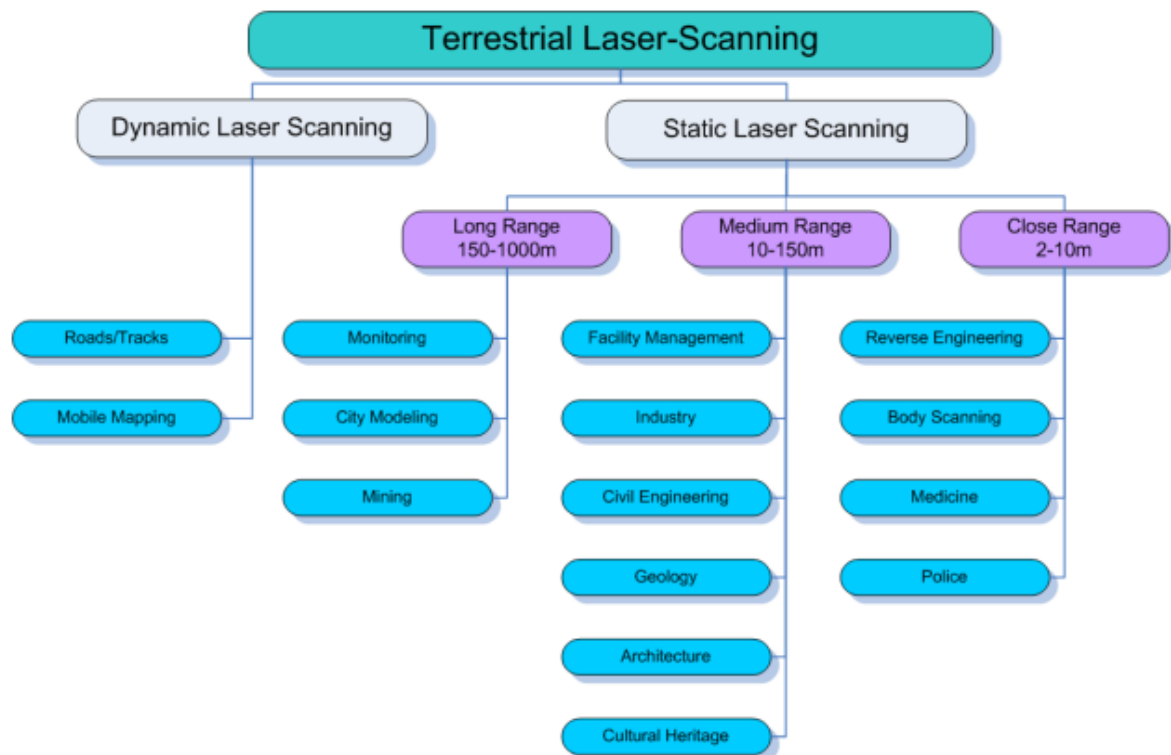


Figura 16. Clasificación de las aplicaciones de los equipos escáner láser.

Fuente: Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre

Centrándonos en la empresa Leica, podemos destacar los siguientes sistemas que se están desarrollando y que permitirán diversificar las aplicaciones y los horizontes del escaneado láser industrial:

- **LeicaPegasus TWO:** es un escáner móvil que combina la tecnología LiDAR y fotogrametría, desarrollado en los últimos años, el cual cuenta con una plataforma con 7 cámaras distribuidas permitiendo obtener una cobertura de 360°. Entre sus aplicaciones encontramos su uso para proyectos de infraestructura como la autopista M6. Facilita enormemente este tipo de tareas puesto que no es necesario cerrar tramos de carretera para efectuar el escáner, evitando poner en riesgo tanto a cartógrafos como al resto de vehículos. Se consigue a su vez una importante reducción de los tiempos de adquisición, así como un aumento de la exactitud y eficiencia de los datos y del perímetro de cobertura, con respecto a los métodos estáticos tradicionales.



Figura 17. Leica Pegasus Two. Fuente: Leica

- **Leica Nova MS50 MultiStation:** se trata de una estación total que combina tanto las tecnologías de escáner 3D e imágenes digitales con la conectividad GNSS. Permite facilitar tareas en proyectos complicados como la medición de las antiguas minas existentes en el Canton de Aargau (Suiza), de las cuales se habían perdido los planos y se deseaba conocer su estado y conservación. Debido a las realmente dificultosas y extremas condiciones de acceso, respiración y desplazamiento a través de los túneles, la multiestación se confirmó como el perfecto instrumento gracias a sus ventajas: elevada velocidad de giro y panel de control iluminado con función de cámara.



Figura 18. Leica Nova MS50 MultiStation. Fuente: Leica

- **Aibot-X6:** se trata del nuevo UAS desarrollado por la compañía, con tecnología de rotor múltiple y guardas de aspas integradas. Se caracteriza por una elevada seguridad, desempeño y flexibilidad. Entre sus principales características cabe destacar su velocidad máxima de 50 km/h, su capacidad de carga de 2 kg y la posibilidad de inicio y aterrizaje automáticos. Se empleó en la ciudad de Waldshut-Tiengen (Alemania) ante la ausencia de documentos eficientes para la planificación de desarrollo urbanístico de la ciudad. Se usó para recoger datos con el objetivo de crear ortofotos geográficas, una nube de puntos a color y un modelo texturizado en 3D. Permitted prescindir de complicadas misiones para obtener datos de los tejados más escarpados y de difícil acceso.



Figura 19, Modelo texturizado de la ciudad de Waldshut-Tiengen. Fuente: Leica

2.7 FUTURO:

En un futuro, son muchos los factores que se pueden mejorar dentro de las actuales tecnologías de escáner láser, siendo los tres principales los siguientes: el tiempo de adquisición de datos, la accesibilidad y la simplificación de los mecanismos y aparatos. El desarrollo de estas características podría abrir el mundo de la tecnología escáner 3D a la gente de a pie, al igual que ha sucedido con el vertiginoso desarrollo y diversificación de los teléfonos móvil. Este rápido desarrollo viene influenciado por la mejora de los sistemas que permiten obtener información útil a partir de las nubes de puntos, como son todos los software de CAD.

Por otro lado, podría profundizarse en el tipo de información que nos proporciona un escáner láser, de forma que en un futuro no nos proporcionase únicamente información acerca de la forma y la apariencia de un objetivo, sino características acerca del material, entre otros aspectos. Podría incluso llegar a desarrollarse lo suficiente como para llevar a cabo modelados de rostros humanos

En el campo de la medicina, sería interesante ver cómo pueden aplicarse los nuevos desarrollos con el fin de facilitar la asistencia sanitaria. Por ejemplo, realizar escaneados del cuerpo completo pudiendo recurrir a dicho modelo en el caso de ser necesaria una reconstrucción tras un accidente.

3. EQUIPO Y ESTRATEGIA DE PROCESADO

3.1 EQUIPO

3.1.1 ScanStation2

Para la realización de este primer escaneado, en el que se centra nuestro proyecto, hemos empleado, como ya se ha comentado anteriormente, una estación de escaneado láser de la compañía LeicaGeosystems, del modelo ScanStation 2. Es un escáner estático activo, de tipo tiempo de vuelo con espejos rotatorios, de barrido panorámico, desarrollado y lanzado en el año 2007.

Cuenta con una velocidad de escaneo 10 veces superior al anterior modelo. Gracias a su versatilidad y su gran mejora en cuanto a prestaciones, productividad y velocidad, ha permitido que la tecnología HDS (High-DefinitionSurveying) diversifique sus aplicaciones. Podemos englobar sus principales ventajas en una rápida y más completa recolección de información y datos, y un trabajo de campo mucho menor. El resultado, es un escaneo de datos detallado, riguroso, para asegurar una recreación fiel de cualquier escenario u objeto.

Remarcar que además del escáner láser, se empleó un trípode telescópico para sujetarlo, así como cables de alimentación y un set de dianas. Estas dianas son indispensables para poder realizar un modelo completo del objeto de estudio, superponiendo los distintos escaneados de los aparatos.

3.1.1.1. Características:



Figura 20. Características del ScanStation 2. Fuente: Leica

3.1.1.2. Especificaciones y prestaciones:

- Medidas: 265 mm x 370 mm x 510 mm.
- Peso: 18.5 kg.
- Cámara digital de alta resolución integrada.
- Precisión a nivel topográfico.
- Alcance: 300 m
- Velocidad máxima: hasta 50000 puntos/segundo, aunque la media depende de la densidad de escaneo específica y del campo de visión.
- Densidad de escaneo: < 1 mm máx en todo el rango.
- Láser: 3R de color verde visible.
- Funcionamiento completo en condiciones tanto con luz solar brillante o oscuridad completa.
- Campo de visión: 360º horizontal máximo; 270º v máximo.
- Equipo de rotación vertical sobre una base que rota horizontalmente.

3.1.2 Leica ScanStation P40:

En una segunda fase, se ha utilizado el láser escáner P40, desarrollado en 2015, junto con el modelo P30. Cabe destacar de este nuevo aparato su compacto tamaño, el cual permite transportarlo mucho más fácilmente que los modelos anteriores de estaciones láser; su alimentación mediante baterías permitiendo una mayor portabilidad y productividad; y su elevada velocidad de adquisición de puntos, de hasta 1000000 por segundo con alcances de hasta 270 m, permitiendo un menor tiempo necesario para barrer el conjunto del aparato. Dispone de un panel táctil el cual permite configurar los escaneos y guardar los proyectos.

Como característica remarcable, mencionar que cuenta con un haz láser no visible de clase 1, el cual es seguro (no nocivo) en todas las condiciones de utilización razonablemente previsibles, incluyendo el uso de instrumentos ópticos en visión directa.

Igual que en el caso del primer escaneo, se empleó un trípode telescópico para sujetarlo, y un set de dianas, complementando el escáner láser propiamente dicho.

3.1.2.1. Características:



Figura 21. Panel táctil del equipo Leica P40. Fuente: Leica

3.1.2.2. Especificaciones y prestaciones:

- Medidas: 238 mm x 358 mm x 395mm.
- Peso: 12.25 kg.
- Alcance mínimo: 0.4 m
- Alcance máximo: 270 m.
- Equipo de rotación vertical sobre una base que rota horizontalmente.
- Pantalla táctil a color para control integrado del escáner.
- Velocidad máxima: hasta 1000000 puntos/segundo.
- Nivel de ruido: 0.4 mm rms a 10 m; 0.5 mm rms a 50 m.
- Resolución: 4 megapíxeles.
- Campo de visión: 360º horizontal máximo; 290ºvertical máximo.
- Precisión del alcance: 1.2 mm + 10 ppm en todo el alcance.
- Precisión angular: 8'' horizontal y 8 '' vertical.
- Precisión de posición 3D: 3 mm a 50 m; 6 mm a 100 m.
- Memoria: unidad de estado sólido (SSD) interna de 256 GB o USB externo.

3.1.3 Estación de trabajo:

El escáner láser empleado debe de ser controlado y manejado mediante el software adecuado. Se usa el software Cyclone de la compañía Leica, desde un ordenador de estudio en campo, el cual se trata de una estación portátil de trabajo de la marca HP. Este aparato es únicamente necesario para llevar a cabo los escaneos con la ScanStation 2, puesto que, como se ha comentado, las características de los escaneos con la estación P40 se establecen en el panel táctil que incorpora en uno de los laterales.

Para llevar a cabo el tratamiento de la nube y realizar las tareas de suavizado y refinamiento de los puntos, se utiliza el software 3Dreshaper. Mediante este software realizaremos el mallado de nuestra estructura, pudiendo convertir la nube de puntos original importada de Cyclone, en una superficie continua, la cual podrá ser importada a distintos software de tratamiento CAD.

Una vez obtenidos los resultados en la estación de trabajo y se ha completado el postprocesado de los datos, la información es importada a un ordenador personal en el cual realizados la edición y adecuación tanto de las imágenes como de la información numérica para plasmarlo en el trabajo de una forma ilustrativa, dinámica y fácil de entender.

3.2 **PROCESO DE ESCANEADO**

Es fundamental en el proceso de escaneado ser riguroso y ordenado con la metodología de trabajo. Todo escaneado debe de contener diferentes fases para llevarse a cabo de forma correcta y adecuada, si se desea obtener resultados precisos y acordes a nuestras expectativas. Todas las tareas deben estar precedidas por una etapa informativa y de formación para adquirir conocimientos sobre los equipos y sobre los posibles riesgos a evitar. Las etapas pueden resumirse en las siguientes:

3.2.1 Determinación de los objetivos:

Antes de comenzar a realizar los barridos con el escáner láser, es necesario pararse a pensar y planificar cual va a ser nuestro objeto de estudio y qué estrategia se va a seguir. Es fundamental realizar este proceso de forma detenida para acotar tanto nuestro objetivo, como el escenario que va a ser necesario para referenciarlo y que nos va a servir de apoyo. Es indispensable y recomendable emplear todo el tiempo necesario para esta tarea, puesto que

una mala planificación puede suponer una gran pérdida de tiempo una vez han comenzado los procesos de escaneo.

3.2.2 Preparación de la zona de estudio:

Una vez se ha decidido que espacio va a ser requerido para llevar a cabo el estudio, se procede a despejar la zona de cualquier posible objeto externo que pueda interferir en los escaneos, ya sea creando sombras, o distorsionando los barridos.

3.2.3 Planificación de posicionamiento del láser:

En este momento, se debe de estudiar el lugar desde el que realizar el barrido para lograr cobertura global del mismo. Como generalmente no es posible conseguir captar la totalidad del objeto con un único escaneo, se deben analizar detenidamente las distintas posiciones y alturas desde las que se realizarán los sucesivos escaneos para alcanzarlos objetivos establecidos, no dejando ninguna zona oculta sin barrer.

Al mismo tiempo, cuanto mayor perpendicularidad y cercanía se consiga dentro de los límites permitidos mayor será la precisión de los resultados. Esto se debe a la distorsión que sufre el reflejo del haz láser, mayor cuanto mayor es la oblicuidad con la que infiere contra la superficie, como puede observarse en la figura.

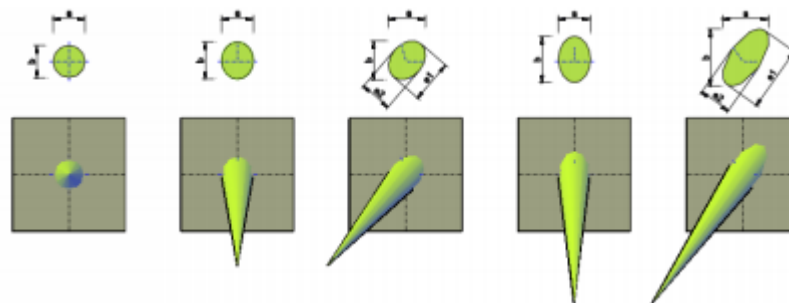


Figura 22. Variación de la huella láser con el ángulo de incidencia

Fuente: Teoría y práctica del Escaneo Láser Terrestre

3.2.4 Elección puntos de referencia y posicionamiento de dianas:

Debido a la necesidad de solapar los distintos barridos en uno único, es necesario decidir el método por el cual van a ser superpuestas y compuestas las distintas nubes de puntos obtenidas desde varios puntos de visión del escáner. Se pueden emplear distintos métodos clasificados entre: registro y georreferenciación directa, basado en el uso de un sistema de coordenadas establecido para un determinado sistema de proyección; e indirecta,

fundamentado en asociar al elemento identificativo que se representa una clave o índice, basado en el empleo y solape de dianas.

En la mayoría de casos y situaciones se opta por emplear la indirecta. Existen dianas retrorreflectantes, esféricas, de papel, prismas, etc. Además, se pueden encontrar numerosas entidades que emplear como dianas, tales como puntos de la nube, puntos topográficos,...A pesar de que con algunos escáneres es necesario realizar un escaneado de las dianas con la mayor precisión posible para poder identificarlas, con los aparatos modernos no es necesario, y, gracias a estar compuestas de materiales altamente reflectantes, pueden ser identificadas y guardadas posteriormente al escaneo global, aunque es necesario un mayor rigor y orden de trabajo.

Quando se realiza un registro, hay que asegurar que los residuos del registro global son iguales o mejores que la precisión geométrica requerida para los resultados finales.



Figura 23. Tipos de dianas

Posiblemente el paso más crucial para llegar a unos buenos resultados sea la correcta y óptima colocación de dichas dianas. Deben de colocarse de forma que desde cada punto de levantamiento puedan ser escaneadas y claramente identificables al menos 3 dianas. El criterio más lógico establece que deben estar distribuidas tanto en las direcciones ejes X e Y así como en el eje vertical Z (diferentes cotas).

3.2.5 Estacionamiento del escáner:

Primeramente, se prepara en el suelo el trípode auxiliar sobre el que se montara el principal, para evitar los daños sobre el suelo con las puntas metálicas del mismo. Seguidamente, se coloca el principal y se sujeta mediante gomas al primero. Se ajusta la altura a la cual se desea colocar el escáner y se trata de ajustar el nivel lo más preciso posible mediante el compensador con burbuja, aunque se calibrará más adelante. Se fija el trípode y

se asegura encima el escáner, al cual se le retiran las tapas protectoras del cristal y el seguro de movimiento.



Figura 24. Trípode y apoyo de trípode. Fuente: Leica

3.2.6 Preparación del escáner:

Antes de realizar ninguna conexión, desbloqueamos el escáner y se nivela mediante la burbuja de dos ejes: La burbuja debe estar dentro del círculo interior. Posteriormente, se conecta el escáner mediante un cable de red a la estación de trabajo para poder almacenar y trabajar sobre la nube de puntos. Seguidamente se conecta a la corriente mediante la unidad de potencia y se observa cómo se encienden dos de los 3 leds que se encuentran incorporados en el aparato: uno de ellos rojo fijo y otro naranja parpadeante (ScanStation 2). El escáner realiza un proceso para terminar de nivelarse, y cuando lo consigue, la segunda luz se vuelve verde fija. El escáner está preparado para el escaneado.

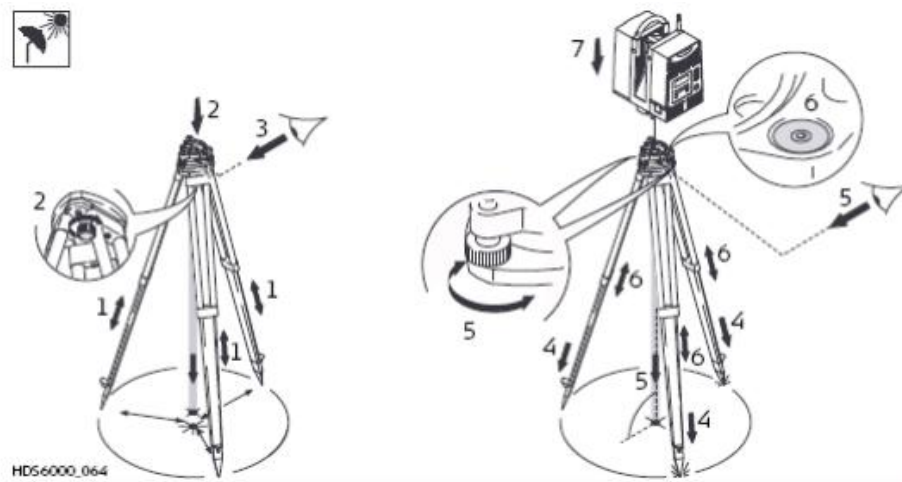


Figura 25. Nivelación del escáner láser.

Fuente: Teoría y práctica del Escaneado Láser

3.2.7 Ajuste de parámetros:

Una vez nos encontramos en la interfaz del programa en el ordenador de apoyo del ScanStation 2, o en el entorno táctil de la P40, creamos un nuevo proyecto en el cual recogeremos los distintos escaneos desde las distintas posiciones del escáner láser. Para realizar un escaneo, es necesario ajustar los distintos parámetros para el proyector, tales como área de barrido: región que se desea escanear, atendiendo a la posición acimutal del escáner, tanto horizontalmente como verticalmente (se realiza un barrido fotográfico previo y se selecciona en la pantalla la ventana a escanear); resolución: que nos determinará la densidad de la nube de puntos; rango: como la mayoría de escáneres trabajan con un ángulo constante entre dos puntos consecutivos, la resolución del escáner estará definida para una cierta distancia al escáner, la cual se fija en el software, de forma que las zonas que se encuentren a mayor distancia que la prefijada se escanearan con menor densidad de puntos mientras que las que se encuentren más cerca, con mayor.

Hay que decir que cuánto más alta sea la resolución, se necesitará escanear más puntos y, por tanto, se tardará más. Además del tiempo, el tamaño de los datos almacenados también aumenta. Se debe tener presente que escaneando con una resolución mayor que la precisión de cada punto se puede producir un muestreo excesivo y, así, resulta en un mayor ruido en el conjunto de datos final.

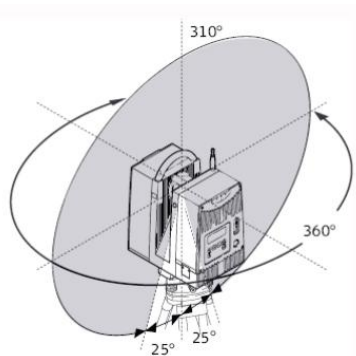


Figura 26. Ángulos de barrido del láser escáner.

Fuente: Teoría y práctica del Escaneado Láser

3.2.8 Adquisición de datos:

Una vez se han dispuesto todas las dianas de forma adecuada, tal que puedan ser identificables desde distintos puntos de visión del escáner, procedemos a realizar el escáner con los parámetros establecidos. Como se ha referenciado antes, se empleará el método de

intersección inversa, por el cual situamos el escáner en un punto con coordenadas desconocidas y desde el cual se observan al menos 2 dianas de coordenadas conocidas.

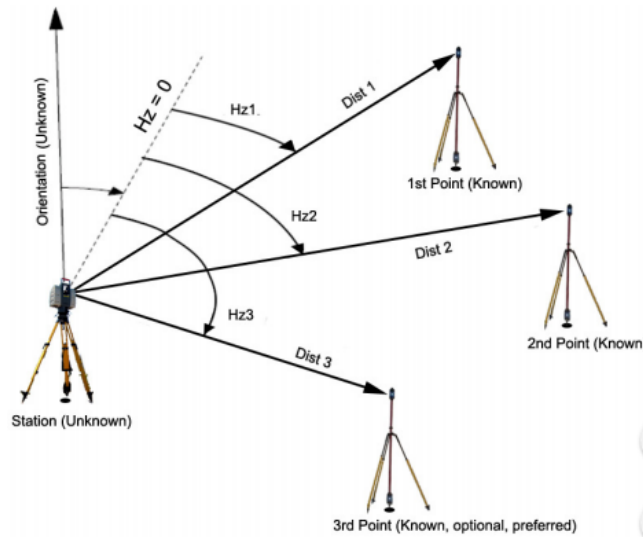


Figura 27. Estrategia de intersección inversa. Fuente: Teoría y práctica del Escaneado Láser

Cuando comienza, el escáner gira hasta la posición inicial, y entonces realiza el barrido, primeramente, con la cámara frontal, para realizar los ángulos menores, y, posteriormente si es necesario, con la trasera para realizar los ángulos elevados.

Es posible observar en el software, el ModelSpace del escáner, que nos va mostrando el resultado del escáner conforme este se va realizando. Si una vez finalizado, observamos que los ángulos dispuestos para el barrido no eran los adecuados, cambiamos sus valores para barrer la zona adicional que se deseaba, y esta se guarda en un nuevo scan; sin embargo, el escaneado se complementa con el anterior en el mismo ModelSpace.

Una vez obtenido el escaneado y comprobado que es el que se deseaba, se cambia de posición el escáner, no sin antes retirar la conexión entre el escáner y la estación de trabajo y desconectando la unidad de potencia. Se realizan tantos escaneados como se considere pertinente para tratar de cubrir la totalidad del objeto.

3.2.9 Registro:

Una vez obtenidos los distintos barridos, en los cuales se ha definido un sistema de coordenadas tridimensional local para cada uno, es necesario alinear dichos sistemas locales en un único sistema de referencia, para contar con la cobertura global del objeto.

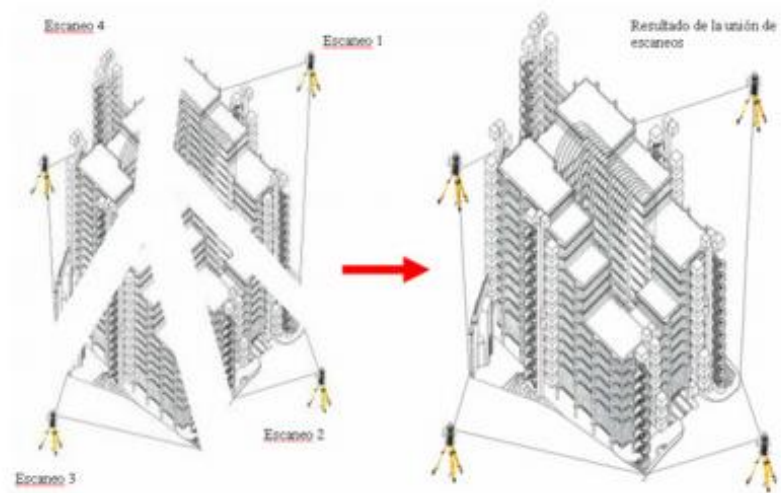


Figura 28. Registration. Fuente: Teoría y práctica del Escaneado Láser

4. MODELADO HELICÓPTERO BO105 CON SCANSTATION 2

4.1 INTRODUCCIÓN

Como primer acercamiento al escaneado láser, decidimos emplear el escáner láser de la compañía Leica ScanStation2, adquirido hace unos años por el departamento de fotometría de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía Geodesia y Cartografía (ETSITGC). Como intento de acercamiento y aplicación de dichas técnicas y recursos a la ingeniería aeroespacial, se decidió realizar un estudio y modelado 3D del helicóptero BO 105, vehículo disponible en el hangar de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño (ETSID), también denominado laboratorio Pedro Duque.



Figura 29. Helicóptero Bo 105. Fuente: Webinfomil

4.2 HELICÓPTERO

4.2.1 Desarrollo:

El Bo 105 es un helicóptero ligero, bimotor alemán, con un periodo de producción de 34 años (1967-2001): por la compañía Messerschmitt-Bölkow-Blohm hasta 1991, y a partir de ese año y hasta 2001 por el Grupo Eurocopter, del cual comenzó a formar parte. Desde ese año, fue reemplazado en la línea de producción por el Eurocopter EC 135.

Fue toda una novedad al tratarse del primer helicóptero ligero bimotor en el mundo siendo además capaz de realizar maniobras acrobáticas. Fue considerado uno de los mayores logros técnicos y comerciales dentro de su ámbito, desarrollándose múltiples versiones para gran variedad de misiones (desde misiones militares hasta ambulancias y rescates de montaña). Sus reducidas dimensiones permiten tomas y despegues en espacios restringidos.

4.2.2 Especificaciones:

4.2.2.1. Características:

- Tripulación: 1 ó 2 pilotos
- Capacidad: 4 personas
- Longitud: 11.86 m
- Diámetro del rotor: 9.84 m
- Altura: 3 m
- Área del disco: 76.05 m²
- Perfil: NACA 23012
- Peso en vacío: 1276 kg
- MTOW (Max. Peso al despegue): 2500 kg
- Planta Motor: 2 motores turboprop Allison 250-C20B de 313 kW cada uno.

4.2.2.2. Actuaciones:

- Máxima velocidad: 242 km/h
- Velocidad crucero: 204 km/h
- Rango: 575 km
- Techo: 5180 m
- Autonomía: 3 horas y media (sin reservas) duplicándose con 2 depósitos extra.
- Velocidad ascenso máxima: 8 m/s

4.2.2.3. Armamento:

- 6 misiles antitanques Euromissile HOT ó 8 misiles BGM-71 TOW
- Cañones de tiro rápido de calibre de 20 mm
- 2 Barquillas para ametralladora de 7,62 mm
- 2 Lanzacohetes
- 2 Barquillas mixtas (ametralladora y cohetes)

4.2.3 Descripción:

Consta de un rotor rígido de 4 palas de construcción mixta, siendo la cabeza de titanio y las patas de plástico reforzado de fibras de vidrio. A su vez, el rotor antipar está compuesto de 2 palas semirrígidas semejantes al principal. La cola cuenta con estabilizadores

horizontales y verticales. En cuanto al tren de aterrizaje, es de patín tubular no retráctil formado por dos soportes transversales. El resto del aparato es de forma convencional con uso en los recubrimientos de abundante fibra de vidrio.

4.3 ESCANEADO:

Para el caso de estudio del helicóptero, se dispusieron un total de 21 dianas repartidas alrededor del helicóptero de la forma en la que se puede ilustrar en las imágenes: 5 en el suelo, 15 repartidas entre las paredes, y 1 sobre el patín del helicóptero. Se eligió esta disposición para que la mayoría fuera más fácilmente identificable desde todas las posiciones desde las que se han realizado los barridos.

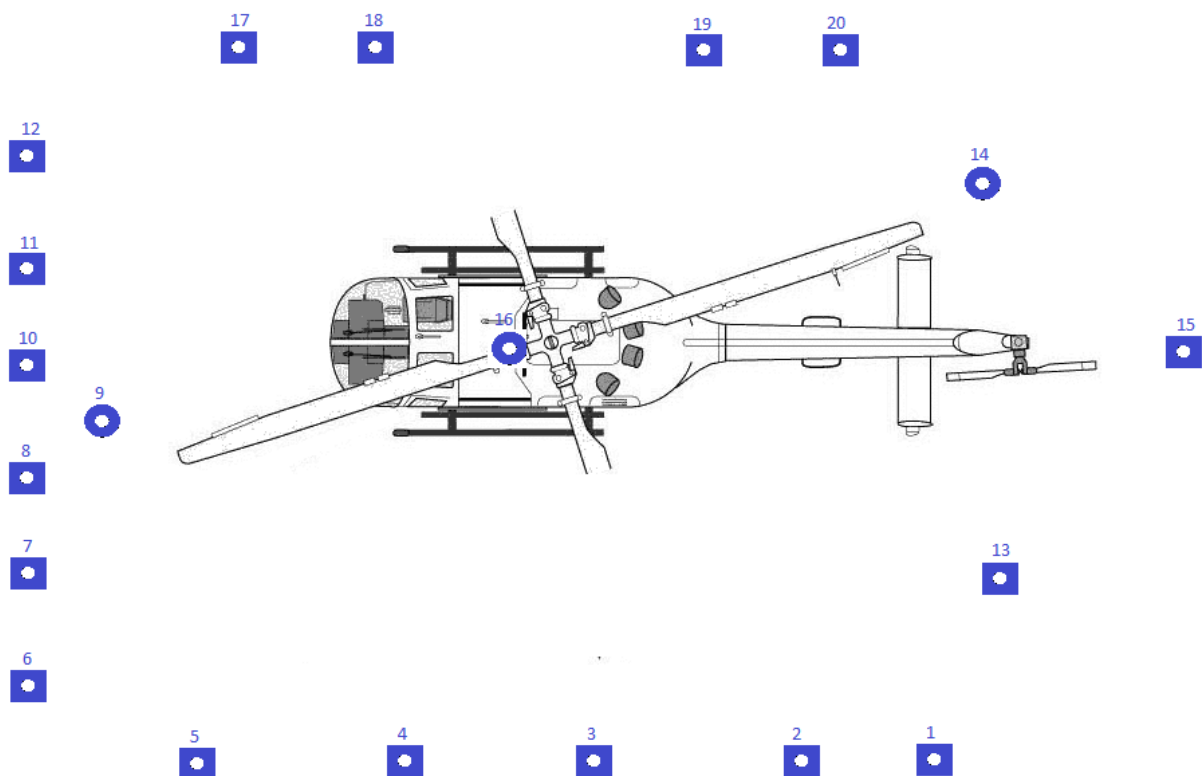


Figura 30. Posicionamiento de dianas en planta

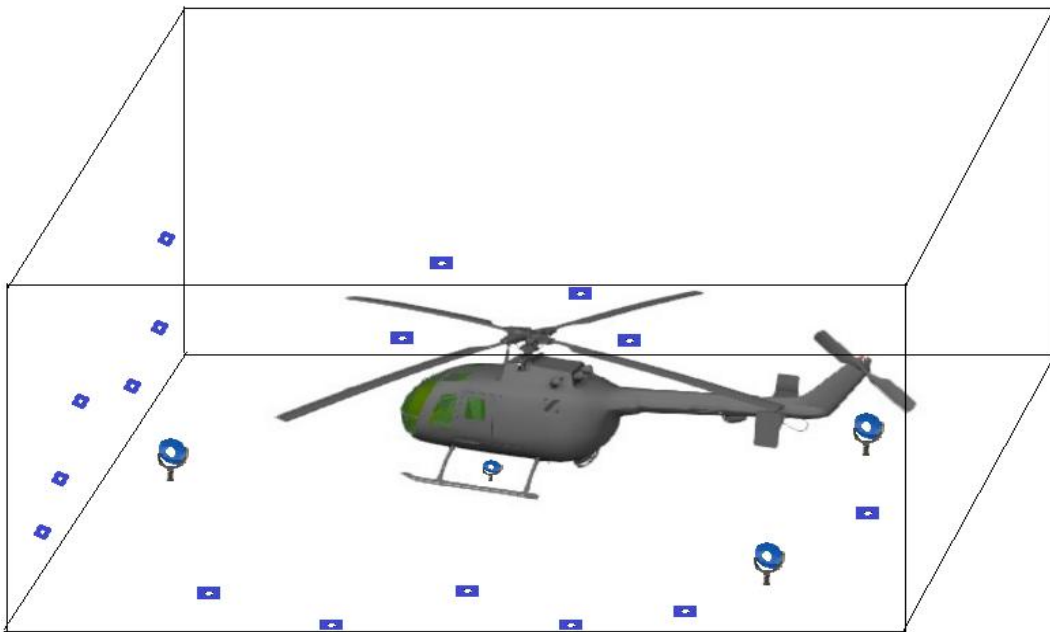


Figura 31. Posicionamiento de dianas en 3D

Tras establecer las posiciones de las dianas, se realiza un estudio para determinar los distintos puntos desde los cuales se llevarían a cabo los escáneres, atendiendo al número máximo de dianas que son visibles desde cada uno. Así pues, se procede a realizar cada uno de los escaneos con la máxima precisión posible, puesto que posteriormente se realizarán medidas entre los distintos elementos mediante el software Cyclone. En nuestro caso, el helicóptero, se realizaron un total de 7 escaneados: 2 desde la parte izquierda posterior y anterior del helicóptero, 2 desde la parte derecha posterior y anterior del helicóptero, 2 desde la parte interior para captar los detalles de la cabina y la última desde la pasarela del hangar para captar los detalles del rotor y la parte superior.

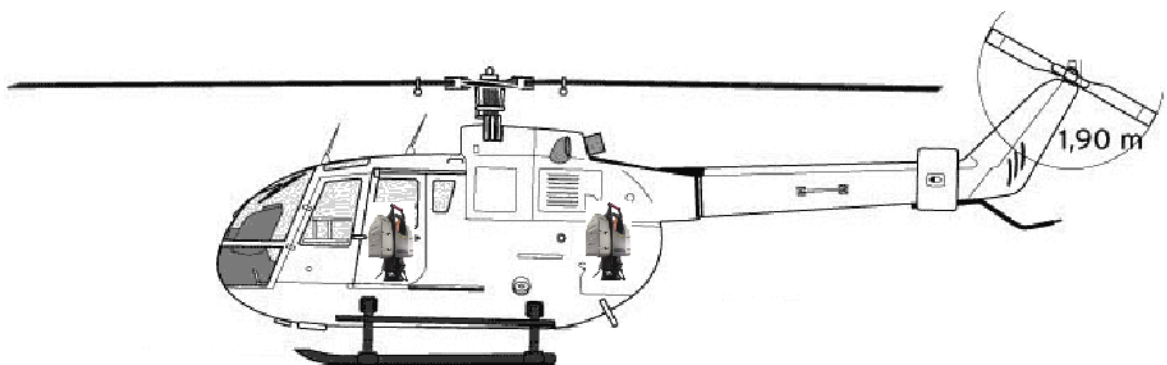


Figura 32. Posicionamiento del escáner láser en perfil

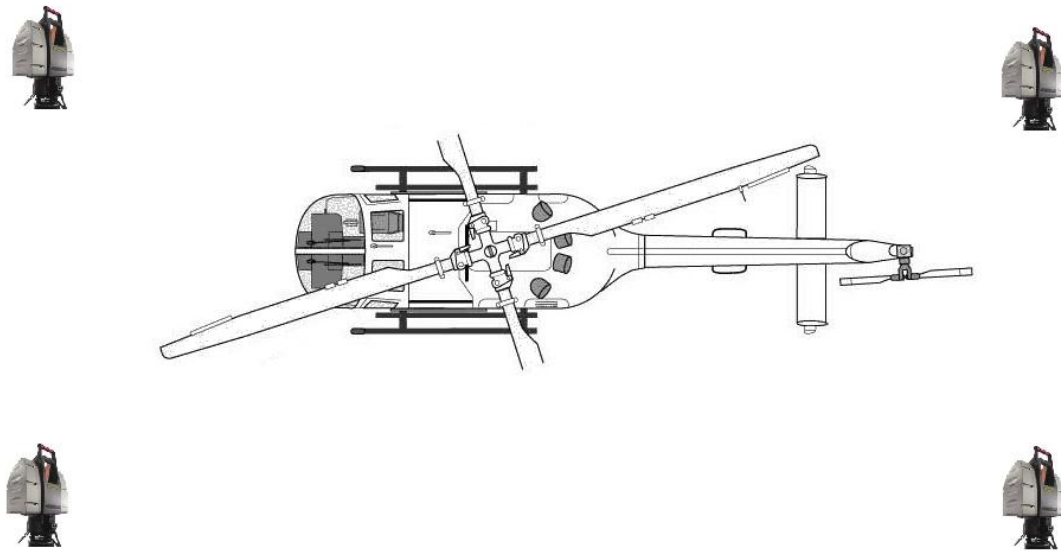


Figura 33. Posicionamiento del escáner láser en planta

Podemos observar las perspectivas de algunas de las posiciones del escáner, para poder comprobar cómo se pueden identificar gran parte de las dianas dispuestas en el entorno del aparato. Posteriormente las numeraremos y etiquetaremos:



Figura 34. Posicionamiento del escáner láser 1



Figura 35. Posicionamiento del escáner láser 2



Figura 36. Posicionamiento del escáner láser 3

4.4 RESULTADOS:

Tras llevar a cabo los distintos escaneos desde varias posiciones, a partir de los cuales se tiene cobertura global del helicóptero, se obtiene el siguiente conjunto de barridos, donde se encuentran identificadas cada una de las dianas disponibles, y a partir de las cuales se llevará a cabo el proceso de registro y limpieza:

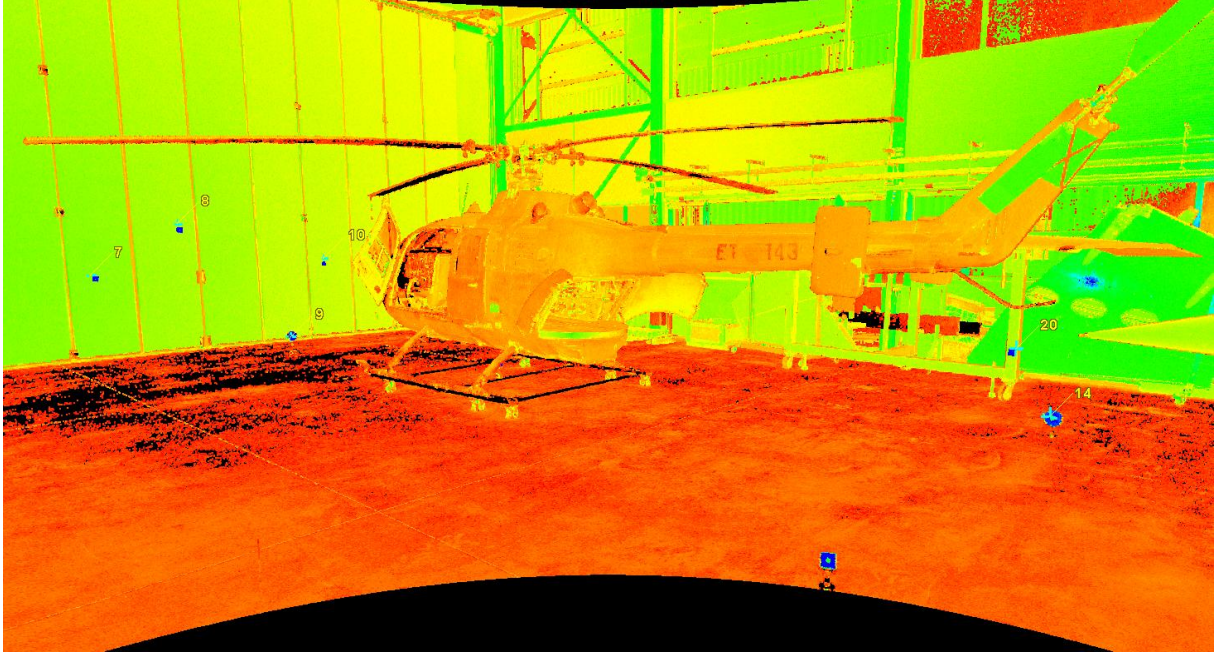


Figura 37. Escaneado de la parte trasera izquierda

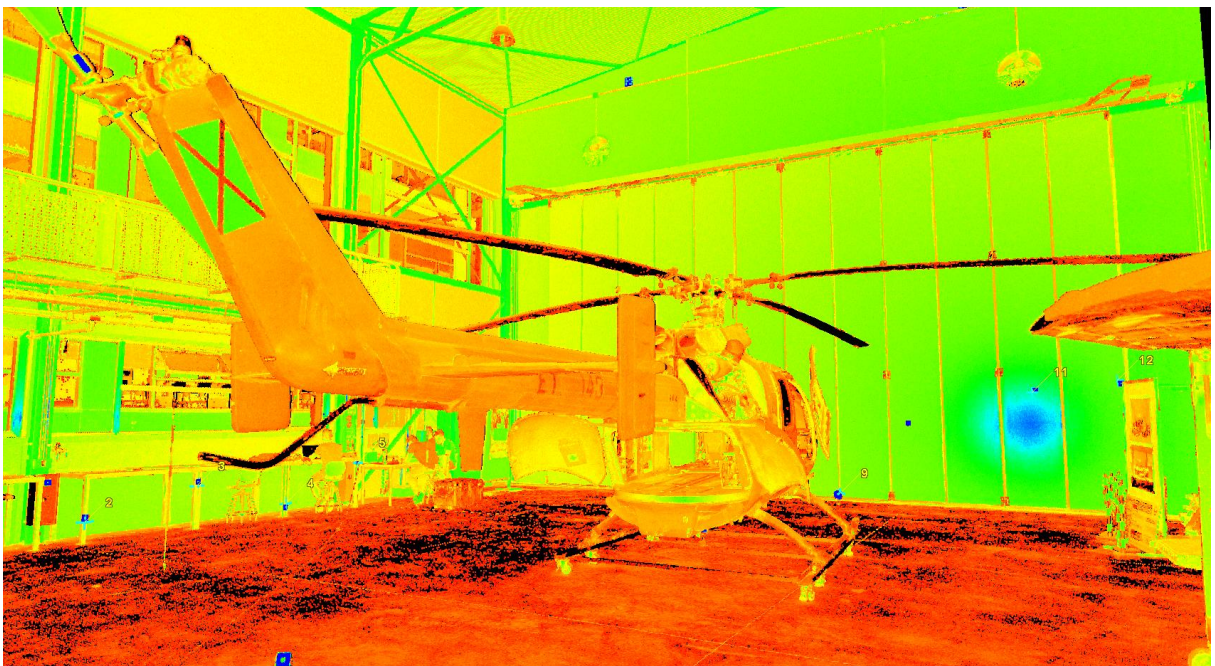


Figura 38. Escaneado de la parte trasera derecha

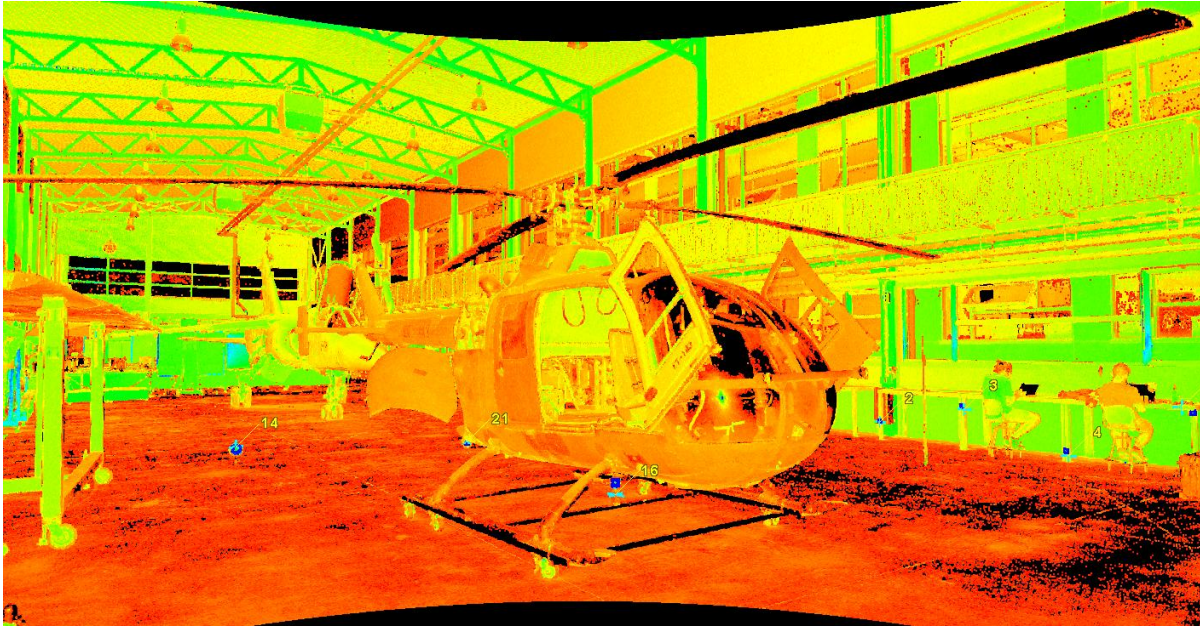


Figura 39. Escaneado de la parte delantera derecha

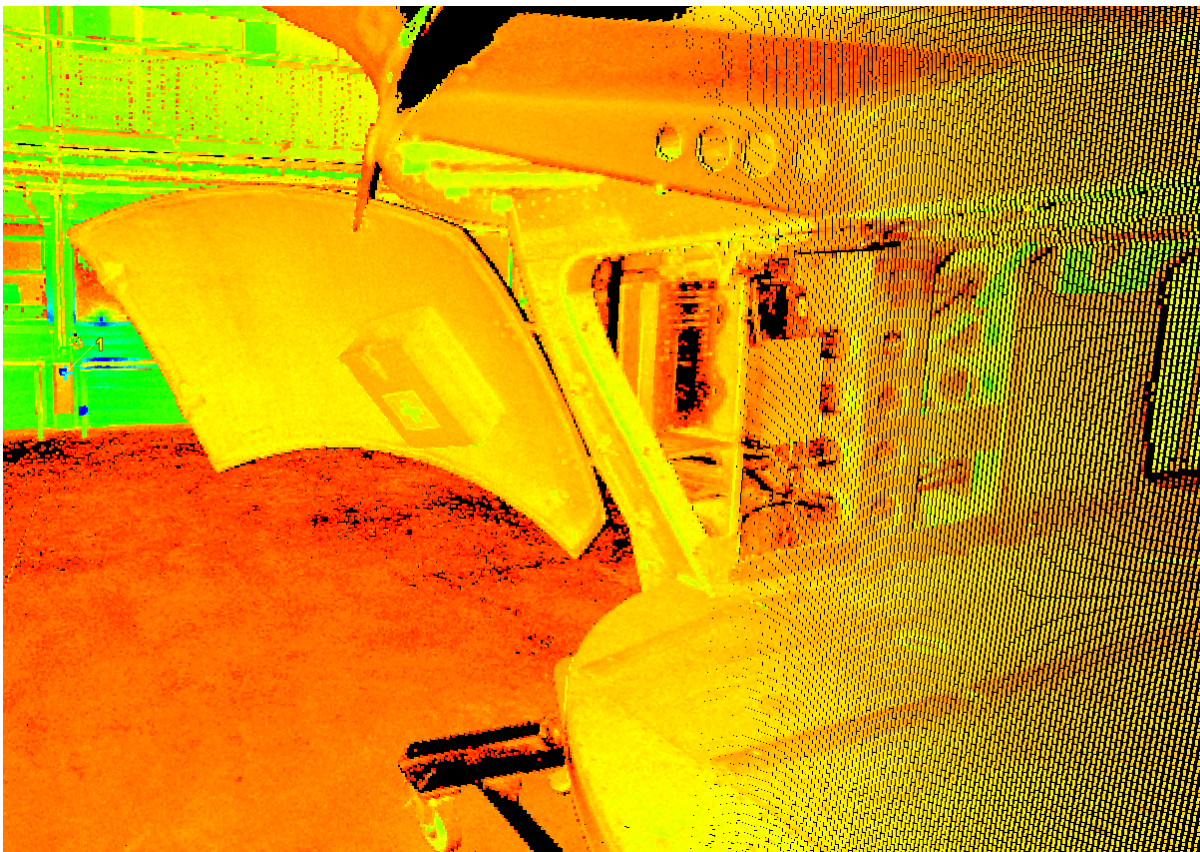


Figura 40. Escaneado de la parte trasera central izquierda



Figura 41. Escaneado de la parte delantera izquierda

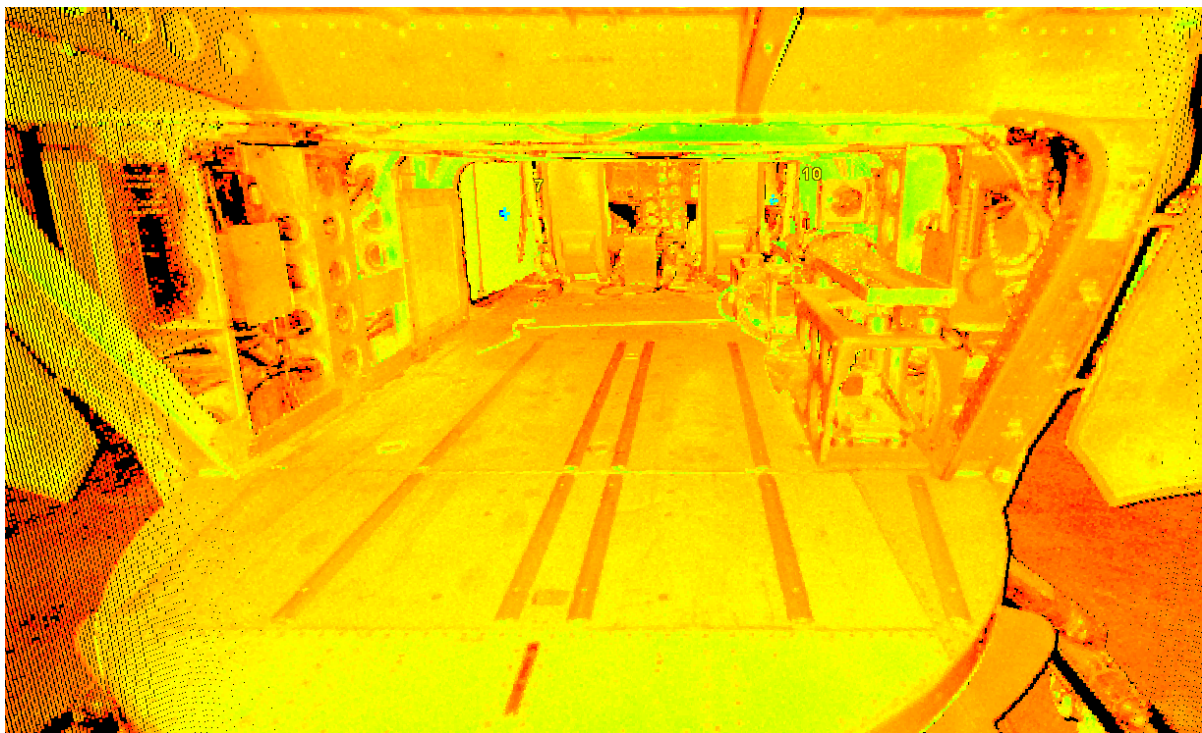


Figura 42. Escaneado de la parte trasera central delantera

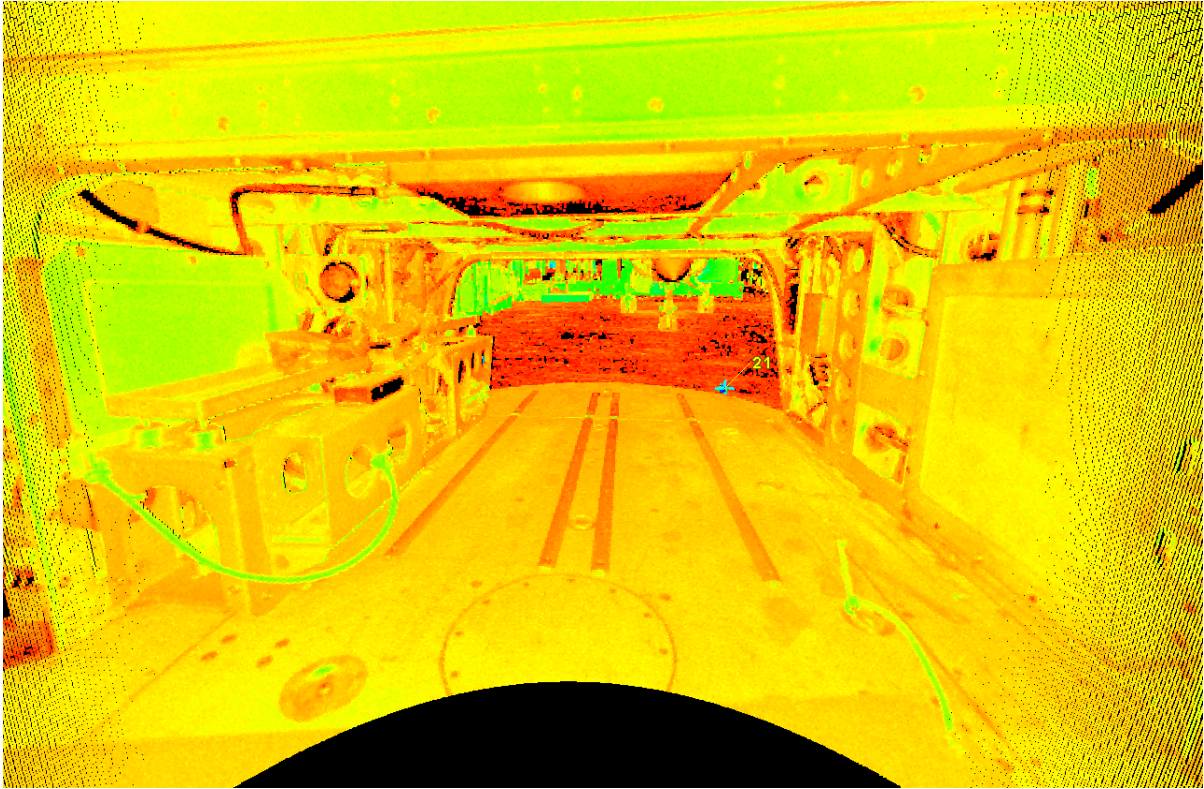


Figura 43. Escaneado de la parte interior trasera

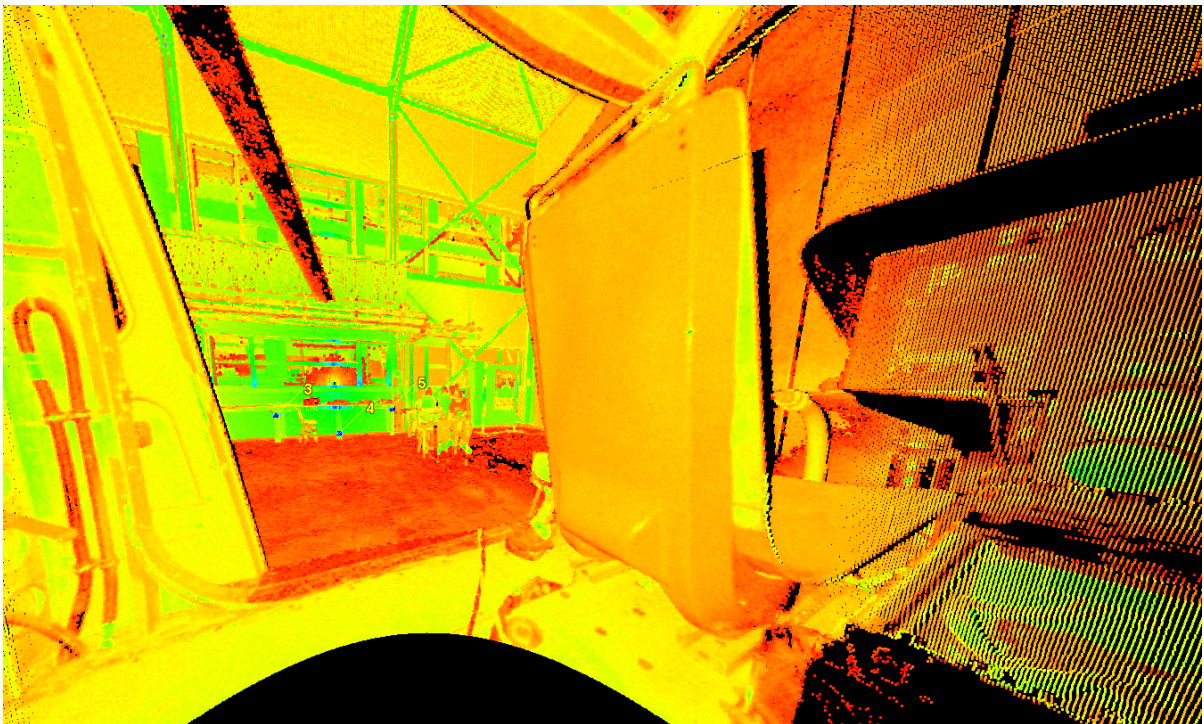


Figura 44. Escaneado de la parte interior izquierda

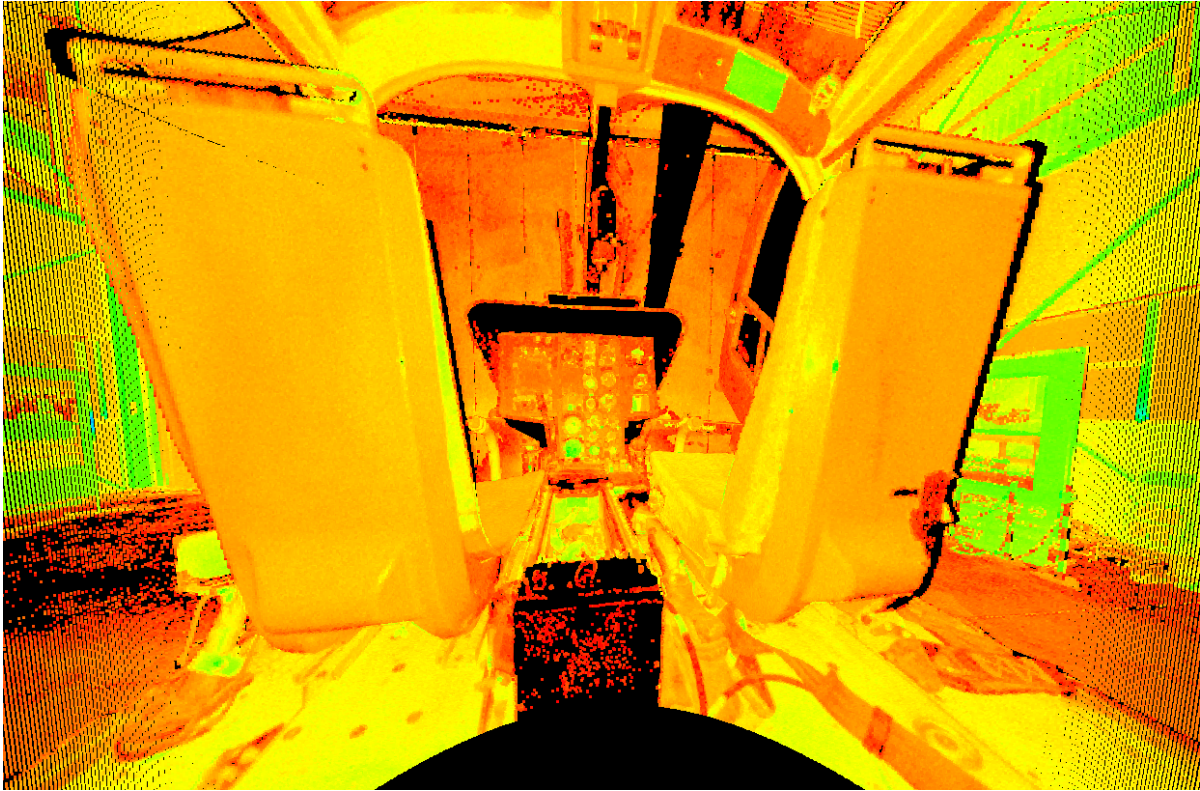


Figura 45. Escaneado de la parte interior central

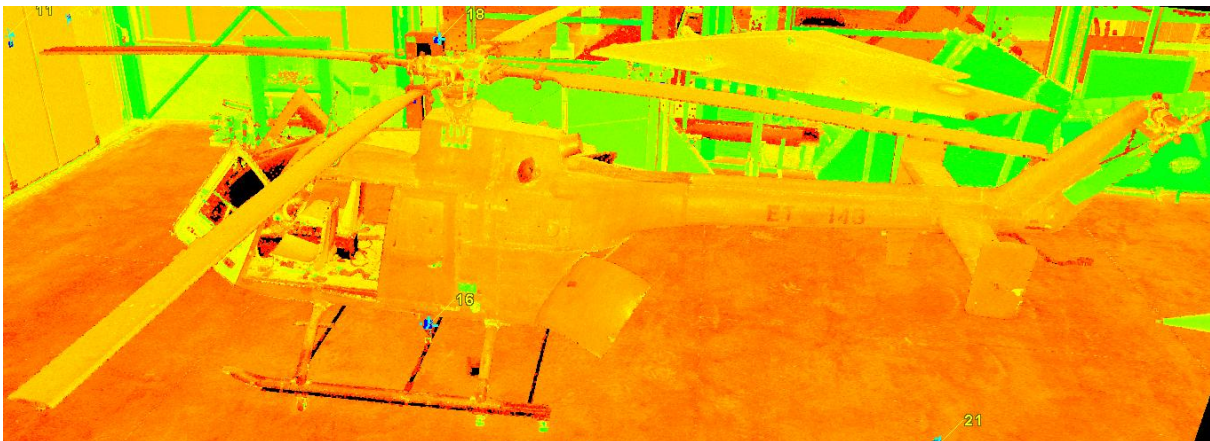


Figura 46. Escaneado de la parte superior

4.5 POSTPROCESADO CYCLONE:

A partir de estos escaneos es necesario, se realiza un proceso de registro mediante el cual se alinearán en torno a un sistema de referencia conjunto. El proceso a seguir es el siguiente:

- Crear un nuevo “*registration*” en la carpeta del proyecto, con el nombre deseado “proyecto helicóptero” en este caso.
- Añadir los “*ScanWorld*” que se desean hacer converger a uno único.

- Elegir la opción “Auto-AddConstraints”, la cual identifica las restricciones de los distintos barridos, dianas, existentes en cada uno, pudiendo elegir qué dianas se desea que se solapen para dar formar al escaneo final y cuáles no.
- Elegir la opción “Register” y posteriormente “Auto-Add Cloud Constraints” para poder añadir las restricciones que permitirán unir los distintos barridos.
- Ahora, dentro del apartado Constraints se puede ver cómo, además de las distintas dianas existentes en cada Scanworld, se encuentran las diferentes “CloudMess”.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
Target ID: 14	ScanWorld 3	ScanWorld 6	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.056 m	(0.002, 0.042, -0.036) m
Target ID: 9	ScanWorld 3	ScanWorld 6	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.044 m	(-0.026, -0.011, 0.033) m
Target ID: 15	ScanWorld 3	ScanWorld 7	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.115 m	(-0.108, 0.039, 0.005) m
Target ID: 9	ScanWorld 3	ScanWorld 7	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.092 m	(0.017, -0.046, 0.078) m
Target ID: 14	ScanWorld 3	ScanWorld 8	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.048 m	(0.015, 0.042, -0.018) m
Target ID: 7	ScanWorld 3	ScanWorld 8	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.078 m	(-0.068, -0.036, 0.014) m
Target ID: 10	ScanWorld 3	ScanWorld 8	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.074 m	(0.066, 0.018, -0.028) m
Target ID: 8	ScanWorld 3	ScanWorld 9	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.127 m	(0.018, -0.019, -0.125) m
Target ID: 9	ScanWorld 3	ScanWorld 9	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.071 m	(0.006, -0.020, 0.067) m
Target ID: 10	ScanWorld 3	ScanWorld 9	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.075 m	(0.063, 0.006, -0.039) m
Cloud/Mesh 2	ScanWorld 3	ScanWorld 5	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.034 m	aligned [0.007 m]
Cloud/Mesh 1	ScanWorld 3	ScanWorld 5	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.084 m	aligned [0.024 m]
Cloud/Mesh 3	ScanWorld 3	ScanWorld 9	Cloud: Cloud/Mesh-Cloud/...	On	1.0000	0.043 m	aligned [0.016 m]
Target ID: 3	ScanWorld 5	ScanWorld 6	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.052 m	(0.034, -0.013, -0.037) m
Target ID: 17	ScanWorld 5	ScanWorld 6	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.035 m	(0.007, -0.011, -0.032) m
Target ID: 18	ScanWorld 5	ScanWorld 6	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.070 m	(0.016, -0.051, 0.045) m
Target ID: 5	ScanWorld 5	ScanWorld 7	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.063 m	(0.046, -0.038, -0.020) m

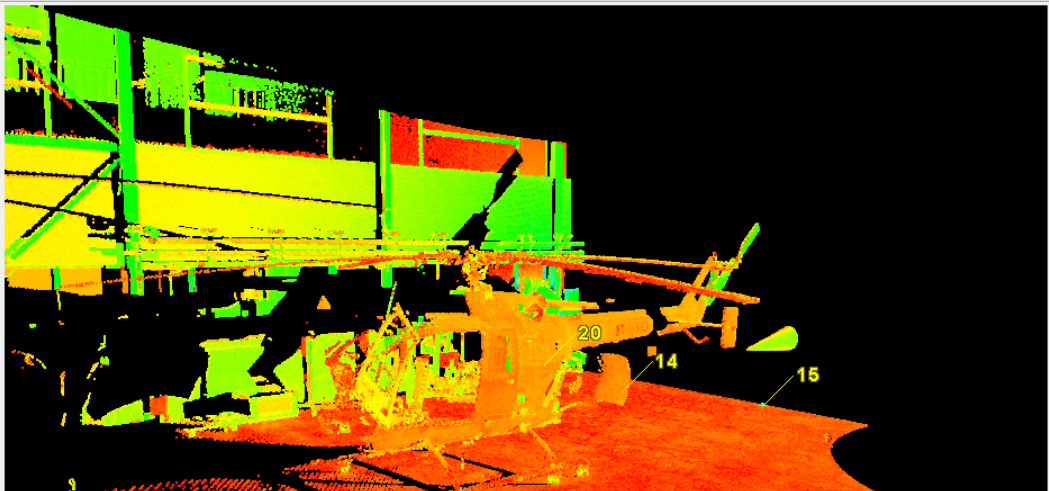


Figura 47. Ventana CloudMess del entorno Cyclone

- En cada de uno de ellos se muestra la unión de dos ScanWorld diferentes, pudiendo ver, como se muestra en la figura, la contribución de cada uno de ellos al total. En este primer escaneo es claramente visible como la multiplicidad de los posicionamientos genera bastante ruido y dispersión en la nube de puntos.

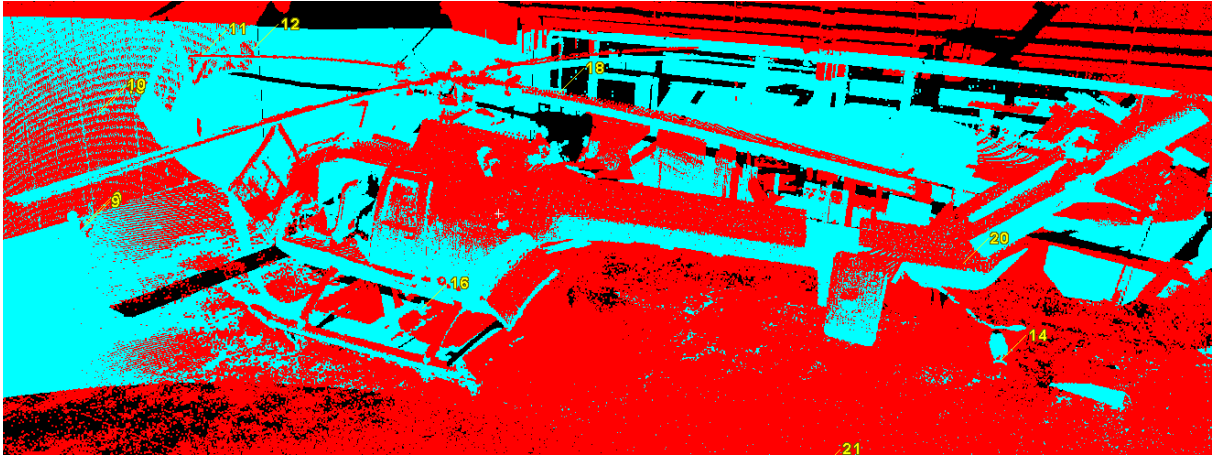


Figura 48. CloudMess del escaneado del helicóptero

- Finalizado el proceso y una vez ya en el menú del navegador, elegimos la opción “Create and Open a New ModelSpace View” en el apartado de la registration, obteniendo un ModelSpace único para todo el conjunto del helicóptero, resultado al que se pretendía llegar mediante todo el proceso, pudiendo obtener una vista global del mismo así como todas las vistas deseadas. Como ya se ha comentado, no se obtiene un resultado con total precisión debido a los errores debidos a los distintos factores que intervienen en el proceso tales como: precisión de los equipos, precisión y manipulación de los equipos por el personal de trabajo, condiciones atmosféricas, elección correcta de dianas y parámetros de escaneo, etc.

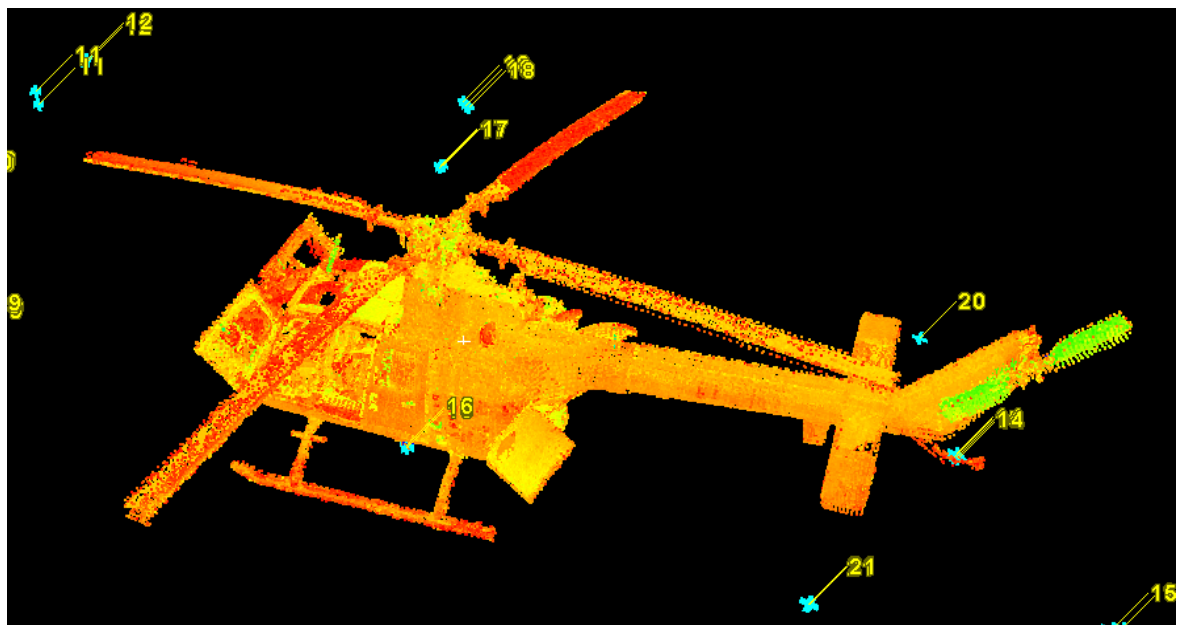


Figura 49. Escaneado global de la parte izquierda



Figura 50. Escaneado global de la parte derecha

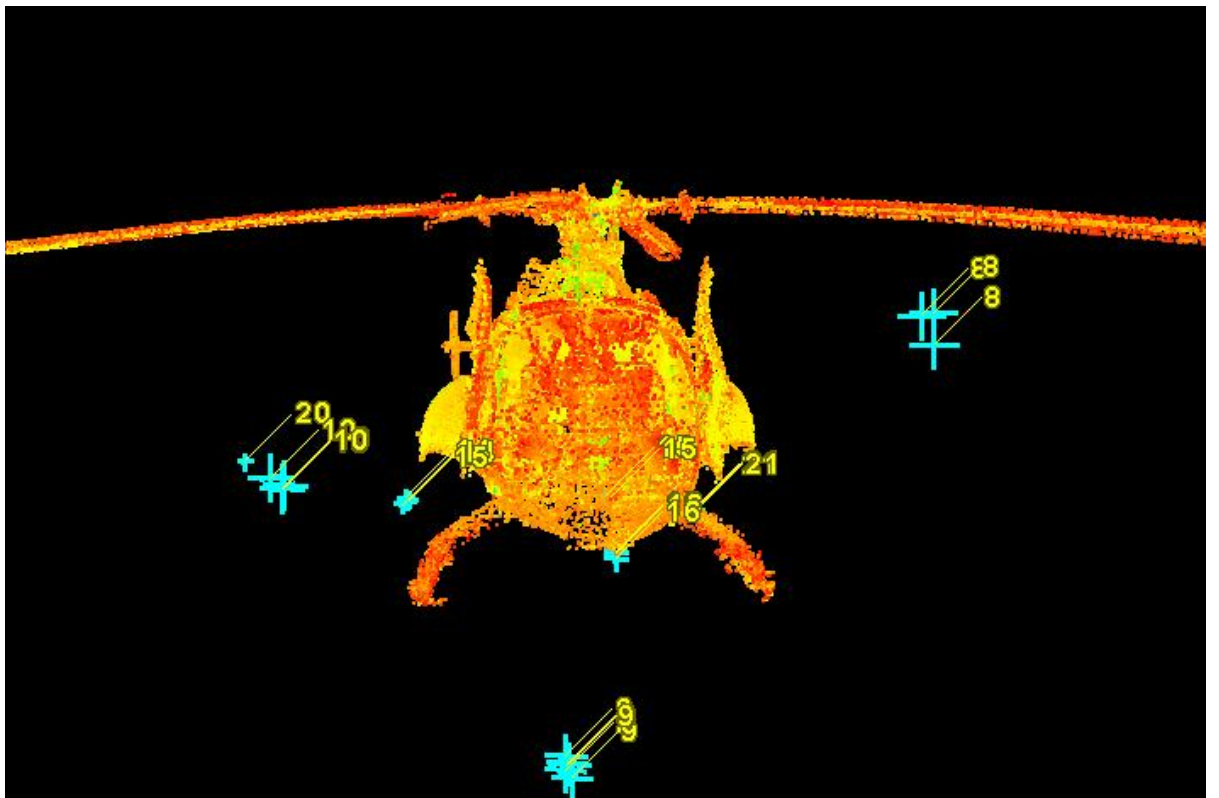


Figura 51. Escaneado global en alzado

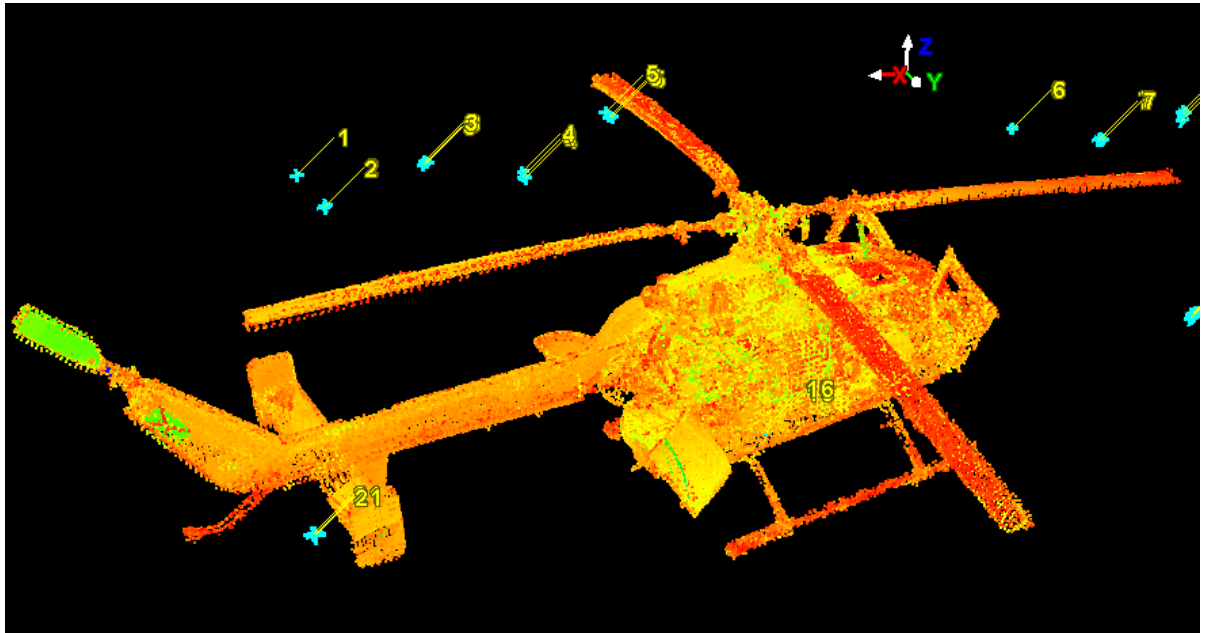


Figura 52. Escaneado global de la parte trasera superior

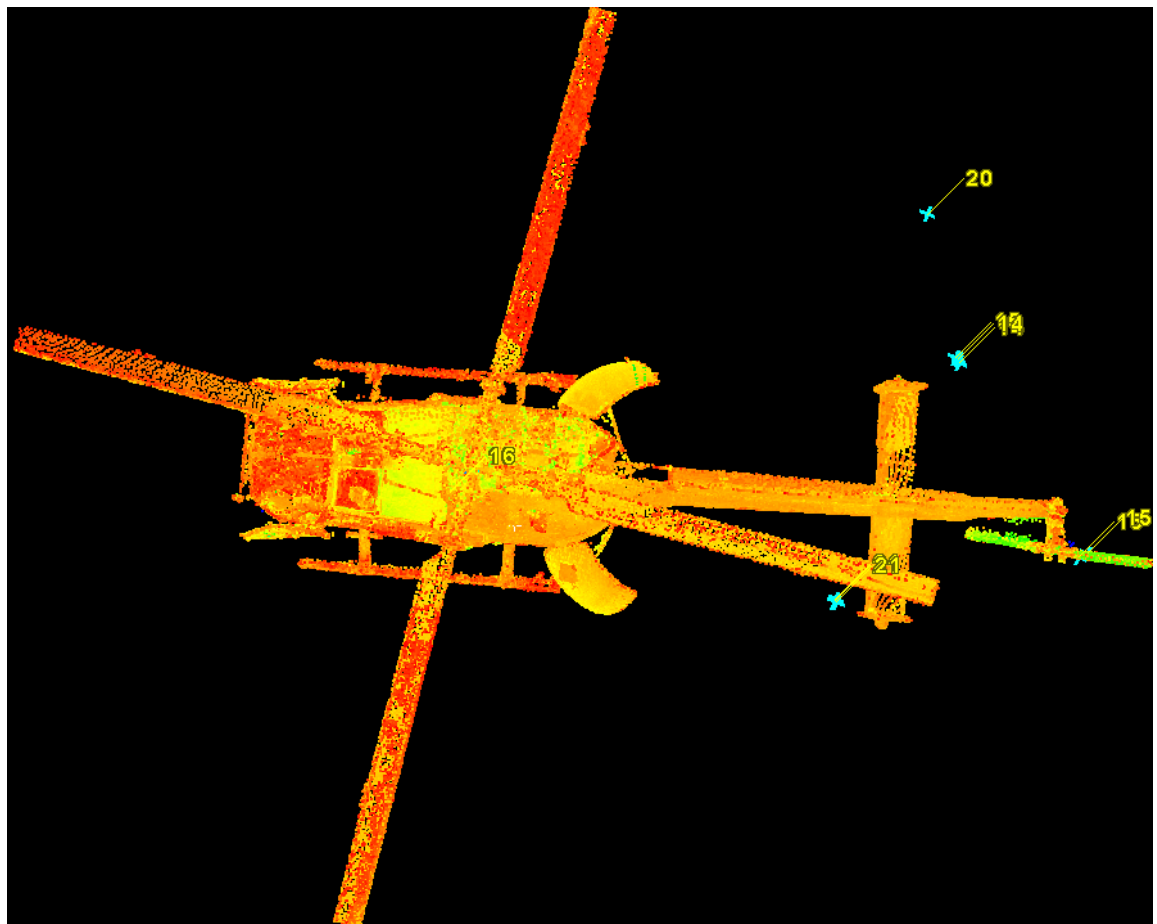


Figura 53. Escaneado global en planta

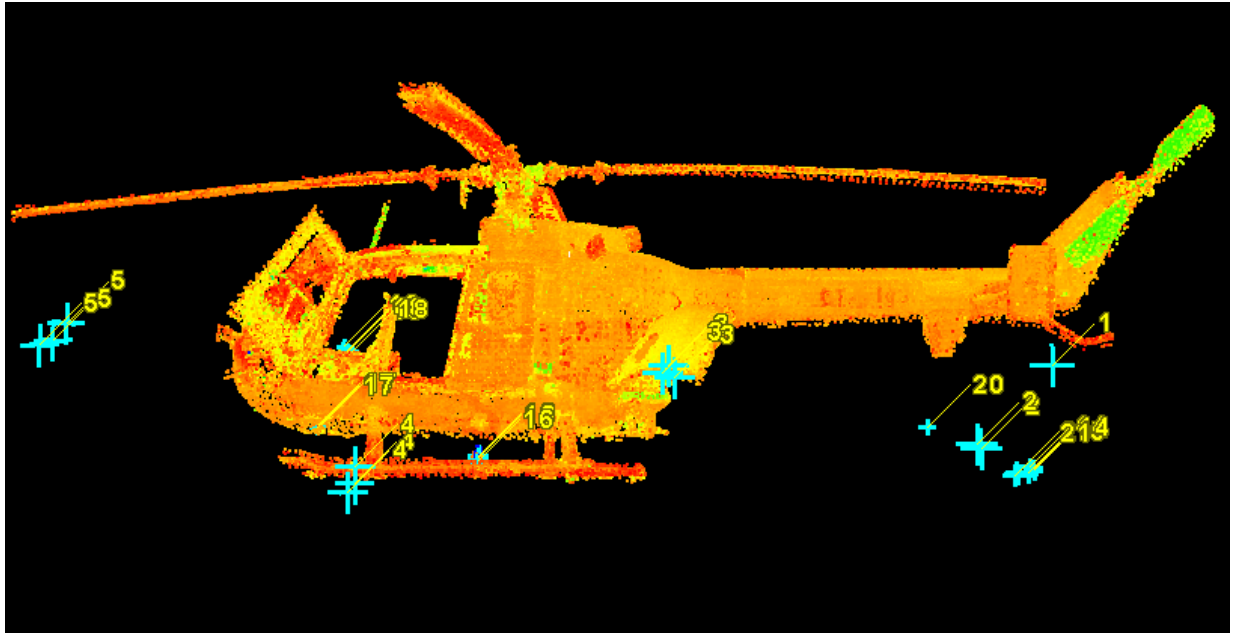


Figura 54. Escaneado global en perfil izquierdo

- Pudiendo observar en el escáner global las contribuciones de los distintos escaneos al conjunto total, encontrando aquellas partes del helicóptero que se han escaneado múltiples veces y aquellas que únicamente han contado con un barrido o incluso ninguno, quedando ocultas:

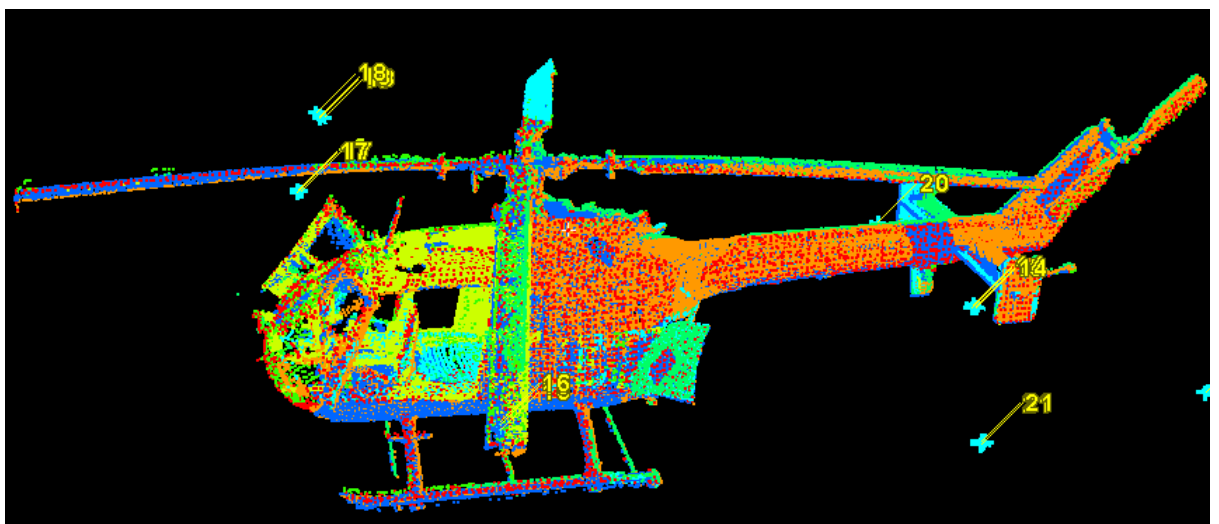


Figura 55. Contribuciones de los escaneos al escaneado global

- En el caso de haber realizado captura de imágenes con el escáner de forma simultánea a los escaneos, es posible contar con una representación del helicóptero más realista, ya que se incluyen sus texturas y colores.

Aquí no termina el trabajo, puesto que es necesario llevar a cabo un proceso de selección y limpieza de la nube de puntos. Esto es debido a que las pequeñas discrepancias entre los numerosos escaneos nos introducen algo de ruido en el resultado final, así como por la presencia de datos redundantes y sin interés para el estudio que surgen del gran alcance del escáner (presencia de techos, suelos, paredes,...).

Este proceso puede llevarse a cabo mediante el software Cyclone, mediante el software 3DReshaper, o bien combinando las posibles acciones de ambos. En este estudio, se realiza una limpieza inicial en Cyclone. Para ello, primeramente empleamos las herramientas disponibles como Fence, LimitBox,... A partir de la herramienta Limit Box es posible definir un cubo en la nube de puntos, en el cual se encuentre la zona que se quiere tratar discriminando todo lo que se encuentre en su exterior, pudiendo recuperarlo. Por otro lado, a partir de la herramienta Fence es posible realizar cortes y cercados en 2D, de forma que se elimina todo lo que se encuentre detrás del plano de corte. Una vez se ha definido la limit box, realizamos numerosas fences, eliminando lo de adentro o lo de fuera. Una vez realizados todos los cortes y limpiezas consideradas necesarias y suficientes, ya disponemos de la nube de puntos limpia de ruido y de datos que no nos son de utilidad.



Figura 56. Tratamiento de datos en software Cyclone

Sin embargo, será necesario realizar una segunda limpieza más exhaustiva mediante 3DReshaper, la cual se explicará más adelante y mediante la cual ya podremos comenzar a realizar las tareas de mallado y suavizado.

4.6 POSTPROCESADO 3DRESHAPER:

Una vez obtenida la nube de puntos final mediante el software LeicaCyclone, es posible llevar a cabo el proceso de transformación de dicha nube en un modelo 3D mallado mediante 3DReshaper. Para ello, primeramente, es necesario exportar esta nube de un medio a otro para poder manipularlo desde el entorno 3DReshaper. En este programa, se segmentan y secuencian los procesos para poder llegar al resultado final que nos proporcione más información y calidad de modelo.

4.6.1. Mallado

Antes de comenzar con el mallado, conviene realiza una última inspección a la nube de puntos para tratar de identificar posibles grupos que puedan inducir a error a la hora de realizar el mallado. En el programa se cuenta con la herramienta de limpiar/separar, a partir de la cual podemos seleccionar el conjunto de puntos que queremos conservar o eliminar, de forma análoga a la herramienta fence de Cyclone. Sin embargo, es posible realizar esta tarea a posteriori.

Para llevar a cabo la malla, en primer lugar, se selecciona todo el conjunto de puntos y se selecciona malla en dos pasos. Según este procedimiento, el primer paso consiste en elegir el tamaño del triángulo que va a formar la malla del helicóptero, en este caso, 0.18 m. Se observa como la malla generada no es del todo suave y uniforme.

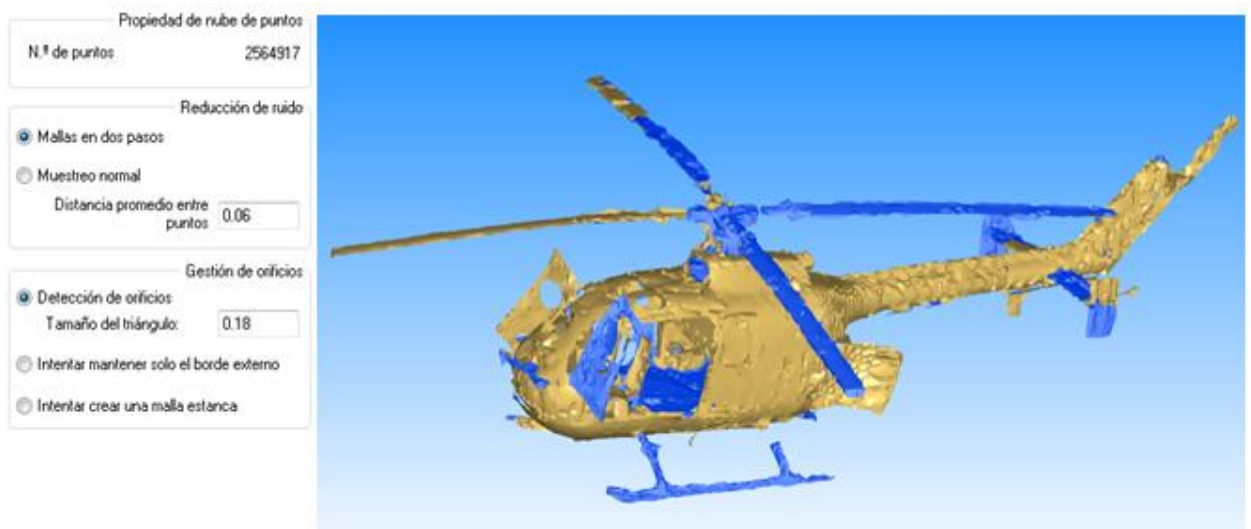


Figura 57. 1^{er} paso del mallado del helicóptero

En el segundo paso, se decide tanto el error de discriminación y el número máximo de triángulos que debe tener la malla, así como el tamaño mínimo de cada triángulo individual que se emplee en las zonas de ajuste y de mayor detalle. Una vez aplicado este paso, se puede ver como la malla se adapta mejor y forma una superficie mejor definida.



Figura 58. 2º paso del mallado del helicóptero

4.6.2. Puentes y llenado de orificios

A la hora de llevar a cabo la modelización en 3D, es posible encontrarse con determinados orificios sin mallar, frecuentemente debidos a las zonas de la nube con menor o nula densidad de puntos (sombra). El software 3DReshaper está dotado con herramientas para corregir y rellenar estos orificios, permitiendo obtener una superficie más compacta y continua, para posteriormente ser capaz de realizar estudios con dicha malla.

La primera herramienta de la que se dispone es la de “Rellenar orificios”, a partir de la cual es posible seleccionar aquellos pequeños orificios que no han llegado a formar parte de la malla y de los cuales depende la homogeneidad y coherencia de la malla. Cuenta con la problemática de que no es capaz de rellenar orificios entre distintas capas de la malla, o el modo en el que puede llegar a rellenar orificios de gran extensión, en los que se desea obtener curvas o superficies alabeadas.

Podemos ver en las posteriores imágenes como el relleno de pequeños orificios supone una gran ventaja y permite obtener un modelo más completo y compacto que el original.



Figura 59. Helicóptero mallado con orificios

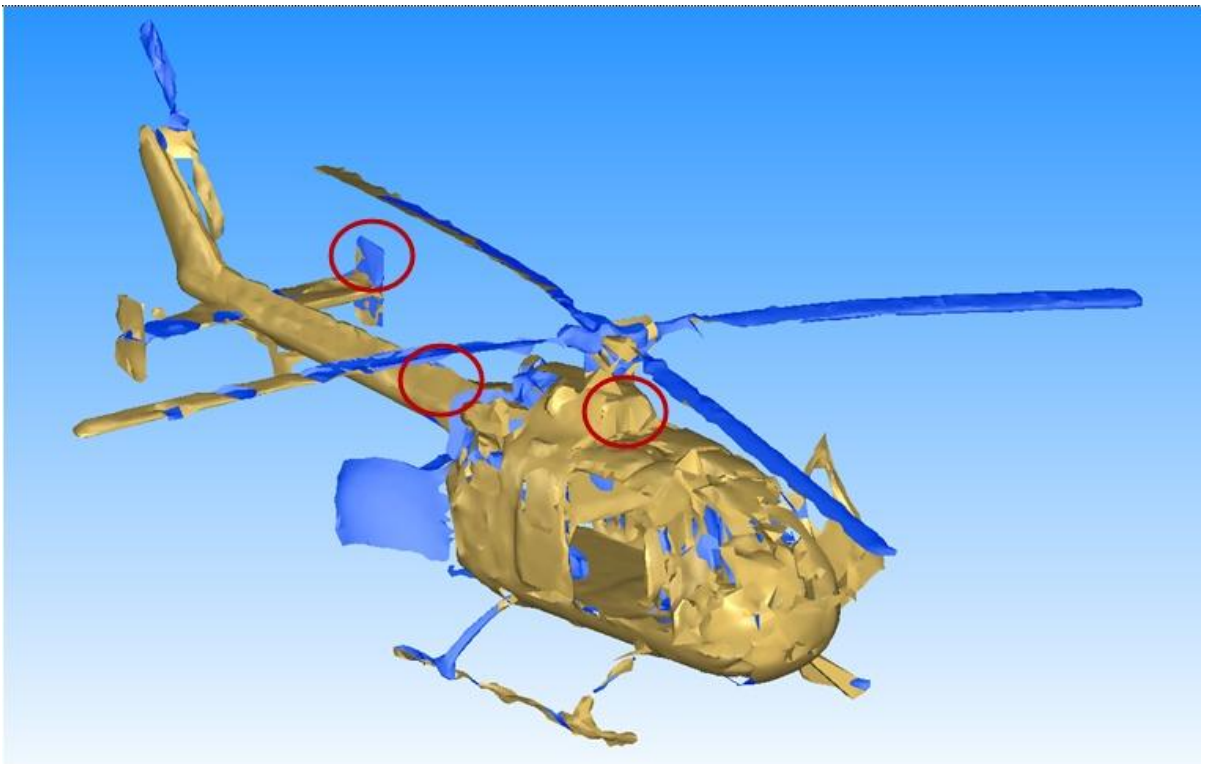


Figura 60. Helicóptero mallado sin orificios

La segunda herramienta de la que se puede hacer uso en el caso de que los orificios a rellenar sean demasiado extensos es la de “Puentes”. Esta herramienta permite crear bandas entre distintos contornos de la malla, cerrando y delimitando espacios de la malla, para posteriormente rellenarlos individualmente. Este proceso es efectivo en el caso de que el agujero a rellenar no sea un plano o cuente con distintas capas que imposibiliten esta tarea.

En el caso del helicóptero, el mayor problema existe en la parte inferior del aparato, de la cual no se tomaron suficientes datos y en la cual existían múltiples capas que dificultan su rellenado y procesado. Gracias a los puentes, se pueden crear varios de ellos para delimitar la superficie y posteriormente ser capaces de rellenar los orificios.

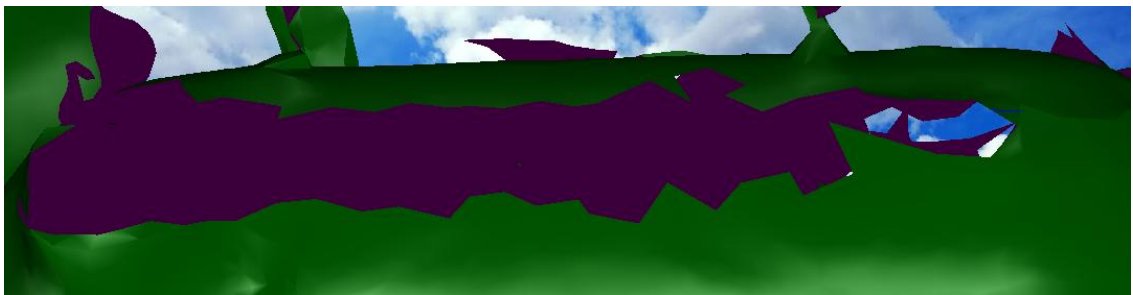


Figura 61. Fuselaje inferior con orificio



Figura 62. Fuselaje inferior con puente

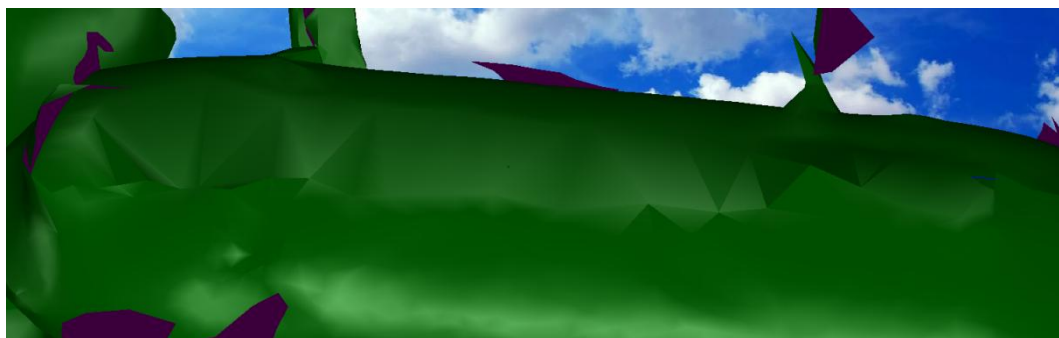


Figura 63. Fuselaje inferior sin orificio

4.6.3. Suavizado

Por último y para terminar de obtener un modelo correcto y preparado para posteriores análisis, se puede hacer uso de la herramienta “Suavizar” del software, a partir de la cual es posible seleccionar aquellas partes que se han mallado de forma abrupta o con rebordes para suavizarlos y de alguna forma “pulir” esos defectos. En el modelo del helicóptero, a pesar de que existen algunas zonas en las que no es necesario aplicarlo, se pueden encontrar otras en las que se pueden aplicar dichas mejoras de forma muy eficaz. Para ello, se selecciona la malla a suavizar, el nivel de tolerancia del “pincel” y se comienza a identificar aquellas zonas que deben de ser mejoradas.

Cabe el hecho mencionar que posiblemente el uso excesivo de esta herramienta provoque que nos alejemos del modelo más realista del aparato al eliminar cierto grado de detalle. Sin embargo, su uso es casi necesario y muy importante para dotar al prototipo de una imagen clara y mejor contorneada.

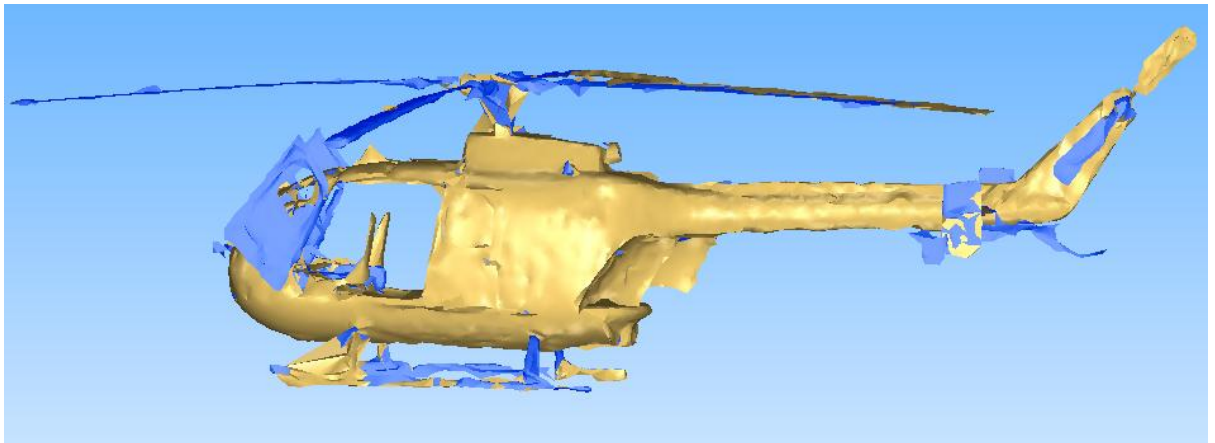


Figura 64. Helicóptero con malla sin suavizar

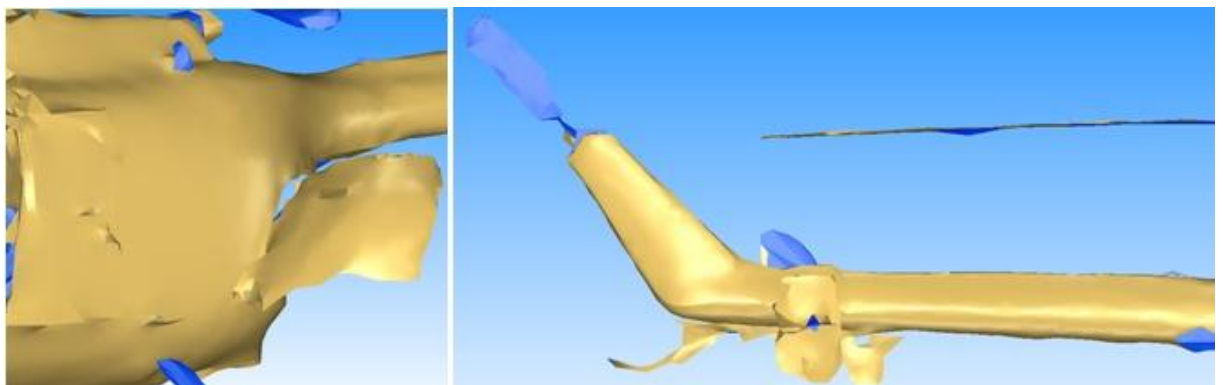


Figura 65. Suavizado de carenado y cola

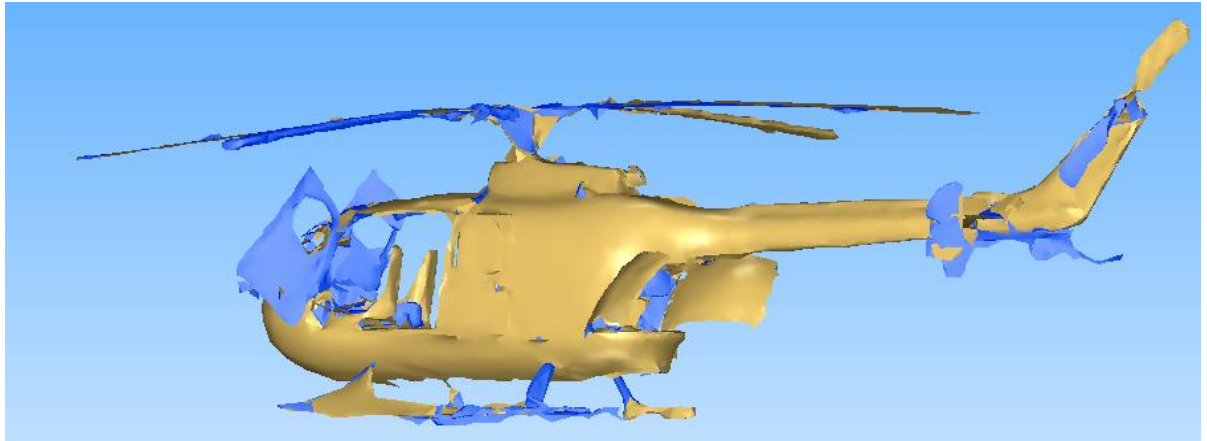


Figura 66. Helicóptero con malla suavizada

4.6.4. Apariencia y aspecto

Por último, aunque no menos importante, el software nos da la opción de cambiar las opciones de aspecto del modelo y de la malla, así como del fondo del escritorio del programa. Para dotar al modelo 3D de una apariencia más realista y más cercana al modelo original, es posible cambiar los colores que conforman la estructura del mismo a un verde oscuro como el de la figura, especificar que la reja/malla sea visible exteriormente, y contraponer de fondo una textura de nubes para dotarlo de la impresión de estar en medio de una maniobra. El resultado final es el que se muestra en las imágenes posteriores.



Figura 67. Modelo final del helicóptero

4.7 MEDIDAS

A partir de la nube de puntos obtenida tras alinear todos los escaneos realizados y suavizar la nube de puntos, se empleará una de las interesantes herramientas que permiten tanto el programa Cyclone como 3DReshaper, a partir del cual es posible medir distancias entre puntos, entre un punto y una recta y entre planos. Así, se tratará de comprobar si los escaneados son fieles a la realidad, realizando medidas de los principales elementos característicos del helicóptero, y comparándolos con las mediciones presentes en los planos acotados del helicóptero, disponibles en el ANEXO 1.

En primer lugar, se realizarán mediciones en planta del helicóptero, para captar el diámetro de las palas tanto del rotor principal como del anti-par. Así, se tiene que:

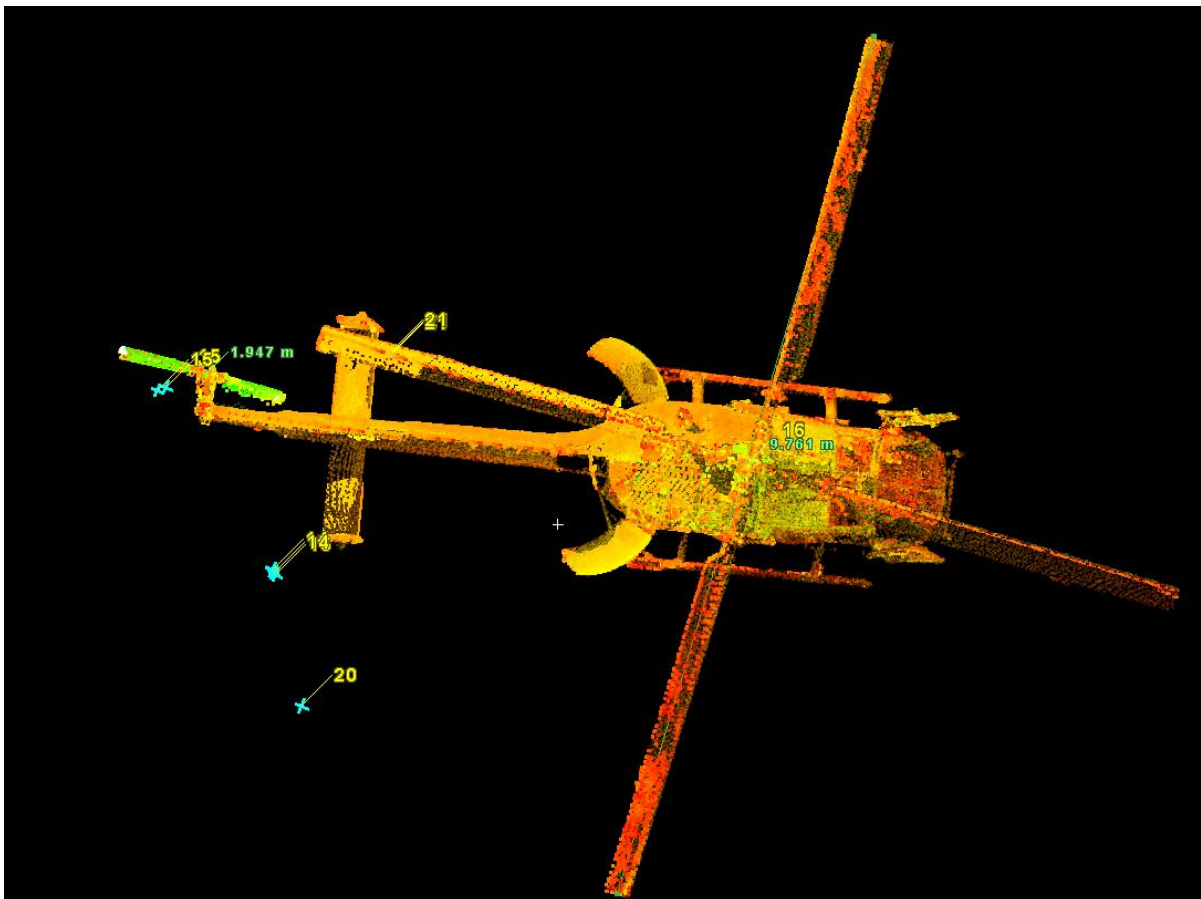


Figura 68. Medidas en Cyclone de rotor principal y antipar

Posteriormente, podemos estudiar la vista del alzado del helicóptero, en el cual se pueden medir las distancias correspondientes a la anchura del fuselaje y a la distancia existente entre los dos patines del tren de aterrizaje.



Figura 69. Medidas en Cyclone de ancho del helicóptero

Para finalizar, y siendo esta última vista en la que encontraremos más información, se podría estudiar la vista del perfil del helicóptero, donde sería posible medir otras características estructurales del helicóptero.

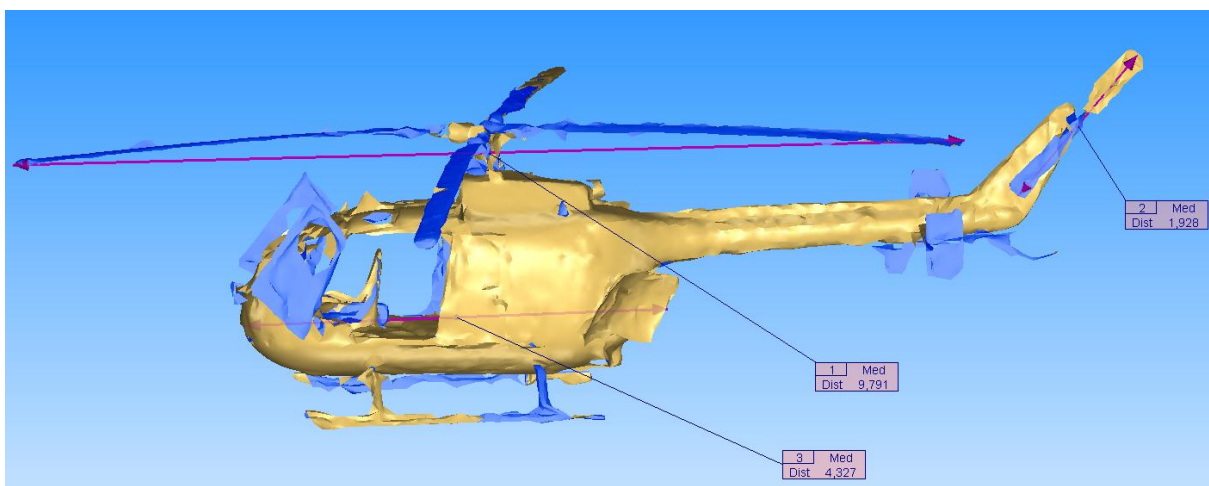


Figura 70. Medidas en 3DReshaper del helicóptero

Como es posible observar, las mediciones realizadas desvelan que las diferencias entre las dimensiones del modelo 3D realizado a partir de los escáneres y las teóricas del plano son relativamente pequeñas, pudiendo cuantificarlas de la siguiente forma:

CYCLONE	Modelo (m)	Plano (m)	Error absoluto (m)	Error relativo
Rotor principal	9.761	9.84	0.079	0.80 %
Rotor anti-par	1.947	1.87	0.077	4.12 %
Ancho fuselaje	1.587	1.58	0.007	0.44 %
Ancho patines	2.488	2.53	0.042	1.66 %

Tabla 2. Discrepancias de medidas en Cyclone

3DRESHAPER	Modelo (m)	Plano (m)	Error absoluto (m)	Error relativo
Rotor principal	9.791	9.84	0.049	0.49 %
Rotor anti-par	1.928	1.87	0.058	3.10 %
Longitud fuselaje	4.327	4.55	0.223	4.90 %

Tabla 3. Discrepancias de medidas en 3DReshaper

5. MODELADO HELICÓPTERO BO105 CON P40

5.1 INTRODUCCIÓN

Una vez finalizado el tratamiento de datos y la extracción de resultados de la primera nube de puntos, se procede, de forma análoga al anterior modelado, a la digitalización 3D del helicóptero y el avión existentes en el propio hangar (aunque este proyecto se fundamente únicamente en el helicóptero), con uno de los más modernos escáneres láseres existentes en el mercado: el P40 de la compañía LeicaGeosystems. Dicha compañía se ofreció para prestar su ayuda y participación en el proyecto mediante la aportación de uno de sus equipos y la supervisión de uno de sus comerciales, conocido ya por el tutor, y el cual impartió una charla sobre los nuevos productos lanzados por la compañía la semana anterior en la escuela.

5.2 ESCANEADO

El primer paso para llevar a cabo un eficiente trabajo es, como ya se ha mencionado previamente, la buena planificación de los posicionamientos del escáner para barrer todo el objeto de estudio con el menor número de escaneos. Así, se decide aprovechar cada uno de los escaneos para barrer el conjunto del helicóptero y del avión, y evitar repetir configuraciones e identificaciones de dianas. Se decide realizar un total de 8 posicionamientos: 1 en cada esquina del conjunto de los aparatos, 2 desde el suelo para poder barrer las partes inferiores y 2 desde la pasarela del hangar para las superiores, consiguiendo una cobertura global de los mismos.

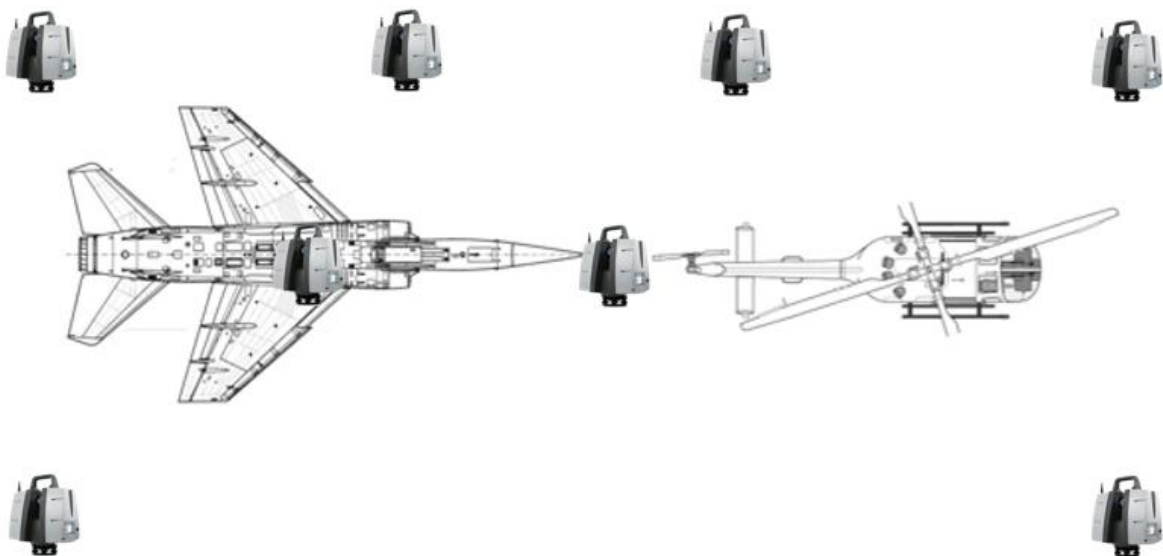


Figura 71. Posicionamientos del escáner P40

El segundo paso es la colocación de las dianas. La primera característica potencial y ventajosa de este aparato si lo comparamos con el anterior, es el hecho de que únicamente se colocan 4 dianas del tipo blanco y negro, dispuestas en las paredes del hangar a distintas cotas, en lugar de las 22 dispuestas para el primer modelo. Las dianas son de forma circular, y cuentan con una base metálica imantada, la cual permite colocarlas en superficies elevadas verticales siempre y cuando sean de material metálico. Así, se reparten las 4 a diferentes alturas con la ayuda de una escalera, de forma que fueran visibles desde los diversos posicionamientos, para posteriormente realizar el solape y la unión de las distintas nubes de puntos.



Figura 72. Diana del escáner P40

Una vez realizada la planificación y preparación, se realiza el estacionamiento del escáner. Especial importancia se debe dar a las facilidades que otorga el Leica P40 en comparación con el ScanStation 2 en cuanto a preparación. Su reducido tamaño permite su fácil y cómodo transporte mediante una maleta de un tamaño mucho más pequeño que la del aparato anterior. No es necesario cable de alimentación debido a la presencia de baterías que proporcionan una autonomía suficiente para realizar el trabajo, así como una puesta en marcha y una manipulación rápida. Así mismo, no es necesario un ordenador auxiliar para controlar el escáner, puesto que cuenta con una pantalla táctil y un software interno para cumplir con esa tarea.

A la hora de comenzar los escaneos, lo primero es crear un nuevo proyecto. Posteriormente se ha de establecer la ventana que se desea barrer capturando las dianas y el conjunto de los aparatos. Este aparato permite establecerlo de forma muy intuitiva a partir de la pantalla táctil, mediante la definición de los dos extremos “abriendo y cerrando” los símbolos de los candados presentes en la misma. De la misma forma, se seleccionan unos parámetros de 2 mm de captura de puntos con un rango de 10 metros, suficientes para la tarea a desarrollar.

La característica más destacable que supone la ventaja más notable de un aparato con respecto al otro es el tiempo de escaneo. Con el primero, ScanStation 2, se llevaron a cabo barridos de unos 160 grados, limitando los ángulos verticales, tomando unos tiempos de aproximadamente 50 minutos por barrido, sin contar los periodos de preparación, calibración y montaje del escáner. Por el contrario, con el segundo aparato, para el total de los 8 escaneos, montaje y calibración se

contabilizó un tiempo de poco más de 1 hora, una cifra muy clarificadora de la evolución de la tecnología escáner láser.

Una vez se ha concluido el escaneado, se procede a la identificación y registro de las dianas ya que el dispositivo permite guardarlas y asociarlas al escaneado. Para ello, se añade una nueva diana y se le da nombre. Posteriormente, se va ajustando en la pantalla táctil la ventana en la que se pueda escanear, acotando lo máximo posible pero no siendo necesario demasiada precisión en esta fase preliminar. Seguidamente el escáner realiza un barrido preliminar con resolución media para captar donde se encuentra la diana debido a su alta capacidad reflexiva, y posteriormente un escaneo con muy alta resolución que le permite acotar el centro de la diana y registrarlo.

Finalizados los escaneos, el propio software interno realiza el “antiguo” proceso de registro de forma propia y permite obtener el conjunto de la nube de puntos originada por la superposición de las otras 8. Este hecho permite obtener una nube con mucho menor ruido y puntos redundantes originados por la manipulación manual de los barridos.

Posteriormente es posible exportar esta información de forma rápida, cómoda y sencilla para llevar a cabo las tareas de postprocesado de forma análoga al apartado anterior.

5.3 RESULTADOS

Tras acabar el trabajo de campo, el trabajador de Leica nos proporciona los datos en forma de un archivo pts, formato manipulable mediante 3DReshaper. Sin embargo, es posible importar esta información al entorno Cyclone para llevar a cabo las tareas de limpieza y selección. Esta tarea supone un periodo de aproximadamente media hora hasta que se importa la nube de puntos. Esto es debido a que la nube es mucho más densa que la del primer modelo: pasamos de un conjunto de puntos de más o menos 6 millones a un total de 113 millones. Esta diferencia será visible en el acabado y resultado final. Puesto que el proceso de registration se ha realizado de forma directa, no se cuenta con cada modelspace por separado, aunque si con cada uno de los escaneos de forma individual.

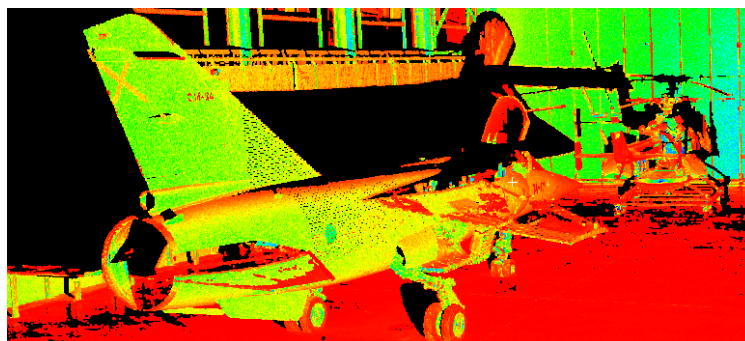


Figura 73. Escaneo trasero derecho

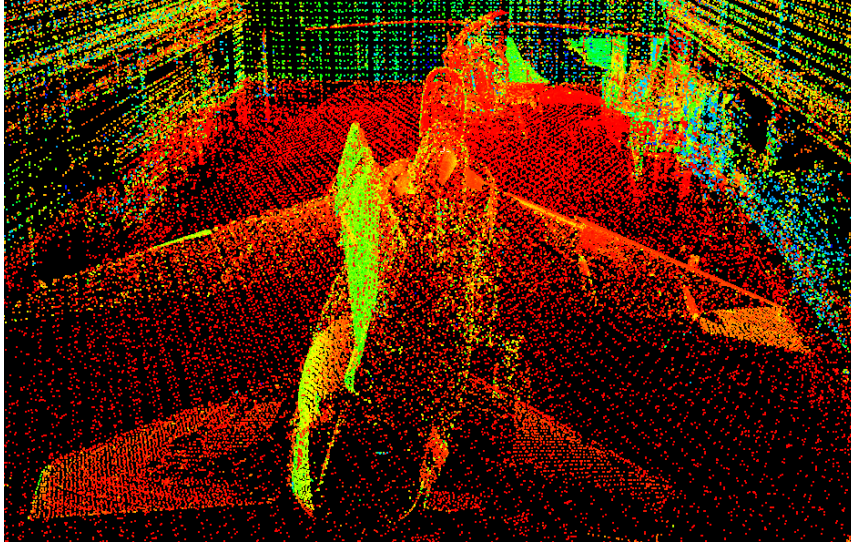


Figura 74. Escaneo global

5.4 POSTPROCESADO CYCLONE

Se realizan los procesos de limpieza con las mismas herramientas y procedimientos obteniendo los resultados siguientes, donde se aprecia en un primer momento una mayor densidad de puntos, así como menores interferencias y datos dispares que provocan solapes descuadrados y desorganizados.

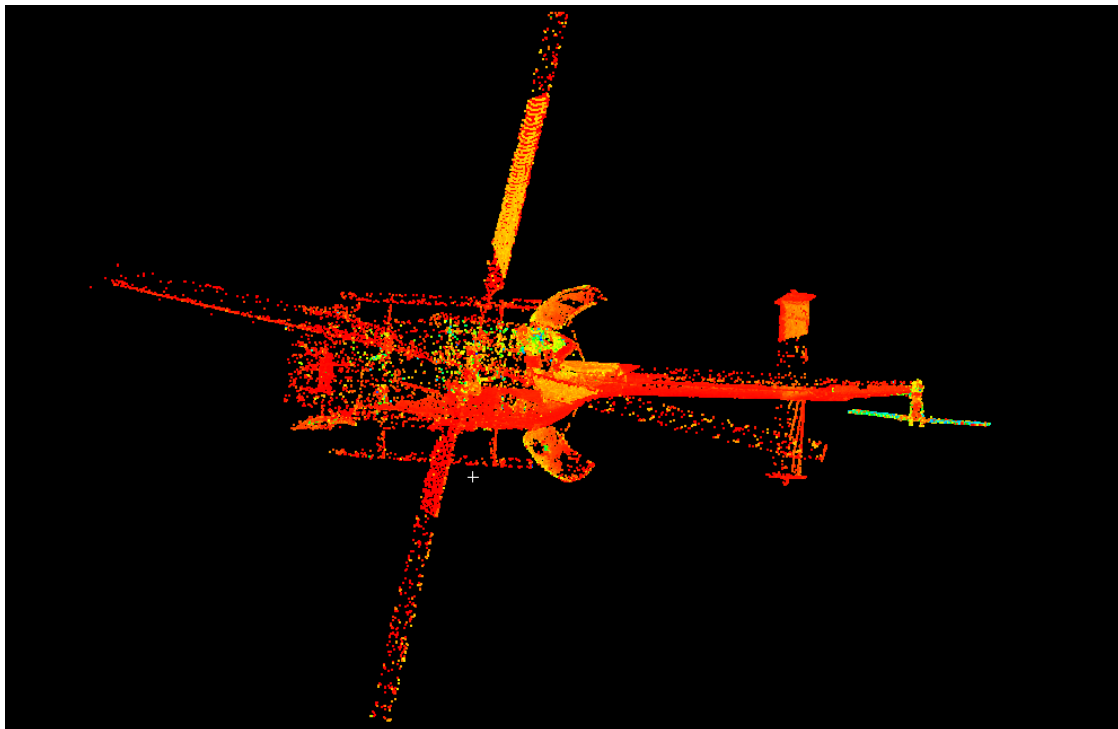


Figura 75. Escaneo en planta del helicóptero limpio

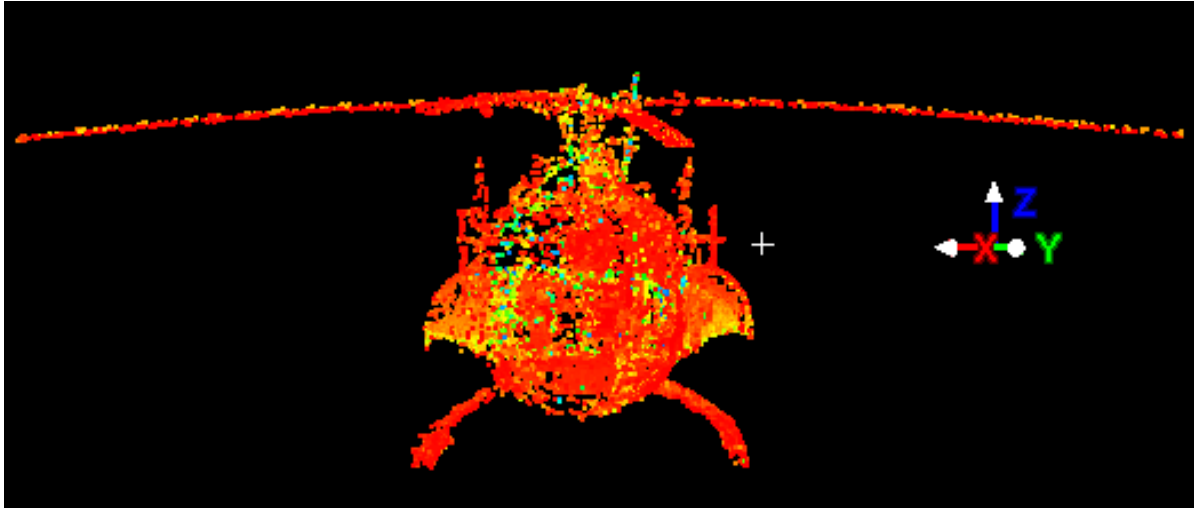


Figura 76. Escaneo en alzado del helicóptero limpio



Figura 77. Escaneo en perfil del helicóptero limpio

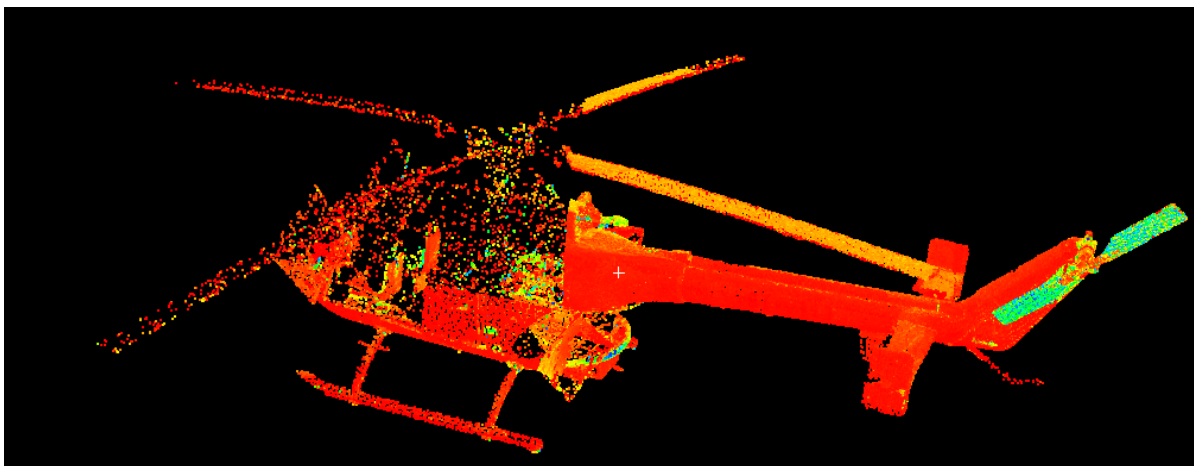


Figura 78. Escaneo del helicóptero limpio

5.5 POSTPROCESADO 3DRESHAPER

Una vez obtenida la nube de puntos limpia y preparada, se exporta al software 3DReshaper para realizar las tareas de mallado, relleno y suavizado. Desde el primer momento en el que se comienza a manipular la malla, se observa como la calidad de la nube y la precisión es enormemente mayor que la del primer caso, hecho que facilitará las tareas anteriormente citadas, pudiendo observar una mayor calidad de detalle en las zonas interiores del helicóptero.

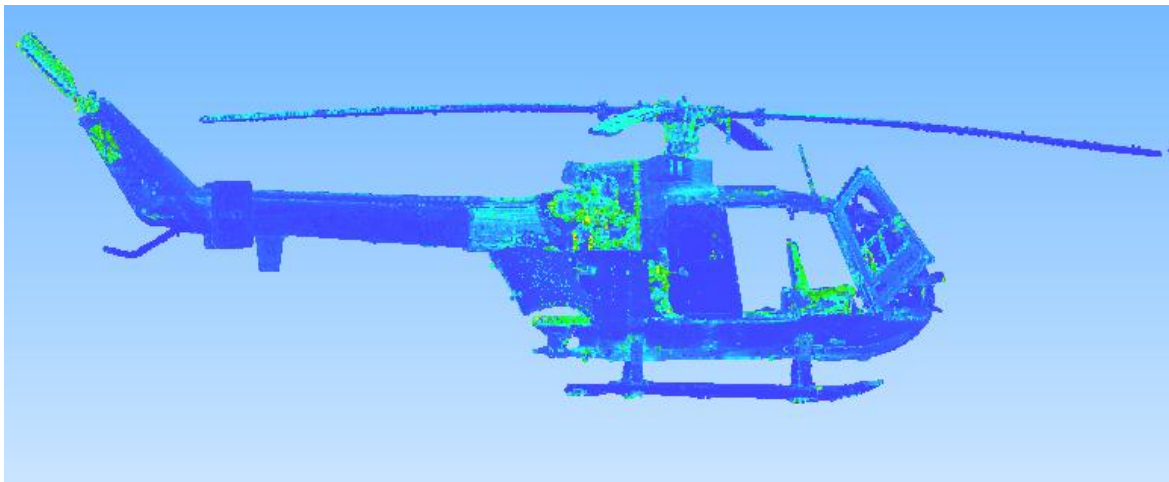


Figura 79. Perfil de la nube de puntos en 3DReshaper

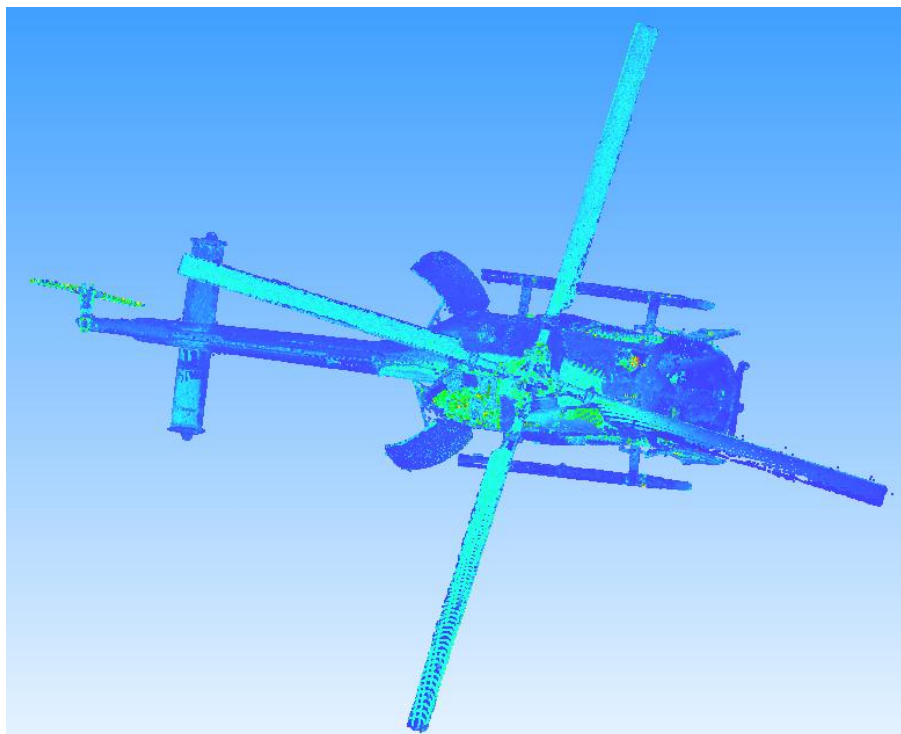


Figura 80. Planta de la nube de puntos en 3DReshaper



Figura 81. Alzado de la nube de puntos en 3DReshaper

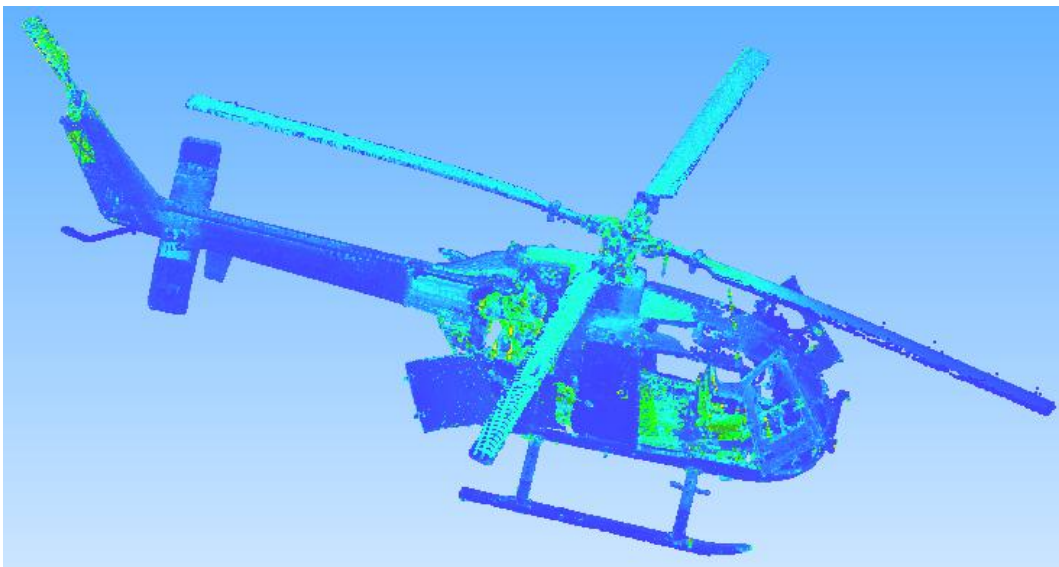


Figura 82. Nube de puntos en 3DReshaper

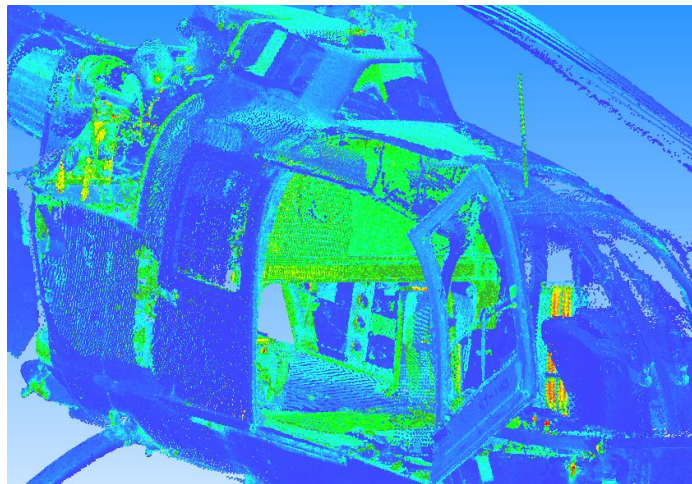


Figura 83. Detalle de la nube de puntos en 3DReshaper

De igual forma al proceso seguido en la primera parte del trabajo, se opta por realizar un mallado de la nube mediante una malla en dos pasos, cuyos valores de configuración se pueden observar en las imágenes posteriores.



Figura84. 1er paso mallado



Figura 85. 2º paso mallado

El primer paso una vez se ha constituido la malla, es tratar de eliminar todos los orificios posibles mediante las herramientas correspondientes, así como mediante la realización de puentes.

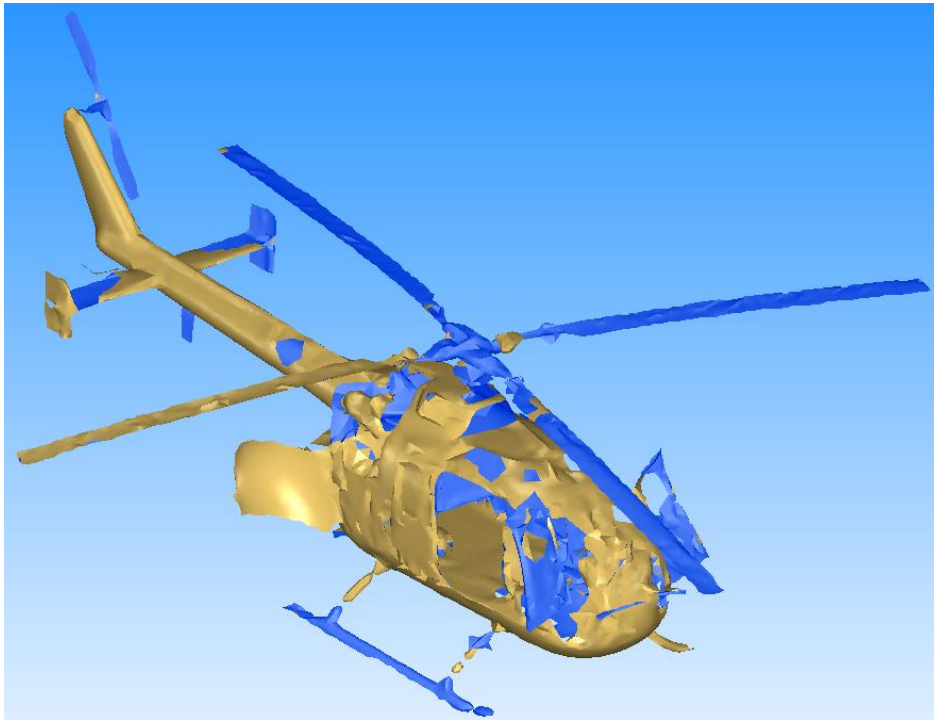


Figura 86. Malla con orificios 1

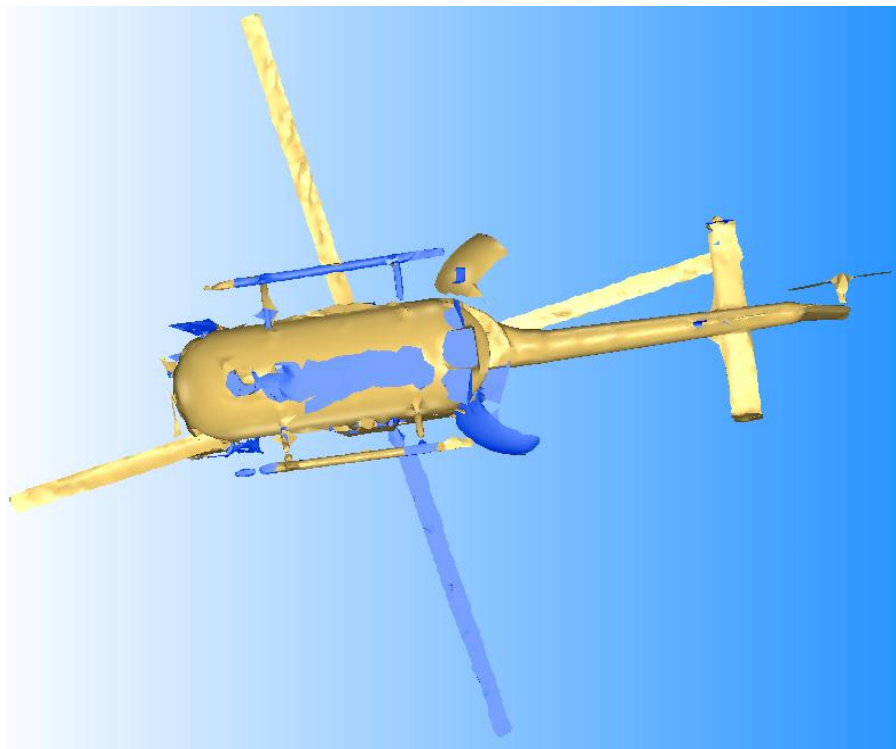


Figura 87. Malla con orificios 2



Figura 88. Malla sin orificios 1

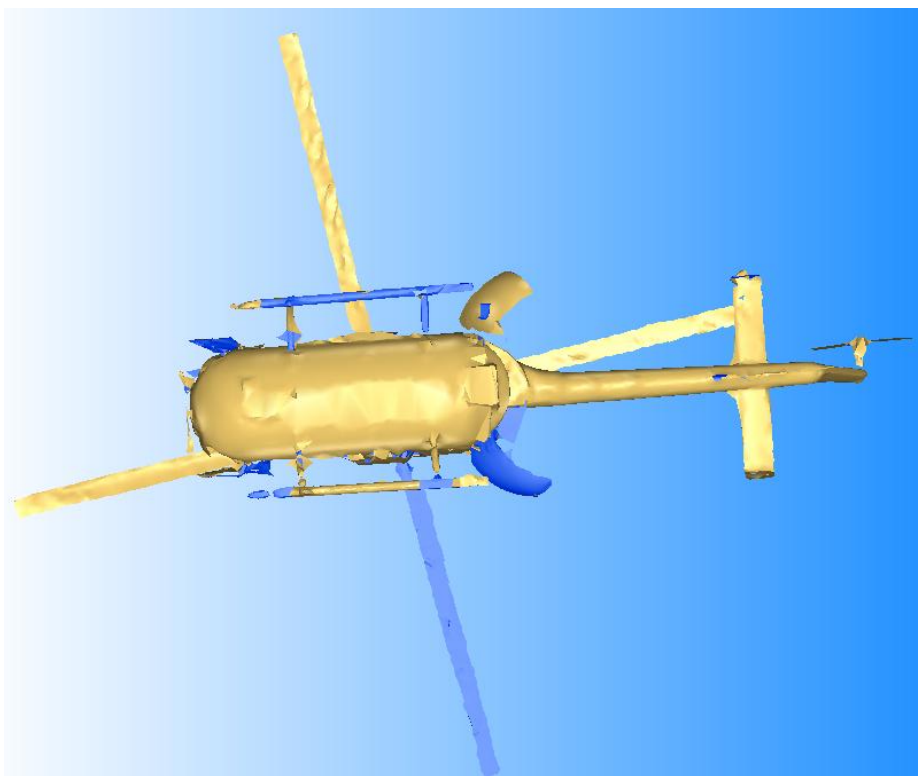


Figura 89. Malla sin orificios 2

Una vez acaba la tarea de relleno, es necesaria una serie de procedimientos para terminar de suavizar la malla, convirtiéndola en un modelo más fiel a la realidad.

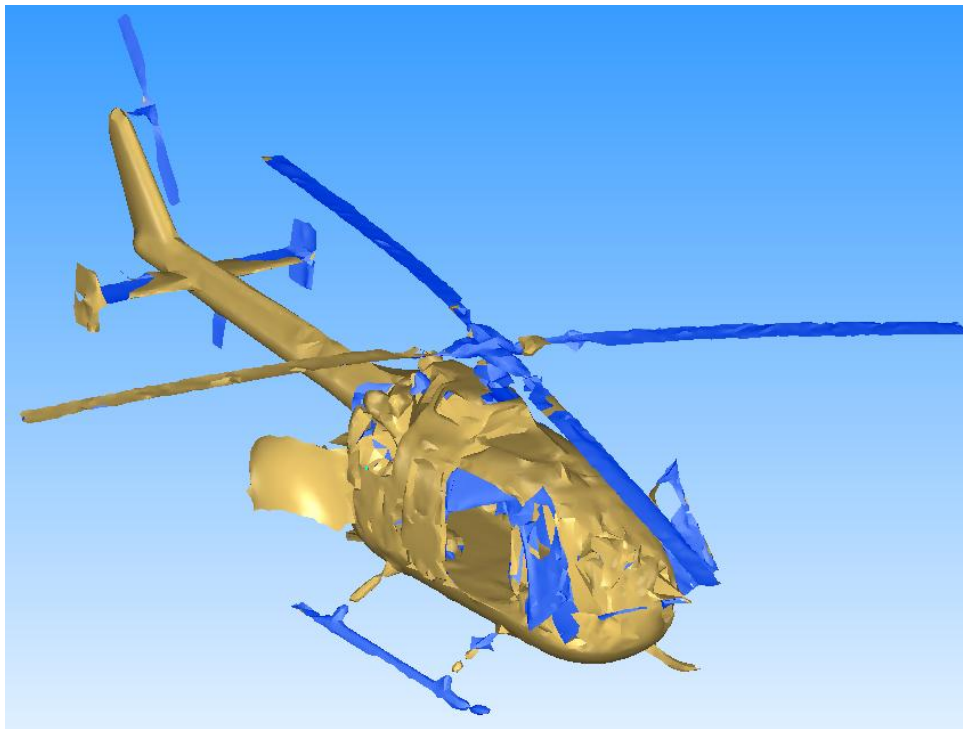


Figura 90. Malla sin suavizar 1

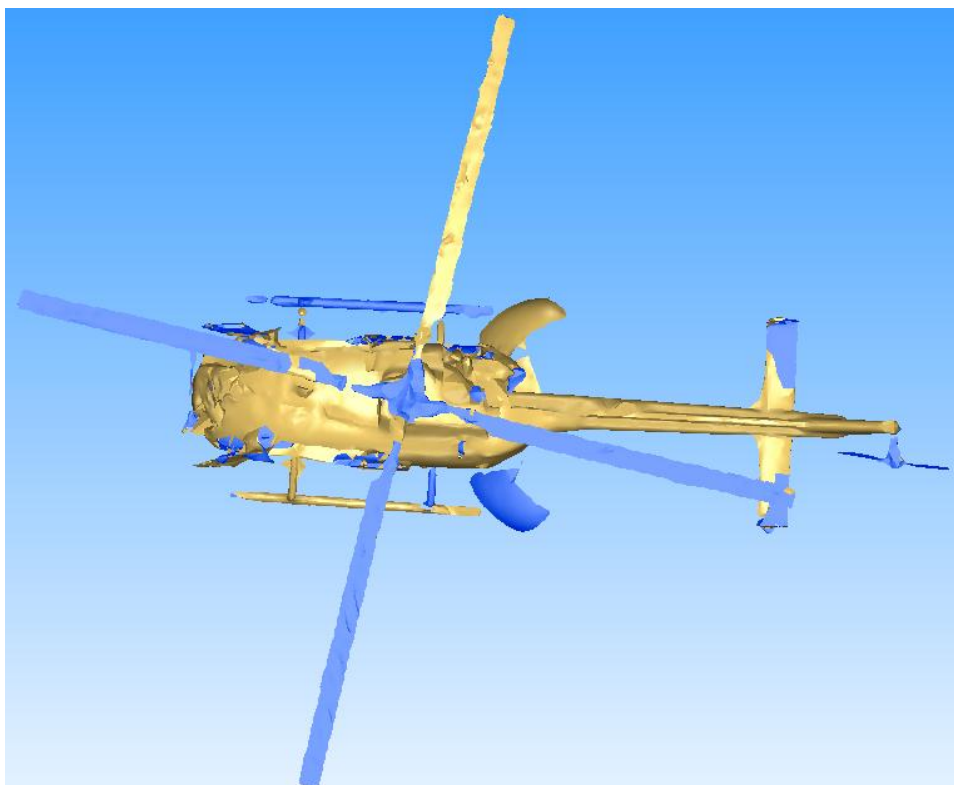


Figura 91. Malla sin suavizar 2



Figura 92. Malla suavizada 1



Figura 93. Malla suavizada 2



Figura 94. Modelo final (P40)

5.6 MEDIDAS

Del mismo modo que se realizaron mediciones en el primer modelo, se pueden repetir en este caso para comprobar cómo la nueva representación 3D es más precisa y exacta en ambos software, consolidándose como un modelo más fiel al real.

Primeramente, se realizan las mediciones correspondientes al software Cyclone, en ambas vistas, alzado y planta, para contabilizar las longitudes de los elementos más característicos.

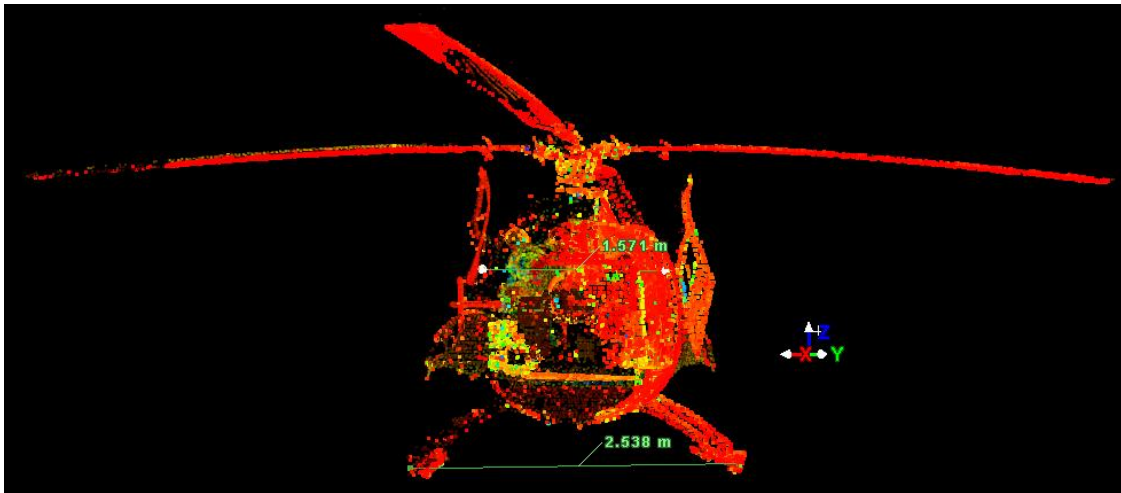


Figura 95. Medidas del alzado en Cyclone (P40)

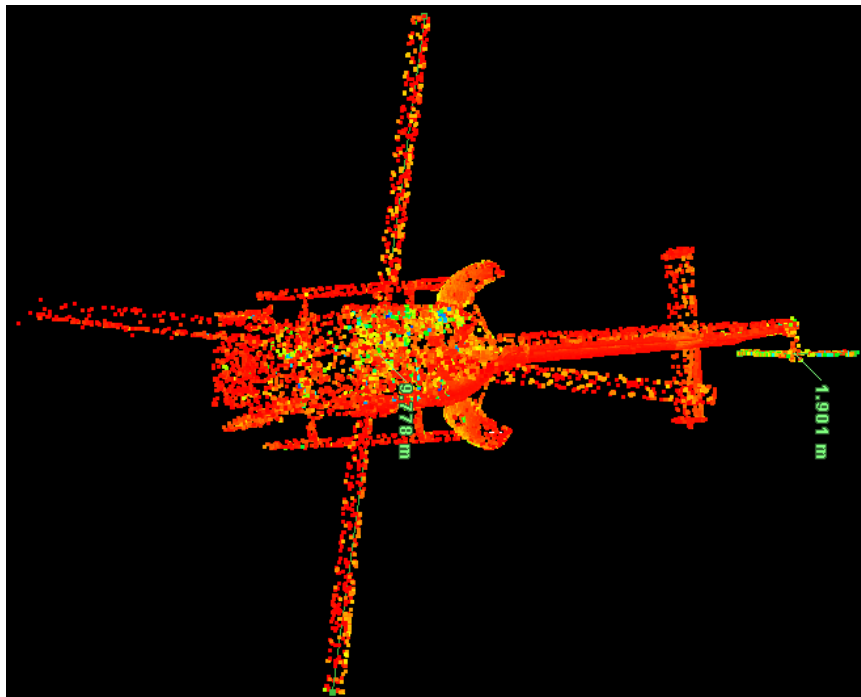


Figura 96. Medidas en planta en Cyclone (P40)

CYCLONE	Modelo (m)	Plano (m)	Error absoluto (m)	Error relativo
Rotor principal	9.778	9.84	0.112	0.63 %
Rotor anti-par	1.901	1.87	0.016	1.66 %
Ancho fuselaje	1.571	1.58	0.018	0.57 %
Ancho patines	2.538	2.53	0.003	0.32 %

Tabla 4. Discrepancias de medidas en Cyclone (P40)

Y seguidamente las correspondientes al software 3DReshaper, una vez ya mallado el modelo.



Figura 97. Medidas del perfil en 3DReshaper (P40)



Figura 98. Medidas del alzado en 3DReshaper (P40)

3DRESHAPER	Modelo (m)	Plano (m)	Error absoluto (m)	Error relativo
Rotor principal	9.728	9.84	0.062	1.14 %
Rotor anti-par	1.886	1.87	0.031	0.86 %
Ancho fuselaje	1.598	1.58	0.009	1.14 %
Ancho patines	2.527	2.53	0.008	0.12 %

Tabla 5. Discrepancias de medidas en 3DReshaper (P40)

6. CONCLUSIONES

Una vez finalizado el desarrollo del trabajo se pueden extraer conclusiones atendiendo a distintos aspectos, que acabaran justificando la elaboración del proyecto y el estudio del mismo.

En primer lugar, se ha observado como la calidad y precisión del modelo obtenido a partir del escáner P40 es mucho mayor que las obtenidas mediante el ScanStation 2. Este hecho demuestra la gran evolución que en los últimos años ha sufrido la tecnología láser, no únicamente en el campo de la ingeniería sino en el ámbito general. Esto se debe a los enormes avances desarrollados en cuanto al haz láser, la precisión del escaneo, y la velocidad de adquisición de datos, factores que se han traducido en una significativa reducción del tiempo empleado en el trabajo de campo y en la obtención de unos modelos más fieles a la realidad.

Por otro lado, se ha encontrado como, a pesar de no ser muy habitual en el campo aeronáutico, es posible emplear el escaneado láser para la obtención de modelos tridimensionales digitales de instrumentos y aparatos de la industria aeroespacial. Tradicionalmente se empleaban casi exclusivamente con fines topográficos, pero sus aplicaciones se han diversificado permitiendo realizar proyectos como el plasmado en esta memoria.

Así mismo, se ha llevado a cabo una comparación de las dimensiones del modelo real con el obtenido a partir de los métodos láser, y se ha observado que pueden utilizarse como una fiel herramienta para el dimensionado de piezas y en aplicaciones de ingeniería inversa.

De forma adicional, los modelos obtenidos mediante los software empleados podrían ser exportados a otros varios como Autocad, a partir de los cuales se obtendrían planos desde distintas vistas, así como servir de apoyo para otros conjuntos de herramientas informáticas.

Como valoración final del proyecto, podría concluirse que se han alcanzado los objetivos planteados al comienzo de la planificación del mismo, llegando a unos resultados concluyentes y que han servido de gran apoyo para la formación adicional a los contenidos cursados durante la carrera.

7. PRESUPUESTO

En este último apartado, del proyecto propiamente dicho, se va a tratar de realizar una estimación de los costes que supone el desarrollo de las tareas anteriormente citadas, orientadas a la obtención de los resultados expuestos.

Se tratarán 3 aspectos fundamentales: el equipo necesario, el software empleado y el trabajo humano que ha sido invertido en la realización de dicho proyecto. Cabe destacar el hecho de que, a pesar de que el trabajo ha sido realizado de forma individual, tanto el trabajo de campo, parte fundamental del proyecto, como el postprocesado de los datos se lleva a cabo de forma cooperativa y conjunta entre los 5 alumnos y el profesor tutor de los mismos; por ello, se incluirán las horas correspondientes a todos ellos en cada una de las tareas. Para realizar el cálculo de las horas de trabajo, se ha estimado un tiempo de trabajo de campo de 2 meses, 20 días por mes y con una jornada de 6 horas, dando un total de 240 horas, en las cuales se incluye el aprendizaje; un tiempo de trabajo de postprocesado y limpieza de puntos de 1 mes, 20 días por mes y con una jornada de 4 horas, siendo un total de 80 horas; y un tiempo de redacción de memoria y preparación de la presentación de 2 meses, 20 días al mes, 2 horas al día, computando un total de 80 horas. El total del tiempo empleado por parte del alumno es de 400 horas.

7.1 ScanStation 2

En el primer apartado se trabajó con el láser escáner ScanStation 2, el cual es propiedad de la universidad, así como el resto de equipo necesario incluyendo dianas, trípode, cables y la estación de trabajo. A pesar de ello, únicamente se incluirá en el presupuesto el coste de amortización del láser correspondiente a los 2 meses de trabajo de campo, en comparación con los 4 años transcurridos desde su adquisición. Así, se realizará un cálculo porcentual del total de compra atendiendo al porcentaje de tiempo empleado, 2 meses sobre 4 años. De la misma forma, hay que añadir la licencia Leica Cyclone, presente en el ordenador de trabajo a partir de los cuales se realizan los escaneos, con el correspondiente gasto de amortización sobre el total de 1 año. En la siguiente tabla se incluyen los gastos de equipo, de software y por último los de la mano de obra, incluyendo además el trabajo del técnico de laboratorio:

EQUIPO			
	NÚMERO	COSTE UNITARIO (€/Ud)	COSTE TOTAL (€)
Láser ScanStation 2	2/48	14500	604.16
Trípode y estrella	1	550	550

Set de dianas	1	113	113
Estación de trabajo	2/48	2500	104.17
SOFTWARE			
	NÚMERO	COSTE UNITARIO (€/U)	COSTE TOTAL (€)
LICENCIA CYCLONE	2/12	7400	1233.33
MANO DE OBRA			
	NÚMERO	COSTE UNITARIO (€/H)	COSTE TOTAL (€)
PROFESOR/TUTOR	30	35	1050
ALUMNO 1	235	18	4230
ALUMNO 2	235	18	4230
ALUMNO 3	235	18	4230
ALUMNO 4	235	18	4230
ALUMNO 5	235	18	4230
TÉCNICO LABORATORIO	10	25	250
TOTAL			25054.66

Tabla 6. Costes del escaneado láser con ScanStation 2

7.2 P40

En el segundo apartado se trabajó con el láser escáner P40, el cual fue cedido de forma gratuita durante una mañana para realizar las tareas de escaneo. Sin embargo, es necesario añadir los costes que hubiera supuesto su alquiler, así como la mano de obra del técnico de Leica que nos supervisó. Es posible contar con los datos de precios de alquiler gracias a la asistencia a una charla sobre los nuevos productos Leica realizada en la escuela. Se engloban los mismos apartados que en el caso anterior:

EQUIPO			
	NÚMERO	COSTE UNITARIO (€/H)	COSTE TOTAL (€)
Alquiler equipo Láser P40	1	600	600
SOFTWARE			
MANO DE OBRA			
	NÚMERO	COSTE UNITARIO (€/H)	COSTE TOTAL (€)
PROFESOR/TUTOR	5	35	175
ALUMNO 1	5	18	90

ALUMNO 2	5	18	90
ALUMNO 3	5	18	90
ALUMNO 4	5	18	90
ALUMNO 5	5	18	90
TÉCNICO LEICA	10	30	300
TOTAL			1525

Tabla 7. Costes del escaneado láser con P40

7.3 PostProcesado

Una vez ya se cuenta con los costes de los procesos de extracción de datos, es necesario incluir los correspondientes a las licencias que permiten llevar a cabo la limpieza de puntos así como el modelado y refinado de la malla y el modelo final del helicóptero, así como a su correspondiente número de horas de mano de obra:

SOFTWARE			
	NÚMERO	COSTE UNITARIO (€/Ud)	COSTE TOTAL (€)
Licencia Cyclone	1/12	7400	616.66
Licencia 3DReshaper	1/12	9700	808.33
MANO DE OBRA			
	NÚMERO	COSTE UNITARIO (€/H)	COSTE TOTAL (€)
PROFESOR/TUTOR	20	35	700
ALUMNO 1	80	18	1440
TÉCNICO LABORATORIO	20	30	600
TOTAL			4165

Tabla 8. Costes del postprocesado

7.4 Total

TOTAL SIN IVA	
SCAN STATION 2	25054.66 €
P40	1525 €
POSTPROCESADO	4165 €
TOTAL SIN IVA	30744.66 €
IVA	
IVA (21 %)	6456.38 €

TOTAL CON IVA	
TOTAL SIN IVA	30744.66 €
IVA	6456.38 €
TOTAL CON IVA	37201.04 €

Tabla 9. Coste total

8. ANEXOS

8.1 Hoja especificaciones ScanStation 2

Leica ScanStation 2

Product Specifications

General		Electrical		View scanner locations and field-of-view Level of detail (LOD) for fast visualization Auto rechecking (re-acquisition) of targets ¹ Auto acquisition of HDS targets ¹ Target identification Traverse ¹ Field Setup - Resection ¹ Field Setup - Known Backsight ¹ Field Setup - Known Azimuth ¹ Traverse and resection reports Stakeout and id-point Point to and dwell on preselected coordinates Direct coordinate/station entry ¹ Dual-axis compensation on/off Engage/disengage turret Target and instrument height input Lighting control for digital images Acquire and display digital image Set image resolution (high, medium, low) Support of external digital images Real-time 3D visualization while scanning ¹ Fly-around, pan & zoom, rotate clouds, meshes, models in 3D View point clouds with intensity or true-color mapping Auto creation of panoramic digital image mosaic ¹ Global digital image viewer ¹ Point-and-scan QuickScan to set horizontal FOV ¹ User-defined quality-of-fit checks Measure & dimension: slope dist., Ax, Ay, Az Create, manage annotations and layers Save/restore views Save screen images Undo/redo support
Instrument type	Pulsed, dual-axis compensated, very-high speed laser scanner, with survey-grade accuracy, range, and field-of-view	Power supply	36 V; AC or DC; hot swappable; two (2) Power Supply units provided with system	
User interface	Notebook or Tablet PC	Power consumption	< 80W avg.	
Scanner drive	Servo motor	Battery type	Sealed lead acid	
Camera	Integrated high-resolution digital camera	Power ports	Two (2) simultaneous use, hot swappable	
System Performance		Typical duration	>6 hours, typical continuous use (room temp.)	
Accuracy of single measurement		Power status indicators	Five (5) LEDs indicate charging status and power levels	
Position*	6 mm	Environmental		
Distance*	4 mm	Operating temp.	0° C to +40° C	
Angle (horizontal/vertical)	60 µrad/60 µrad, one sigma	Storage temp.	-25° C to +65° C	
Modeled surface precision**/noise	2 mm, one sigma	Lighting	Fully operational between bright sunlight and complete darkness	
Target acquisition***	2 mm std. deviation	Humidity	Non-condensing	
Dual-axis compensator	Selectable on/off Resolution 1", dynamic range +/- 5'	Shock	40 G's (max. to scanner transport case)	
Data integrity monitoring	Periodic self-check during operation and startup	Dust/humidity	IP52 (IEC 60529)	
Laser Scanning System		Physical		
Type	Pulsed; proprietary microchip	Scanner		
Color	Green	Dimensions	10.5" D x 14.5" W x 20" H 265 mm x 370 mm x 510 mm w/o handle and table stand	
Laser Class	3R (IEC 60825-1)	Weight	18.5 kg, nominal	
Range	300 m @ 90%; 134 m @ 18% albedo	Power Supply Unit		
Scan rate	Up to 50,000 points/sec, maximum instantaneous rate Average: dependent on specific scan density and field-of-view	Dimensions	6.5" D x 9.25" W x 8.5" H 165 mm x 236 mm x 215 mm w/o handles	
Scan resolution		Weight	12 kg, nominal	
Spot size	From 0 - 50 m: 4 mm (FWHH - based); 6mm (Gaussian - based)	Standard Accessories Included		
Selectability	Independently, fully selectable vertical and horizontal point-to-point measurement spacing ¹	Scanner transport case Tribrach (Leica Professional Series) Survey tripod Ethernet cable for connection of scanner to notebook PC Two Power Supply cases. Each includes: Power Supply Cable for battery connection to scanner Power Supply charger User manual Cleaning kit Cyclone™-SCAN software		
Point spacing	Fully selectable horizontal and vertical; < 1 mm minimum spacing, through full range ¹ ; single point dwell capability	Hardware Options		
Maximum sample density	< 1 mm ¹	Notebook PC Tablet PC HDS scan targets and target accessories Service agreement for Leica ScanStation 2 Extended warranty for Leica ScanStation 2		
Field-of-view (per scan)		Notebook PC for Scanning^A		
Horizontal	360° (maximum) ¹	Component required (minimum)		
Vertical	270° (maximum) ¹	Processor	1.4 GHz Pentium M or similar	
Aiming/Sighting	Optical sighting using QuickScan™ button front and upper window design Environmentally protected by housing and two glass shields	RAM	512 MB SDRAM	
Scanning Optics		Network card	Ethernet	
Scan motors	Direct drive, brushless	Display	SXGA+	
Data & power transfer to/from rotating turret	Contact-free: optical data link and inductive power transfer	Operating system	Windows XP (SP1 or higher) Windows 2000 (SP2 or higher)	
Communications	Static Internet Protocol (IP) Address	Cyclone-SCAN		
Integrated color digital imaging	User-defined pixel resolution: Low, Medium, High ¹ Single 24° x 24° image: 1024 x 1024 pixels (1 megapixel) @ "High" setting Full 360° x 270° dome: 111 images, approx. 64 megapixels, automatically spatially rectified	Independent vertical and horizontal scan density ¹ Scan filters: range, intensity ¹ Selection of scan area via scribed rectangle or pre-sets ¹ Atmospheric correction Customizable longitude/latitude grid lines Targeted, single-shot pre-scan ranging ¹ Script management for auto scan sequencing ¹		
Status Indicators	3 LEDs (on stationary base) indicate system ready, laser "on", and communications status	All specifications are subject to change without notice. All ± accuracy specifications are one sigma unless otherwise noted ¹ SmartScan Technology™ feature * At 1 m - 50 m range, one sigma ** Subject to modeling methodology for modeled surface *** Algorithmic fit to planar HDS targets ^A Minimum requirements for modeling operations are diff Refer to Cyclone data sheet specifications		
Level indicator	External bubble and via laptop	Laser class 3R in accordance with IEC 60825-1 resp. EN 60825-1 Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation Other trademarks and trade names are those of their res owners. Illustrations, descriptions and technical specifications are binding and may change. Printed in Switzerland - Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland 2007. 760347en - VI.07 - RDV		

Leica Geosystems AG
Heerbrugg, Switzerland
www.leica-geosystems.com/hds

- when it has to be **right**

Leica
Geosystems

Figura 99. Hoja de especificaciones del ScanStation 2. Fuente: Leica

8.2 Hoja especificaciones P40

Leica ScanStation P30/P40

Especificaciones técnicas

Precisión del sistema	
Precisión de medición simple*	
Precisión del alcance	1,2 mm + 10 ppm en todo el alcance
Precisión angular	8" horizontal; 8" vertical
Precisión de posición 3D	3 mm a 50 m; 6 mm a 100 m
Adquisición de objetivos**	Desviación estándar de 2 mm a 50 m
Compensador de doble eje	Sensor de líquidos con compensación integrada en tiempo real, posibilidad de activación y desactivación, resolución de 1", alcance dinámico de ±5', precisión de 1,5"
Sistema de medición de distancias	
Tipo	Medición del tiempo de vuelo a velocidad ultrarrápida mejorada con la tecnología Waveform Digitising (WFD)
Longitud de onda	1550 nm (invisible)/658 nm (visible)
Clase de láser	Láser de clase 1 (según CEI 60825:2014)
Divergencia del haz	<0,23 mrad (anchura a media altura, ángulo completo)
Diámetro del haz en la ventana frontal	≤3,5 mm (anchura a media altura)
Alcance y reflectancia	Alcance mínimo de 0,4 m
	Reflectancia y alcance máximos
	120 m 180 m 270 m
P30	18 % - -
P40	8 % 18 % 34 %
Velocidad de escaneo	
Nivel de ruido*	Hasta 1 000 000 puntos/s
	0,4 mm rms a 10 m
	0,5 mm rms a 50 m
Campo de visión	
Horizontal	360°
Vertical	290°
Capacidad de almacenamiento de datos	
Comunicaciones/Transferencia de datos	Unidad de estado sólido (SSD) interna de 256 GB o dispositivo USB externo
	Gigabit Ethernet, LAN inalámbrica integrada o dispositivo USB 2.0
Pantalla integrada	
	Control de pantalla táctil con lápiz, pantalla gráfica VGA a color (640×480 píxeles)
Plomada láser	
	Láser de clase 1 (CEI 60825:2014)
	Precisión de contrado: 1,5 mm a 1,5 m
	Diámetro del punto de láser: 2,5 mm a 1,5 m
	Posibilidad de activación/desactivación
Sistema de generación de imágenes	
Cámara interna	
Resolución	4 megapíxeles por cada imagen a color de 17°×17°; 700 megapíxeles para las imágenes panorámicas
Tamaño de píxel	2,2 µm
Video	Flujo de video con zoom y ajustes automáticos según la iluminación del entorno
Balance de blancos	Soleado, nublado, luz cálida, luz fría, personalizado
Alto rango dinámico (HDR)	Mapeo tonal/alcance completo
Cámara externa	Compatible con Canon EOS 60D y 70D
Alimentación	
Fuente de alimentación	24 V de CC, 100–240 V de CA
Tipo de baterías	2 internas: Ion de litio; externa: Ion de litio (conexión a través de puerto externo, uso simultáneo e intercambiable en caliente)
Duración	Interna: >5,5 h (2 baterías) Externa: >7,5 h (temperatura ambiente)
Especificaciones ambientales	
Temperatura de funcionamiento	Desde -20 °C hasta +50 °C
Temperatura de almacenamiento	Desde -40 °C hasta +70 °C
Humedad	95 %, sin condensación
Polvo/humedad	Protección frente a polvo y humedad IP54 (CEI 60529)
Características físicas	
Escáner	
Dimensiones (L. × An. × Al.)	238 mm × 358 mm × 395 mm
Peso	12,25 kg, nominal (sin baterías)
Batería (interna)	
Dimensiones (L. × An. × Al.)	40 mm × 72 mm × 77 mm
Peso	0,4 kg
Montaje	Normal o invertido
Opciones de control	
	Pantalla táctil a color para control integrado del escáner
	Control remoto: Controlador Leica CS10/CS15 o cualquier otro dispositivo de sobremesa con control remoto, por ejemplo, iPad, iPhone y otros smartphones; simulador externo
Funcionalidad	
Flujos de trabajo de levantamiento y registro integrado	Orientación rápida, definición de acimut, punto conocido, intersección inversa (4 y 6 parámetros), poligonal
Comprobación y ajuste	Procedimiento de campo para comprobar los parámetros angulares, el compensador de inclinación y distancia
Adquisición de objetivo integrada	Selección del objetivo desde vídeo o escaneo
Interfaz de usuario integrada	Cambio de modo estándar a avanzado
Control de escaneo con un solo botón	Funcionamiento del escáner mediante un solo botón
Definición del área de escaneo	Selección del área de escaneo desde vídeo o escaneo; escaneo de trabajos por lotes
Información para pedidos	
	Póngase en contacto con su representante de Leica Geosystems local o con un distribuidor autorizado de Leica Geosystems.
Todas las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.	
Todas las especificaciones de precisión tienen una desviación de tipo uno sigma, a menos que se indique lo contrario.	
* Con un albedo del 78 %	
** Algoritmo de ajuste de objetivos BN HDS 4,5" planos	
Escáner: Láser de clase 1 según CEI 60825:2014	
Plomada láser: Láser de clase 1 según CEI 60825:2014	
iPhone y iPad son marcas registradas de Apple Inc.	

Escanee este código para ver el folleto en línea.



Leica Geosystems AG
Heerbrugg (Suiza)
scanstation.leica-geosystems.com

- when it has to be right

Leica
Geosystems

Figura 100. Hoja de especificaciones del P40. Fuente: Leica

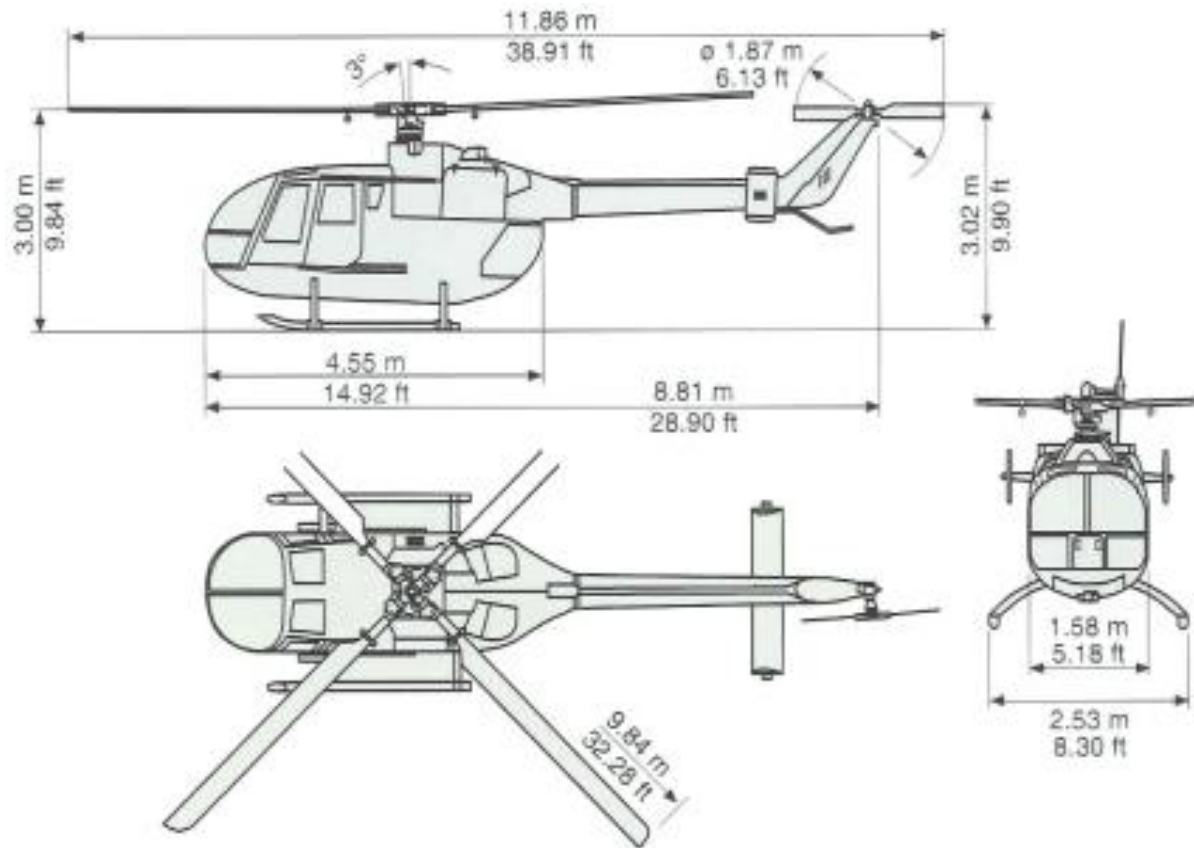
8.3 Plano helicóptero Bo 105

Figura 101. Plano del helicóptero Bo 105. Fuente: Blog avia

9. BIBLIOGRAFÍA

- *Bartolomé, Cecilio. (2011). El veterano y maravilloso helicóptero Bo-105.*
Recuperado de: <http://desarrolloydefensa.blogspot.com.es/2011/04/el-veterano-y-maravilloso-helicoptero.html>
- *Dassault Mirage F1. (s.d.).*
Recuperado del sitio web del ministerio de defensa:
<http://www.ejercitodelaire.mde.es/ea/pag?idDoc=B4B26AD003313AC9C12570D700463C07&idRef=DC954F598ADF105FC12576570037B916&idImg=710E1619F0283CF9C125765700365655>
- *Priego, Enrique. Topografía, instrumentación y observaciones topográficas (2015). Editorial Universitat Politècnica de Valencia*
- *Bongiovani, Maxi. (2011). Dassault Mirage F1.*
Recuperado de: <http://www.taringa.net/posts/autos-motos/10514238/Dassault-Mirage-F1.html>
- *Brown, Daniel. (2009). The future of 3D scanning.*
Recuperado de: <http://www.creaform3d.com/blog/2009/09/the-future-of-3d-scanning/>
- *Leica Cyclone Basic User Manual C.R.Kennedy & Company, Melbourne, 2015.*