



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA
DE MINAS Y ENERGÍA



Trabajo Fin de Grado

**APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE MODELIZACIÓN 3D DE
BAJO COSTE AL PATRIMONIO GEOLÓGICO Y MINERO**

APPLICATION OF LOW-COST 3D MODELING TECHNIQUES TO
GEOLOGICAL AND MINING HERITAGE

Para acceder al título de:

Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros

Autor: Carlos Saiz Oslé

Director: Rubén Pérez Álvarez

Convocatoria: 8 Julio 2022

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis padres y hermana, por estar siempre conmigo, por toda la ayuda y el apoyo que me habéis dado durante estos años, gracias a vosotros he llegado donde estoy hoy y me he podido convertir en la persona que soy.

A mi familia, amigos y todas las personas que habéis estado conmigo y me habéis animado en los momentos difíciles que la vida me ha dado. En especial agradecer a Miriam, por acompañarme estos últimos años en lo bueno y lo malo, por tus ánimos, apoyo, los momentos y todas esas mañanas y tardes de sol en las escaleras.

También me gustaría agradecer a todos aquellos profesores que han contribuido a mi desarrollo como estudiante y me han aportado no solo conocimientos, sino su experiencia y también lecciones de vida para lo que me espera tras el final de este capítulo. En especial, mi agradecimiento para Rubén, profesor y mi tutor en este proyecto, gracias por la paciencia, ofrecerme la ayuda, las pautas y los medios para poder realizarlo y también por la atención que me has prestado hasta el último día.

De nuevo os doy las gracias a todos por ayudarme a llegar al fin de esta etapa de mi vida, que termina con este proyecto y al comienzo de la que está por venir.



ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	10
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. GEOMÁTICA Y MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL.....	14
1.1.1. Técnicas de alto coste	15
1.1.2. Técnicas de bajo coste	17
1.1.3. Contribución de la geomática a la conservación.....	18
1.2. SITUACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO Y GEOLÓGICO	19
1.2.1. Situación del Patrimonio Minero y Geológico Nacional.....	21
1.2.2. Situación del patrimonio Minero y Geológico Local	21
2. OBJETO Y ALCANCE	25
2.1. OBJETO DEL CONTRASTE DE TÉCNICAS DE ALTO Y BAJO COSTE EN MODELIZACIÓN 3D DE PATRIMONIO MINERO	25
2.2. ALCANCE DEL CONTRASTE DE TÉCNICAS DE ALTO Y BAJO COSTE EN MODELIZACIÓN 3D DE PATRIMONIO MINERO	25
3. ESTADO DEL ARTE	26
3.1. REGULACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO	26
3.1.1. Regulación del patrimonio minero nacional	26
3.1.1.1. Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español	26
3.1.1.2. Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.	27
3.1.1.3. Ley 45/2007, de 13 de diciembre, para el desarrollo sostenible del medio rural	28
3.1.1.4. Legislación autonómica.....	29
3.1.2. Regulación del patrimonio local.....	29
3.1.2.1. Ley Orgánica 11/1998 de Patrimonio Cultural de Cantabria, de 30 de diciembre.	30
3.1.2.2. Decreto 36/2001, de 2 de mayo, de desarrollo parcial de la Ley de Cantabria 11/1998, de 13 de octubre, de Patrimonio Cultural.	31
3.2. CARACTERIZACIÓN E INVENTARIADO DEL PATRIMONIO MINERO	32
3.3. VALORIZACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO	34
3.3.1. El Patrimonio Minero como recurso y motor de desarrollo sostenible.....	35
3.3.1.1. Sostenibilidad ambiental.....	36
3.3.1.2. Sostenibilidad económica	36



3.3.1.3. Sostenibilidad Social.....	36
3.3.1.4. Sostenibilidad cultural.....	37
3.3.2. Intervención en el patrimonio minero	37
3.3.3. Propuestas Metodológicas de Intervención y valorización	37
3.4. ESTADO DE LA TÉCNICA: LÁSER-ESCÁNER.....	38
3.4.1. Láser-escáner Terrestre.....	38
3.4.2. Elementos constituyentes del láser escáner	39
3.4.2.1. El distanciómetro	39
3.4.2.2. Unidades de desvío del haz	39
3.4.3. Método Operativo con Láser-Escáner Terrestre	39
3.4.3.1. Planificación de la operación	39
3.4.3.2. Proceso de trabajo con TLS	40
3.4.4. Fuentes de error en el trabajo con láser escáner	42
3.5. ESTADO DE LA TÉCNICA: FOTOGRAMETRÍA.....	42
3.5.1. Fotogrametría digital.....	42
3.5.2. Fotogrametría con UAV	43
3.5.2.1. Plataforma UAV	43
3.5.2.2. Cámara fotográfica RGB	44
3.5.3. Fotogrametría Structure from Motion (SfM)	44
3.5.4. El sensor, la cámara fotográfica	45
3.5.5. Escala del trabajo y Ground Sample Distance (GSD).....	45
3.5.6. La red fotogramétrica.....	45
3.6. ESTADO DE LA TÉCNICA DE DETECCIÓN DE MOVIMIENTOS MEDIANTE CAPTURA POR INFRARROJOS EN EL DISPOSITIVO KINECT	46
4. CASO DE ESTUDIO	48
4.1. ELEMENTO PATRIMONIAL REPRESENTADO (LA PIEDRONA)	48
4.2. MATERIALES	49
4.2.1. Láser-escáner Leica RTC360 3D.....	49
4.2.2. Cámara fotográfica digital	50
4.2.2.1. Cámara Digital Modelo SX520HS	50
4.2.2.2. Cámara Réflex digital Canon EOS 200D.....	51
4.2.3. KINECT	54
4.2.4. Ordenador de sobremesa	55
4.2.5. Ordenador portátil MSI GP66 LEOPARD	56
5. SOFTWARE.....	58



5.1. LEICA CYCLONE FIELD 360	58
5.2. LEICA CYCLONE REGISTER 360	60
5.3. CLOUDCOMPARE V2	60
5.4. MESHLAB	63
5.5. VISUAL SFM	65
5.6. SCENE CAPTURE	66
6. METODOLOGÍA.....	68
6.1. LÁSER ESCÁNER	68
6.1.1. Escaneo y generación de nubes de puntos	68
6.1.2. Gestión de las nubes de puntos	69
6.1.3. Postprocesado de las nubes de puntos.....	69
6.1.4. Generación de malla	76
6.2. FOTOGRAMETRÍA DE CORTO ALCANCE CON CAMARAS NO MÉTRICAS	79
6.2.1. Toma de datos con cámara fotográfica.....	79
6.2.2. Tratamiento de las fotografías	80
6.2.3. Generación de malla	82
6.2.3.1. Depuración de nube de puntos de alta densidad	82
6.2.3.2. Creación de la malla	83
6.2.3.3. Depuración de la malla.....	84
6.3. KINECT	87
6.3.1. Captura de datos	87
6.3.2. Generación de nube de puntos	88
6.3.2.1. Acciones previas a la captura	88
6.3.2.2. Acciones posteriores a la captura de datos	90
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	92
7.1. RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA APLICACIÓN DEL LÁSER ESCANER	92
7.1.1. Nubes de puntos	92
7.1.2. Triangulaciones	93
7.1.3. Otros posibles resultados.....	94
7.2. RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DEL MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO DE CORTO ALCANCE CON CÁMARAS NO MÉTRICAS	95
7.2.1. Resultados Canon SX520HS.....	96
7.2.1.1. Nubes de puntos	96
7.2.1.2. Triangulaciones	98
7.2.2. Resultados Canon EOS 200D	99
7.2.2.1. Nubes de puntos	99



7.2.2.2. Triangulaciones	101
7.3. RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DEL MÉTODO DE CAPTURA POR INFRARROJOS CON KINECT	102
7.3.1. Nube de puntos.....	102
7.4. COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	103
7.4.1. Nubes de puntos	103
7.4.1.1. Nube de puntos Combinada EOS 200D.....	104
7.4.1.2. Nube de puntos a 2,5 m SX520HS.....	105
7.4.1.3. Nube de puntos Combinada SX520HS	106
7.4.1.4. Nube de puntos Kinect.....	108
7.4.2. Triangulaciones resultantes	109
7.4.2.1. Análisis cuantitativo	109
7.4.2.2. Análisis cualitativo.....	110
7.4.3. Discusión de los métodos operativos en relación a los resultados obtenidos.	114
7.4.3.1. Láser-Escáner	114
7.4.3.2. Fotogrametría de corto alcance con cámaras no métricas.....	114
7.4.3.3. Método operativo con Kinect	115
7.4.4. Tiempos de operación.....	115
7.4.5. Volumen de archivos.....	116
7.4.5.1. Método TLS	117
7.4.5.2. Método fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas	118
8. CONCLUSIONES	120
9. BIBLIOGRAFÍA.....	124



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Etapas del proyecto minero	14
Figura 1.2. Pozo del Madroño, Minas de Udías [1]	14
Figura 1.3. Secuencia simplificada de trabajo	15
Figura 1.4. Método de operación simplificado con láser-escáner	16
Figura 1.5. Láser escáner FARO Focus 3D estacionado junto a entronque del Pozo de La Cuerre [2].....	16
Figura 1.6. Método de operación simplificado con fotografía digital.....	17
Figura 1.7.Cámara Réflex Canon EOS 200D empleada en trabajos de reconstrucción fotogramétrica.....	17
Figura 1.8. Reconstrucción en VisualSfM, Software fotogramétrico	18
Figura 1.9. Labores en las Minas de Udías a principios del Siglo XX [3].....	19
Figura 1.10.Formaciones de Aragonito en la cueva de El Soplao [4]	20
Figura 1.11. Panorámica de las instalaciones de la RCA, hacia 1920 (Arch. Posada de La Gándara) [6].....	20
Figura 1.12. Fotografía del entorno paisajístico de Las Medulas, León [7].....	21
Figura 1.13. Restos de instalaciones mineras en el Parque de la Naturaleza de Cabárceno [11].....	22
Figura 1.14. Entrada a la Cueva del Soplao [12].....	22
Figura 1.15. Cargadero minero de Dícido [13]	23
Figura 1.16. Mina Hermosa, del conjunto minero de Udías, La Gándara [14].....	24
Figura 3.1. Dimensión del desarrollo sostenible	36
Figura 3.2. Proceso de planificación previo a la operación	40
Figura 3.3. Proceso de trabajo TLS	40
Figura 3.4. Drones multi-rotor y de ala fija [22], [23].....	43
Figura 3.5. Dispositivo Kinect [34]	46
Figura 4.1."La Piedrona" o "La Gran Blenda Acaramelada", elemento patrimonial a reconstruir	48
Figura 4.2. Minas de "Las Manforas" en su estado actual [38].....	48
Figura 4.3 Láser-Escáner Leica RTC360 3D [39].....	49
Figura 4.4. Canon SX520HS.....	51
Figura 4.5. Especificaciones Canon SX520HS [40]	51
Figura 4.6. Canon EOS 200D	52
Figura 4.7.Objetivo EF-S 18-55 mm f/3,5-5,6 IS II [43]	53



Figura 4.8. Dispositivo Kinect [34]	54
Figura 4.9. Ordenador de sobremesa utilizado	55
Figura 4.10. Portátil MSI GP66 LEOPARD	57
Figura 5.1. Logo LEICA Cyclone FIELD 360 [47].....	58
Figura 5.2. Logo de LEICA Cyclone REGISTER 360 [48]	60
Figura 5.3. Logo CloudCompareV2 [51].....	61
Figura 5.4. Entorno de trabajo CloudCompare V2	61
Figura 5.5. Logo Meshlab [55]	63
Figura 5.6. Entorno de trabajo Meshlab.....	63
Figura 5.7. Logo VisualSfM [57]	65
Figura 5.8. Entorno de trabajo VisualSfM	65
Figura 5.9. Icono de FARO SCENECT [59]	66
Figura 5.10. Entorno de trabajo SCENE Capture	66
Figura 6.1. Dispositivo controlador con el software Leica Cyclone Field 360 y el Láser Escáner RTC360 3D.....	68
Figura 6.2. Imágenes representativas de la cobertura de los escaneos	68
Figura 6.3. Salida gráfica por pantalla del láser escáner previo lanzamiento del escaneo y tras la operación	69
Figura 6.4. Nube de puntos masiva con dianas visibles	69
Figura 6.5. Herramienta Abrir para la importación de la nube de puntos.....	70
Figura 6.6. Ventana desde la que se importara la nube de puntos	70
Figura 6.7. Herramienta "segmentar" localizada en el menu	70
Figura 6.8. Proceso de segmentación por medio de polilínea y menú para la operación	71
Figura 6.9. Resultado de la segmentación, subconjunto con "La Piedrona"	71
Figura 6.10. Localización de "Filtro SOR"	71
Figura 6.11. Ventana de "Filtro SOR", para eliminación de valores atípicos	72
Figura 6.12. Resultados de la limpieza de ruidos y detalles de los principales tipos de ruido encontrados	72
Figura 6.13. Localización de la herramienta "Submuestreo"	73
Figura 6.14. Ventana de opciones para el submuestreo.....	73
Figura 6.15. Diferencia entre la nube original y el submuestreo con distancia 5mm ...	74
Figura 6.16. Localización de herramienta "Calcular Octree"	74
Figura 6.17. Ventana de opciones para "Calcular Octree"	74



Figura 6.18. Localización de la herramienta "Calcular Normales"	75
Figura 6.19. Ventana de opciones para el Cálculo de Normales.....	75
Figura 6.20. Localización de la herramienta "Guardar"	76
Figura 6.21. Ventana de guardado	76
Figura 6.22. Localización de la herramienta "Import Mesh".....	76
Figura 6.23. Ventana de importación de mallas o nubes de puntos.....	77
Figura 6.24. Posibles métodos de generación de mallas en Meshlab	77
Figura 6.25. Parámetros modificables para la reconstrucción.....	78
Figura 6.26. Reconstrucción "Screened Poisson" del submuestreo 5mm	78
Figura 6.27. Localización de la herramienta "Export Mesh As..."	79
Figura 6.28. Ventana de exportación de malla	79
Figura 6.29. Proceso de carga de capturas.....	80
Figura 6.30. Proceso de reconocimiento y concordancia	80
Figura 6.31. Proceso de reconstrucción dispersa.....	80
Figura 6.32. Proceso de fusión de fotogramas.....	81
Figura 6.33. Proceso de creación de nubes de alta densidad	81
Figura 6.34. Creación de archivo y carpeta ".nvm.cmvs".....	81
Figura 6.35. Herramienta de selección de vértices en Meshlab	82
Figura 6.36. Herramienta de borrado de vértices en Meshlab	82
Figura 6.37. Ejemplo de resultado de eliminación de puntos sobrantes sobre una de las nubes de puntos	83
Figura 6.38. Construcción de malla como superficie de Poisson de una de las nubes de puntos.....	83
Figura 6.39. Selección de triángulos de dimensiones discordantes.....	84
Figura 6.40. Cuadro interactivo para la selección de las caras según su tamaño	85
Figura 6.41. Herramienta borrada de caras y vértices	85
Figura 6.42. Resultados de la limpieza de caras discordantes, detalle de caras inconexas	86
Figura 6.43. Herramienta de eliminación de elementos aislados según diámetro	86
Figura 6.44. Cuadro de parámetros de herramienta de selección de elementos aislados por diámetro.....	87
Figura 6.45. Resultado de eliminación de elementos aislados	87
Figura 6.46. Realización del escaneo con Kinect	88
Figura 6.47. Localización de la herramienta "Options"	88



Figura 6.48. Ventana de configuración de parámetros de captura	88
Figura 6.49. Herramienta de calibración del sensor	89
Figura 6.50. Localización de la herramienta "Capture"	89
Figura 6.51. Inicialización del sensor y creación del archivo de escaneo	89
Figura 6.52. Visualización del proceso de escaneo en el ordenador portátil	90
Figura 6.53. Localización de la herramienta "Stop Capture"	90
Figura 6.54. Localización de la herramienta "Process" y resultados del escaneo.	90
Figura 7.1. Nubes de puntos generadas por medio de subsampling a partir de la nube depurada original	92
Figura 7.2. Nubes de puntos generadas a través de sampling mediante Disco de Poisson	92
Figura 7.3. Resultados con la reconstrucción "Screened Poisson" directa sobre los modelos de TLS.....	93
Figura 7.4. Resultados con la reconstrucción en TLS por método de sampling "Poisson Disc"- "Screened Poisson"	94
Figura 7.5. Nubes de puntos utilizadas como modelo de trabajo en casos no fusionables	96
Figura 7.6. Modelos resultantes con capturas de la CANON SX520HS	98
Figura 7.7. Nubes de puntos resultantes de las capturas de la Canon EOS 200D.....	100
Figura 7.8. Modelos resultantes con capturas de la Canon EOS 200D	101
Figura 7.9. Nube de puntos generada mediante Kinect.....	102
Figura 7.10. Nube Original Saneada, visualizada como campo escalar	103
Figura 7.11. Comparación de nubes de puntos con Nube Original saneada vs Nube Combinada de cámara EOS 200D, (a) Superposición de las nubes, (b) Mapa escalar de distancia 20cm, (c) Gráfico Densidad de ptos. - Distancia aprox.	104
Figura 7.12. Comparación de nubes de puntos con Nube Original saneada vs Nube 2,5 m de cámara SX450HS, (a) Superposición de las nubes, (b) Mapa escalar de distancia 20cm, (c) Gráfico Densidad de ptos.- Distancia aprox.	105
Figura 7.13. Comparación de nubes de puntos con Nube Original saneada vs Nube Combinada de cámara SX520HS, (a) Superposición de las nubes, (b) Mapa escalar de distancia 10 cm, (c) Gráfico Densidad de ptos. - Distancia aprox.	106
Figura 7.14. Comparación de nubes de puntos con Nube Original saneada vs Nube Combinada de cámara SX520HS, (a) Superposición de las nubes, (b) Mapa escalar de distancia 5 cm, (c) Gráfico Densidad de ptos. - Distancia aprox.	106
Figura 7.15. Comparación de nubes de puntos con Nube Original saneada vs Nube Combinada de cámara SX520HS, (a) Superposición de las nubes, (b) Mapa escalar de distancia 1 cm, (c) Gráfico Densidad de ptos. - Distancia aprox.	107



Figura 7.16. Defectos en la nube de puntos.....	109
Figura 7.17. (a) Interior de nube origen con puntos internos, (b) Interior de la nube tras el "Poisson Disc" sampling.....	111
Figura 7.18. a) Efectos "Túnel" y "Burbuja" en el interior de un modelo TLS, b) Efectos "Túnel" y "Burbuja" en el exterior de un modelo	111
Figura 7.19. a) Ruido en nube del método fotogramétrico, b) Ruido en nube del método TLS.....	112
Figura 7.20. Comparación del elemento real frente a las mallas TLS 5 mm y Fotogramétrica SX520HS Combinada	112
Figura 7.21. Diferencia en la definición de las superficies	113
Figura 7.22. Malla triangular TLS abierta	113



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Legislación autonómica sobre patrimonio histórico y cultural de aplicación al patrimonio minero [8]	29
Tabla 3.2. Parámetros y sus coeficientes para la valoración de patrimonio minero [8]	33
Tabla 3.3. Cuadro de valoración de interés global [8].....	34
Tabla 3.4. Principales errores en el método TLS	42
Tabla 4.1. Tabla de especificaciones de Leica RT360 3D [39]	50
Tabla 4.2. Especificaciones Canon EOS 200D [42].....	52
Tabla 4.3. Especificaciones del objetivo Canon EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 IS II [43]	54
Tabla 4.4. Tabla de características del sistema Kinect [34].....	55
Tabla 4.5. Componentes de PC utilizado y periféricos	56
Tabla 4.6. Tabla de características de portátil MSI GP66 Leopard 11UG-089XES [46] ..	57
Tabla 5.1. Características de LEICA CYCLONE 360 [47]	59
Tabla 5.2. Extensiones compatibles con CloudCompare V2 [53].....	62
Tabla 5.3. Funcionalidades principales de Meshlab [55]	64
Tabla 5.4. Extensiones compatibles con Meshlab.....	64
Tabla 5.5. Tabla de especificaciones mínimas y recomendadas para SCENECT [60]	67
Tabla 7.1. Características de densidad de nubes de puntos de TLS.....	93
Tabla 7.2. Características de volumen de datos de nubes de puntos de TLS	93
Tabla 7.3. Tabla de resultados de puntos y caras de los productos obtenidos en cada proceso del método TLS	94
Tabla 7.4. Tabla de resultados de volumen de archivo de cada producto de método TLS	94
Tabla 7.5. Tabla de resultados del tratamiento de las capturas fotográficas	96
Tabla 7.6. Nubes de puntos resultantes de las capturas de la Canon SX520HS	97
Tabla 7.7. Resultado de densidad de las nubes de puntos generadas con la Canon SX520HS.....	97
Tabla 7.8. Resultado de volumen de archivo de nubes de puntos generadas con la Canon SX520HS.....	98
Tabla 7.9. Resultado de densidad de puntos y caras de las mallas generadas con la Canon SX520HS.....	99
Tabla 7.10. Resultado de volumen de archivo de mallas generadas con la Canon SX520HS	99
Tabla 7.11. Resultado de densidad de las nubes de puntos generadas con la Canon EOS 200D.....	100



Tabla 7.12. Resultado de volumen de archivo de nubes de puntos generadas con la Canon EOS 200D	101
Tabla 7.13. Resultado de densidad de puntos y caras de las mallas generadas con la Canon EOS 200D	101
Tabla 7.14. Resultado de volumen de archivo de las mallas generadas con la Canon EOS 200D.....	102
Tabla 7.15. Datos obtenidos del método Kinect	102
Tabla 7.16. Resumen de resultados de la Figura 7.11.(c).....	104
Tabla 7.17. Resumen de resultados de la Figura 7.12.(c).....	105
Tabla 7.18. Resumen de resultados de la Figura 7.13.(c).....	106
Tabla 7.19. Resumen de resultados de la Figura 7.14.(c).....	107
Tabla 7.20. Resumen de resultados de la Figura 7.15.(c).....	108
Tabla 7.21. Tabla resumen de comparación de nubes de puntos	108
Tabla 7.22. Comparativa de reducción de parámetros por depuración en modelos TLS	109
Tabla 7.23. Comparativa de reducción de parámetros por depuración en modelos fotogramétricos.....	110
Tabla 7.24. Comparativa de parámetros por depuración de modelos satisfactorios y relación de entre los mismos	110
Tabla 7.25. Comparativa de tiempos de generación de nubes de puntos.....	116
Tabla 7.26. Comparación de tiempos entre las diferentes metodologías propuestas para modelos satisfactorios y Kinect	116
Tabla 7.27. Comparación de volumen de archivo de nubes de puntos origen y con sampling por "Poisson Disc"	117
Tabla 7.28. Comparativa de volumen de archivo de nube de puntos y su malla por reconstrucción "Screened Poisson"	117
Tabla 7.29. Comparativa de volumen de archivo de nube con sampling "Poisson Disc" y su malla postprocesada resultante	117
Tabla 7.30. Comparación de densidad de puntos con volumen de archivo de las nubes de puntos TLS	118
Tabla 7.31. Comparación de volumen de archivo de nube de puntos – triangulación y efectos de depuración de SX520HS.....	118
Tabla 7.32. Comparación de volumen de archivo de nube de puntos – triangulación y efectos de depuración de EOS 200D	119



RESUMEN

Las técnicas de captura de datos, tratamiento y representación tridimensional de los mismos, actualmente tienen gran aplicación en múltiples campos, tanto ingenieriles, médicos o incluso artísticos y cada vez son más accesibles para el usuario común.

Este trabajo se enfoca en el análisis de los resultados de reconstrucción tridimensional, resultantes de la captura de datos por medio de distintas metodologías que a nivel técnico y económico pueden clasificarse como de bajo coste, con cámara fotográfica o un dispositivo de captura de movimiento orientado al ocio (Kinect) y alto coste, con láser-escáner, para la conservación de elementos patrimoniales mineros.

La primera técnicas de bajo coste indicada, se basan en la fotogrametría, e involucra la captura de datos local con medios técnicos y aparatos asequibles (cámaras fotográficas, en éste caso no métricas) para cualquier individuo u organización, así como un tratamiento que requiere periodos de tiempo relativamente menores con respecto a la alternativa del láser escáner, al trabajar con imágenes fotográficas y unas técnicas no necesariamente especializadas, con la aplicación de software accesible para el nivel usuario. En este caso concreto, y siguiendo en la línea de consideración de aplicaciones de bajo coste, se hará uso de software libre, existiendo una notable variedad en el mercado e información disponible para su manejo. El segundo supuesto de aplicación de técnicas low-cost implica la aplicación de Kinect, herramienta para el control de videojuegos, que, a través de software específico desarrollado por una compañía dedicada a la fabricación de equipos topográficos, y en particular de láser escáner (Faro), ha permitido que dicho dispositivo pueda emplearse en la generación de nubes de puntos.

Por otra parte, están las técnicas que realizan una captura masiva de datos, requieren de aparatos sofisticados y, aun cuando los dispositivos van reduciendo sus costes, pueden considerarse a priori más alejados del público común, común como es el láser-escáner. Este dispositivo implica además tiempos de tratamiento de datos superiores, a lo que hay que añadirle medios informáticos de requisitos suficientes para dicho tratamiento, pasando finalmente por un tiempo de procesado considerablemente mayor, y que requieren de software más especializado y con requerimientos de hardware mayores para poder realizar postproceso de datos.

El presente Trabajo Fin de Grado propone la aplicación de dichas técnicas a la modelización de un elemento de patrimonio geológico-minero, como es la conocida como “Piedrona”, espectacular muestra de blenda acaramelada y calcita de grandes dimensiones, ubicada en la Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía. Además de llevar a cabo los procesos de captura mediante las distintas técnicas, se aplicarán diversas metodologías de tratamiento y gestión de los datos hasta la obtención del modelo tridimensional final. Se evaluarán las diferencias objetivas entre el producto obtenido de la aplicación de ambas técnicas a nivel de resolución, de manejo y por último de utilidad para la representación y registro de elementos patrimoniales mineros para su puesta en valor.

Palabras clave: Patrimonio minero, laser-escáner, cámara fotográfica, fotogrametría, reconstrucción tridimensional, software libre.



ABSTRACT

The techniques of data capture, processing and three-dimensional representation of the same, currently have great application in many fields, both engineering, medical or even artistic and are increasingly accessible to the common user.

This work focuses on the analysis of the results of three-dimensional reconstruction, resulting from the capture of data by means of different methodologies that at a technical and economic level can be classified as low-cost, with a photographic camera or a leisure-oriented motion capture device (Kinect), and high-cost, with laser-scanner, for the conservation of mining heritage elements.

The first low-cost techniques indicated are based on photogrammetry, and involve the capture of local data with technical means and affordable devices (cameras, in this case not metric) for any individual or organisation, as well as a treatment that requires relatively shorter periods of time with respect to the laser-scanner alternative, when working with photographic images and techniques that are not necessarily specialised, with the application of software accessible to the user level. In this specific case, and following the line of consideration of low-cost applications, free software will be used, as there is a notable variety on the market and information available for its use. The second case of application of low-cost techniques involves the application of Kinect, a tool for controlling video games, which, through specific software developed by a company dedicated to the manufacture of topographic equipment, and in particular laser scanners (Faro), has enabled this device to be used to generate point clouds.

On the other hand, there are techniques that perform massive data capture, require sophisticated equipment and, even though the cost of these devices is decreasing, they can be considered a priori more distant from the common public, such as the laser-scanner. This device also involves longer data processing times, to which must be added computer resources with sufficient requirements for such processing, finally passing through a considerably longer processing time, and requiring more specialised software and with greater hardware requirements to be able to post-process the data.

This Final Degree Project proposes the application of these techniques to the modelling of an element of geological-mining heritage, such as the so-called "Piedrona", a spectacular sample of caramelised blende and calcite of large dimensions, located at the Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía (Polytechnic School of Mining and Energy Engineering). In addition to carrying out the capture processes using the different techniques, various data processing and management methodologies will be applied until the final three-dimensional model is obtained. The objective differences between the product obtained from the application of both techniques will be evaluated in terms of resolution, handling and, lastly, usefulness for the representation and recording of mining heritage elements for their enhancement.

Keywords: Mining heritage, laser-scanner, photographic camera, photogrammetry, three-dimensional reconstruction, free software.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GEOMÁTICA Y MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL

La Geomática aúna Topografía, Geodesia, Cartografía, y otras disciplinas que se relacionan con las actuaciones en el territorio y su representación. La aplicación de la misma da lugar a productos como pueden ser mapas, planos, así como otros documentos cartográficos. Estos modelos son la base de las actuaciones en el terreno.

A partir de las mejoras técnicas y tecnológicas a lo largo del último siglo, y los grandes saltos tecnológicos del presente, se ha propiciado el salto hacia el formato digital, permitiendo que generen archivos, bibliotecas digitales, plataformas y aplicaciones que permiten el control integral de las actividades ingenieriles sobre el territorio, y la posibilidad de actualizar la información existente del mismo de forma casi instantánea. En cuanto a lo que a la minería se refiere, la información generada a lo largo de la vida del Proyecto, contando la historia del entorno y evolución hasta el momento de su abandono es susceptible de beneficiarse de ello. Los proyectos mineros suelen dividirse en las etapas recogidas en la figura siguiente:



Figura 1.1. Etapas del proyecto minero

La información resultante y los procesos realizados dependen en gran medida de la etapa en la que se encuentre el mismo. Los productos generados a lo largo de las sucesivas fases proveen de información de la evolución del territorio. Ésta se puede mantener por medio de fondos mineros, archivos históricos, etc. Por desgracia no toda la información generada a lo largo de la vida del proyecto consigue conservarse y los resultados materiales de la explotación en muchos casos no han sido partícipes de este interés por su conservación, encontrándose las instalaciones y otra serie de elementos en grave peligro de desaparición.



Figura 1.2. Pozo del Madroño, Minas de Udías [1]

Del mismo modo que la geomática resulta fundamental durante la vida del proyecto. Las nuevas tecnologías anteriormente mencionadas pueden revestir enorme importancia para la recopilación de información geométrica de los resultados y restos de la operación minera, ya sean de origen geológico, estructural o maquinaria.

La evolución tecnológica a través de la implementación del uso de aparatos cada vez más sofisticados, con capacidad para la captura de imágenes, para la adquisición masiva de datos geométricos y las posibilidades ofrecidas por software informático de apoyo para el tratamiento de los mismas, son una posibilidad para implementar información de este patrimonio no catalogado, o ampliar la misma sobre el ya existente.



Figura 1.3. Secuencia simplificada de trabajo

Los modelos tridimensionales, al igual que sucede en la cartografía, son productos generados a partir de la asignación de coordenadas en base a sistemas de referencia, si bien en este caso son resultado del tratamiento de nubes masivas o de imágenes rasterizadas que, tras un tratamiento de las mismas vía software, son convertidos en dichos modelos, en los que al conjunto de puntos se le asigna un orden por medio de algoritmos. De nuevo, por medio de software, esta nube de puntos o malla podrá ser convertida en un sólido, y asignársele propiedades. Actualmente es posible por medio de ciertos programas asignar patrones de color a estos modelos, ya sea de forma artificial, o gracias a la información captada por los aparatos junto con las coordenadas de los puntos.

1.1.1. Técnicas de alto coste

Como caso de análisis de técnicas para la modelización tridimensional por técnicas de alto coste se ha elegido el sistema de laser escáner junto a su software asociado para el tratamiento inicial de la nube y la exportación. En cuanto a las herramientas de procesamiento de nubes de puntos y mallado para la formación de los modelos, se empleará software libre. Al margen de que el paso de los años ha implicado una reducción sustancial en los costes, existiendo modelos de gama de entrada en la actualidad con un precio de adquisición en el entorno de los 15.000 €, o de alquiler por debajo de los 300 €/día, aun así a día de hoy de este instrumental se aleja de forma sustancial con respecto a las alternativas de bajo coste contempladas en el presente TFG, pudiendo resultar estas últimas más accesibles para el usuario individual promedio, sea profesional o amateur, conllevando una inversión considerable menor de recursos económicos. Además, tanto los tiempos de trabajo en campo como los posteriores de postprocesado, atendiendo a un elemento a capturar de dimensiones no muy elevadas, como es el caso de estudio considerado en el presente TFG, resultarán a priori superiores en el caso del TLS, dada la necesidad de llevar a cabo el estacionamiento desde distintos puntos de captura, y unos requisitos de procesamiento a priori igualmente superiores.

En este grupo se englobarían las técnicas de obtención de datos geométricos por “clásica” (que en el caso de las técnicas de aplicación de TLS pueden constituir un apoyo de sustancial importancia en el caso de desear referir las nubes respecto a sistemas de coordenadas absolutos), y los métodos aplicados en el presente TFG, basados en el uso de LIDAR o el láser-escáner, equipos de alto coste de compra o alquiler, limitada disponibilidad y con tiempos de toma de datos que podrían catalogarse como largos. Como ejemplo de estos, se ha decidido tomar el láser-escáner y plantear un método de modelización por medio de software libre.



Figura 1.4. Método de operación simplificado con láser-escáner

La modelización por láser-escáner es un método cada vez es más utilizado como técnica de obtención de datos y reconstrucción 3D, en campos diversos, debido a las posibilidades que ofrece el hecho de poder captar nubes de millones de puntos en cuestión de minutos, y por medio de programas acabar obteniendo modelos que, dependiendo la aplicación, podrían calificarse como de alta fidelidad. Existen múltiples repositorios online en la actualidad donde se pueden encontrar trabajos de reconstrucciones tridimensionales o nubes de puntos de diverso tamaño. Estos modelos pueden utilizarse para impresión 3D, previo renderizado, reconstrucciones digitales u otras múltiples aplicaciones.



Figura 1.5. Láser escáner FARO Focus 3D estacionado junto a entronque del Pozo de La Cuerre [2]

Explicadas las ventajas, pueden imaginarse las múltiples aplicaciones que ofrecen estos sistemas para la Geomática, gracias además a la gran resolución ofrecida y la precisión de estos aparatos, pero la inversión necesaria para su acceso será alta, debiendo añadir

además que los requerimientos mínimos de hardware son altos, necesitándose ordenadores de configuraciones avanzadas.

1.1.2. Técnicas de bajo coste

Como técnica de bajo coste se calificarán aquellos métodos de modelización tridimensional que, para la obtención de datos y tratamiento de los mismos no requieran de un gran desembolso económico para el usuario.

Como ejemplo inicial de técnica de bajo coste se ha elegido el uso de la cámara digital para la generación de modelos tridimensionales. La metodología también se apoyará en herramientas de software libre para el tratamiento de las imágenes y la generación de mallas.



Figura 1.6. Método de operación simplificado con fotografía digital

El gran avance en las lentes de cámaras y tecnología de captura fotográfica han permitido que las cámaras, ya sean métricas, convencionales o de smartphones, hayan logrado altas resoluciones en un espacio de tiempo relativamente corto, pudiendo generar imágenes de gran calidad, rápidamente y con unas prestaciones para el usuario medio realmente altas. En la actualidad, el acceso a una cámara fotográfica de buenas prestaciones es prácticamente trivial, la posibilidad de realizar fotos HDR (*High Dynamic Range*) gracias a las cámaras de los teléfonos móviles, está al alcance de todo usuario que posea un teléfono de gama media, por lo que la disponibilidad es realmente alta.



Figura 1.7. Cámara Réflex Canon EOS 200D empleada en trabajos de reconstrucción fotogramétrica

Las posibilidades que ofrecen los métodos de bajo coste son amplias, aunque no cuentan con todas las posibilidades que ofrecen aparatos más sofisticados, y se ven limitadas por la precisión que pueden ofrecer las fotografías frente a la captura masiva

de datos y el tratamiento de las mismas. Por otra parte, el tratamiento de los datos capturados con estos aparatos es mucho más sencillo y requiere de software menos específico y con requisitos mínimos de hardware más bajos, por lo que, con un ordenador convencional de características estándar y una tarjeta gráfica, en la actualidad, podría llevar a cabo la operación sin mayores problemas.

Cada vez es más común el uso de estas técnicas para fines de conservación y catalogación de patrimonio, ya sea histórico o arquitectónico, por lo cual es posible encontrar puntos de ruta comunes para su uso con patrimonio geológico y minero. Si bien existe una gran oferta de software con capacidad para tratar datos fotográficos, el útil para la fotogrametría no es tan común y requiere de ciertas características específicas para poder realizar modelos útiles desde el punto de vista que este estudio ocupa.

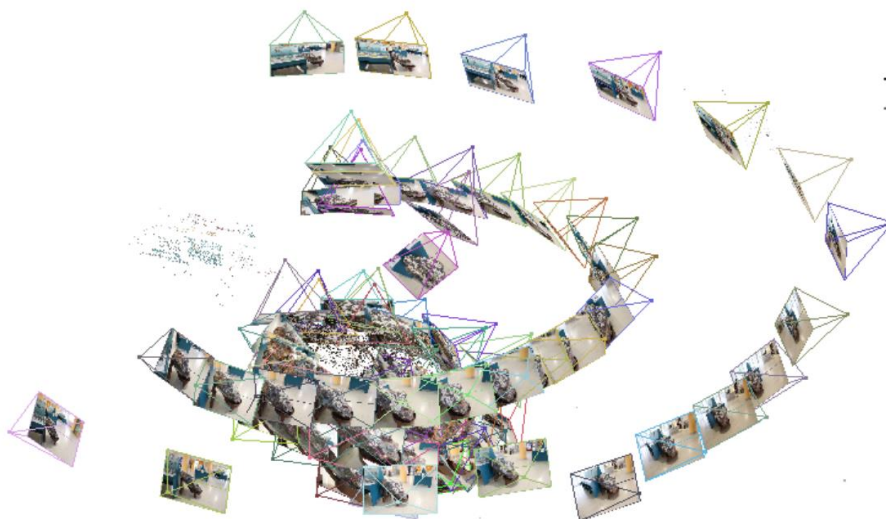


Figura 1.8. Reconstrucción en VisualSfM, Software fotogramétrico

Las posibilidades que ofrecen estos métodos, junto con la facilidad de operación que representa la captura de datos, suponen un factor a tener en cuenta para la realización de estudios preliminares sobre conservación, catalogación de elementos en campañas cortas y la rapidez para generar modelos representativos que puedan ser añadidos a información ya existente de lugares de interés o para su difusión por medio de plataformas digitales.

1.1.3. Contribución de la geomática a la conservación

La Geomática es fundamental para cualquier tipo de actividad que tenga como objetivo una modificación sensible del territorio. Paralelamente, los proyectos mineros tienen como consecuencia dicha modificación con el objetivo de llevar a cabo la explotación de aquellas mineralizaciones de interés, y la necesidad de cálculo de dimensiones y volúmenes de éstas, por medio de la definición geométrica de las mismas.

Esta necesidad está presente en cada una de las fases del proyecto minero y debe remarcarse su determinante importancia en procesos de rehabilitación, cierre y abandono, y finalmente en los proyectos de restitución de cara a la conservación, haciendo hincapié en elementos estructurales, ya sean geológicos o mineros, susceptibles de ser dañados o desaparecer tras el abandono de las labores, y que pudieran ser reconocidos como bienes de interés patrimonial o que puedan ser emulados con fines de restauración o inclusive educativos.



Figura 1.9. Labores en las Minas de Udías a principios del Siglo XX [3]

Existen a día de hoy multitud de estudios e iniciativas para la catalogación de patrimonio minero a nivel nacional o local, que tienen como objetivo proteger zonas donde la actividad minera terminó y, por diversas razones, han dado lugar a que por desgracia no hayan sido conservadas, se encuentren en grave situación de deterioro y sin protección legislativa que les proteja de una desaparición silenciosa.

La posibilidad de dotar de medios asequibles a pequeñas organizaciones para poder realizar labores de conservación puede ser un punto determinante en determinación de lugares de interés y la difusión del contenido patrimonial de los mismos, la cual pueda llevar a cierta concienciación y a su vez lograr la aplicación de las figuras existentes para dotar de protección a estos entornos, donde la actividad minera terminó.

1.2. SITUACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO Y GEOLÓGICO

Se definen como lugares de interés minero o LIM a aquellas labores mineras que puedan presentar un valor patrimonial único en un lugar determinado. En cuanto a al patrimonio geológico existe una figura análoga denominada LIG, que tiene encaje en la definición del patrimonio histórico minero por su intrínseca relación. En cuanto a su estado de conservación y la relevancia histórica, se deberán considerar zonas a proteger y preservar.



Figura 1.10. Formaciones de Aragonito en la cueva de El Soplao [4]

En el caso del patrimonio geológico, el lugar de interés se caracteriza por las posibilidades que ofrece para la interpretación y estudio de los orígenes, evolución y los procesos, climas y paleobiota que han modelado la zona, presentando características de continuidad y homogeneidad, o características notables del patrimonio en la región. En el caso de la minería, no podría aplicarse esta definición exclusivamente, existiendo una segunda dimensión a tener en cuenta, puesto que sus fuentes de valor no dependen sólo de la geología y los elementos físicos, sino de otros intangibles como son los procesos de prospección, explotación y tratamiento, así como la historia y la vida de los mineros vinculados a la actividad minera. Se podrá definir entonces Lugar de Interés Minero como:

“Lugar de interés, por su carácter único y/o representativo, para el estudio e interpretación de la actividad minera, incluyendo las fases de exploración, extracción y/o tratamiento del mineral, así como el contexto social de la comarca y su vinculación con dicha actividad. Estas áreas deberán mostrar, de manera suficientemente clara, una o varias características notables y significativas del patrimonio minero de una comarca minera o región cuya actividad histórica haya sido la minería”. [5]



Figura 1.11. Panorámica de las instalaciones de la RCA, hacia 1920 (Arch. Posada de La Gándara) [6]

1.2.1. Situación del Patrimonio Minero y Geológico Nacional

En la actualidad existen multitud de trabajos de catalogación, inventariado y valoración de inventariado geológico y minero, dando lugar a diversas metodologías tanto en el ámbito internacional como en el nacional y el local. En el contexto internacional pueden destacarse las ofrecidas por el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios, ICOMOS, que, si bien no distinguían de elementos independientes, sino que se incluía toda labor, facilitan fichas para el inventariado de conjuntos histórico-minero, o por ejemplo el IGME que, en conjunto con el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, ha generado una metodología para la integración del patrimonio minero en la evaluación ambiental. La UNESCO sí ha reconocido patrimonio minero nacional dentro de la lista de Lugares Patrimonio de la Humanidad, si bien bajo la definición de patrimonio industrial, con un significado extenso, sin incluir límites cronológicos: actualmente únicamente se han reconocido Las Medulas (1997) y las Minas de Almadén (2012)



Figura 1.12. Fotografía del entorno paisajístico de Las Medulas, León [7]

Para propuestas de puesta en valor, estas metodologías, además de abarcar el inventariado de elementos, requieren de criterios de clasificación y valoración. La valoración se llevará a cabo de dos formas, en primer lugar, en campo se rellenarán las fichas, consistentes en la descripción y puntuación, en las que se declara la existencia de los elementos y la calidad observable de los mismos. En segundo lugar, se dará una valoración en gabinete acorde a los criterios de valor intrínseco, ligado a potencialidad de uso y valor ligado a necesidad de protección. Se define susceptibilidad a la degradación el conjunto de vulnerabilidad y fragilidad del patrimonio ante las amenazas humanas [8], [9], [10].

A priori Las catalogaciones no buscan de forma general identificar elementos patrimoniales singulares a nivel nacional, sino valorar localmente elementos y poder diseñar propuestas de protección, intervención, divulgación, o todas a la vez.

1.2.2. Situación del patrimonio Minero y Geológico Local

El caso de la región de Cantabria cuenta con ejemplos de conservación y aprovechamiento del patrimonio minero tales como la antigua explotación minera de hierro en el Macizo de Peña Cabarga, que en 1990 se reacondicionó para la instalación del actual Parque de la Naturaleza de Cabárceno y en el cual a día de hoy se conservan instalaciones de preparación de mineral.



Figura 1.13. Restos de instalaciones mineras en el Parque de la Naturaleza de Cabárceno [11]

Otro claro ejemplo de conservación se encuentra en la Sierra de Arnero, en el municipio de Valdáliga, donde se encuentran las minas de plomo-zinc de La Florida, que estuvieron en actividad en varios periodos desde 1855 hasta 1979. A través de la iniciativa de la Consejería de Cultura, Turismo y Deportes se realizaron trabajos de restauración de parte de las galerías, y la relevancia y densidad de los singulares espeleotemas presentes en la Cueva, se reabrió en 2004 bajo el nombre de las Cueva del Soplao como activo turístico.

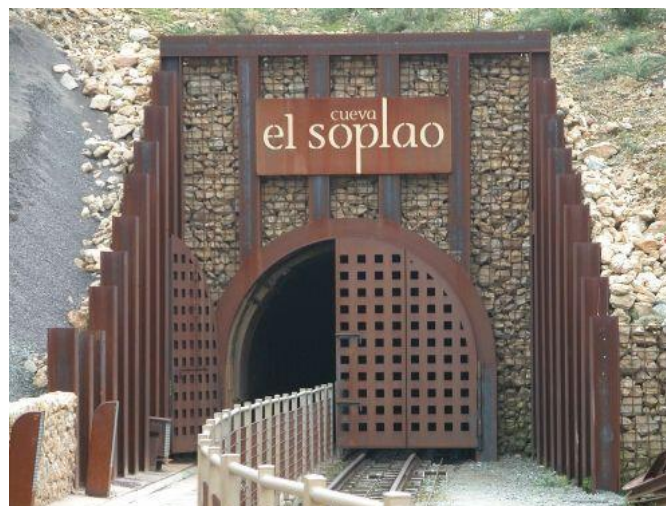


Figura 1.14. Entrada a la Cueva del Soplao [12]

Otro caso de patrimonio minero es el anteproyecto del Parque Minero de Mioño, a cargo de SADIM, e impulsado por la Junta Vecinal de Mioño, en el cual se pretende instalar un museo temático dedicado a la minería cercana a la playa de Dícido, y la recuperación del cargadero minero, declarado Bien de Interés Cultural, que fue construido a principios del siglo XX, destruido en el transcurso de la guerra civil y reconstruido posteriormente y en funcionamiento hasta 1975.



Figura 1.15. Cargadero minero de Dícido [13]

Existen más casos de propuestas con el objetivo de la protección y reaprovechamiento de instalaciones con fines culturales o turísticos, como puede ser la propuesta de aprovechamiento del entorno minero de Udías para fines turísticos y educativos, donde se localizaron minas de plomo-zinc con diversos tipos de labores a cielo abierto y subterráneas, y del que existen gran cantidad de restos de la actividad minera. También existen vestigios de explotación de plomo en época romana, como es el caso de la Mina de San Bartolomé o el Zanjón, aunque por desgracia hubo un alto índice de expolio de los materiales encontrados, sobre todo los encontrados durante el Siglo XX.

Como ejemplos de patrimonio material, pueden encontrarse los restos del trazado del tren minero, Pozo del Madroño, el economato de la mina, las Casas de la Mina, los hornos de calcinación, el embarcadero de Ontoria (en el municipio de Cabezón de la Sal), así como pilares de del cable aéreo que aún se conservan y desembocaban en el mencionado embarcadero, así como otros muchos bienes inmuebles. Esta propuesta fue planteada e incluso anunciada, pero actualmente no se han vuelto a tener noticias de la misma. Si bien existen iniciativas municipales para la catalogación de estos elementos patrimoniales, no se han tomado medidas de protección concretas o actuaciones con fines de restauración.



Figura 1.16. Mina Hermosa, del conjunto minero de Udías, La Gándara [14].

Al igual que en el caso anterior, hay iniciativas en otros municipios donde la minería fue una actividad común hasta finales del siglo XX, pero que, tras el abandono de las labores, los elementos e instalaciones quedaron a su suerte y se encuentran en riesgo de desaparición, si no se encuentra una figura específica que dé pie a protegerlas, y a su vez se consiga apoyo.



2. OBJETO Y ALCANCE

2.1. OBJETO DEL CONTRASTE DE TÉCNICAS DE ALTO Y BAJO COSTE EN MODELIZACIÓN 3D DE PATRIMONIO MINERO

El objeto de este estudio está centrado en el análisis y contraste de distintas técnicas de alto y bajo coste para la representación de modelos tridimensionales que permitan reconstruir elementos patrimoniales geológicos y mineros para su catalogado, registro y posterior difusión. Llegado el caso, si fuera necesario, podría realizarse con los modelos una maquetación o reconstrucción, si el elemento original pudiese desaparecer o degradarse. Los objetivos a alcanzar serán:

- Poner en valor las tecnologías de bajo coste y el uso de software libre para el desarrollo de actividades de reconstrucción 3D de elementos patrimoniales mineros.
- Realizar un análisis comparativo de estas tecnologías de bajo coste y software libre, frente a otras de coste elevado, en este caso el Laser Escáner.
- Analizar el comportamiento de los distintos dispositivos en la captación de nubes de puntos e imágenes.
- Realizar una comparativa en cuanto a captura de datos, resolución y en qué medida resulta posible recopilar, manejar y procesar los datos devueltos de su utilización a partir de la aplicación de las diferentes técnicas contempladas.
- Analizar las posibilidades de compartir y almacenar los mismos con fines de catalogación y registro patrimonial.

2.2. ALCANCE DEL CONTRASTE DE TÉCNICAS DE ALTO Y BAJO COSTE EN MODELIZACIÓN 3D DE PATRIMONIO MINERO

Gracias a los métodos de modelización tridimensional pueden generarse reconstrucciones de elementos patrimoniales con mayor o menor grado de precisión, para su archivo y catálogo en formato digital, pudiendo así estar disponibles en archivos, repositorios o bibliotecas, ampliando la información disponible y su utilización para diversos fines ya sean educativos, lúdicos, administrativos, etc. Con el cumplimiento de los objetivos propuestos se pretende alcanzar:

- Una descripción del elemento patrimonial elegido y su encaje en la catalogación y difusión.
- Una caracterización de los procesos de modelización con las distintas herramientas propuestas y las dificultades encontradas en la realización del mismo por las limitaciones existentes.
- Un contraste objetivo frente a métodos de alto coste, establecer las limitaciones objetivas para la representación de los modelos y la utilidad de ambas modelizaciones.
- Un proceso de modelización relevante, basado en metodología de bajo coste.
- Una propuesta de utilización de los modelos resultantes de este estudio y su posterior difusión.



3. ESTADO DEL ARTE

3.1. REGULACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO

Como se ha mencionado con anterioridad, las particularidades del Patrimonio Minero hacen que éste pueda considerarse tanto Patrimonio Geológico (no existirá mina, y por tanto patrimonio derivado de la misma, en ausencia de recurso explotable) y Patrimonio Cultural (derivado de la actividad antrópica). La Ley de Patrimonio Histórico Español considera los bienes tanto tangibles como intangibles, y varios de los elementos relativos a la actividad minera podrían ser recogidos por esta Ley como bienes inmuebles, muebles, o formar parte del patrimonio arqueológico lo que garantizaría protección y tutela.

3.1.1. Regulación del patrimonio minero nacional

El patrimonio minero nacional no tiene figuras específicas que recojan su conceptualización y protección. Es por ello que para garantizar esta última, habrá que encontrar enfoques que el entorno minero, así como los elementos constituyentes del mismo, puedan ser reconocidos como patrimonio y ser protegidos.

Desde el punto de la Ley de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad existen referencias a la promoción de conocimientos tradiciones a conservación y uso sostenible de la geodiversidad en el artículo 70. En la ley de desarrollo sostenible del medio rural, se contemplan también posibles actuaciones en el mismo sentido en los artículos 19.1 y 22.f.

Si se quisiera recoger la actividad minera bajo el punto de vista del patrimonio industrial existen referencias en la Ley 16/1985 o en el Plan Nacional de Patrimonio Industrial. A pesar de las particularidades e identidad propia del patrimonio minero, aún no se ha conseguido una normativa legal específica, pero si se ha iniciado y avanzado el inventariado de instalaciones mineras, metalúrgicas y siderúrgicas [8].

Se recogen seguidamente una breve relación que de forma no exhaustiva recoge aquellos documentos legislativos que guardan relación con el Patrimonio Minero y el fomento de su conservación, o que pueden incluir en la implementación de dichas iniciativas de puesta en valor.

3.1.1.1. Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español

Esta Ley da la definición de Patrimonio Histórico y amplía su extensión, quedan comprendidos los bienes muebles e inmuebles que lo constituyen, el Patrimonio Arqueológico y el Etnográfico, los Museos, Archivos y Bibliotecas de titularidad estatal, así como el Patrimonio Documental y Bibliográfico. Busca asegurar la protección y fomentar la cultura material debida a la acción del hombre, y la concibe como un conjunto de bienes que en sí mismos han de ser apreciados, sin establecer limitaciones derivadas de su propiedad, uso, antigüedad o valor económico.

La Ley establece distintos niveles de protección que se corresponden con diferentes categorías legales, se estructuran medidas esenciales y precisan las técnicas de intervención que son competencia de la Administración del Estado y su defensa contra la exportación ilícita y su protección frente a la expoliación. Con el objetivo de otorgar una mayor protección, se da un valor singular a la categoría de Bienes de Interés



Cultural, que se extiende a los muebles e inmuebles de aquel Patrimonio que, de forma más palmaria, requieran tal protección. Dispone también las fórmulas necesarias para que esa valoración sea posible, a partir de disposiciones que estimulen a su conservación, permitan su disfrute y faciliten su acrecentamiento.

También estipula un conjunto de medidas tributarias y fiscales. De esa forma se impulsa una política adecuada para gestionar el Patrimonio Histórico Español, complementando la acción vigilante con el estímulo educativo, técnico y financiero. [15].

En el artículo primero de la Ley de Patrimonio Histórico Español se recogen los objetivos de protección, y se define el concepto de patrimonio Histórico, así como la obligación de su inventariado y declaración de bien de interés cultural. Corresponderá por tanto buscar el encaje de aquellos elementos materiales e inmateriales que forman o formaron parte de la actividad minera dentro de los parámetros de esta ley, para garantizar su protección, puesto que esta ley deja abierto los ámbitos de aplicación, será en algunos casos necesario justificar por medio de legislaciones derivadas más garantistas los elementos a declarar de interés[15].

3.1.1.2. Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

Esta Ley establece el régimen jurídico básico de la conservación, uso sostenible, mejora y restauración del patrimonio natural y de la biodiversidad española, como parte del deber de conservar y del objetivo de garantizar los derechos de las personas a un medio ambiente adecuado para su bienestar, salud y desarrollo. Se recogen las normas y recomendaciones internacionales que organismos y regímenes ambientales internacionales, como el Consejo de Europa o el Convenio sobre la Diversidad Biológica, especialmente en lo que se refiere al «Programa de Trabajo mundial para las áreas protegidas», que es la primera iniciativa específica a nivel internacional dirigida al conjunto de espacios naturales protegidos de todo el mundo [16].

En el artículo 70, “Características de las Reservas de la Biosfera”[16], se presentan las normas y directrices derivadas de la Unesco para ser declaradas reservas de la biosfera, esta ley podrá relacionarse al patrimonio minero en cuanto al entorno del mismo, siempre teniendo en cuenta la sostenibilidad y el desarrollo alrededor de este. Se requerirá para esta declaración:

- Una ordenación espacial compuesta por una o varias zonas núcleo de la reserva que sean espacios naturales protegidos con objetivos de protección de la biodiversidad, el desarrollo ambiental sostenible, la incentivación socioeconómica aprovechando los recursos del espacio y que aprovechen los recursos del mismo.
- Una serie de estrategias para la evolución hacia los objetivos mencionados, incluyendo programas de actuación, así como un sistema de indicadores para valorar el cumplimiento de los mismos.
- La creación o existencia de un órgano de gestión del desarrollo de estrategias, líneas de acción y programas, así como otro de participación pública.



3.1.1.3. Ley 45/2007, de 13 de diciembre, para el desarrollo sostenible del medio rural

En cuanto a su alcance, este documento comprende todo tipo de acciones y medidas de desarrollo rural sostenible, de origen nacional, comunitario, aplicadas por la Administración General del Estado y concertadamente con las demás Administraciones Públicas. Pretende llevar a cabo un impulso de desarrollo en las zonas rurales, prioritariamente, en las que padecen un grado mayor de atraso relativo, cualquiera que sea su localización dentro del Estado.

En cuanto a su contenido, persigue la mejora de la situación socioeconómica de la población de rural y acceso a unos servicios públicos suficientes y de calidad. Es una Ley de orientación territorial, lo que implica que será aplicada tomando en consideración criterios y directrices de ordenación territorial. Contempla zonas rurales diferenciadas según una tipología establecida, define zonas rurales prioritarias y prevé el establecimiento de un plan por zona rural. Las acciones y medidas previstas en la Ley son multisectoriales y medioambientales [17].

Merece la pena mencionar los siguientes artículos:

- Artículo 19, "Planificación ambiental"[17]
- Art. 22 "Creación y mantenimiento del empleo"[17].

En el Artículo 19.1 "Planificación ambiental"[17], se habla de protección por parte del Plan Estratégico Nacional del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad y Geodiversidad, de todos aquellos elementos que conformen todos los paisajes protegidos y de interés, se menciona directamente al patrimonio minero como elemento incluido en iniciativas de protección, uso sostenible y aprovechamiento como recurso científico, cultural y turístico, iniciativas que en concreto encajan en la valorización de los espacios mineros.

En el artículo 22 se habla de programas para el impulso y mantenimiento de empleo en el medio rural a partir con los siguientes objetivos:

- Apoyo a la creación de empleo por medio de empresas, autoempleo o empleo colectivo, haciendo hincapié en actividades relacionadas con el uso de nuevas tecnologías y prácticas medioambientales innovadoras.
- Mantenimiento del empleo en sectores significativos del medio rural, sobretudo en sectores emergentes.
- Fomentar políticas activas que reduzcan empleos temporales y mejoren las condiciones de trabajo, así como estabilidad del empleo y prevención de riesgos.
- Generación de programas de formación profesional y programas mixtos de empleo y formación.
- Capacitar y formar a los trabajadores en nuevas actividades, tecnologías y dotarles de conocimientos gerenciales y empresariales.
- Diseño de actividades formativas e informativas para los habitantes del medio rural, tratando la potencialidad su Patrimonio Natural y Cultural, así como proponer iniciativas que favorezcan su implicación en el turismo geológico, ecológico, minero, así como otros ámbitos.



3.1.1.4. Legislación autonómica

En la siguiente tabla se recogen las menciones más explícitas en cuanto al patrimonio minero se refiere, mencionando artículos y leyes en las que se recogen a nivel autonómico.

COMUNIDAD AUTONOMA	TÍTULO	LEY	ARTÍCULO
ANDALUCÍA	LEY DE PATRIMONIO HISTORICO DE ANDALUCÍA	LEY 14/2007	Art. 25.7 TÍTULO VII, Arts 65, 66, 67 y 68
ARAGÓN	LEY QUE REGULA LOS PARQUES CULTURALES	LEY 12/1997	Art. 2.1
	LEY DE PATRIMONIO CULTURAL ARAGONÉS	LEY 3/1999	Art. 73
CANTABRIA	LEY DE PATRIMONIO CULTURAL DE CANTABRIA	LEY 11/1998	Art. 3.1, 75
	DECRETO DE DESARROLLO PARCIAL DE LA LEY 11/1998	DECRETO 36/2001	SEC. 1ª, Art. 50
CASTILLA-LA MANCHA	LEY DE PATRIMONIO HISTÓRICO DE CASTILLA-LA MANCHA	LEY 4/1990	TÍTULO II, CAP 2, Art. 22
CASTILLA Y LEÓN	LEY DE PATRIMONIO CULTURAL DE CASTILLA Y LEÓN	LEY 12/2002	Art. 1,2 y 62
	REGLAMENTO PARA LA PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL DE CASTILLA Y LEÓN	DECRETO 37/2007	Art. 2c
CATALUÑA	LEY DE PATRIMONIO CULTURAL CATALÁN	LEY 9/1993	
COMUNIDAD DE MADRID	LEY DE PATRIMONIO HISTÓRICO DE LA COMUNIDAD DE MADRID	LEY 10/1998	Art. 47
COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA	LEY FORAL DE PATRIMONIO CULTURAL DE NAVARRA	LEY 14/2005	Arts. 66, 68, 70.1 y 70.2
COMUNIDAD VALENCIANA	LEY DE PATRIMONIO CULTURAL VALENCIANO	LEY 4/1998	
	LEY DE MODIFICAIÓN DE LA LEY 4/1998	LEY 5/2007	Arts. 1.4, 55, 56 y 57
EXTREMADURA	LEY DE PATRIMONIO HISTÓRICO Y CULTURAL DE EXTREMADURA	LEY 2/1999	Arts. 58, 2.2, 2f, 3f
ISLAS BALEARES	LEY DE PATRIMONIO HISTORICO DE LAS ILLES BALEARS	LEY 12/1998	TÍTULO V, Arts. 68, 69.1 y 69.2
ISLAS CANARIAS	LEY DEL PATRIMONIO HISTÓRICO DE CANARIAS	LEY 4/1999	
LA RIOJA	NORMAS REGULADORAS DEL PATRIMONIO CULTURAL HISTÓRICO Y ARTISTICO DE LA RIOJA	LEY 7/2004	
PAIS VASCO	REGULACION DEL PATRIMONIO CULTURAL VASCO	LEY 7/1990	
PRINCIPADO DE ASTURIAS	NORMAS REGULADORAS DEL PATRIMONIO CULTURAL DE ASTURIAS	LEY 1/2001	TÍT. II, CAP. IV, Sec. 3ª, Arts. 76, 77 y 78
			Art. 69
			Disp. Trans. Tercera
REGIÓN DE MURCIA	NORMAS REGULADORAS DEL PATRIMONIO CULTURAL DE LA C.A. DE LA REGIÓN DE MURCIA	LEY 4/2007	PREAMBULO y Art. 61.2c

Tabla 3.1. Legislación autonómica sobre patrimonio histórico y cultural de aplicación al patrimonio minero [8]

En cuanto a la legislación autonómica, caben destacar las legislaciones de Castilla y León y Castilla la Mancha con sus leyes de patrimonio histórico, la ley de Patrimonio histórico de Illes Balears, que dedica un título completo al patrimonio histórico industrial. pero La más destacable de todas es la Ley de normas reguladoras del Patrimonio Cultural del Principado de Asturias, en la que más ampliamente se recoge el patrimonio minero en relación al patrimonio histórico-industrial e incluye métodos de protección preventiva para las instalaciones resultantes de la actividad minera.

3.1.2. Regulación del patrimonio local

Entre las figuras jurídicas de la región de Cantabria no se encuentra ninguna ley o decreto que se refiera directamente a la minería o a la protección del patrimonio



minero, aunque si se encuentran menciones o aspectos relacionables con las figuras del patrimonio minero, Lugar de Interés Minero o referencias concretas a la minería.

3.1.2.1. Ley Orgánica 11/1998 de Patrimonio Cultural de Cantabria, de 30 de diciembre.

Esta ley asume y contempla los aspectos culturales de Cantabria, preservándolas y promoviéndolas. Tiene como objetivos fundamentales la defensa, protección y conservación del patrimonio en vista a las generaciones futuras y trata de superar algunas limitaciones de la Ley de Patrimonio Histórico Español de 25 de junio de 1985, puesto que presenta una escasa regulación en aspecto de conservación del patrimonio cultural, aun así, algunos de los conceptos, se extraen de la misma[18].

Cabe la pena destacar los siguientes artículos para el encaje del Patrimonio Minero en la misma:

- Art. 3 “Ámbito de la Ley de Patrimonio Cultural de Cantabria”[18].
- Art. 75 “Concepto”, en relación al “Patrimonio Arqueológico y Paleontológico de Cantabria”[18].
- Art. 28 “Inicio del procedimiento” (Referido al artículo 27, “Procedimiento de declaración de Bien de Interés Local”)[18].
- Art. 51 “Delimitación del entorno afectado”, referido al “Régimen General de Protección de los Bienes Inmuebles”[18].

En el Artículo 3 de la ley se describe la constitución del patrimonio cultural de Cantabria, “El Patrimonio Cultural de Cantabria está constituido por todos los bienes relacionados con la cultura e historia de Cantabria, mereciendo por ello una protección y defensa especiales”[18]. Puede verse en esta descripción términos en los que el patrimonio minero puede encajar desde el punto de vista histórico, arquitectónico, en algunos casos de la región arqueológica, etc., desde el punto de vista de lo tangible y lo intangible.

También se menciona a los espacios mineros como encajantes en dicha definición, “Integran el Patrimonio Cultural de Cantabria los bienes muebles, inmuebles e inmateriales de interés histórico, artístico, arquitectónico, paleontológico, arqueológico, etnográfico, científico y técnico. También forman parte del mismo el patrimonio documental y bibliográfico, los conjuntos urbanos, los lugares etnográficos, las áreas de protección arqueológica, los espacios industriales y mineros, así como los sitios naturales, jardines y parques que tengan valor artístico, histórico o antropológico y paisajístico”[18].

En el artículo 28 se describe el proceso inicial para la declaración de Bien de Interés Local desde el punto de vista del Patrimonio Cultural de Cantabria, y describe el estatus de protección que alcanzara dicho bien declarado desde el inicio del procedimiento [18].

- El acuerdo de inicio del procedimiento será dictado personal competente en patrimonio cultural.
- El acuerdo de inicio del procedimiento se notificará a las partes interesadas y ayuntamiento de ubicación del bien de interés cultural.
- El acuerdo de inicio se publicará en el BOC y en el BOE.



- Un inicio de procedimiento exigirá aplicación inmediata y provisional de un régimen de protección al igual que otros bienes ya declarados.

En el artículo 51 se define la necesidad de describir y delimitar el entorno minero, entendido como conjunto histórico en casos de explotaciones ya en abandono, de nuevo esta ley podría referenciarse con los métodos de inventariado y valorización, la necesidad de localizar las áreas de influencia para garantizar la definición del área de protección y la no necesidad de establecer la zona como un solo entorno cerrado, sino como varios subconjuntos pertenecientes a la misma área de influencia [18].

En el artículo 75 se define todo aquel elemento que integra el Patrimonio Arqueológico y Paleontológico de la región, desde este enfoque las actividades mineras dada su extensión en el tiempo y los cambios tecnológicos sufridos en la forma de explotación, pueden entenderse en este concepto, así como todos aquellos bienes materiales que quedaron como residuo de los cambios tecnológicos mencionados y que deberán ser protegidos dada la relevancia histórica en varios aspectos que contienen [18].

3.1.2.2. Decreto 36/2001, de 2 de mayo, de desarrollo parcial de la Ley de Cantabria 11/1998, de 13 de octubre, de Patrimonio Cultural.

Este decreto trata de desarrollar la Ley de Cantabria 11/1998, de Patrimonio Cultural. Al tratarse de una Ley general, requiere de una concreción reglamentaria a posteriori, para conseguir una mejor y más inmediata aplicación práctica de esta. Se subdivide en ocho capítulos con los siguientes contenidos[19]:

- Capítulo I, se regula el objeto y ámbito de aplicación de este Decreto y deberes de la Administración Autonómica en materia de Patrimonio Cultural.
- Capítulo II, se aborda la colaboración interadministrativa sobre la base de las competencias asumibles por las Corporaciones Locales.
- Capítulo III, la colaboración técnica y económica entre el Gobierno de Cantabria y la Iglesia Católica poseedora de múltiples bienes patrimoniales a través de la regulación de la Comisión Mixta.
- Capítulos IV, V, VI y VII, descripción de la regulación de actividades de intervención y regímenes jurídicos de protección del Patrimonio Inmueble, Mueble y Arqueológico, incidiendo especialmente en el Patrimonio Arqueológico vinculado a las cavidades naturales.
- Capítulo VIII, regula las medidas de fomento y las ayudas de las Administraciones Públicas para proporcionar apoyo a los titulares privados de bienes integrantes del Patrimonio Cultural de Cantabria.

Merece la pena mencionar el Artículo 50 de la Sección I, “Bienes integrantes del Patrimonio Arqueológico y Paleontológico”[19] donde se describe de forma pormenorizada todos aquellos bienes materiales e inmateriales que integran el Patrimonio Arqueológico y Paleontológico de la región, donde además la minería se menciona como parte del mismo. Serán todos aquellos bienes de interés histórico o entornos relacionados con la actividad humana que sean de interés para su estudio arqueológico hayan sido descubiertos o no incluyendo testimonios industriales y mineros, así como elementos geológicos y paleontológicos relacionados con la historia de la humanidad [19].



3.2. CARACTERIZACIÓN E INVENTARIADO DEL PATRIMONIO MINERO

Para la caracterización y el inventariado del patrimonio minero no existe una única técnica o metodología que se haya impuesto sobre las restantes alternativas existentes en la literatura específica, al igual no existe una unificación legislativa entre los diferentes territorios. Si bien se pueden establecer paralelismos con otras disciplinas, existen propuestas basadas en observaciones y valoraciones comunes para lograr este cometido.

El IGME propone una secuencia de trabajos para la identificación y valoración de los Lugares de Interés Patrimonial Minero en relación a estudios de impacto ambiental [8], pero que bien puede servir de forma general para explicar el proceso de inventariado y valoración de su estado. Las fases propuestas se recogen a continuación:

- Trabajos de gabinete
 - Examen meticuloso del proyecto, incluyendo el conjunto de tareas de su instalación y funcionamiento.
 - Demarcación de la zona, o zonas de afección.
 - Consulta de las diversas bases de datos sobre yacimientos minerales y explotaciones mineras.
 - Consulta de los mapas metalogénicos.
 - Consulta de archivos de las secciones provinciales de minas.
 - Consulta de las cartas arqueológicas.
 - Consulta en los museos provinciales, o en otros organismos de rango superior de los hallazgos en posible relación con las actividades mineras y metalúrgicas.
 - Delimitación de las áreas de influencia de los yacimientos arqueológicos documentados.
 - Examen de la fotografía aérea, imágenes de satélite, etc.
 - Planteamiento de la prospección arqueológica superficial adaptada a la tipología del indicio.
- Trabajos de campo
 - Descripción de las labores mineras accesibles, su estado de conservación, con replanteos sobre el terreno de los posibles planos de labores localizados.
 - Descripción de las escombreras y otros tipos de acopios. Dimensiones, composición estabilidad.
 - Descripción de las morfologías, paragénesis, estructuras, litologías encajantes de los yacimientos minerales que fueron objeto de las explotaciones. Esta descripción en la mayoría de los casos sería bibliográfica, pero en ocasiones requeriría observaciones sobre el terreno.
 - Descripción de las instalaciones para la extracción, carga, transporte y tratamiento. Identificación de la utilidad de cada vestigio en el proceso productivo. Dimensiones, características constructivas y estado de conservación.
 - Descripción de los edificios auxiliares. Identificación de la utilidad de cada vestigio. Dimensiones, características constructivas y estado de conservación.



- Descripción de los posibles restos de maquinaria, identificación de sus funciones, características constructivas y estado de conservación.
- Descripción de las infraestructuras, y posibles instalaciones para el transporte periférico, características constructivas y estado de conservación.
- Descripción de las infraestructuras hidráulicas, características constructivas y estado de conservación.

Los trabajos de campo se complementarán con la realización de diversos croquis de labores e instalaciones, cartografía sobre ortofoto y fotografías, esta información quedará recogida en una ficha-informe [8].

Una vez obtenidos los datos de campo se procederá a hacer una valoración de los elementos o Lugares de Interés Patrimonial Minero, con el objetivo de identificar qué lo hace especial y su relevancia. El proceso de valoración atenderá a dos factores, valor intrínseco y valor de uso.

Con la información recopilada, y colaborando con expertos siempre que sea posible, se procederá a la evaluación por medio de una batería de preguntas, agrupadas en parámetros a los que se les asignaran los siguientes coeficientes

PARAMETROS	PESO
Representatividad	20
Relevancia tecnológica, arquitectónica, histórica y socioeconómica	20
Estado de conservación	20
Singularidad	20
Relación con otros elementos patrimoniales	5
Contenido didáctico o uso didáctico	2,5
Contenido divulgativo o uso divulgativo	2,5
Accesibilidad	10
TOTAL PESOS	100

Tabla 3.2. Parámetros y sus coeficientes para la valoración de patrimonio minero [8]

La batería de preguntas a contestar, será la siguiente:



PARAMETROS	PUNTOS	PESO
REPRESENTATIVIDAD		
¿El elemento minero es útil para representar un arquetipo minero e ilustrar parcialmente sus características?	1	x20
¿El elemento minero es útil para representar un arquetipo minero e ilustrar parcialmente sus características en su globalidad?	2	x20
¿El elemento minero es el mejor ejemplo conocido, a nivel regional o nacional, para ilustrar en su globalidad un arquetipo minero?	4	x20
RELEVANCIA		
¿El elemento minero puede considerarse un referente local en algunos de los siguientes campos: tecnológico, arquitectónico o histórico y socioeconómico?	1	x20
¿El elemento minero puede considerarse un referente regional en algunos de los siguientes campos: tecnológico, arquitectónico o histórico y socioeconómico?	2	x20
¿El elemento minero puede considerarse un referente nacional en algunos de los siguientes campos: tecnológico, arquitectónico o histórico y socioeconómico?	4	x20
ESTADO DE CONSERVACIÓN		
¿El elemento minero se encuentra muy deteriorado?	1	x20
¿El elemento minero presenta cierto grado de deterioro aunque sin afectar de manera determinante su valor o interés patrimonial?	2	x20
¿El elemento minero se encuentra en un buen estado de conservación, prácticamente íntegro?	4	x20
SINGULARIDAD		
¿El elemento minero es uno de los escasos ejemplos conocidos a nivel regional?	1	x20
¿El elemento minero es el único ejemplo conocido a nivel regional?	2	x20
¿El elemento minero es el único ejemplo conocido a nivel nacional o internacional?	4	x20
RELACIÓN CON OTROS ELEMENTOS PATRIMONIALES		
¿Es el único elemento o conjunto patrimonial en la zona?	1	x5
¿Existe algún otro elemento patrimonial a menos de 5 km?	2	x5
¿Existe algún otro elemento patrimonial a menos de 1 km?	4	x5
CONTENIDO DIDÁCTICO O USO DIDÁCTICO DETECTADO		
¿Ilustra el elemento minero contenidos curriculares universitarios?	1	x2,5
¿Ilustra el elemento minero contenidos curriculares de cualquier nivel del sistema educativo?	2	x2,5
¿Está siendo utilizado habitualmente en actividades didácticas de cualquier nivel del sistema educativo?	4	x2,5
CONTENIDO DIVULGATIVO O USO DIVULGATIVO DETECTADO		
¿Informa el elemento o conjunto de ellos de manera clara y expresiva a colectivos de cierto nivel cultural?	1	x2,5
¿Informa de manera clara y expresiva a colectivos de cualquier nivel cultural sobre la importancia o utilidad de la industria minera?	2	x2,5
¿Está siendo utilizado habitualmente para actividades divulgativas?	4	x2,5
ACCESIBILIDAD		
¿El elemento minero tiene un acceso directo por pista sin asfaltar pero transitable?	1	x10
¿Tiene acceso directo por pistas o carretera asfaltada con aparcamiento para turismos?	2	x10
¿Tiene acceso directo por carretera asfaltada con aparcamiento para autocar?	4	x10
SUMA TOTAL		VG

Tabla 3.3. Cuadro de valoración de interés global [8]

Estos parámetros se puntuarán del 0 al 4: se asignará el 0 a aquel parámetro que no alcance el interés mínimo. Se realizará la suma ponderada de las puntuaciones dadas. Los valores que superen los 300 puntos serán valorados como de muy alto interés patrimonial, entre 200 y 300 como de alto interés, entre 100 y 200 de medio interés, y por debajo de 100 serán de bajo interés [8].

3.3. VALORIZACIÓN DEL PATRIMONIO MINERO

En el desarrollo de este tipo de trabajos se buscará siempre recopilar la mayor cantidad de información posible sobre el patrimonio a valorizar, aquellos elementos que permitan interpretar el pasado minero, como restos arqueológicos, explotaciones antiguas edificios de interés, máquinas herramientas, útiles de labores antiguas, así



como también muestras de minerales, o rocas o fósiles representativos[19]. También se incluirán documentos fotográficos de estructuras, formaciones geológicas de interés y representativas de la evolución de la actividad, catalogando todo aquello que pueda resultar de interés desde la óptica minera [9].

Estos recursos pueden haber formado parte del aprovechamiento minero desde los inicios de la actividad y todo su ciclo de vida. Pueden ser de interés para el uso turístico y aportar valor añadido a visitas técnicas, reuniones científicas o culturales celebradas en el entorno, teniendo en cuenta que la puesta en valor del patrimonio minero no necesariamente ha de ser actividad exclusiva del cese de la actividad[2], [20].

Habrà que elaborar una base de datos con todos esta información y materiales, elegir los bienes patrimoniales que formarán parte del conjunto y los que pasarán a formar parte del fondo documental para futuras exposiciones o uso público. La adecuada valorización, gestión y difusión dependerà de la sostenibilidad del proceso [9].

3.3.1. El Patrimonio Minero como recurso y motor de desarrollo sostenible

Con el objetivo de garantizar buenos resultados en la intervención de la valorización del patrimonio minero, serán necesarias metodologías que permitan adaptar los entornos mineros tras el fin de su operación [16]. El proceso debe sustentarse en la generación de beneficios para la zona y el desarrollo sostenible (figura 3.1), lo cual estará ligado al grupo poblacional al que pertenezca y dependerà en gran medida de su implicación. Por medio de la participación podrán lograrse mejores soluciones para el desarrollo socioeconómico de la comunidad local[9], [17]. Estas actuaciones deberán llevarse a cabo durante y tras el fin de la explotación, tanto en ésta como en su entorno:

- Objetivos medioambientales:
 - Prevenir ciertos riesgos
 - Restaurar el paisaje y la flora del lugar
 - Acondicionar el entorno para el desarrollo de nueva actividad
- Objetivos de diversificación económica:
 - Promover la creación de empresas
 - Explotaciones agrícolas
 - Fomento de actividades industriales
- Objetivos municipales
 - Dotación de nuevos servicios
 - Creación de viviendas y acondicionamiento urbanístico
- Objetivos de turismo cultural y rural
 - Acondicionamiento de las instalaciones mineras y el entorno
 - Valorización del patrimonio minero y construcciones de infraestructuras como museos o centros de interpretación

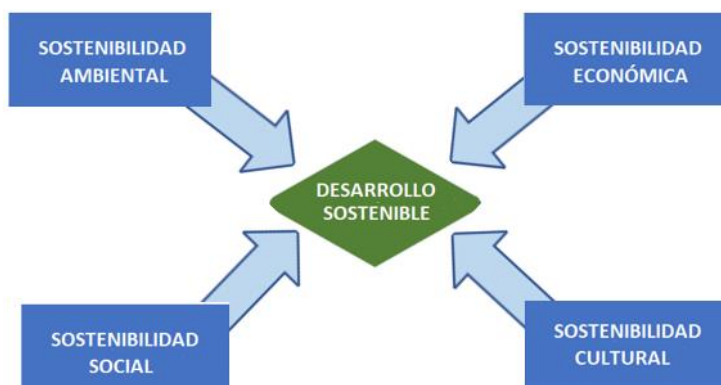


Figura 3.1. Dimensión del desarrollo sostenible

3.3.1.1. Sostenibilidad ambiental

En cuanto a la sostenibilidad ambiental, la puesta en valor del patrimonio minero tiene también como objetivo el entorno que rodea a las explotaciones. Esto desemboca en la protección del medio natural colindante. Se trata de promover por tanto la rehabilitación de áreas con alto índice de degradación. Podrán realizarse actuaciones de amplia perdurabilidad y bajo coste de mantenimiento, como pueden ser sellados, estabilización de taludes, revegetación de escombreras, etc.[16]. Actualmente la valorización del patrimonio no solo tendrá en cuenta las instalaciones, edificios, maquinaria y labores, sino también el medio natural en el que se encuentran materializados, permitiendo constituir Parques o Centros mineros que posibiliten controlar y llevar a cabo el seguimiento de pasivos ambientales generados durante la explotación. Además, sirven como centros de pruebas para métodos de conservación, en los que se demuestra la efectividad de los mismos y pueden ser útiles también como herramienta para la educación ambiental [8], [9],[8].

3.3.1.2. Sostenibilidad económica

En lo relativo a la sostenibilidad económica, los centros de valorización del patrimonio minero por medio de diversos medios generan la aparición de tejido empresarial, tanto por razones relacionadas con el centro mismo o su entorno, promoviendo el desarrollo socioeconómico sostenible. Esto genera un impacto sobre la comunidad, en forma de creación de empleo y sobre el patrimonio, despejando la incertidumbre sobre el futuro de la zona. Por otro lado, también ayudarían a frenar la despoblación de estas zonas y aparición de pueblos fantasma, pudiendo mantener una unión entre el pasado reciente y el presente del lugar[9], [17].

3.3.1.3. Sostenibilidad Social

A los proyectos de puesta en valor se han de vincular estudios antropológicos, históricos y arqueológicos que expliquen los cambios en las labores, tecnologías, así como relaciones sociales, con la intención de conglomerar el conocimiento de las relaciones socio-laborales que se vivieron durante la existencia de la explotación, y de este modo generando información de interés para potenciales visitantes. Estos recogerán eventos que potencien la identidad de la comunidad minera y el entendimiento de la misma. Para llevar acabo esto será necesario una implicación por parte de la comunidad, y deberá existir comunicación y apoyo tanto público como institucional del proyecto, logrando participación y concienciación social[9], [17].



Para este cometido, las asociaciones culturales, escuelas taller y la divulgación en colegios será fundamental, con el objeto de trasladar esta información a la población, sobre todo joven, lo cual puede ayudar en el calado de ideas a favor de la conservación del entorno [9].

3.3.1.4. Sostenibilidad cultural

Los centros de valorización han sido descritos como mecanismo para mostrar el legado del pasado y señas de identidad de comunidades mineras o de los individuos que lo llevaron a cabo[9]. Entre sus funciones se encuentra dar a conocer los estilos de vida dentro de la explotación y poblaciones aledañas, permitiendo comprender la cultura minera laboral y urbana, que en muchos lugares puede estar ya desaparecida o poco valorada. Es por ello que los vestigios de técnicas, influencias nacionales de las empresas mineras y aspectos de la vida social o cultural deben ser reconocidos y reflejados en estos centros, con el objetivo de representar las diversas manifestaciones culturales derivadas e implícitas en las poblaciones locales, reflejadas en música, gastronomía, costumbres y un largo etcétera [9], [20], [18].

Se debe transmitir al visitante dicha información por medio de visitas, y dotar de edificios o lugares físicos a los centros de valorización es indispensable, siempre garantizando la conservación y compatibilidad de usos de aquellos edificios, infraestructuras e instalaciones con valor patrimonial, tratando de restaurarlos e integrarlos en el paisaje urbano, y dándoles un uso público como pudieran ser museos, casas de cultura, centros de interpretación, etc. Deberán además reconocerse el resto de elementos que puedan ser de interés y puedan integrarse en el conjunto patrimonial [2], [9].

3.3.2. Intervención en el patrimonio minero

Se puede recopilar las características de mayor importancia en un proyecto de puesta en valor del patrimonio minero en seis acciones fundamentales, que deberán llevarse a cabo para el correcto desempeño de la intervención. Según su orden de actuación serán:

- Sensibilización y análisis de requisitos y necesidad de la comunidad minera.
- Inventario y catalogación de patrimonio minero (tangible e intangible).
- Participación e implicación de la comunidad y empresa minera (si es posible).
- Selección de modelo de proyecto.
- Redacción del proyecto y puesta en conocimiento.
- Búsqueda de financiación.

3.3.3. Propuestas Metodológicas de Intervención y valorización

No existen metodologías concretas para la puesta en valor del patrimonio minero, se tomará como ejemplo la propuesta metodológica descrita por Domingo Javier Carvajal Gómez en su tesis Metodología para la gestión de proyectos de puesta en valor del patrimonio minero, dada la completa descripción que se da de cada uno de los procesos y los factores a tener en cuenta [9].

El proyecto de valorización podrá dividirse en cuatro etapas:

- 1ª etapa. - Localización, selección, inventario, catalogación y establecimiento de medidas de protección del patrimonio minero.



- Acondicionar el edificio de usos múltiples para depositar los materiales seleccionados.
- Elegir tipo y medio de restauración de los bienes patrimoniales pequeños, medianos y de grandes dimensiones.
- Traslado de los bienes de pequeñas y medias dimensiones e iniciar su restauración.
- Iniciar la restauración de edificios y otros elementos que requieren que la labor se realice in situ.
- Delimitar el lugar, estableciendo medidas de seguridad.
- 2ª etapa. - Localización de edificios donde almacenar los materiales, con el fin de su restauración y exposición, y también donde llevar a cabo actividades de sensibilización, implicación y participación.
 - Acondicionar el entorno del espacio expositivo, dotándolo de servicios.
 - Concertar con el organismo correspondiente la pertinente formación del personal.
 - Establecer y acondicionar las rutas y recorridos, para que se puedan contemplar a satisfacción todos y cada uno de los elementos de interés con los que cuenta el espacio expositivo minero.
 - Señalar de forma adecuada, a nivel idiomático y de contenido, los lugares del centro.
 - Construir o restaurar la infraestructura viaria para los desplazamientos por las diferentes instalaciones del centro y de acceso a la minería de interior si fuera necesario.
 - Ubicar el material restaurado en sus lugares destino para su exposición.
 - Contar con abastecimiento energético, si es posible diversificado para abastecer al centro.
 - Establecer acuerdos con empresas locales para acondicionar establecimientos y construir nuevos servicios acordes con las necesidades de los visitantes.
 - Formar o subcontratar un equipo de mantenimiento de las instalaciones.
- 3ª etapa. - Elección del modelo de proyecto a desarrollar, redacción del proyecto, planificación y organización, búsqueda de fuentes financiación y selección del equipo que ponga en marcha el proyecto.
- 4ª etapa. - Fases de materialización del proyecto y realización de las tareas darán forma al conjunto expositivo.
 - Divulgación en todos los medios y lugares posibles.
 - Apertura del Centro.
 - Creación de una organización sin ánimo de lucro, Patronato o Fundación.
 - Crear un equipo de innovación permanente.
 - Crear un equipo de captación de fondos y ayudas.

3.4. ESTADO DE LA TÉCNICA: LÁSER-ESCÁNER

3.4.1. Láser-escáner Terrestre

La tecnología TLS, Láser-Escáner Terrestre nace a finales de los años 90, como variante del método aerotransportado LIDAR, y es capaz de proporcionar nubes brutas de millones de puntos de tipo cuasi continuo. La captura de datos es reamente rápida y



sencilla, ya que el proceso de escaneo dura pocos minutos. Por contra, el tiempo de procesamiento de las nubes de puntos es lenta, requiere de cierto grado de cualificación y de software complejo y hardware potente en relación al tamaño de los datos sobre los que se trabaja. El que sea un método relativamente novedoso en comparación con otras sistemáticas de medida hace que aún no exista un conjunto de reglas común para el desarrollo de los trabajos: aunque la tecnología aplicada en los dispositivos sea ya madura, la logística de captura y gestión de datos se sigue perfeccionando.

3.4.2. Elementos constituyentes del láser escáner

El principal componente del sistema láser-escáner es la unidad de exploración, conformada por el distanciómetro, y el dispositivo rotatorio para la desviación del haz que suele ser un pequeño espejo o prisma. Otros elementos requeridos para la toma de datos son la unidad de control, comúnmente constituida por un dispositivo portátil con software de control y exploración, la fuente de energía (consistente en baterías), el trípode u otros soportes para un estacionamiento adecuado, y útiles de referenciación del tipo de esferas o dianas.

3.4.2.1. El distanciómetro

El distanciómetro pulsado del láser consiste en un transmisor, sólido o semiconductor, el canal receptor, constituido a su vez por detector, amplificadores y control automático de ganancia, medidores electrónicos de tiempo, y elementos ópticos de unidades receptora y transmisora.

El transmisor del láser emite un pulso dividido en dos partes, una es enviada al receptor, comenzando la medida de tiempo. La segunda se envía directamente al objeto del que se desee medir la distancia, donde será devuelto, y parte de la señal vuelve al receptor, convirtiéndose en una corriente eléctrica.

3.4.2.2. Unidades de desvío del haz

Para poder efectuar el barrido de la superficie u objeto a escanear, es necesario que el rayo láser sea desviado mediante uno o varios espejos, que modificaran la dirección del haz, estos pueden estar constituidos por distintos materiales, plásticos, metálicos o cristalinos.

Los espejos pueden ser rotativos (planos o poligonales) y oscilantes. Los dispositivos dotados de espejos poligonales suelen presentar tres o más superficies reflectantes, generalmente prismas con caras paralelas, equidistantes y alejadas cierta distancia del eje rotativo del centro. Estos dispositivos se caracterizan por una elevada velocidad de rotación, además de por la posibilidad que ofrecen de cubrir amplios ángulos de barrido.

3.4.3. Método Operativo con Láser-Escáner Terrestre

3.4.3.1. Planificación de la operación

La relación de operaciones a considerar en el desarrollo de las actividades de campo es la recogida a continuación.



Figura 3.2. Proceso de planificación previo a la operación

- **Determinación del área de estudio.** - Se realizará una exploración inicial con el objetivo definir la zona de trabajo. Puede ser interesante realizar escaneos de baja resolución de los elementos de estudio, con objeto de describir la zona a una resolución menor que la finalmente buscada.
- **Determinación de Resolución y Exactitud.** - Tras determinar el área de trabajo, se debe estimar resolución y exactitud que se desea que la nube de puntos tenga tras el escaneo. Si fuera posible, se seleccionará el equipo más adecuado para la captura. Esto dependerá generalmente de cuestiones económicas por el coste de los equipos.
- **Localización de estacionamiento.** - Antes del proceso de escaneo, se debe proceder al estacionamiento en el punto seleccionado, y definir que fracción de área u objeto se pretende capturar. Es recomendable realizar croquis y esquemas de los estacionamientos, para las tareas posteriores, especialmente, el postprocesado si no las ejecuta el operador [2].

3.4.3.2. Proceso de trabajo con TLS

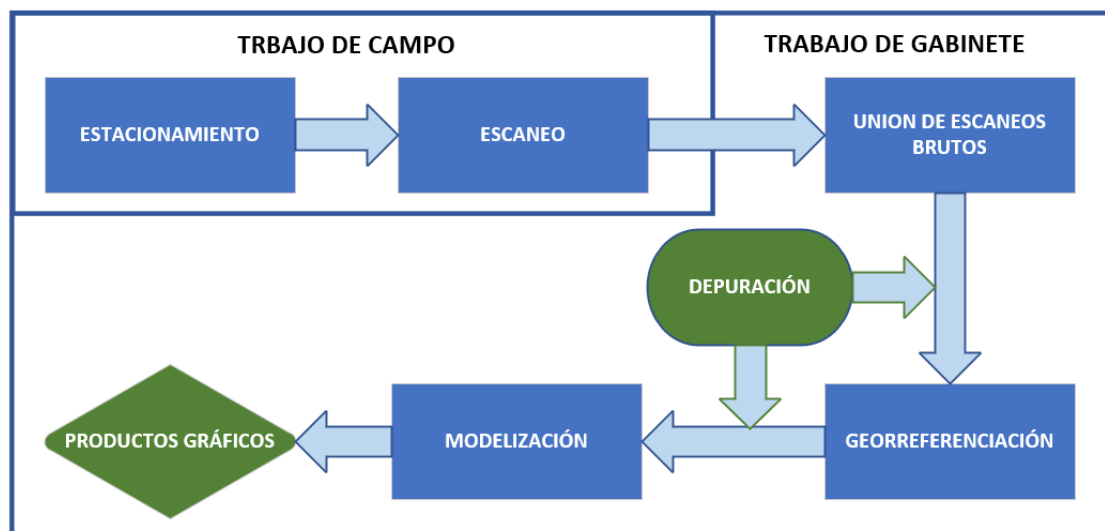


Figura 3.3. Proceso de trabajo TLS

- **Estacionamiento.** – Se estacionará el aparato colocando la unidad de exploración sobre un trípode o soporte similar y se preparará el sistema de dianas de referencia si el aparato lo requiriese.
- **Escaneo.** – Se ejecuta la fase de escaneo, como producto se obtendrá una nube de gran volumen de puntos, de forma general equiespaciados. Se podrá establecer la densidad de la misma. Ésta estará limitada por el diámetro del punto sobre la superficie de objeto. Se tendrá en cuenta que el espaciamiento no sea inferior al tamaño de la huella para no incrementar el volumen del archivo



generado. Generalmente se necesitará una serie de escaneos para poder representar el objeto objetivo, que luego serán unidas[2].

- Unión de escaneos brutos. – Teniendo en cuenta que generalmente se realizaran varias fases de escaneo, ya en gabinete o en campo si el software controlador lo permite, se procederá a unir las nubes de puntos, ya sea por medio de algoritmos incluidos en el software del aparato, o de forma manual por medio de software en un ordenador.
- Georreferenciación. - Las nubes capturadas se definirán por un sistema polar o cartesiano interno. Se podrán definir dos modos de georreferenciación:
 - Georreferenciación directa. - Similar a los sistemas de orientación por topografía clásica, la unidad se estaciona en un punto de coordenadas conocidas, siendo nivelada y orientada a una referencia externa. Se incluirá la información de posición, orientación, y altura del instrumento, en la interfaz del explorador previamente al escaneo. Este sistema requerirá que los equipos cuenten con un sistema de nivelación y un objetivo telescópico para realizar la orientación. La posición del equipo de captura puede determinarse por topografía clásica o mediante GPS. La georreferenciación directa puede ser de gran utilidad, ya que evita la imposición de puntos de control, evitando superposición de nubes de puntos en escaneos sucesivos [2].
 - Georreferenciación indirecta. - Fundamentada en una transformación tridimensional, donde las nubes capturadas de forma sucesiva, se superpondrán en duplas, empleando un mínimo de tres puntos comunes para la unión, de identificación sencilla, y distribución lo más uniforme posible. Las nubes obtenidas se georreferencian al sistema externo con como mínimo tres puntos de control de coordenadas conocidas en el sistema de referencia. Otra posibilidad es la transformación directa al marco referencial por medio de la integración de los puntos de control [2].
- Depuración previa a modelado. - Con anterioridad al comienzo del modelado, se realizará una limpieza de las nubes de puntos brutas, para eliminar ruido de las mismas o puntos redundantes presentes en varias nubes de puntos. Esta depuración genera una reducción en el tamaño del archivo, lo que optimizará el futuro trabajo realizado por el equipo destinado al modelado.
- Modelización. - Se diferenciarán dos procedimientos de modelización: segmentación o determinación de formas primitivas, y la triangulación o generación de mallas triangulares que se ajusten a la nube de puntos. Se deberá conservar la información original de las nubes de puntos brutas, o versiones ya limpias de nubes de puntos, lo que permitirá recuperar la información inicial o corregir operaciones inadecuadas o erróneas por una mala interpretación[2].
 - Segmentación. - Se entiende como segmento al elemento geométrico de una superficie dotado de continuidad o conjunto de objetos con determinadas similitudes. La homogeneidad del segmento dependerá de sus características con respecto a una determinada propiedad. La segmentación puede realizarse en función de los diversos criterios, ofreciendo distintos grados de precisión en el ajuste [2].



- Triangulación. - Se basa en establecer una malla de triángulos, que aproximará la superficie discontinua capturada, el ajuste de la malla admite cierto control que depende de la complejidad de la superficie triangulada. Es un método flexible y favorable en objetos o superficies muy complejos, en los que no se pueda encontrar a priori segmentación [2].

El proceso de modelización dará lugar a diversos productos gráficos, ya sean mallas o modelos tridimensionales simples o texturizados.

3.4.4. Fuentes de error en el trabajo con láser escáner

Las fuentes de error en el método láser-escáner son difíciles de caracterizar por su abundancia y la correlación entre las mismas. Esto se debe a las diferencias entre los productos de distintas marcas, la complejidad del aparato y especificaciones de trabajo del mismo. Las fuentes de error se clasificarán según varios criterios como por ejemplo en base los parámetros observados en la medición.

FUENTE	INSTRUMENTO	ENTORNO	OBJETOS	MÉTODO DE ADQUISICIÓN	MÉTODO DE CÁLCULO
PARAMETROS	• Distancia • Ángulo • Sincronización • Calibración	• Refracción • Vibraciones • Perturbaciones ópticas	• Tamaño • Orientación • Curvatura • Superficie	• Geometría • Distancia al objeto • Numero de escaneos • Referencias	• Registro de punto de unión • Cálculo de elementos geométricos

Tabla 3.4.Principales errores en el método TLS

3.5. ESTADO DE LA TÉCNICA: FOTOGRAMETRÍA

Según la definición establecida por la *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, la fotogrametría consiste en “una conjunción de arte, ciencia y tecnología, destinada a la obtención de información fiel acerca de objetos físicos y su entorno, mediante procesos de grabación, medición e interpretación de imágenes fotográficas, patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”. [2]

Pueden distinguirse dos ámbitos en cuanto a la fotogrametría, la fotogrametría métrica y la interpretativa.

La primera, la métrica, centrada en la medición de elementos, puntuales, lineales o superficiales a partir de fotografía y permitiendo reconstruir espacialmente tanto objetos como superficies, tiene como objeto la corrección de distorsión y proyecciones en imágenes para obtener cartografía.

La segunda, la interpretativa, se centra en el reconocimiento e identificación de objetos a través del análisis complejo de las imágenes obtenidas.

3.5.1. Fotogrametría digital

En la actualidad es posible la combinación de ambas sistemáticas dado que las actuales cámaras fotográficas digitales y la edición de las imágenes producto permiten la captura de información métrica, así como también la información necesaria para las tareas de representación.

La fotogrametría digital trabaja con imágenes digitales, lo que da lugar a la automatización de los procesos. Esto está asociado a la proliferación de dispositivos fotográficos, como son cámaras digitales, escáneres o smartphones, lo que ha reducido enormemente el coste de los equipos. Esto ha dado lugar a la casi completa desaparición de restituidores analíticos desde la aparición de la cámara digital a finales de los años 90.

En cuanto a los usos cartográficos, la posibilidad de combinarse con el GPS cinemático aerotransportado permitió la reducción de los puntos de apoyo requeridos en campo, puesto que es posible seguir de forma precisa el recorrido del avión. La posibilidad de combinarse con otras técnicas como puede ser el uso de laser o cámaras multiespectrales, puede incrementar el interés de los productos resultantes del sistema.

3.5.2. Fotogrametría con UAV

El desarrollo de los “vehículos aéreos no tripulados” (UAV) ha contribuido a la aplicación de la fotogrametría y una serie de técnicas que se apoyan en diferentes sensores montados en los UAV, comúnmente llamados drones, permiten trabajar sobre problemáticas asociadas a instalaciones de gran tamaño. Casi todos ellos trabajan con dispositivos en la banda visible (RGB), aunque también admiten otra serie de sensores en distintas bandas que permiten la inspección de atributos fuera del espectro visible humano y útiles para ciertas aplicaciones.

Útil para la monitorización de zonas que requieren de inspecciones periódicas que permitan garantizar su correcto funcionamiento o el control de elementos concretos en zonas de difícil acceso donde el análisis de los daños o problemas que pueden presentarse pueda permitir documentar el estado, así como adoptar medidas correctoras, que pueden ser relevantes para el buen funcionamiento, la seguridad o la conservación en el caso del patrimonial. Esta sistemática se adecua a tamaños crecientes y las malas condiciones de accesibilidad, que implican inspecciones problemáticas, lentas, costosas o peligrosas[21].

3.5.2.1. Plataforma UAV

En la actualidad, se dispone de dos tipos principales de plataformas UAV: dispositivos de ala fija y multi-rotor.



Figura 3.4. Drones multi-rotor y de ala fija [22], [23]

Las especificaciones que los dispositivos deben cumplirse son las siguientes: autonomía suficiente para sobrevolar instalaciones a inspeccionar y modelar, poder volar con dispositivos RGB, otros sensores o la combinación de los mismos, además de incluir mecanismos de navegación como son controlador de vuelo, GPS, sistemas de



navegación inercial y sistemas estabilizadores para los sensores durante la operación. Son muchos fabricantes los que ofrecen diferentes drones que cumplen con estas características.

Dado que los UAV pueden proporcionar varios tipos de información en función de la cámara y los sensores equipados, en un solo vuelo, junto a un buen soporte fotogramétrico, los posiciona como una alternativa económicamente competitiva.

3.5.2.2. Cámara fotográfica RGB

La característica más importante al seleccionar un sensor es que pueda proporcionar la información requerida al menor coste posible. En cuanto a la cámara fotográfica RGB no métrica o de bajo coste, no es más que una cámara digital. Las principales características que se deben cumplir son las mismas que se requieren para cualquier cámara: configuración, resolución, tamaño de imagen, formato, etc. En este caso se debe considerar como parámetro determinante la distancia focal. El principal inconveniente es el costo de un sensor métrico, que es mucho más alto que uno no métrico. El mercado ofrece una gran cantidad de fabricantes que desarrollan estas dos alternativas. En el primer caso, la escala será poco precisa, aunque se podrán realizar transformaciones. En el segundo caso la escala del modelo es muy estricta.

3.5.3. Fotogrametría Structure from Motion (SfM)

Los orígenes de la fotogrametría SfM se encuentran en la comunidad de visión artificial, [24] y el desarrollo de la identificación puntos homólogos automática y gracias al avance en los algoritmos que propiciaron su expansión como método de documentación geométrica del patrimonio. El actual software fotogramétrico SfM permite capturar superficies complejas de forma casi automática, a partir del cual, las imágenes generan nubes de puntos, subsecuentemente mallas de triángulos y finalmente modelos 3D texturizados [25][26]. La evolución de la técnica se ha visto favorecida por los siguientes factores:

- El desarrollo de los algoritmos de procesamiento inicial de puntos homólogos se basa en identificar rasgos característicos de imágenes para determinar su correspondencia. Por medio del algoritmo *Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT), permiten la identificación de puntos homólogos o coincidentes en pares estereoscópicos sea automática, reduciendo en gran medida el de esta parte del procesamiento [27].
- En segundo lugar, la automatización del proceso de calibración mediante el cálculo inverso de los parámetros de orientación internos y externos de las cámaras.
- En tercer lugar, algoritmos que descomponen las nubes de puntos masivas en subconjuntos manejables como *el Clustering view for Multiview Stereo* (CMVS) y algoritmos que reconstruyen tridimensionalmente estos subgrupos como *Patch-based Multiview Stereo* (PMVS2) permitiendo trabajar con superficies complejas generando nubes de puntos, después mallas y por último modelos tridimensionales[24], [28].



- En cuarto lugar, unas mayores capacidades de computación derivadas de los avances en el campo de la informática, y que permite trabajar con archivos tipo nube.

La fotogrametría SfM es capaz de obtener resultados próximos a los del TLS [29], [30], y en comparación, el coste económico es más favorable. Esto lo convierte en una alternativa para la adquisición de modelos tridimensionales de alta resolución, y hace que se muestre como una técnica flexible y adaptable a diversas tareas de documentación geométrica. Por el contrario, la existencia de una alta variabilidad metodológica, concretamente en tareas previas al procesado, requerirá estandarizar los procedimientos para su aplicación.

3.5.4. El sensor, la cámara fotográfica

La fotogrametría SfM permite gran variabilidad en los tipos de sensor, desde cámaras de alta calidad, hasta cámaras de bajo coste, incluso la cámara de Smartphones. Existen tres tipologías de cámaras las métricas, no métricas y semi-métricas.

Las cámaras métricas o semi-métricas cuentan con parámetros internos conocidos y permiten reconstruir la geometría de la escena a partir de marcas de referencia. Las cámaras no métricas o convencionales, que de forma general tienen una geometría interna desconocida, lo que hace imprescindible la determinación de parámetros de orientación internos para poder obtener información métrica a partir de las fotografías. En la actualidad es posible sin calibración previa realizar orientaciones de la cámara en base a las imágenes del propio objeto [31].

La fotogrametría SfM, permite la calibración inversa de casi cualquier tipo de cámara, incluso con objetivos tipo “ojo de pez”, que presentan gran distorsión, aun así es posible llevar a cabo trabajos fotogramétricos con garantías [32]. Es por ello que, aunque la elección del sensor siga teniendo mucha influencia en los resultados, los algoritmos de calibración inversa permitan calibraciones internas de calidad y hacen que esta variable sea cada vez menos importante. Para la cámara fotográfica, los parámetros más importantes serán el tamaño y resolución del sensor, el tamaño de la focal y calidad de lente [33].

3.5.5. Escala del trabajo y Ground Sample Distance (GSD)

En la fotogrametría aérea, se denomina resolución geométrica o *Ground Sample Distance* (GSD), “al tamaño de la porción de terreno que representa cada pixel en una fotografía”. Este concepto, puede trasladarse a la fotogrametría de corto alcance y se relaciona directamente con la escala de trabajo[31]. Por esto es que previa planificación de las tareas, es indispensable determinar GSD de trabajo. De forma independiente a la metodología, la escala del producto o resultado deseado en un trabajo de documentación geométrica, y el límite de percepción visual determinan la tolerancia del error métrico de dicho trabajo.

3.5.6. La red fotogramétrica

La precisión en fotogrametría SfM depende de una correcta planificación y ejecución de la captura, ya que el diseño de la red fotogramétrica, es uno de los factores que afectan a la calidad métrica del resultado de forma más acusada[25]. Una vez fijadas las variables de resolución espacial (GSD) y conocidas las características de la cámara a utilizar,

conviene planificar la toma fotográfica para conseguir una red fotogramétrica robusta, formada por fotos con orientaciones adecuadas para poder proporcionar modelos 3D con calidad métrica en todas las zonas del objeto. Además de en la calidad geométrica, la disposición de tomas fotográficas también influye en la calidad visual o radiométrica del modelo.

3.6. ESTADO DE LA TÉCNICA DE DETECCIÓN DE MOVIMIENTOS MEDIANTE CAPTURA POR INFRARROJOS EN EL DISPOSITIVO KINECT

Como se ha mencionado anteriormente, la segunda tipología de dispositivo de bajo coste que se aplicará para la obtención del modelo del objeto de estudio en el presente TFG es “Kinect”.



Figura 3.5. Dispositivo Kinect [34]

Kinect es dispositivo desarrollado por Microsoft como periférico de la videoconsola Xbox 360, que apareció en el mercado en noviembre de 2010, su desarrollo fue realizado por PrimeSense, una compañía tecnológica israelí, comprada posteriormente en 2013 por Apple.Inc [35], [36].

Se trata de un controlador que capaz permitir al jugador la interacción con el videojuego percibiendo el movimiento del mismo y también el reconocimiento de su voz. Consta dos cámaras frontales, una RGB y un sensor de distancia, también esta provisto de una serie de micrófonos internos. Para percibir la profundidad utiliza tres elementos, un proyector láser infrarrojos, un sensor CMOS y un microchip para procesar la información. Su funcionamiento se basa en proyectar un patrón de puntos aleatorios fijos, y posterior lectura y triangulación por medio del sensor CMOS incorporado.[35]

No existe demasiada información sobre el sistema de captura mediante el uso de infrarrojos, ya que la documentación disponible públicamente se trata en muchos casos de estudios de ingeniería inversa, por lo que existe cierto grado de desconocimiento de todas las posibilidades y el completo funcionamiento de esta tecnología. Esto se debe en su mayor parte a que estos sistemas forman parte de patentes y aún están en desarrollo. Además, la funcionalidad de la captura de objetos inmóviles no es la verdadera funcionalidad de los mismos, sino la captura de movimientos en tiempo real. La aplicación de este método para la modelización tiene poco recorrido, puesto que los aparatos que lo emplean se comenzaron a comercializar en 2010, y la tecnología que implementan aún está en desarrollo.

Los datos que actualmente se tienen sobre el funcionamiento del aparato son los siguientes: Durante la operación, el sensor proyecta un patrón de haces infrarrojos aleatorio, que es capturado por una cámara infrarroja en el sensor, y comparado con



patrones de referencia almacenados en el dispositivo. Los patrones de referencia se generan durante la operación en tiempo real y se almacenan. Estos tienen una profundidad conocida mediante la estimación de profundidad por pixel.

Estos datos de profundidad generados por el sensor infrarrojo se correlacionarán después con la cámara tipo RGB calibrada del sensor, produciendo una imagen RGB con datos de profundidad asociados a cada pixel. Como resultado se genera una nube de puntos tridimensional con normales asociadas a los puntos de la misma [37].

Kinect hace uso de un sistema de luz estructurada para extraer la profundidad, el emisor emite un patrón de puntos, el sensor registra las variaciones en el patrón y estas indican forma y situación del objeto mediante triangulación. Para poder realizar dicha triangulación, debe existir un patrón de referencia previo.

Un láser no modulado emite un único rayo que es dividido y forma el patrón, que es fijo y proyectado en el entorno. Este patrón contiene un número de puntos elevado, con disposición aleatoria, y subdividido en secciones de 3 x 3 puntos con el punto central más iluminado. El patrón de referencia procede de la captura de un plano a distancia conocida por parte del sensor, y se almacena en la memoria del aparato. Al proyectar un patrón de puntos hacia un objeto con distancia superior o inferior a la almacenada por el sensor, se distorsiona el patrón, generando el desplazamiento de los puntos en la dirección del haz laser y el sensor infrarrojo.

No hay datos exactos del funcionamiento del sistema, pero parece basarse en un reconocimiento por secciones imagen y comparación posterior, hasta que se encuentran puntos coincidentes en ambos patrones. Cuando se encuentra una coincidencia, agranda la región y se examinan los píxeles próximos, y se repite el proceso hasta que se reconocen grandes variaciones y se reconoce una región distinta. Ocurrido esto, se pasa a la siguiente región, tomando otro punto coincidente. Este proceso se lleva a cabo con gran rapidez en el aparato pese a su complejidad [35].

4. CASO DE ESTUDIO

4.1. ELEMENTO PATRIMONIAL REPRESENTADO (LA PIEDRONA)

El elemento a representar en este proyecto se trata de un fragmento de grandes dimensiones de esfalerita, también conocida esta variedad como blenda acaramelada, expuesta junto a la Exposición de Minerales Lorenzo Pfersich, en un pedestal en la entrada de la Escuela Politécnica de Minas y Energía de Torrelavega, perteneciente a la Universidad de Cantabria.



Figura 4.1. "La Piedrona" o "La Gran Blenda Acaramelada", elemento patrimonial a reconstruir

Este fragmento de grandes dimensiones es llamado "La Gran Blenda Acaramelada", o más familiarmente "La Piedrona". La procedencia de la misma es el macizo calizo de Áliva, habiendo sido extraída de la Mina de "Las Manforas", perteneciente al municipio cántabro de Camaleño y localizada en el Macizo Central de los Picos de Europa. Esta explotación comenzó la actividad durante el siglo XIX y terminó en el año 1990.



Figura 4.2. Minas de "Las Manforas" en su estado actual [38]

“La Piedrona” perteneció a la Real Compañía Asturiana de Minas, que tuvo la propiedad de las explotaciones de esfalerita de los Picos de Europa hasta 1981, donde pasa a pertenecer a Asturiana de Zinc, S.A. propietaria de la Mina de Reocín donde permaneció hasta el año 2007, y por medio del convenio entre la Escuela Politécnica de Minas y Energía con MARE y SODERCAN, trae a la Escuela los Fondos Documentales y Bibliográficos de la Mina de Reocín y tras ampliar el convenio, material que la mina conservaba en un museo entre el que se encontraba está.

4.2. MATERIALES

Como se ha comentado anteriormente, el presente TFG busca contrastar la viabilidad de aplicación de técnicas de captura y modelización de bajo coste (fundamentalmente basadas en la aplicación de cámaras no métricas y del dispositivo Kinect), empleando para su contraste los productos obtenidos a partir de la modelización con Láser Escáner, siendo ésta última la técnica de referencia, considerada de alto coste. Se recogen seguidamente las principales características técnicas tanto del instrumental utilizado para la captura de referencia y contraste (TLS), como en el caso de las capturas mediante equipos de bajo coste. Se recogen igualmente los equipos empleados para la gestión de las nubes de puntos y el tratamiento de datos.

4.2.1. Láser-escáner Leica RTC360 3D

el láser-escáner es un aparato utilizado para crear nubes de puntos a partir de un haz laser en espectro infrarrojo que incide sobre los objetos a su alcance, por medio de un conjunto de espejos giratorios generando un barrido y midiendo la distancia emisor-objeto. Estos puntos contienen una serie de coordenadas que describen la posición espacial tridimensional de los mismos.



Figura 4.3 Láser-Escáner Leica RTC360 3D [39]

El dispositivo seleccionado para la realización de este trabajo es el TLS Leica RTC360 3D, dispositivo de la casa Leica, pequeño y ligero en comparación con otros modelos previos, que cuenta con un trípode abatible para el transporte de máquina y soporte. El aparato cuenta con una tasa de medición de aproximadamente 2 millones de puntos por segundo y sistema de imágenes HDR, dependiendo de la resolución deseada. Es posible la captura de nubes de puntos 3D a color en menos de 2 minutos, y el registro de campo automático sin dianas por medio de tecnología de espectroscopía combinada visible (VIS).



Para su manejo se utiliza el software Cyclone FIELD 360, apto para sistemas operativos iOS y Android, por lo que es controlable desde la tableta proporcionada junto al el aparato, o desde el propio dispositivo móvil del usuario[39].

El aparato posee las características siguientes resumidas en la tabla siguiente:

GENERAL		SENSORES DE NAVEGACIÓN	
Escáner láser 3D	Escáner láser 3D de alta velocidad con sistema integrado de imágenes esféricas HDR y sistema inercial visual (VIS) para el registro en tiempo real.	Sistema inercial visual	Sistema de medición inercial mejorado con vídeo para seguir el movimiento de la posición del escáner en relación al anterior estacionamiento en tiempo real
RENDIMIENTO		MANEJO	
Adquisición de datos	< 2 min para un escaneo a cúpula completa e imagen esférica HDR a una resolución de 6mm @ 10m	Inclinación	Basada en IMU, Precisión: 18" (para estacionamientos de abajo a arriba y de arriba a abajo con una inclinación de +/- 10°)
Registro en tiempo real	Alineación automática de la nube de puntos basada en el seguimiento en tiempo real del movimiento del escáner entre estacionamientos basado en el sistema inercial visual (VIS) mediante la unidad de medición inercial mejorada mediante vídeo	Sensores adicionales	Altimetro, brújula, GNSS
Escaneo doble	Eliminación automática de objetos en movimiento	En el escáner	Control de pantalla táctil con el dedo, pantalla gráfica a todo color WVGA, 480 x 800 píxeles
Comprobación y ajuste	Procedimiento de campo sin dianas para chequear y corregir los parámetros angulares	Dispositivos móviles	Aplicación Leica Cyclone FIELD 360 paratablets y smartphones iOS e Android incluyendo: - Control remoto de las funciones de escaneo - Visualización de datos 2D y 3D - Etiquetado - Alineación automática de escaneos
ESCANEAR		Inalámbrico	Wireless LAN (802.11 b/g/n) integrada
Medición de distancias	Medición de alta velocidad y dinámica del tiempo de vuelo mejorada mediante la tecnología Waveform Digitising (WFD)	Almacenamiento de datos	Leica MS256, memoria flash intercambiable de 256 GB USB 3.0
Clase de láser	1 (conforme a CEI 60825-1:2014), 1550nm (invisible)	DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Campo visual	360° (horizontal) / 300° (vertical)	Carcasa	Marco de aluminio y cubiertas laterales
Alcance	Mín. 0.5 - hasta 130 m	Dimensiones	120 mm x 240 mm x 230 mm / 4.7" x 9.4" x 9.1"
Velocidad	Hasta 2.000.000 puntos/segundo	Peso	5,35 kg / 11,7 lbs, nominal (sin baterías)
Resolución	3 ajustes que puede seleccionar el usuario (3/6/12 mm @ 10 m)	Mecanismo de montaje	Montaje rápido en un soporte de 5/8" sobre un trípode ligero / adaptador de base opcional / adaptador de base para prospección disponible
Precisión*	Precisión angular de 18"	ALIMENTACIÓN	
	Precisión del alcance 1,0 mm + 10 ppm	Batería interna	2 x baterías internas recargables de ion de litio Leica GEB364 Duración: Generalmente hasta 4 horas Peso: 340 g por batería
	Precisión de puntos 3D	Externa	Adaptador Leica GEV282 AC
	1,9 mm a 10 m	MEDIO AMBIENTE	
	2,9 mm a 20 m	Temperatura de operación	-5 °C hasta +40 °C
Nivel de ruido* **	5,3 mm a 40 m	Temperatura de almacenamiento	-40 °C hasta +70 °C
	0,4 mm @ 10 m, 0,5 mm @ 20 m	Operación a bajas temperaturas	-10° hasta +40°C
IMÁGENES		Polvo/humedad	Protección frente a polvo y humedad IP54 (CEI 60529)
Cámara	El sistema de 3 cámaras de 36 MP captura datos brutos de 432 MPx para una imagen esférica calibrada de 360° x 300°		
Velocidad	1 min. para una imagen esférica HDR completa en cualquier condición luminica		
Alto rango dinámico (HDR)	Automático, 5 exposiciones		

Tabla 4.1. Tabla de especificaciones de Leica RT360 3D [39]

4.2.2. Cámara fotográfica digital

Al considerar la aplicación de técnicas fotogramétricas con cámaras no métricas, se adoptaron dos cámaras diferentes, cuyas características se incluyen seguidamente.

4.2.2.1. Cámara Digital Modelo SX520HS

Se trata de una cámara fotográfica digital con zoom óptico 42x, con ultra gran angular. Permite la captura de imágenes nítidas y claras independientemente de las condiciones de luz con un sensor CMOS de 16 megapíxeles y disparo rápido en serie de 1,6 fps o 10fps en ráfaga de alta velocidad.



Figura 4.4. Canon SX520HS

Es capaz de grabar vídeos Full HD a 30p, posee un estabilizador de la imagen dinámico avanzado generando imágenes estables con el zoom al máximo o en movimiento, y en modo híbrido consigue resoluciones de video HD (720p). Dispone de tecnologías auxiliares para el bloqueo y encuadre con zoom permitiendo el enfoque de elementos a largas distancias[40].

Las especificaciones de esta cámara pueden verse en la siguiente tabla:

CANON SX520HS	
Sensor	CMOS retroiluminado tipo 1/2,3
	16Mpx
	ISO 100
	ISO 3200 (Automático)
Pantalla LCD	Tamaño: 3 pulgadas
	No articulada
	Pantalla LED
Sistema de enfoque automático AF	9 puntosde enfoque, 1 punto de ellos en cruz situado en el centro.
Disparo continuo	1,6 fps (fotos por segundo), 10fps en rafaga
Batería	210 disparos
Video	MPEG4 59,94 fps
	Pantalla articulada: no
	Grabación de sonido externo
Otras características	ZOOM 42x -ZoomPlus 84x, Digital aprox. 4x (con teleconvertidor digital aprox. 1,6x o 2,0x). Combinado aprox. 168x

Figura 4.5. Especificaciones Canon SX520HS [40]

4.2.2.2. Cámara Réflex digital Canon EOS 200D

La EOS 200D es una cámara réflex digital con pantalla de ángulo variable de formato ligero, ofrece la misma velocidad de enfoque y capacidad de respuesta para amplitud de situaciones. El disparo depende de un visor óptico sin retardos y permite realiza composiciones a través de una pantalla de ángulo variable, similar a un smartphone, para disfrutar del sistema AF.



Figura 4.6. Canon EOS 200D

Cuenta con interfaz de usuario guiada. Esto ayuda a elegir la configuración correcta para distintos efectos que se deseen crear. Permite la navegación por las fotos almacenadas, editarlas y compartirlas por medio de tu smartphone o Tablet, ya que dispone de conexión permanente Bluetooth de bajo consumo [41].

Las especificaciones de la cámara se recogen en la siguiente tabla:

CANON EOS 200D	
Sensor	CMOS APS-C (22.3 x 14.9 mm)
	24 megapixels
	ISO mínima: 100
	ISO máxima: 25.600 (ampliable a 51.200)
Pantalla LCD	Tamaño: 3 pulgadas
	Totalmente articulada
	Pantalla táctil
Sistema de enfoque automático AF	9 puntos de enfoque, 1 de ellos en cruz situado en el centro.
Disparo continuo	5 fps (fotos por segundo)
Batería	650 disparos
Vídeo	Full HD 1920×1080 60/30/25/24 fps
	Pantalla articulada: Sí
	Conector para micrófono externo: Sí
Otras características	Su sensor incluye la tecnología Dual Pixel que ofrece un enfoque muy rápido y preciso en vídeo (o en fotografía usando la pantalla trasera para enfocar, en lugar del visor óptico)

Tabla 4.2. Especificaciones Canon EOS 200D [42]

La cámara se utilizó junto con el siguiente objetivo para realizar las fotografías:

- Objetivo EF-S 18-55 mm f/3,5-5,6 IS II



Figura 4.7. Objetivo EF-S 18-55 mm f/3,5-5,6 IS II [43]

Se trata de un objetivo con zoom estándar de alta calidad, con longitud equivalente a 29-88 mm en formato de 35 mm, su rango de zoom angular lo hace adecuado cualquier tipo de fotografía. Es funcional a distancias de tan sólo 0,25 m a lo largo de todo el rango focal del zoom. Incorpora tecnología de Estabilizador de Imagen Canon de 4 pasos, permite utilizar velocidades de obturación cuatro veces más lentas de lo normal, disminuyendo el desajuste por movimiento de imagen, esto permite realizar fotografías con poca luz.

Los revestimientos “*Super Spectra*” combaten luces parásitas y el velo óptico absorbiendo la luz que reflejan los sensores de las cámaras digitales y los elementos internos de los objetivos, garantizando equilibrio real del color e imágenes nítidas, de alto contraste. La lente asférica incorporada permite obtener imágenes nítidas y de alto contraste con la abertura totalmente abierta. En cuanto a fotografías con gran abertura, el diafragma de abertura circular proporciona un fondo desenfocado suave y continuo, esto ayuda a destacar los sujetos, eliminando elementos en segundo plano.

ESPECIFICACIONES	
Tamaño de imagen	APS-C
Longitud focal equivalente a 35 mm	29-88
Ángulo de visión (horizontal, vertical, diagonal)	64° 30' - 23° 20', 45° 30' - 15° 40', 74° 20' - 27° 50'
Construcción del objetivo (elementos/grupos)	11 09
Nº de hojas del diafragma	6
Abertura mínima	22 - 38(36) ¹
Distancia mínima de enfoque (m)	0.25
Aumento máximo (x)	0,34 (a 55 mm)
Información de la distancia	Proporcionada
Estabilizador de imagen	4 pasos
Motor para el AF	Micro motor
Resistencia al polvo y la humedad	
Diámetro del filtro (mm)	58
Máx. diámetro x longitud (mm)	68,5 x 70
Peso (gr)	200
Aumento con el tubo de extensión EF12 II	0,64-0,23 ¹
Aumento con el tubo de extensión EF25 II	1-0,51 ¹
Tapa de objetivo	E-58 / E-58II
Parasol	EW-60C
Estuche flexible	LP814
Teleconvertidores EF 1,4x II y EF 2x II	NC

Tabla 4.3. Especificaciones del objetivo Canon EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 IS II [43]

4.2.3. KINECT

El sensor de Kinect se compone de barra horizontal de unos 23 cm unida a una pequeña base circular y articulado por medio de una rótula, su diseño está pensado para ser colocado de forma longitudinal sobre o bajo una pantalla.



Figura 4.8. Dispositivo Kinect [34]

El dispositivo cuenta con una cámara RGB, un sensor de profundidad, un micrófono de múltiples matrices y un procesador personalizado que ejecuta el software patentado, que proporciona captura de movimiento de todo el cuerpo en 3D, reconocimiento facial y capacidades de reconocimiento de voz (comandos en inglés)[44]. El sensor integra un mecanismo de inclinación motorizado y en caso de usar un ordenador, tiene que ser conectado a una toma de corriente, ya que la corriente que puede proveerle el cable USB es insuficiente.

Su sensor de profundidad consiste en un proyector de infrarrojos en combinación con un sensor CMOS tipo monocromo, esto permite la captura de entornos en tres

dimensiones en cualquier condición de luz ambiental. El rango de detección de la profundidad del sensor es ajustable mediante el software integrado y el sensor es capaz de calibrarse automáticamente [34], [35], [45].

SENSORES/CÁMARAS	CAMPO DE VISIÓN	FLUJO DE DATOS
Cámara RGB	CV Horizontal = 57º	320x240, 16bits de profundidad, 30 FPS
Cámara VGA, resolución 640x480px, 30FPS	CV Vertical = 43º	640x480, 32bits de color, 30FPS
Doble cámara de profundidad 3D, resolución 640x480px, 30FPS	Rango de Inclinación física = $\pm 27^\circ\text{C}$	Audio 16 bit, 16kHz
Sensor de profundidad	Rango de Profundidad = 1,2 - 3,5 m	

Tabla 4.4. Tabla de características del sistema Kinect [34]

4.2.4. Ordenador de sobremesa

Para la gestión de datos se utilizó fundamentalmente un pc de sobremesa de características personalizadas para realizar el tratamiento de las nubes de puntos y la realización de los modelos 3D.



Figura 4.9. Ordenador de sobremesa utilizado

Las posibilidades que ofrece poder disponer de configuraciones personalizadas en los ordenadores permiten que los usuarios puedan adecuar el hardware del mismo al uso que se pretenda dar al ordenador, y la posibilidad de ir actualizando estos elementos a medida que los requisitos mínimos que el software necesita van aumentando, o de sustituir piezas estropeadas, ya que no todos los elementos de un ordenador tienen la misma vida útil, ni su obsolescencia es pareja. A día de hoy el avance tecnológico de los distintos elementos que conforman el hardware avanza de forma independiente.

Es así que el único limitador real para un ordenador sobremesa es su placa base, donde los distintos componentes se verán condicionados a ser compatibles con la misma, como

es el caso de los microprocesadores que requieren de tecnologías específicas para su montaje en las placas y la compatibilidad de las tarjetas RAM o su expansión.

Las características técnicas del ordenador utilizado son las mostradas en la tabla siguiente:

COMPONENTES PC	
Placa Base	MSI MEG Z490 ACE
CPU	Intel Core i7-10700K 3.80 GHz
GPU	MSI GeForce GTX 1080Ti Gaming X Trio
Memoria de vídeo	11GB GDDR5X
Memoria RAM	KFA2 HOF Hall Of Fame 16GB (2x8GB) 4000 Mhz (PC4-32000) CL19 - Memoria DDR4
Almacenamiento	Samsung 970 EVO Plus 1TB SSD NVMe M.2
	Samsung 960 EVO NVMe M.2 SSD PCI-e 250GB
	Seagate Barracuda 3.5" 8TB SATA 3
	Seagate BarraCuda 3.5" 1TB SATA3
Caja	NOX Coolbay ZX
Refrigeración	Corsair Cooling Hydro Series H80i v2
Fuente de Alimentación	Cougar BXM850 850W 80 Plus Bronze Semi Modular
PERIFÉRICOS	
Monitor	Asus PG248Q 24" LED FullHD G-Sync 180Hz 3D
Teclado	Newskill Hanshi Spectrum Teclado Mecánico RGB Kailh Red
Ratón	Razer Mamba 5G Chroma Tournament Edition 16000 DPI
Auriculares	Razer Kraken 7.1 V2 Oval Auriculares Gaming

Tabla 4.5. Componentes de PC utilizado y periféricos

4.2.5. Ordenador portátil MSI GP66 LEOPARD

Los ordenadores portátiles en la actualidad ofrecen prestaciones muy similares a los dispositivos de sobremesa, la adaptación del hardware a dimensiones reducidas, la miniaturización y las mejoras en refrigeración han permitido el montaje de procesadores y tarjetas gráficas de alto rendimiento con desempeño casi idéntico a sus equivalentes estándar.

Las reducidas dimensiones de los ordenadores portátiles con las características anteriormente descritas permiten al usuario hacer un uso equivalente al de los equipos más potentes sin las limitaciones que la inmovilidad. Como desventaja a tener en cuenta es que los procesos que requieren de muchos recursos y que agotaran la batería rápidamente, es por ello que la necesidad de suministro eléctrico o recambio de baterías sea indispensable.

Al contrario que los ordenadores de sobremesa, los ordenadores portátiles comerciales carecen en su mayoría de la posibilidad de emplear configuraciones de hardware personalizada y la posibilidad de ampliarlo o actualizarlo, más allá del cambio de discos duros o tarjetas de memoria RAM.

En cuanto al precio de los ordenadores portátiles en la actualidad, debido al incremento de los precios en los componentes derivados de la crisis energética, la escasez de

materiales, así como la compra masiva de ciertos componentes para el minado de criptomonedas, han elevado los precios acercándoles a sus homólogos inmóviles.

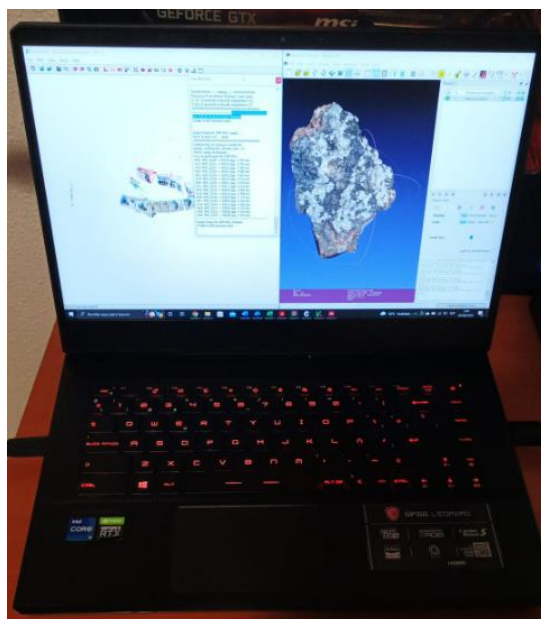


Figura 4.10. Portátil MSI GP66 LEOPARD

Las características del ordenador portátil empleado para el desarrollo de este proyecto son desglosadas en la siguiente tabla:

MSI GP66 Leopard 11UG-089XES	
CPU	Intel® Core™ i7-11800H
Color	Negro
Panel	15.6" 165Hz DCI-P3 100%
Resolución	QHD (2560*1440)
GPU	NVIDIA GeForce RTX™ 3070
Memoria de video	GDDR6 8GB
Teclado	Teclado retroiluminado RGB tecla por tecla
Memoria	RAM DDR IV 16GB*2 (3200MHz)
Ranuras de memoria RAM	2 Slots (64GB Max Capacity)
Almacenamiento	1TB NVMe PCIe Gen4x4 SSD
Ranuras de almacenamiento	1 ranura M.2 SSD (NVMe PCIe Gen3)
	1 ranura M.2 SSD (NVMe PCIe Gen 4)
LAN	1x RJ45
WLAN	Killer Wi-Fi 6E AX1675
Bluetooth	BT5.2
Webcam	HD (30fps@720p)
USB	3x Tipo A USB3.2 Gen1
Puertos de video	1x (8K @ 60Hz / 4K @ 120Hz) HDMI
	1x Mini-DisplayPort
Puertos de audio	1x Mic-in/Headphone-out Combo Jack
Adaptador de corriente	Adaptador de 280W
Batería	4 cell, 65Whr
Tamaño	358 x 267 x 23.4 mm
Peso	2.38 kg

Tabla 4.6. Tabla de características de portátil MSI GP66 Leopard 11UG-089XES [46]

5. SOFTWARE

Para la gestión de los datos obtenidos en la captura será necesario la utilización de software adecuado para cada parte del proceso de modelización. Éste será elegido en función de la disponibilidad del mismo. En el caso de la obtención de nubes a partir del TLS, se recurrió a software propietario para el propio manejo del dispositivo, la alineación y procesado inicial de las nubes, y su exportación. Con objeto de explorar las posibles vías de aplicación de software libre, y el establecimiento de un marco comparativo más justo entre las técnicas de alto y bajo coste, el procesado posterior de las nubes se ha desarrollado en todos los casos a través del empleo de software libre. Los procesos de depuración y posterior triangulación. Se describen a continuación los diferentes programas empleados a lo largo de la realización del presente TFG, así como la versión utilizada en el momento de realización del proyecto.

5.1. LEICA CYCLONE FIELD 360



Figura 5.1. Logo LEICA Cyclone FIELD 360 [47]

Este programa se empleó para controlar el dispositivo durante la captura, y para llevar a cabo un prerregistro de las nubes. Leica Cyclone FIELD 360 es un software comercial de la compañía Leica, una aplicación de alto rendimiento para dispositivos móviles y control de los escáneres láser BLK360, RTC360 y ScanStation P-Series. Cuenta con una interfaz intuitiva y permite el control remoto del escaneo, presentando además una pantalla para visualizar nubes de puntos capturadas in situ, y ofreciendo una sencilla navegación pensada para usuarios sin experiencia. Genera datos completos de imagen y nubes de puntos directamente al dispositivo controlador, ya sea tableta o smartphone.

El software está pensado para llevar a cabo con rapidez el control de calidad sobre el terreno, mejorar la productividad y facilitando la toma de decisiones. Es posible publicar directamente los datos capturados desde Cyclone FIELD 360 a TruView Cloud para intercambiar la información del proyecto entre la oficina y el campo antes de su importación y el registro.

Para mejorar el registro en el procesamiento posterior de Leica Cyclone REGISTER 360 y añadir valor e información adicionales a los datos 3D, permite realizar etiquetado in situ con mediciones, vídeos, imágenes, texto o archivos de voz [47].



Sus especificaciones son las recogidas en la tabla siguiente.

GENERAL	
Aplicación para iOS o Android	Aplicación sobre el terreno para el control de escaneo remoto, gestión de datos, control de calidad, etiquetado y registro previo automático en la obra.
CONTROL DE ESCANEO	
Control de escaneo remoto con acceso a todas las funciones.	
GESTIÓN DE DATOS	
Crear, editar y eliminar trabajos de escaneo.	
TRANSFERENCIA Y COMUNICACIÓN DE DATOS	
Comunicación	Comunicación bidireccional sin cables entre el escáner y la tablet.
Transferencia	Transferencia automática de datos escaneados desde el escáner a la tablet; sincronización automática de todos los datos creados con la aplicación desde la tablet al RTC360 y al ScanStation P-Series.
Publicación en TruView Cloud	Publicación directa para la comunicación entre los miembros del equipo del campo y los miembros del equipo de la oficina para intercambiar rápidamente la información del proyecto antes de la importación y el registro.
CONTROL DE CALIDAD	
Navegación por nubes de puntos	Navegación por nubes de puntos simples y registradas en una vista de mapa 2D, vista panorámica de 360° o en vista completa en 3D. Vea la posición actual del escáner (solo RTC360).
Pantalla de nube de puntos	Mostrar nubes de puntos a todo color HDR (RTC360 y BLK360), intensidad del arcoiris o cartografía en escala de grises
Medición	Tomar y etiquetar mediciones dentro de la nube de puntos
ETIQUETADO DE DATOS	
Añadir a la nube de puntos imágenes, videos, voz, texto o cualquier otra etiqueta basada en archivos	
REGISTRO PREVIO	
Alineación automática	Alineación automatizada y basada en la tecnología de sistema inercial visual (VIS) para estacionamientos de escaneo del RTC360 para registro sin diana de nube a nube.
Alineación visual	Mover y rotar estacionamientos de escaneos para una alineación visual más rápida para el registro de nube a nube
ADD-ONS	
Quick Plan	Extracción muros y define puertas y ventanas para crear modelos en planta en formatos IFC y/o DXF
INTEROPERABILIDAD	
Hardware del sensor	Leica ScanStation P-Series, RTC360 y BLK360
Software Cyclone	Leica Cyclone REGISTER 360 1.6 (o más reciente) o Cyclone 9.4 (o más reciente) para respaldar la importación de datos. Requiere una licencia Cyclone REGISTER o Cyclone REGISTER 360 (incluyendo edición BLK) activa para la activación.
Publicación de TruView Cloud	Necesaria una suscripción activa a TruView Cloud
REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	
Plataforma	Tableta Android o teléfono inteligente con Android 7.0 o más reciente en una arquitectura ARM 64 bit con un sistema operativo de 64 bit y al menos 3GB de RAM.
Dispositivos recomendados (RTC360, ScanStation)	Samsung Galaxy Tab S6, Tab S7, Samsung Galaxy S9, S9+, S10, S10+, S20, S20 + y Leica BLK3D con captura de imagen.

Tabla 5.1. Características de LEICA CYCLONE 360 [47]

5.2. LEICA CYCLONE REGISTER 360



Figura 5.2. Logo de LEICA Cyclone REGISTER 360 [48]

Este programa se utilizó para solapar las nubes de puntos y generar el archivo “.pts” resultante. Leica Cyclone REGISTER 360 es un software comercial que permite la operación mediante sencillas operaciones, tales como arrastrar y soltar, llegando desde la creación del proyecto a informes finales. Permite además el uso de rutinas por lotes de subprocesos múltiples, la importación y procesamiento en un paso, los flujos de trabajo guiados, herramientas de QA/QC integradas e informes automatizados [49].

Posee una sencilla pero potente interfaz, permitiendo a nuevos usuarios poder ejecutar proyectos envergadura y escalar el trabajo de acuerdo con las necesidades del mismo. La sencillez de manejo del software proporciona flujos de trabajo de registro guiados aptos para usuarios no necesariamente cualificados y que aceleran el proceso para los usuarios cualificados. Permite el uso de herramientas y genera informes intuitivos proporcionando información para comprobar la calidad del registro de datos. Este software se empleó para la importación de las nubes del TLS, la alineación de las mismas, operaciones simples de selección y recorte, y exportación de las mismas para posterior tratamiento en programas libres.

5.3. CLOUDCOMPARE V2

Este programa se utilizó para la gestión y depuración de las nubes de puntos generadas mediante TLS y fotogrametría de corto alcance con cámaras no métricas, así como la visualización de la nube generada por Kinect. CloudCompare y ccViewer, aplicación para previsualización, actualmente son funcionales para SO basado en Windows, macOS X y Linux, con arquitecturas de 32 o 64 bits, siendo además libre para su uso comercial o educativo definido por la GPL (*GNU General Public License*)[50].



Figura 5.3. Logo CloudCompareV2 [51]

Se trata de un software diseñado para gestionar, comparar y visualizar nubes de puntos 3D y malla triangular, que tras varias actualizaciones ha incluido mayor número de algoritmos avanzados y ofrece una serie de funciones propias de un programa de gestión de nubes de puntos genérico [52]. Este programa se empleó fundamentalmente para la depuración de nubes, y para la generación de mallas simples.

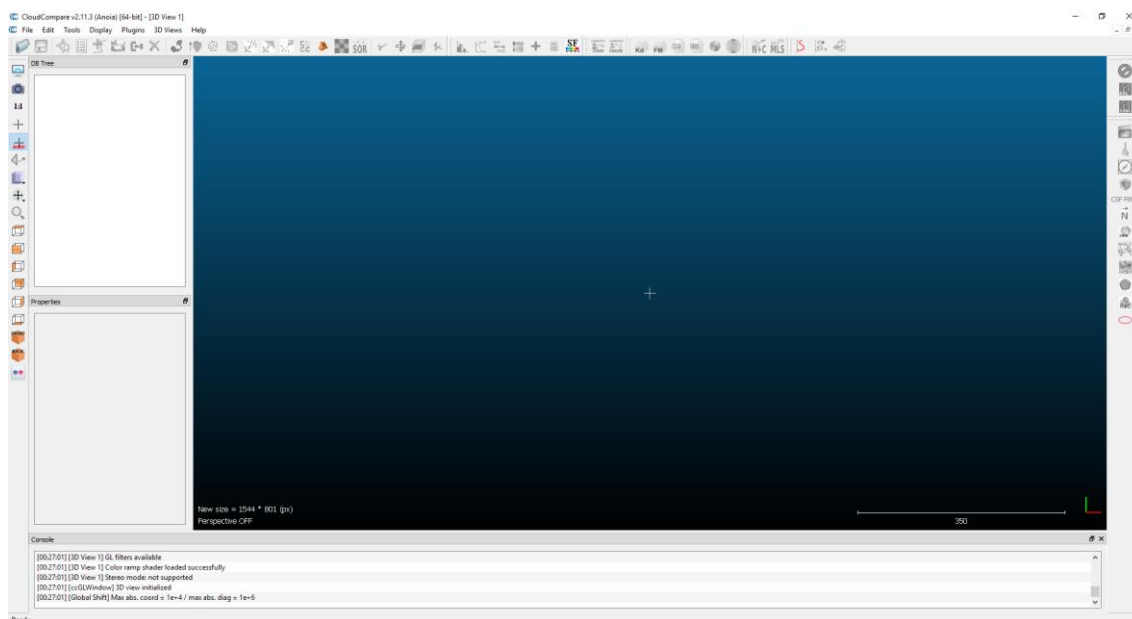


Figura 5.4. Entorno de trabajo CloudCompare V2

Con este software podrá trabajarse con archivos de extensiones de entrada y salida de los tipos siguientes:



EXTENSIONES COMPATIBLES			
I/O	FORMATO	EXTENSION	ASCII / BINARIO
IMPORTADO	ASCII	.asc, .txt, .xyz, .neu, .pt	ASCII
	CSV matrix	.csv	
	DXF	.dxf	
	Geo-Mascaret	.georef	
	OBJ	.obj	
	OFF	.off	
	OUT (Bundler)	.out	
	PDMS	.pdms, .pdsmac, .ma	
	PTX	.ptx	
	Sinusx	.sx	
	SOI	.soi	
	STL	.stl	
	VTX	.vtx	
	ICM	.icm	ASCII + Ambos
	POV	.pov	ASCII o Binario
	FBX	.fbx	
	DRACO	.drc	Ambos
	PLY	.ply	
	E57	.e57	Mezclado
	BIN	.bin	Binario
	DP	.dp	
	FARO	.fls, *.fws	
	LAS	.las	
	PCD	.pcd	
	PN	.pn	
	PV	.pv	
	RASTER	.geotiff, etc.	
	SBF	.sbf	
	SHP	.shp	
EXPORTADO	ASCII	.asc, .txt, .xyz, .neu, .pt	ASCII
	DXF	.dxf	
	OBJ	.obj	
	OFF	.off	
	Sinusx	.sx	
	STL	.stl	
	VTX	.vtx	
	FBX	.fbx	ASCII o Binario
	DRACO	.drc	Ambos
	PLY	.ply	
	E57	.e57	Mezclado
	BIN	.bin	Binario
	LAS	.las	
	PCD	.pcd	
	PN	.pn	
	PV	.pv	
	RASTER (herr. Rasterizad	.geotiff, etc.	
	SBF	.sbf	
	SHP	.shp	

Tabla 5.2. Extensiones compatibles con CloudCompare V2 [53]

5.4. MESHLAB

Este software se utilizó para la generación de mallas y su postproceso a partir de las nubes de puntos de TLS y fotogrametría de corto alcance con cámaras no métricas. Meshlab es un software grafico libre desarrollado conjuntamente por ISTI (Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione “Alessandro Faedo”, Pisa) y CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche, Rome), que comenzó como un proyecto cuyo propósito era el procesamiento de grandes modelos tridimensionales no estructurados derivados del escaneo 3D [54].



Figura 5.5. Logo Meshlab [55]

Meshlab está destinado al procesamiento y edición de mallas de grandes modelos tridimensionales no estructurados, el programa está basado en C++ y JavaScript, basado en librerías VCG y cuyo código fuente se encuentra disponible en GitHub para libre difusión bajo licencia GPL. Actualmente se encuentra disponible para múltiples plataformas Linux, MacOS X y Windows.

Con la versión liberada del software en 2020, aparece además PyMeshLab, una librería de Python para poder interactuar con MeshLab, permitiendo su uso con este lenguaje con licencia de código abierto, actualmente uno de los más populares y en auge en el ámbito de la programación [55].

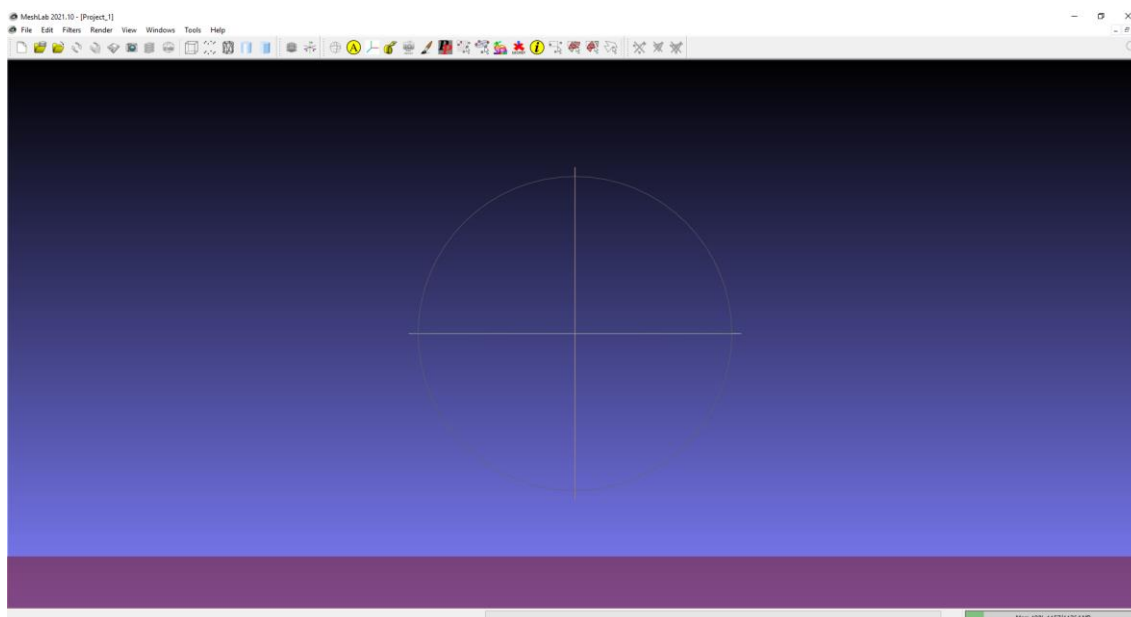


Figura 5.6. Entorno de trabajo Meshlab

Las principales funcionalidades de la última versión del programa son recogidas en la tabla que se muestra a continuación:

FUNCIONALIDADES PRINCIPALES MESHLAB		
MODELIZACION Y GESTION DE MALLAS 3D NO ESTRUCTURADAS	ADQUISICION 3D	Alineación, Reconstrucción, Mapeo de color y Retexturización, Integración de capas ráster con imágenes.
	GESTION 3D	Limpieza, Escalado, posicionamiento y orientación, Simplificación, refino y remallado, Medición y análisis, Comparación de modelos.
	VISUALIZACION E IMPRESIÓN DE MODELOS	Visualización y presentación, Procesamiento de color, Calibrado de desfase, Ahuecado, Cierre

Tabla 5.3. Funcionalidades principales de Meshlab [55]

Los formatos con los que el programa puede trabajar son nombrados a continuación en la siguiente tabla:

EXTENSIONES COMPATIBLES		
IMPORTADO	PLY.	.ply
	STL.	.stl
	OFF.	.off
	OBJ.	.obj
	3DS.	.3ds, .max
	COLLADA.	.dae
	PTX.	.ptx
	V3D.	.v3d
	PTS.	.pts
	APTS.	.apts
	XYZ.	.xyz
	GTS.	.gts
	TRI.	.tri
	ASC.	.asc
	X3D.	.x3d
	X3DV.	.x3dv
	VRML.	.wrl
	ALN.	.aln
EXPORTADO	PLY.	.ply
	STL.	.stl
	OFF.	.off
	OBJ.	.obj
	3DS.	.3ds, .max
	COLLADA.	.dae
	VRML.	.wrl
	DXF.	.dxf
	GTS.	.gts
	U3D.	.u3d
	IDTF.	.idtf
	X3D.	.x3d

Tabla 5.4. Extensiones compatibles con Meshlab

5.5. VISUAL SFM

Este programa se utilizó para el solape de las fotografías y la generación de la nube de puntos a partir de las mismas. VisualSfM (VSFM) un programa de reconstrucción visual tridimensional que integra SiftGPU y ajuste de paquete multinúcleo desarrollado por Changchang Wu, ingeniero de software de Google en el campo de realidad virtual[56].



Figura 5.7. Logo VisualSfM [57]

La aplicación integra identificación desde rasgos de las imágenes hasta la reconstrucción de la nube de puntos de alta densidad con un manejo de la misma altamente simplificado y una operación rápida. Su interfaz consta de elementos navegables por menú, con visualización interactiva al tiempo que se procesa la reconstrucción, también posteriormente a la creación de la nube de puntos es posible agregar más imágenes y procesarlas en adición a las existentes.

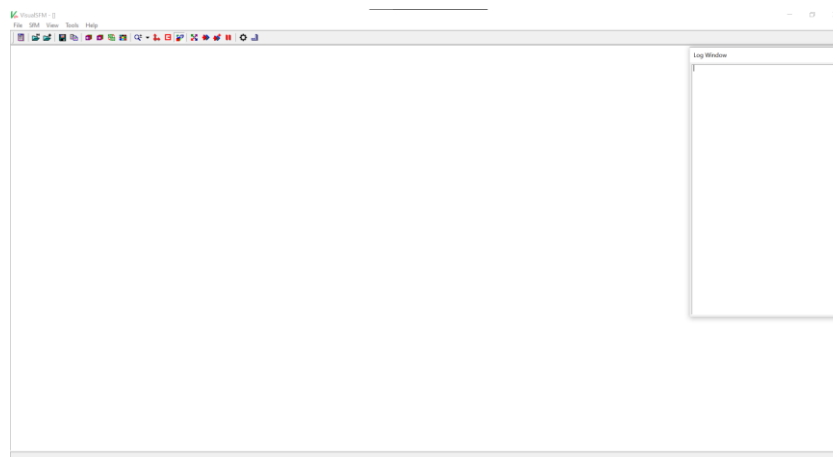


Figura 5.8. Entorno de trabajo VisualSfM

Existen versiones de 32 y 64 bits en distintos sistemas operativos. VSFM recurre a muchos de los mismos algoritmos y paquetes de software que otros programas, y que en algunos casos deben agregarse manualmente a la instalación.

Para poder crear reconstrucciones de alta densidad, este programa aprovecha las herramientas PMVS/CMVS del investigador Yasutaka Furukawa y pueden preparar los datos para las herramientas CMP-MVS de Michal Jancosek descargables de la plataforma GitHub, además VisualSfM es compatible de forma nativa con SURE (*Photogrammetric Surface Reconstruction from Imagery*) de Mathias Rothmel y Konrad Wenzel [58].

5.6. SCENE CAPTURE

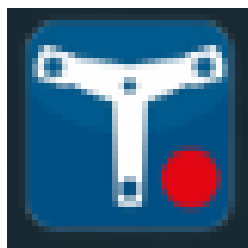


Figura 5.9. Icono de FARO SCENE [59]

SCENE Capture es un software libre ofrecido por FARO Technologies Inc., empresa industrial especializada en fabricación de tecnología de medición portátil, permite a cualquier persona con Microsoft Kinect para Xbox y Windows, ASUS Xtion Pro Live1 o FARO Freestyle 3D capturar entornos y objetos en 3D [60],[61].

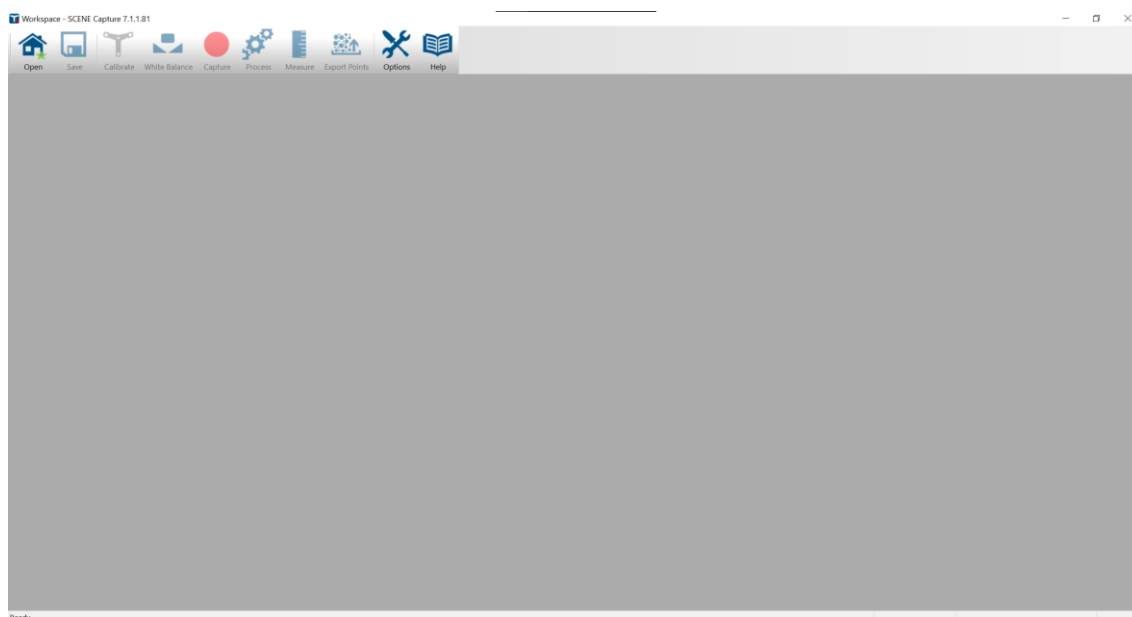


Figura 5.10. Entorno de trabajo SCENE Capture

Mientras se realiza la adquisición de datos, los sensores capturan datos que se utilizan para seguir el movimiento del dispositivo y generar una nube de puntos tridimensional coloreada de los elementos y entornos capturados. El dispositivo ha de moverse a lo largo y alrededor del objeto a representar. Este movimiento por parte del dispositivo se rastrea, reconociendo características distintivas identificables dinámicamente en los datos capturados, y la posición de cada fotograma capturado se aproxima mediante el registro y solape a su fotograma anterior, de forma similar a la reconstrucción fotogramétrica. Como método para la reducción del volumen de los datos, los “fotogramas de referencia” se seleccionan del flujo de datos. Estos píxeles o puntos de los fotogramas referencia se utilizarán para construir el modelo tridimensional en color del objeto o entorno capturado [35].

El resultado de este sistema es una captura en un rango máximo entre 2,5 y 8m dependiendo de las condiciones, a color que incluye imágenes con los que se puede reproducir un modelo tridimensional completo, desde personas, entornos, objetos, etc. Los modelos generados se pueden generar y almacenar en distintos formatos y ser



utilizados o leídos con diferentes programas CAD y o de edición de nubes de puntos o que pueden ser usados para impresión 3D.

El sensor de captura puede conectarse al PC. Al comenzar el escaneo, el software SCENE Capture va generando el modelo en el ordenador como una nube de puntos. Una vez que se han capturado los datos tridimensionales, es posible visualizarlos y analizarlos o medir distancias entre objetos [60].

	ESPECIFICACIONES MINIMAS	ESPECIFICACIONES RECOMENDADAS
PROCESADOR	Dual-Core x64 con al menos 2GHz	Cuad-core x64, Intel Core i7/xeon, 8 nucleos
TARJETA GRÁFICA	Tarjeta gráfica con soporte para OpenGL4.1 o superior y al menos 2GB	Tarjeta gráfica dedicada de al menos 4GB y soporte para OpenGL 4.1, NVIDIA Quadro (Stereo Rendering)
MEMORIA RAM	Al menos 16 GB	64GB
DISCO DURO	256 GB Estado Solido	512GB Estado solido
S.O.	Windows 7 x64	Al menos Windows 7 x64
MISC.	Raton con dos botones y rueda central, tarjeta de red	

Tabla 5.5. Tabla de especificaciones mínimas y recomendadas para SCENECT [60]

6. METODOLOGÍA

6.1. LÁSER ESCÁNER

Se describe el proceso para la generación de modelos tridimensionales a través de Láser Escáner, según la propuesta metodológica aplicada para cada uno de los procesos de forma general.

6.1.1. Escaneo y generación de nubes de puntos

Para la toma de datos se dispuso del Laser-Escáner Leica RTC360 3D, manejado por medio de una tableta y el software controlador comercial Leica CYCLONE FIELD 360, para seleccionar la resolución del barrido y realizar las operaciones con el láser-escáner.



Figura 6.1. Dispositivo controlador con el software Leica Cyclone Field 360 y el Láser Escáner RTC360 3D

Previamente a comenzar con la toma de datos se estacionó el aparato sobre un trípode e instalaron una serie de tres dianas de referencia con el objetivo de conseguir el solape posterior vía tratamiento de las nubes brutas de puntos, que en ningún momento se desplazaron. Se establecieron una serie de estacionamientos del aparato, todos ellos accesibles visualmente tanto a las dianas, como al objeto de interés.

Se realizó una toma de datos exhaustiva, en la que se tomaron mapas de puntos desde 9 posiciones distintas, tratando de maximizar la superficie a posteriormente representar, y generando de esta manera 9 nubes de puntos brutas.



Figura 6.2. Imágenes representativas de la cobertura de los escaneos

Cada toma del equipo constó de un barrido en sentido horario, y otro barrido más rápido en sentido antihorario. Las tomas de datos se ejecutaron de modo semiautomático: por medio de la tableta, con el controlador se iniciaba cada toma y se evaluaba, nombraba y guardaba la anterior.



Figura 6.3. Salida gráfica por pantalla del láser escáner previo lanzamiento del escaneo y tras la operación

Se puede apreciar en la imagen anterior las posibilidades que brindaba el aparato, permitiendo su operación por medio de su pantalla táctil, además de por su dispositivo controlador, así como poder visualizar el resultado del escaneo una vez finalizada la operación y la posibilidad de su guardado.

6.1.2. Gestión de las nubes de puntos

La unión de las nubes de puntos se realizó mediante el software comercial de Leica Cyclone, REGISTER 360, este proceso duro aproximadamente 8 horas. El proceso se compuso de las operaciones habituales de importación de la nube, alineación y registro, optimización y exportación.

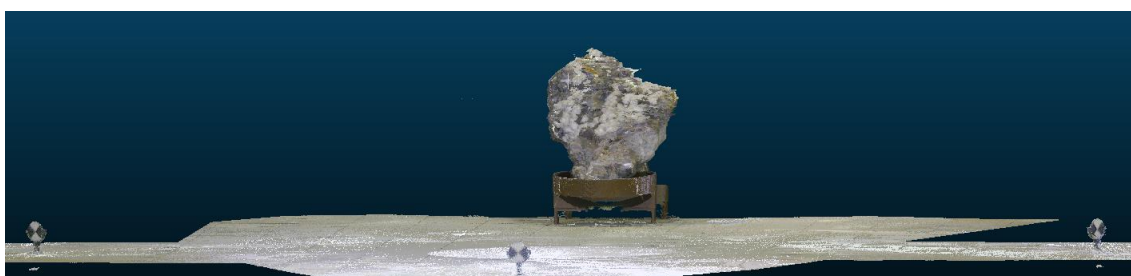


Figura 6.4. Nube de puntos masiva con dianas visibles

El empleo del software resultó ineludible para la el tratamiento inicial de las nubes y su exportación. Dado que el presente TFG se centra fundamentalmente en el empleo de software libre, no se llevarán a cabo menciones subsiguientes al proceso de tratamiento inicial de la nube, que por otro lado siguió los cauces habituales anteriormente mencionados.

6.1.3. Postprocesado de las nubes de puntos

Para el postprocesado de las nubes de puntos se utilizó el software CloudCompare. La nube de puntos generada a partir del TLS y la generada por el método fotogramétrico



de corto alcance con cámaras no métricas se importaron en el programa por medio de la herramienta abrir, disponible en el menú o en el desplegable “Archivo - Abrir”.



Figura 6.5. Herramienta Abrir para la importación de la nube de puntos

Esta herramienta permite la apertura de una ventana a través de la cual se buscó la ubicación del archivo a cargar. Seguidamente se importó el archivo “.pts” que contiene la nube bruta de puntos.

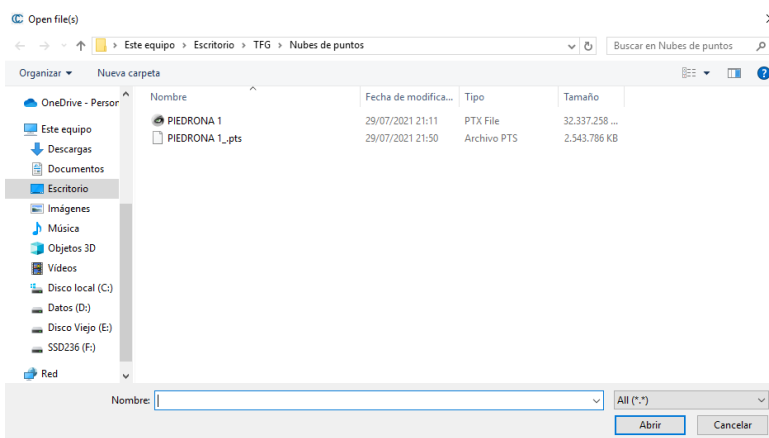


Figura 6.6. Ventana desde la que se importara la nube de puntos

Una vez cargada la nube de puntos fue necesario acotar los elementos de la nube de puntos a representar. Dada la masiva cantidad de información que el proceso de captura del láser-escáner permite captar, manejar el archivo completo supone una carga innecesaria para el equipo utilizado para el postprocesado, la herramienta fue igualmente utilizada para separar el elemento del entorno capturado en el caso fotogramétrico, y dificulta las operaciones posteriores. Para realizar este acotado se utilizará la herramienta “Segmentar”, ubicada en el menú superior del programa.



Figura 6.7. Herramienta "segmentar" localizada en el menu

La herramienta congela el espacio de trabajo y permite realizar un área por medio del trazado de una polilínea en la que envolver el elemento deseado. Tras envolver el mismo, en la parte superior aparece un menú con múltiples opciones, entre las que puede seleccionarse el área encerrada en la polilínea o la exterior, por medio de la opción “Segment In” o “Segment Out”. A través de la opción “Pause segmentation” puede rotarse la pieza para continuar haciendo segmentaciones, una vez obtenido el resultado deseado, por medio de “Confirm segmentation” confirmaremos los cambios y se obtendrá el subconjunto de la nube de puntos deseada.

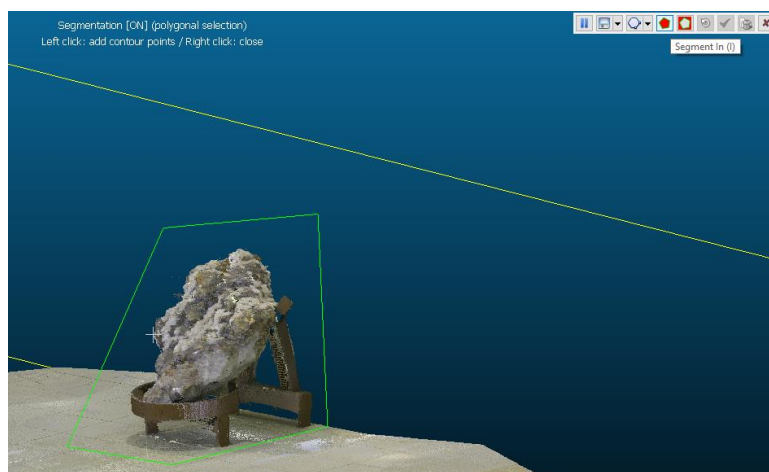


Figura 6.8. Proceso de segmentación por medio de polilínea y menú para la operación

Se eliminaron todos aquellos elementos que pudieran dificultar el proceso de mallado posterior y que no son necesarios para el caso de estudio. Los resultados de la segmentación son mostrados en la siguiente imagen:



Figura 6.9. Resultado de la segmentación, subconjunto con "La Piedrona"

Una vez aislado el elemento a representar, se procedió a eliminar el “ruido”, aquellos puntos aislados o desplazados por la interacción entre el láser y la superficie, así como puntos solapados o con pocos “puntos vecinos” que pueden alterar la forma generada en el mallado posterior. Estos puntos pueden apreciarse como pequeños subconjuntos y “haces” en la nube de puntos. Estos elementos puntuales que conforman el ruido se pueden apreciar en la imagen anterior, y para su eliminación se recurrió al filtrado por medio de la herramienta “Filtro SOR” localizado en el desplegable “Herramientas – Limpiar – Filtro SOR”. Para el caso fotogramétrico se procedió a la eliminación manual dado lo grosero del ruido y la menor densidad de las nubes.



Figura 6.10. Localización de "Filtro SOR"

Habiendo hecho clic en la herramienta, aparece un cuadro de dialogo donde se pregunta por la cantidad de puntos vecinos con los que se determinará la distancia media y el valor del umbral por el que se multiplicará la desviación estándar. Tras varias pruebas se determinó que con un valor de 100 puntos vecinos y un valor multiplicador 1, se obtenían buenos resultados para la eliminación de subconjunto de puntos en la zona interior de la nube de puntos, y se eliminaba el ruido en la cobertura de la misma, así como aquellos puntos exteriores a la nube principal. Al pulsa “Aceptar” se ejecuta la limpieza en unos pocos segundos.

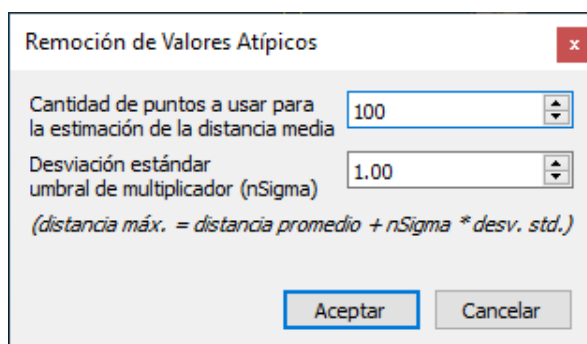


Figura 6.11. Ventana de "Filtro SOR", para eliminación de valores atípicos

Los resultados obtenidos son una clara limpieza de puntos dispersos alrededor de la nube principal, la desaparición de haces de puntos sobre la superficie, y también la desaparición de conos bajo la “envolvente externa” de la nube de puntos generados por imprecisiones en la captura y efectos debidos a la reflexión y refracción de los haces como consecuencia de las particulares características del objeto escaneado y sus cristales. Este proceso influye además en la densidad de puntos de la malla, en la que se eliminaron algo más de 600.000 puntos, reduciendo por tanto el tamaño de la nube y el volumen del archivo resultante. Los resultados de la limpieza de ruidos se muestran en la imagen siguiente:

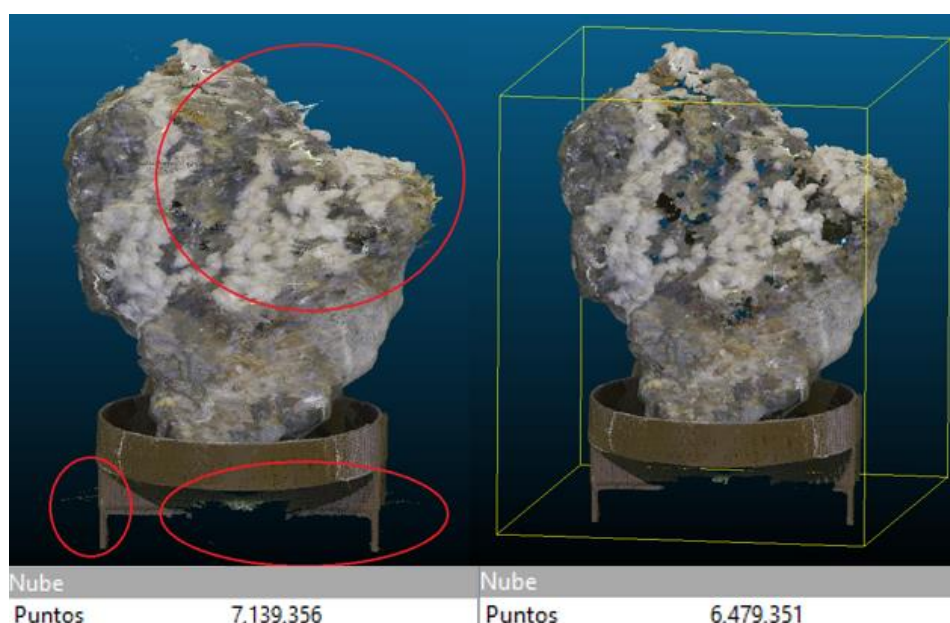


Figura 6.12. Resultados de la limpieza de ruidos y detalles de los principales tipos de ruido encontrados

A continuación, se describe el proceso de submuestreo de la nube de puntos solo ejecutada en el método TLS, consistente en la extracción de nubes de puntos a partir del modelo principal a partir de la distancia entre puntos, de esta forma se generarán 6 modelos para el estudio, con distancias entre puntos de 0,9mm, 1mm, 2mm, 3mm, 4mm y 5mm, con objeto de examinar los resultados del estudio con distintas resoluciones, y sus posibilidades para la difusión en función del volumen de los archivos resultantes. La operación de submuestreo se realizó mediante la herramienta “submuestreo” en el menú correspondiente.



Figura 6.13. Localización de la herramienta "Submuestreo"

Al hacer clic sobre la herramienta aparece una ventana en la que se preguntará el método de submuestreo, pudiendo elegir entre *octree*, espacio o aleatorio. Para este estudio se eligió el método aleatorio, y debiendo indicarse el espaciado mínimo entre puntos, que podrá ser manejado de forma manual mediante el desplazamiento de la barra azul (ver figura) o por medio de la edición de la cifra en el cuadro inferior. Además, se da la opción de utilizar el Campo Escalar activo, que no se activó en este caso, ya que no se consideró la intensidad para el submuestreo.

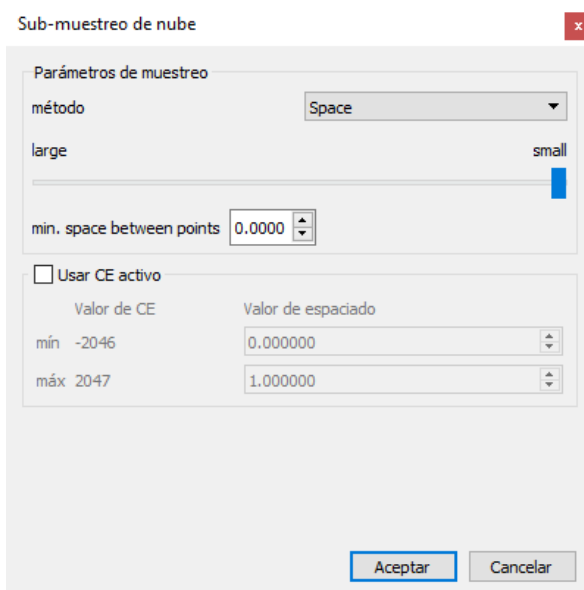


Figura 6.14. Ventana de opciones para el submuestreo

Los resultados serán una nube de puntos de aspecto muy similar, pero con una densidad de puntos mucho menor que se podrá percibir de forma visual, puesto que la nube se percibirá traslúcida o difuminada, pero con las mismas dimensiones. Se muestra a continuación la diferencia entre la nube original depurada y el submuestreo con distancia entre puntos de 5mm como ejemplo de máximo contraste:

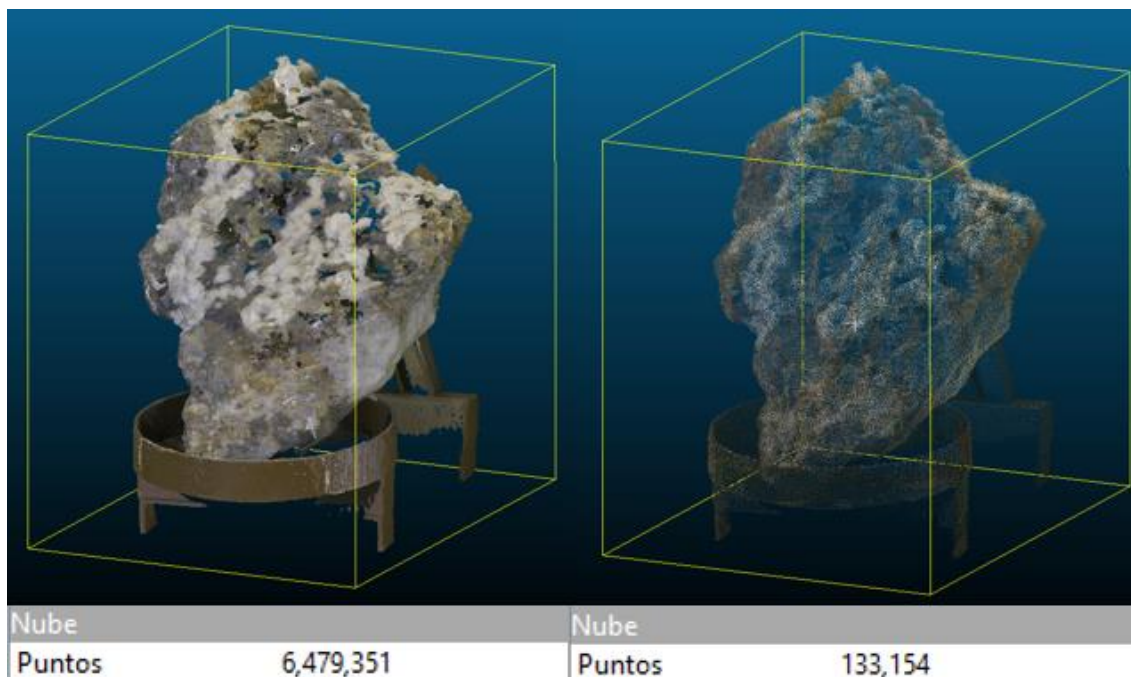


Figura 6.15. Diferencia entre la nube original y el submuestreo con distancia 5mm

Una vez realizados los submuestreos se generaron los *octree* de cada nube de puntos resultante de los mismos, por medio de la herramienta “Calcular Octree”, en el desplegable “Editar – Octree - Calcular”.



Figura 6.16. Localización de herramienta "Calcular Octree"

Al clicar una ventana con las opciones para la generación de la “Caja del Octree”, donde aparecerán las opciones “Por defecto”, “Tamaño de celda en nivel máx.” y “Caja contenedora personalizada”, se seleccionará “Por defecto” para todos los casos puesto que estas opciones no mejoraron posteriormente la generación de la malla en este estudio.

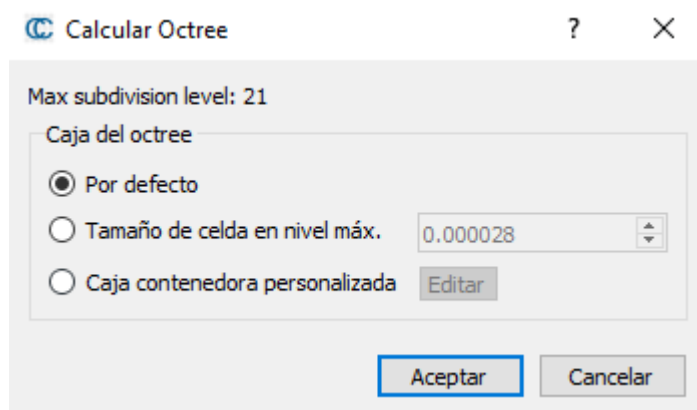


Figura 6.17. Ventana de opciones para "Calcular Octree"

El siguiente paso desarrollado en CloudCompare fue el cálculo de las normales, parte imprescindible para la generación posterior de la malla. Para ello se recurre a la herramienta “Calcular Normales”, dentro del mismo desplegable “Editar – Normales - Calcular”.



Figura 6.18. Localización de la herramienta "Calcular Normales"

Al clicar se aprecia una ventana con las opciones para el cálculo de normales, pudiendo seleccionarse el modelo local de superficie en función de las características del elemento representado por la nube de puntos. “Plano”, viene seleccionado por defecto, es robusto al ruido, pero funciona mal con superficies con bordes afilados y esquinas, “Triangulación”, funciona mal con el ruido, pero se comporta bien con bordes afilados, “Cuadrático” es muy efectivo en superficies curvas. Para el caso de estudio, pese a realizar filtrados de ruido, la densidad de la nube sigue siendo muy elevada, por lo que se eligió el modelo “Plano” por ofrecer mejores resultados en el momento del mallado. [62]

A continuación, se pide la especificación del radio, por lo que se hará clic en el botón “Auto” para que CloudCompare realice una aproximación, sino almacenara el valor del cálculo de normales anterior.

Por último, se marca la pestaña orientación y se seleccionará “Usar Árbol Recubridor mínimo” con el parámetro “knn=6” por defecto.

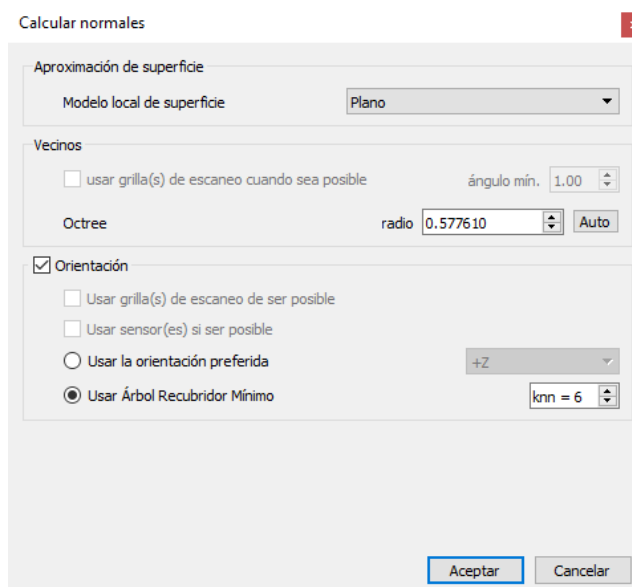


Figura 6.19. Ventana de opciones para el Cálculo de Normales

Una vez terminado el proceso de cálculo de normales, se procederá a exportar la nube de puntos como archivo “.ply” por medio de la herramienta “Guardar” en el menú o desde el desplegable “Archivo - Guardar” o con las teclas de acceso rápido “Ctrl+S”.



Figura 6.20. Localización de la herramienta "Guardar"

Al hacer clic aparece una ventana en la que se debe nombrar el archivo y el formato, de entre los posibles se seleccionará “.ply” y se hará clic en guardar.

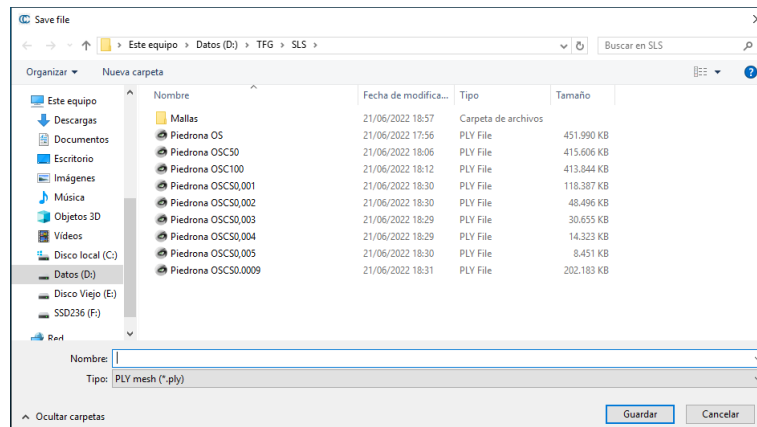


Figura 6.21. Ventana de guardado

Una vez realizada esta acción las nubes de puntos están listas para pasar al proceso de generación de malla.

6.1.4. Generación de malla

A partir de la nube de puntos postprocesada se generó una malla con el objetivo de reproducir la superficie del elemento a representar por medio del algoritmo de reconstrucción “Screened Poisson”.

Se importa en primer lugar la nube de puntos en formato “.ply” por medio de la herramienta “Import Mesh”, el nombre de la misma tiene que ver con que este programa está destinado de forma general al tratamiento de mallas triangulares.

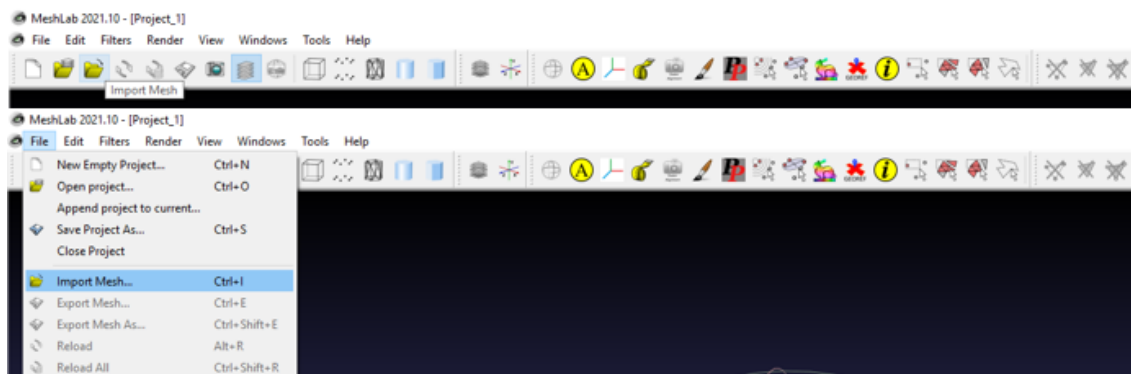


Figura 6.22. Localización de la herramienta "Import Mesh"

Aparece una ventana emergente, donde podrá buscarse la ubicación del archivo y seleccionarse.

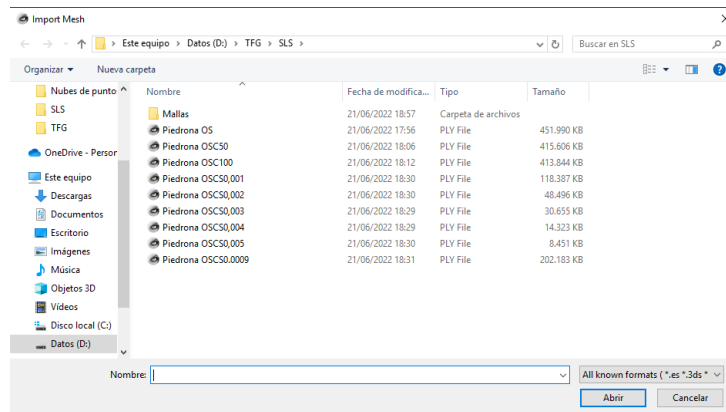


Figura 6.23. Ventana de importación de mallas o nubes de puntos

Para este procedimiento se seleccionó la nube de puntos a mellar y se uno de los siguientes métodos disponibles para crear la superficie en el desplegable “Filters – Remeshing, Simplification and Reconstruction – Surface Reconstruction: Ball Pivoting/ Surface Reconstruction: Screened Poisson/ Surface Reconstruction: VCG”

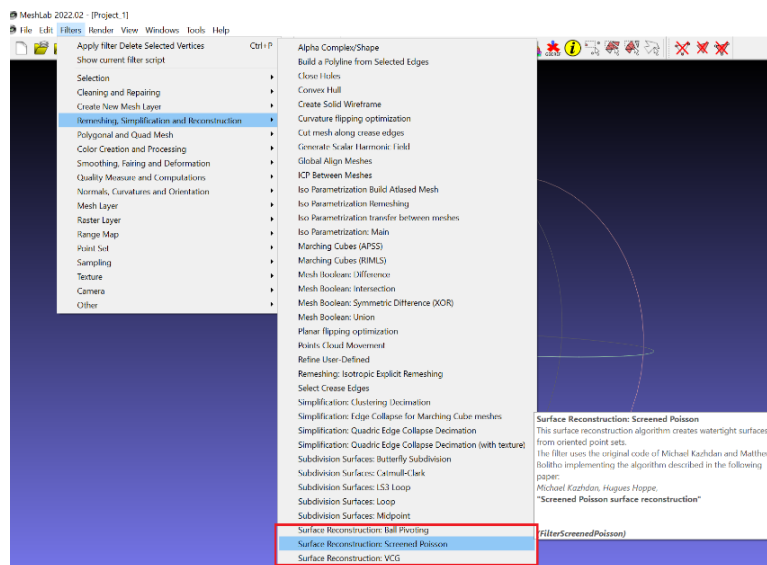


Figura 6.24. Posibles métodos de generación de mallas en Meshlab

Por cuestiones operativas se seleccionó el método “Screened Poisson”, puesto que para el tamaño de las nubes de puntos los tiempos de operación se vuelven mucho más largos por medio del método “Ball Pivoting” y el resultado es problemático. El método “VCG” requiere de la edición automatizada de la nube de puntos para generar las triangulaciones, pudiendo alterar las geometrías obtenidas.

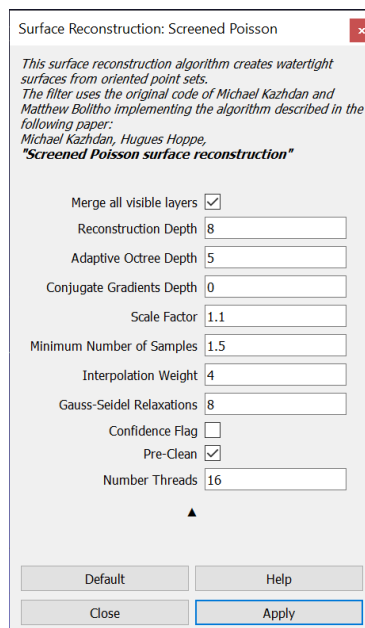


Figura 6.25. Parámetros modificables para la reconstrucción

El método “Screened Poisson” genera una malla en función de varios parámetros que permitirá su variación. La modificación de los mismos repercute en la definición de la misma, así como su densidad. Cuanto mayor definición se desee, mayor será el tiempo de procesado y mayor la densidad, y por lo tanto mayor dificultad para el manejo de las mismas. Puesto que no se encontraron ventajas especialmente destacables para las nubes de puntos, se eligió el uso de los parámetros standard para la reconstrucción.



Figura 6.26. Reconstrucción “Screened Poisson” del submuestreo 5mm

Esta reconstrucción trata de convertir la nube de puntos en una malla cerrada, pero dada la densidad de puntos y el hecho de que no toda la superficie del elemento pudo ser capturada durante la fase de escaneo hace que aparezcan ciertos huecos en la nube de puntos y la reconstrucción de la superficie generara “burbujas” no siempre cerradas durante la generación de la malla.

Una vez realizados estos cambios se procederá a exportar la malla depurada por medio del desplegable “File – Export Mesh As...”.



Figura 6.27. Localización de la herramienta "Export Mesh As..."

Al seleccionar aparece una ventana donde se permitirá nombrar el archivo y seleccionar el formato de exportación, simplemente con hacer clic en “Guardar” se crea un nuevo archivo con la malla depurada.

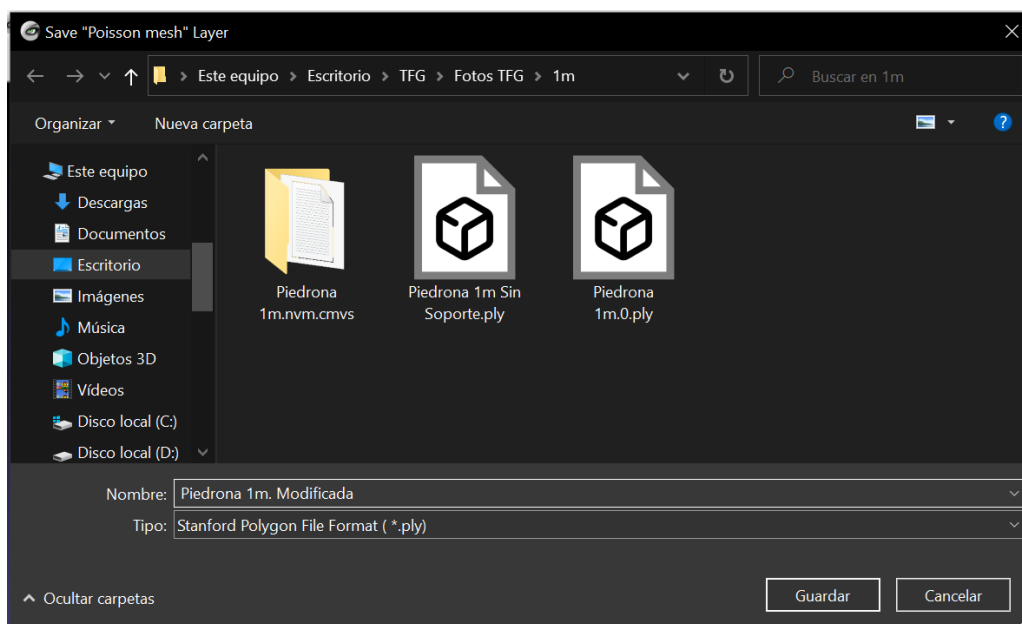


Figura 6.28. Ventana de exportación de malla

6.2. FOTOGRAMETRÍA DE CORTO ALCANCE CON CAMARAS NO MÉTRICAS

Se describe el proceso de generación de modelos tridimensionales a través de fotogrametría de corto alcance con cámaras no métricas, según la propuesta metodológica aplicada para cada uno de los procesos de forma general.

6.2.1. Toma de datos con cámara fotográfica

Se tomaron series de fotografías con dos cámaras de distintas características, y ocultando elementos cercanos al elemento de características similares y gran contraste de color por medio de una sábana, en ambos casos se realizaron tomas en tres rangos de distancia de 2,5m, 1m y a 30cm, tratando de realizar la mayor cobertura posible a la superficie del elemento a representar.

- Canon SX520HS, se obtuvieron el número de 231 fotografías, 80 a 2,5m, 41 fotografías a 1m, 110 fotografías a 30 cm,
- Canon EOS 200D, se realizaron un total de 181 fotografías, 38 a 2,5m, 48 a 1m y 95 a 30cm.

Hay que señalar que la gran cantidad de tomas resultante a la distancia de 2,5 m con la primera cámara, se realizó para confirmar el método operativo de captura. Esto fue debido a problemas detectados en sesiones previas realizadas a modo de prueba, debido a elementos del entorno como los expositores de minerales de la Exposición Lorenzo Pfersich, que en trabajo posterior de tratamiento y por la heterogeneidad de los textos e imágenes que exponen en ambos lados del mismo, generaba problemas al algoritmo de acople de pares fotográficos, descolocando los mismos y arruinando los modelos. Este fue el motivo de ocultar una cara de los expositores. También se planteó la posibilidad de utilizar un sistema de dianas de colores adhesivo, pero se desechó la idea, puesto que podría alterarse el elemento patrimonial a representar.

6.2.2. Tratamiento de las fotografías

Por medio del uso del software Visual SFM se obtuvo una nube de puntos a partir de las fotografías tomadas en campo.

Las capturas almacenadas en una carpeta se agregaron mediante el menú “File - Open Multi Images” o el botón de la barra de herramientas.

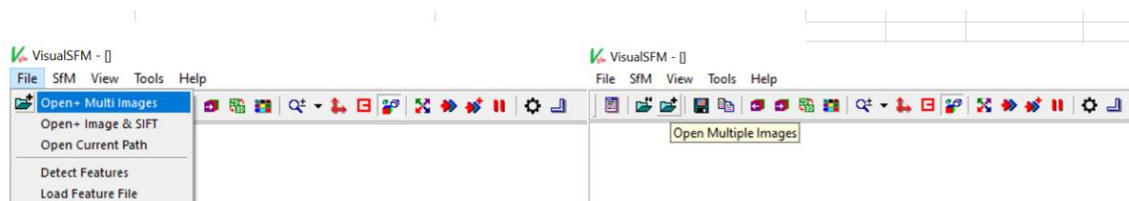


Figura 6.29. Proceso de carga de capturas

Una vez seleccionadas, se inició el proceso del reconocimiento y concordancia de rasgos desde el menú “SfM - Pairwise Matching - Compute Missing Match” o el botón de la barra de tareas. Las tomas se realizaron en una secuencia espacial larga o se utilizó la opción “SfM - Pairwise Matching - Compute Sequence Match” para ahorrar tiempo, ya que solo tiene en cuenta las coincidencias entre imágenes precedentes y consecuentes de cada toma, sin tener en cuenta la totalidad de combinaciones posibles.



Figura 6.30. Proceso de reconocimiento y concordancia

A continuación, se realizó la reconstrucción dispersa por medio de “SfM - Reconstruct Sparse”.



Figura 6.31. Proceso de reconstrucción dispersa

En caso de que la generación de modelo tridimensional disperso diese lugar a varios modelos, es posible tratar de fusionar los mismos por medio de la herramienta “Merge Sparse Models” disponible a través del desplegable “SfM – More Functions – Merge Sparse Models”. Esta fusión puede realizarse únicamente en el caso de que el algoritmo encuentre coincidencias suficientes entre pares de los distintos modelos y a costa de eliminar algunos de los puntos generados en ambos modelos.

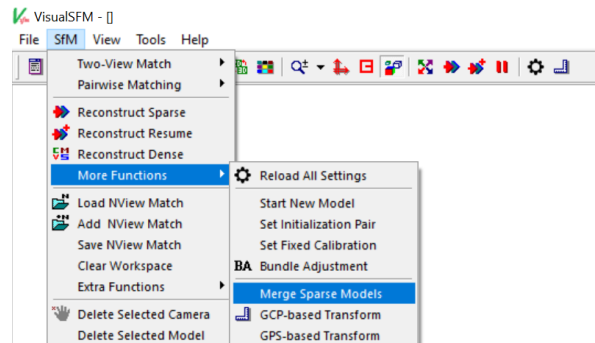


Figura 6.32. Proceso de fusión de fotografías

Por último, se generó la nube de puntos de alta densidad, por medio de “Sfm - Reconstruct Dense” o el botón del menú. Esto invoca al paquete CMVS/PMVS, que se agregó de forma manual en la instalación.



Figura 6.33. Proceso de creación de nubes de alta densidad

El programa pide guardar un archivo “.nvm” y crear una carpeta “.nvm.cmvs”.

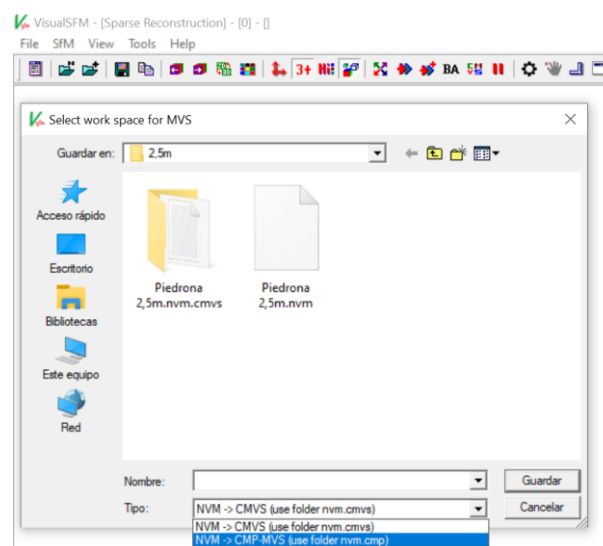


Figura 6.34. Creación de archivo y carpeta “.nvm.cmvs”

Al terminar, se crea un archivo “.ply” con el mismo nombre, que podrá visualizar directamente en VSfM apretando la tecla Tabulador, o abrir en Meshlab para su posterior edición.

Cabe destacar la velocidad con que se procesan la detección de rasgos y la formación de la nube de puntos dispersa, que se generan en pocos segundos para el número de imágenes tomadas, si bien es cierto que este tiempo se incrementa en gran medida cuanto mayor número de fotografías se incluyan en el proceso. Procesar la nube densa toma más tiempo, y para un alto número de fotografías puede requerir varias horas o incluso días si son muchas fotografías o el ordenador que realiza la operación no tiene gran capacidad de procesamiento.

6.2.3. Generación de malla

A partir del uso de Meshlab es posible importar las nubes de puntos de alta densidad creadas a partir de VisualSFM y generar mallas triangulares por medio de diversas herramientas que dependen de algoritmos para la creación de las mismas. Además, El programa permite la edición de las mallas, su simplificación, además de otras operaciones.

6.2.3.1. Depuración de nube de puntos de alta densidad

Se importa la malla generada de forma homóloga a como se hizo en el caso del láser-escáner en el epígrafe 6.1.4.

En primer lugar, se procede a realizar una limpieza manual de los puntos generados por la captura del entorno del elemento y que no son interesantes para la representación del mismo, además generarían ruido y errores en la generación de la malla. También se examinan posibles “puntos falsos” que puedan haberse generado el montaje de las imágenes y producción de la nube de puntos de alta densidad.

Esto se consigue con el uso de la herramienta “Select Vertices” del menú y se encierran los puntos a eliminar por medio de clic y arrastrar.



Figura 6.35. Herramienta de selección de vértices en Meshlab

Para eliminar los puntos se hace uso de la herramienta “Delete Selected Vertices”, disponible en el menú, con las teclas de acceso rápido “Ctrl+Supr” o mediante el desplegable “Filters - Selection – Delete Selected Vertices”

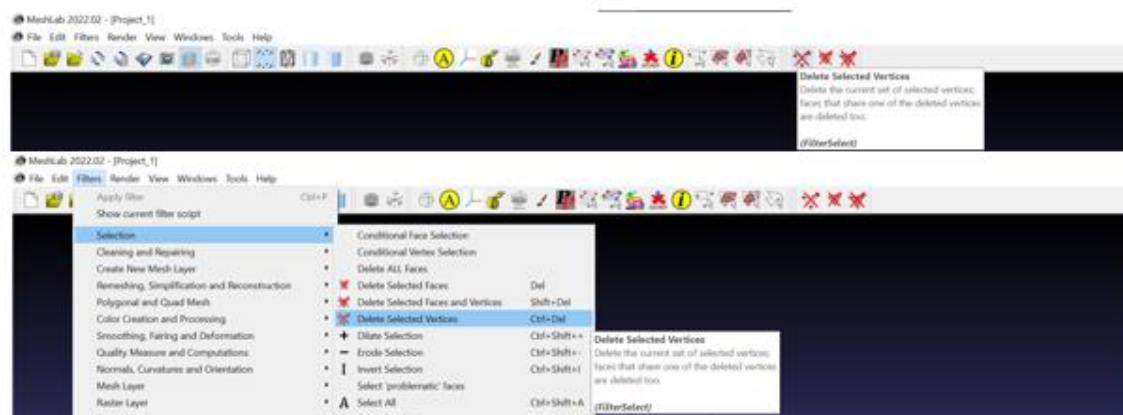


Figura 6.36. Herramienta de borrado de vértices en Meshlab

De este modo se eliminan todos los puntos sobrantes que dificulten el posterior proceso de generación de malla. Además, se facilita el trabajo en el programa puesto que no hay elementos superpuestos que obstaculicen la visión o interfieran en la posible selección de otros elementos. Se muestran los resultados del proceso en la siguiente imagen:

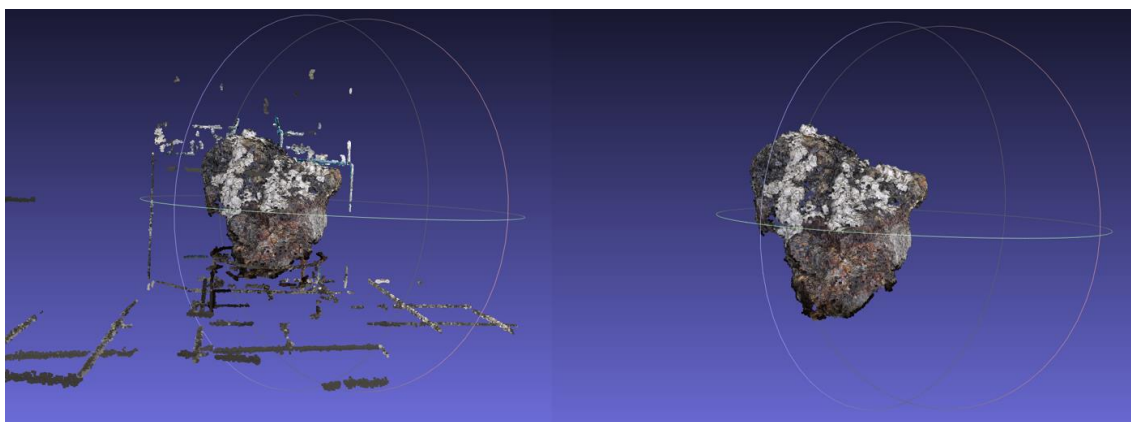


Figura 6.37. Ejemplo de resultado de eliminación de puntos sobrantes sobre una de las nubes de puntos

6.2.3.2. Creación de la malla

El paso siguiente es la generación de la malla a partir de la nube depurada de puntos, este proceso se puede llevar a cabo de forma sencilla gracias a las herramientas implementadas en el programa. A pesar de ser un proceso sencillo, el tiempo de procesamiento depende en un principio del sistema de algoritmos deseado para la generación de la misma y de la densidad de la nube de puntos. Se utilizará la reconstrucción “Screened Poisson” que se ejecutará del mismo modo que en paso de reconstrucción del caso de láser-escáner recogido en el epígrafe 6.1.4.

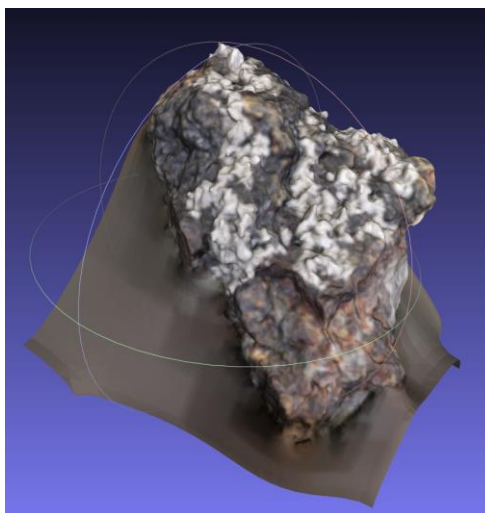


Figura 6.38. Construcción de malla como superficie de Poisson de una de las nubes de puntos

El resultado de la creación de superficie es una malla adaptada a la superficie del elemento, pero al existir huecos, se generarán triangulaciones erróneas que deberán eliminarse ya que no son representativas del modelo y que se verán representadas como una “sabana” o “burbuja” que cubre las aristas donde existen dichas discontinuidades en la nube de puntos.

6.2.3.3. Depuración de la malla

Una vez realizada la reconstrucción de superficie, se procedió a eliminar aquellos elementos erróneos no pertenecientes al modelo que se han generado automáticamente durante el proceso de mallado. Este proceso cuenta con dos pasos, el primero, la eliminación de caras de tamaño excesivo que conforman la mencionada “sabana” o “burbuja” generada por la reconstrucción de Poisson por medio de la selección de sus facetas o caras de tamaño excesivo y su remoción junto con sus vértices. En segundo lugar, se eliminaron aquellas facetas residuales que estaban dentro del tamaño medio del modelo, pero que se encontraban conformando el defecto y que ahora habrían quedado aisladas.

En primer lugar, se procedió a eliminar las caras con un tamaño de tamaño superior a la media, haciendo uso de la herramienta de selección “Select Faces with edges longer than...”, localizada en el desplegable “Filters – Selection - Select Faces with edges longer than...”

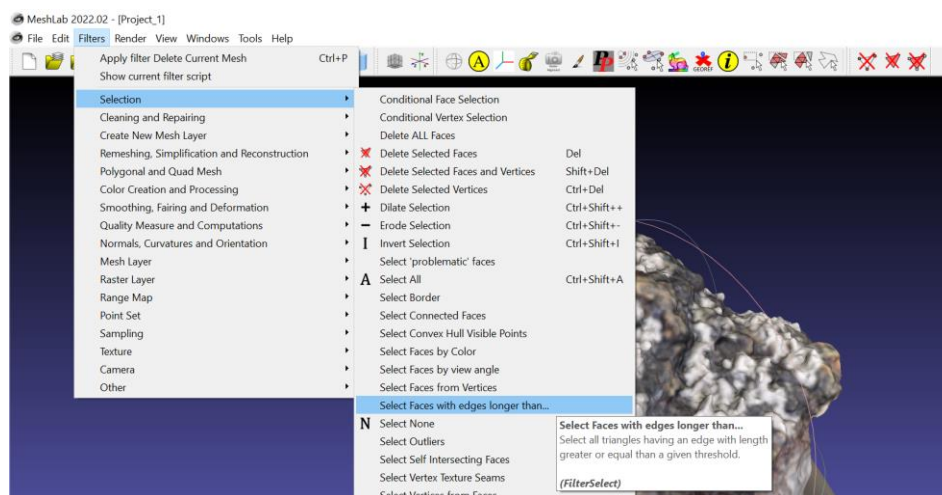


Figura 6.39. Selección de triángulos de dimensiones discordantes

A continuación, aparece un cuadro de dialogo interactivo que permite seleccionar el tamaño máximo de lado de cara desplazando la barra azul, en el cual se recoge el valor medio por defecto. Marcando la pestaña “Preview” puede verse la selección de los elementos a eliminar en tiempo real, pudiendo comprobar el resultado de la elección antes de pulsar “Apply”. Este cuadro permanecerá activo hasta la siguiente acción a ejecutar o su cierre, permitiendo seguir interactuando.

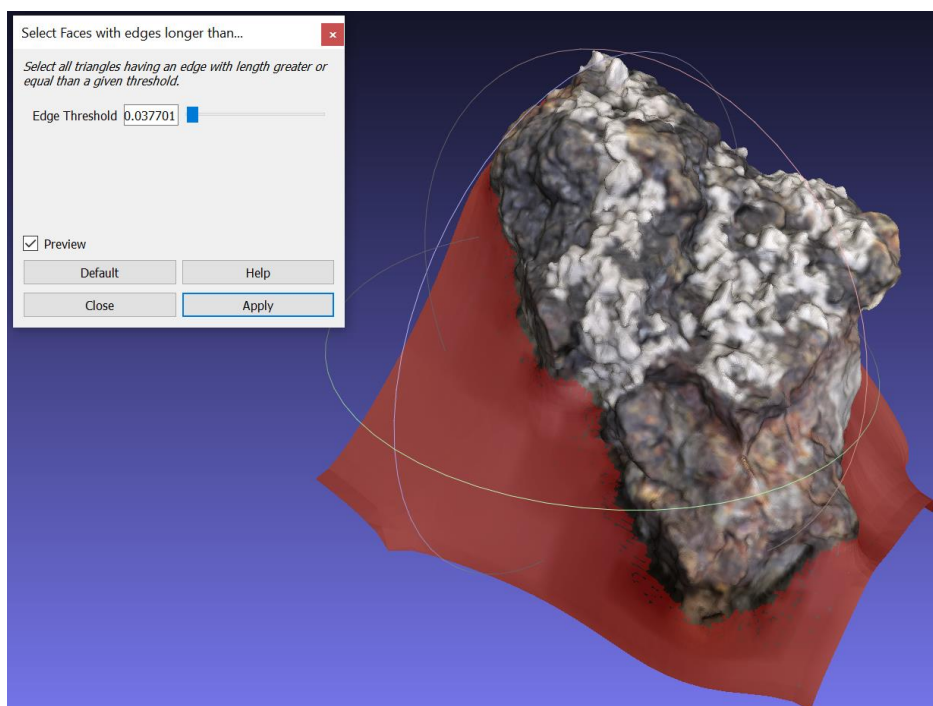


Figura 6.40. Cuadro interactivo para la selección de las caras según su tamaño

Una vez realizada la selección, el paso siguiente es el borrado de las mismas facetas junto con los vértices que las definen, evitando pasos innecesarios posteriores de filtrado. Este paso se realiza casi de forma análoga a la eliminación de puntos en el paso de depuración de la nube de puntos. Se puede realizar mediante la herramienta “Delete Selected Faces and Vertices”, las teclas de acceso rápido “Shift+Supr” o en el desplegable “Filters – Selection - Delete Selected Faces and Vertices”.

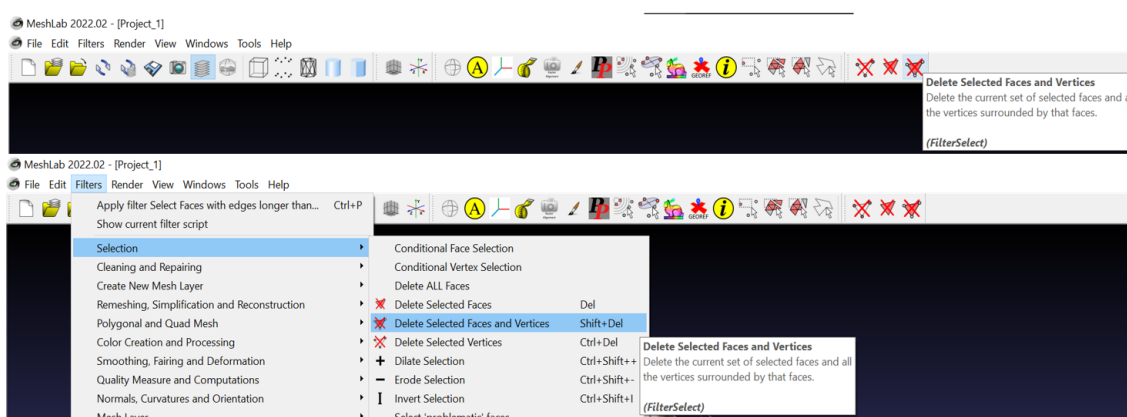


Figura 6.41. Herramienta borrada de caras y vértices

Los resultados de esta operación son la eliminación de la mayor parte de la “sábana” pero aquellas facetas con lados menores del tamaño medio establecido quedan aisladas del resto de la malla y aparecerán como pequeños elementos flotantes en el modelo. Es por ello que se ha de definir un método para su eliminación.



Figura 6.42. Resultados de la limpieza de caras discordantes, detalle de caras inconexas

Para la eliminación de los puntos aislados se utiliza la herramienta “Remove Isolated pieces (wrt Diameter)” a la que se accede por medio del desplegable “Filters – Cleaning and Repairing - Remove Isolated pieces (wrt Diameter)”. Esta herramienta permite la eliminación automática de aquellas facetas y puntos aislados que no tengan a su alrededor otros elementos conectados o suficientes elementos dentro del diámetro seleccionado. Además, ahorra la necesidad de selección de los mismos, por lo que es el método más que adecuado por su simplicidad y rapidez.

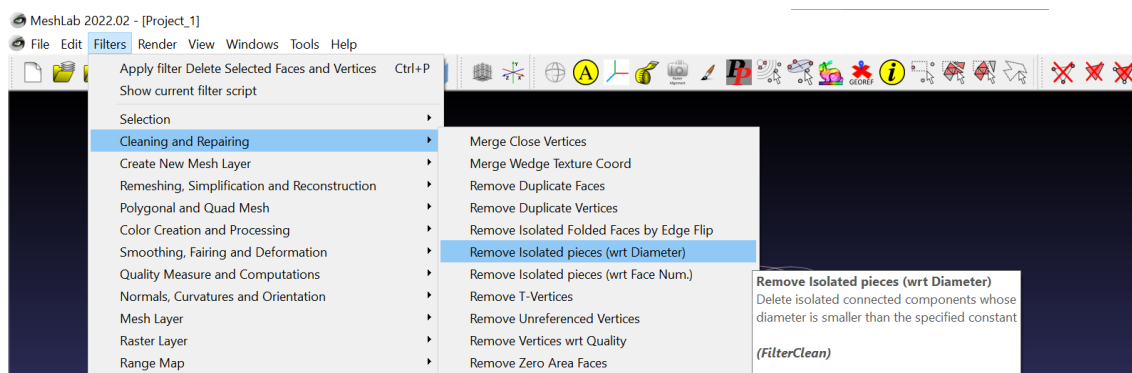


Figura 6.43. Herramienta de eliminación de elementos aislados según diámetro

Al utilizar la herramienta aparece un cuadro de dialogo donde aparecerán los valores por defecto y que podrán ser modificados, además marcando la pestaña “Remove unreferenced vértices” autorizaremos a la eliminación de las caras y los vértices, pulsando “Apply” procederemos a la eliminación de ambas, el proceso durara apenas un segundo.

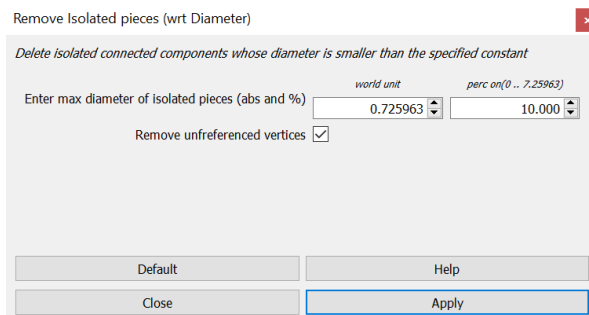


Figura 6.44. Cuadro de parámetros de herramienta de selección de elementos aislados por diámetro

Como resultado se obtiene una malla que, recortada en sus extremos, carente de los defectos generados por la reconstrucción de la superficie, como puede verse en la siguiente imagen.

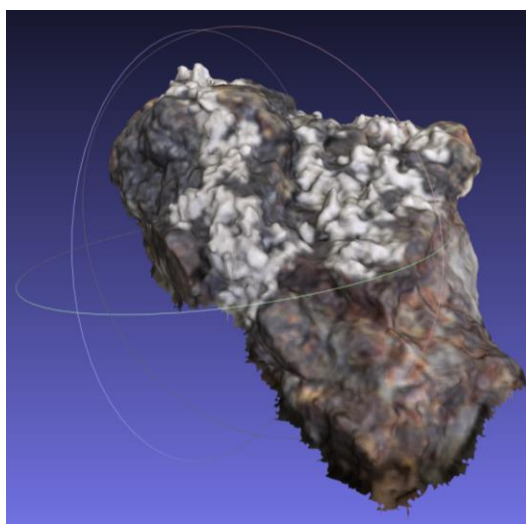


Figura 6.45. Resultado de eliminación de elementos aislados

Una vez realizados los cambios se exportará la malla del mismo modo que para el caso del láser-escáner definido en el epígrafe 6.1.4.

6.3. KINECT

Se describe el proceso de obtención de datos por medio del dispositivo Kinect por la técnica de captura por infrarrojos, así como la operativa para la generación de nubes de puntos de forma general.

6.3.1. Captura de datos

La captura de datos se realizó mediante el uso del dispositivo Kinect, conectado a un ordenador portátil, y a su vez a la corriente por las características del aparato. Se realizó un barrido de “La Piedrona” en sentido antihorario y luego horario, subiendo y bajando el dispositivo lentamente, puesto que es necesario un movimiento lento para no interrumpir la captura. El proceso fue lento y difícil por la necesidad de desplazar el ordenador cuando el cable que lo conectaba al dispositivo llegaba a tensarse.



Figura 6.46. Realización del escaneo con Kinect

6.3.2. Generación de nube de puntos

La generación de la nube de puntos se realizó al mismo tiempo que se tomaban la captura continua del elemento. Una vez terminada la captura, fue necesario guardar la misma y comenzar con el procesado de los datos, el cual requirió 3 horas y 16 minutos. A continuación, se describe el proceso de creación del archivo final.

6.3.2.1. Acciones previas a la captura

Este software permitió una rápida operación en cuanto a la fase previa a la captura, no necesita de la creación de un nuevo proyecto, si bien se detallan algunos aspectos importantes de cara a la toma de datos.

Puede realizarse cambios en los parámetros de escaneo por medio de la herramienta "Options"

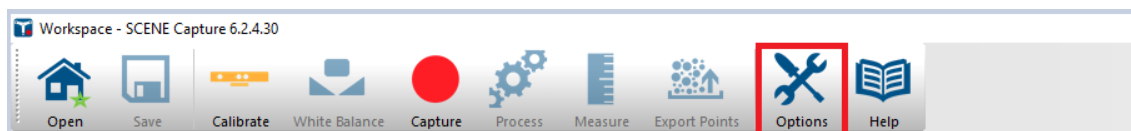


Figura 6.47. Localización de la herramienta "Options"

Al hacer clic aparece una ventana donde permitirá poner un nombre a la secuencia de escaneo y cambiar los parámetros de captura, en este caso no se cambiaron los valores por defecto.

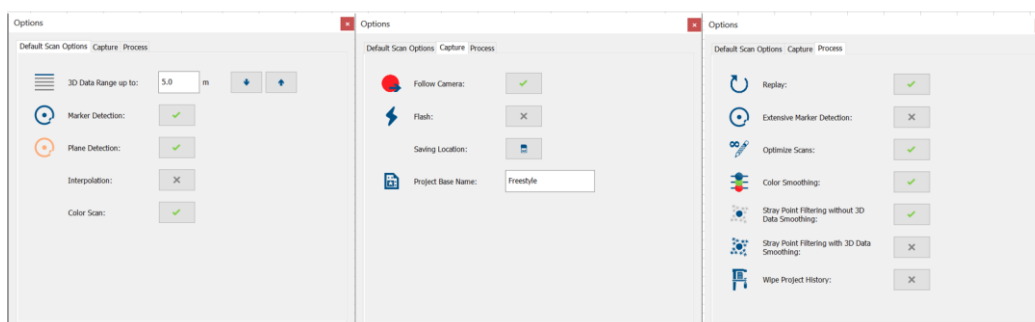


Figura 6.48. Ventana de configuración de parámetros de captura

En la ventana aparecerá una cinta de opciones en la que se podrán modificar y seleccionar parámetros de escaneo por defecto, parámetros de captura y del procesado de estos. En la "Default Scan Options" es posible seleccionar la profundidad de escaneo,

así como el tipo de detección que se desea realizar. En “Capture” podrán seleccionarse funciones de seguimiento de cámara, activación de *flash*, así como nombrar y ubicar el archivo de escaneo que se obtendrá. Por último, en “Process” se puede seleccionar las características del procesado de la nube de puntos que se genere tras la captura.

Cerrando la ventana, podrá calibrarse el sensor por medio de la herramienta “Calibrate”.

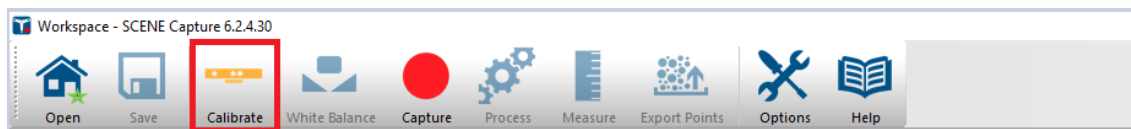


Figura 6.49. Herramienta de calibración del sensor

Una vez seleccionadas las opciones y calibrado el sensor, se procedió a la captura continua de datos haciendo uso de la herramienta “Capture”.

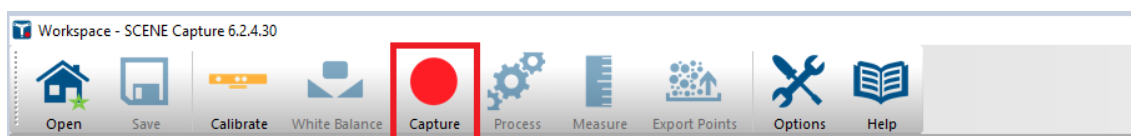


Figura 6.50. Localización de la herramienta "Capture"

Al hacer clic, la captura comenzará de forma automática, el sensor requerirá un tiempo para inicializar el sensor.

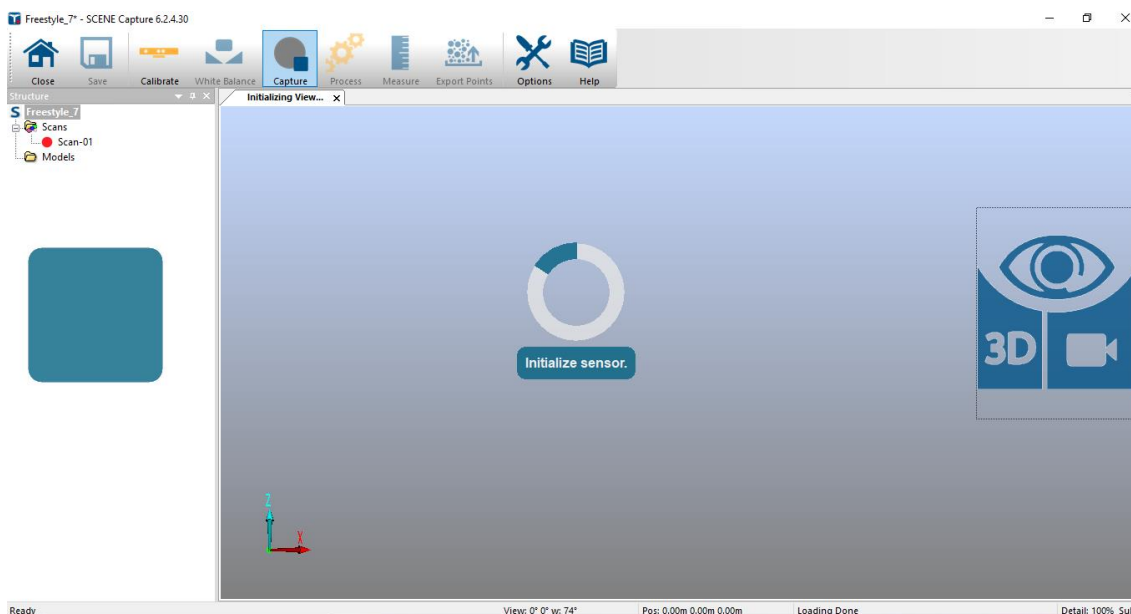


Figura 6.51. Inicialización del sensor y creación del archivo de escaneo

Se puede observar en la parte izquierda la generación del archivo de escaneo donde se almacenan los datos de la captura en tiempo real.

Durante la captura la interacción con el software durante la misma fue mínima, únicamente se utilizó la interfaz gráfica para comprobar que la captura se realizaba correctamente.

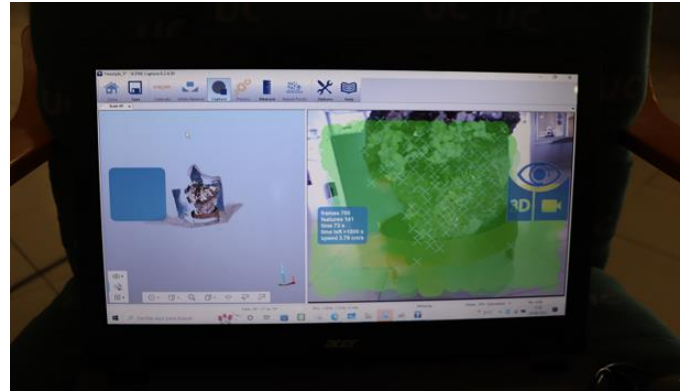


Figura 6.52. Visualización del proceso de escaneo en el ordenador portátil

En la imagen anterior puede observarse en verde aquellas zonas que se estaban escaneando con precisión en tiempo real, las zonas amarillas indican menos precisión en la toma, las zonas con menor precisión se verían corregidas a medida que se realizaba la envoltente de “La Piedrona”.

6.3.2.2. Acciones posteriores a la captura de datos

Una vez finalizada la captura se pulsa el botón “Capture” de nuevo (Figura 6.50), solo que esta vez cambiara el icono del mismo y su función la es la contraria, detener el escaneo.

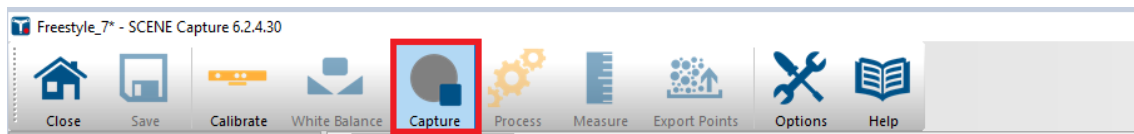


Figura 6.53. Localización de la herramienta “Stop Capture”

A continuación, utilizando la herramienta “Process” se podrá realizar el procesado de los datos capturados.

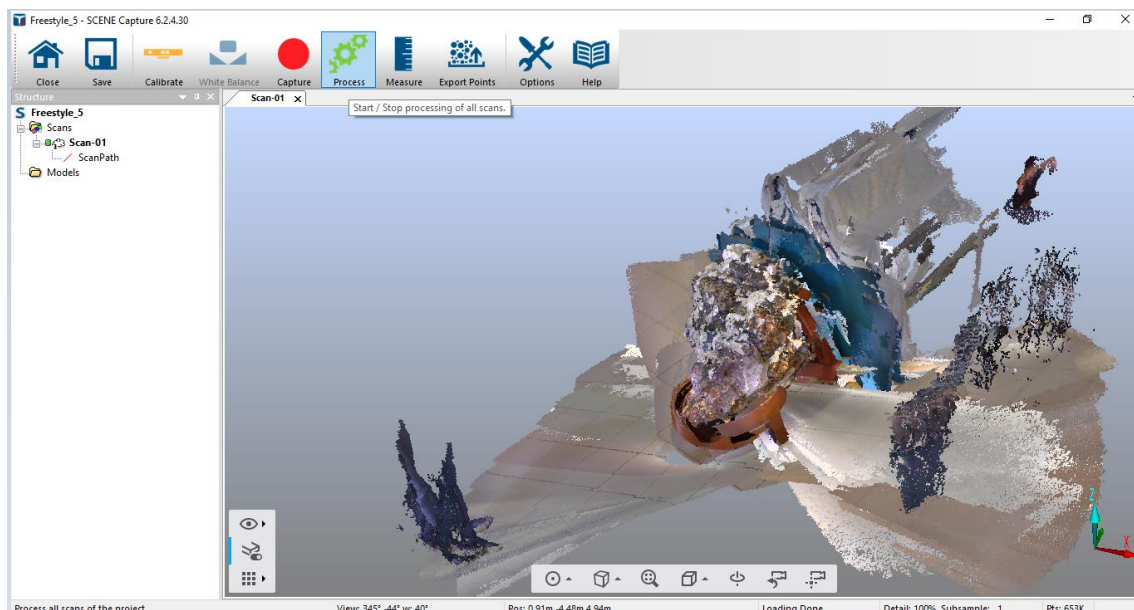


Figura 6.54. Localización de la herramienta “Process” y resultados del escaneo.



En la parte izquierda de la pantalla aparecerán los escaneos realizados, en este caso solo fue uno. A continuación, haciendo clic derecho en el archivo generado se seleccionará “Export” y donde aparecerá una ventana y se elegirá el formato deseado, en este caso “.pts”. A continuación, el programa comenzará a procesar el escaneo y generar el archivo de la nube de datos.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA APLICACIÓN DEL LÁSER ESCANER

7.1.1. Nubes de puntos

Se generaron doce nubes de puntos, las seis primeras mediante el método de “subsample” mediante CloudCompare, las seis siguientes se generaron a partir de un *sampling* a través de “Disc Poisson” a partir de las primeras.

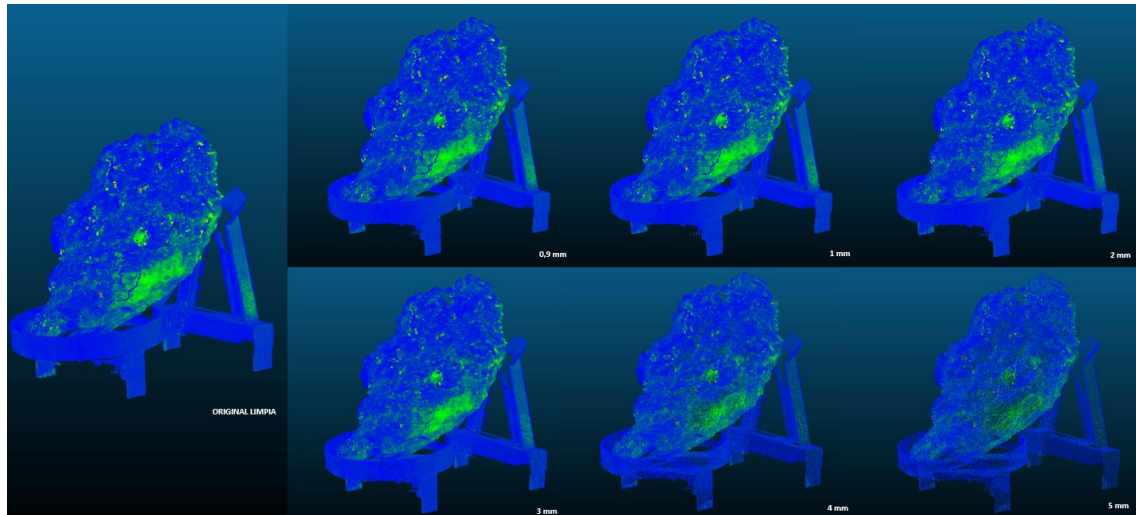


Figura 7.1. Nubes de puntos generadas por medio de subsampling a partir de la nube depurada original

El resultado grafico de las mismas es una simple difuminación debido al submuestreo de puntos, donde se reduce de forma homogénea el número de los mismos en función de un valor techo limite.

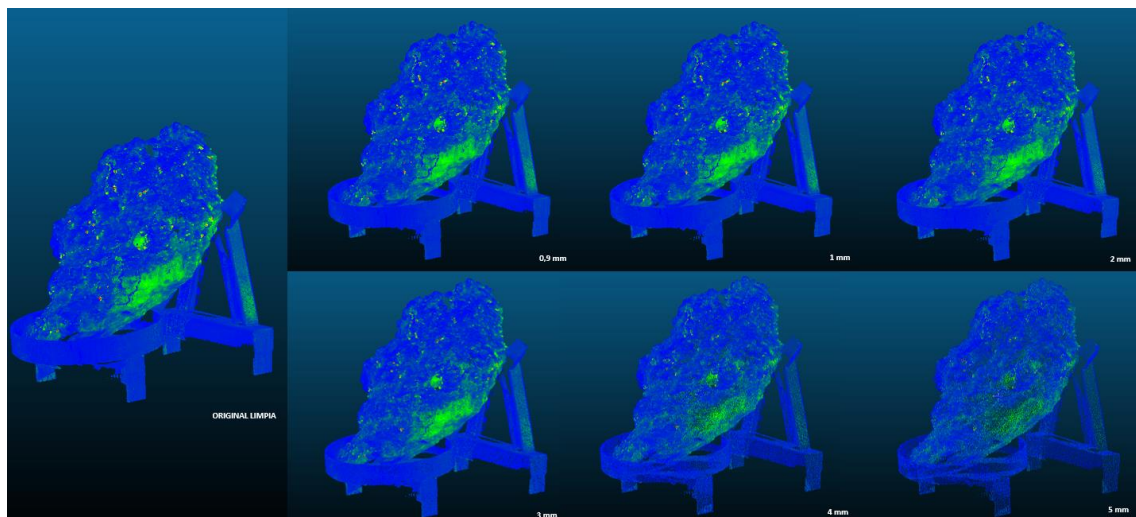


Figura 7.2. Nubes de puntos generadas a través de sampling mediante Disco de Poisson

Como puede observarse el resultado de este método genera nubes de puntos indistinguibles de los modelos generados mediante *subsample* con CloudCompare, la diferencia radica en que el método de *sampling* por Disco de Poisson mantiene los puntos del exterior recorriendo el algoritmo los puntos superficiales de la nube origen y desechando los interiores.

MUESTRA TLS	NUBE DE PTOS.	REC. POISSON
	PTOS	PTOS
NUBE OR. LIMPIA	6479351	3677398
SUBSAMP. D.P. 0,0009m	3174665	1698228
SUBSAMP. D.P. 0,001m	1858018	762660
SUBSAMP. D.P. 0,002m	763044	626752
SUBSAMP. D.P. 0,003m	482661	328255
SUBSAMP. D.P. 0,004m	225621	158712
SUBSAMP. D.P. 0,005m	133154	89943

Tabla 7.1. Características de densidad de nubes de puntos de TLS

La diferencia puede observarse en el número de puntos resultante de cada una de las nubes en la tabla superior, y en su volumen de datos en la siguiente tabla:

MUESTRA TLS	NUBE DE PTOS. (MB)	P.D. SAMPLE (MB)	% RED. DEPURADO
NUBE OR. LIMPIA	408,38	98,20	75,95
SUBSAMP. D.P. 0,0009m	197,54	45,35	77,04
SUBSAMP. D.P. 0,001m	115,56	39,76	65,59
SUBSAMP. D.P. 0,002m	47,41	16,74	64,70
SUBSAMP. D.P. 0,003m	29,97	8,77	70,74
SUBSAMP. D.P. 0,004m	14,00	4,24	69,72
SUBSAMP. D.P. 0,005m	8,26	2,40	70,90

Tabla 7.2. Características de volumen de datos de nubes de puntos de TLS

Puede observarse la enorme disminución de volumen del archivo final debido a la pérdida de densidad de puntos entre las nubes origen y a las que se realizó el *sample*.

7.1.2. Triangulaciones

Como segundo producto derivado de la primera metodología, se procedió a la obtención de las mallas trianguladas. Las siguientes imágenes ilustran las triangulaciones generadas a través de las nubes de puntos del TLS por medio de la herramienta de reconstrucción "Screened Poisson":

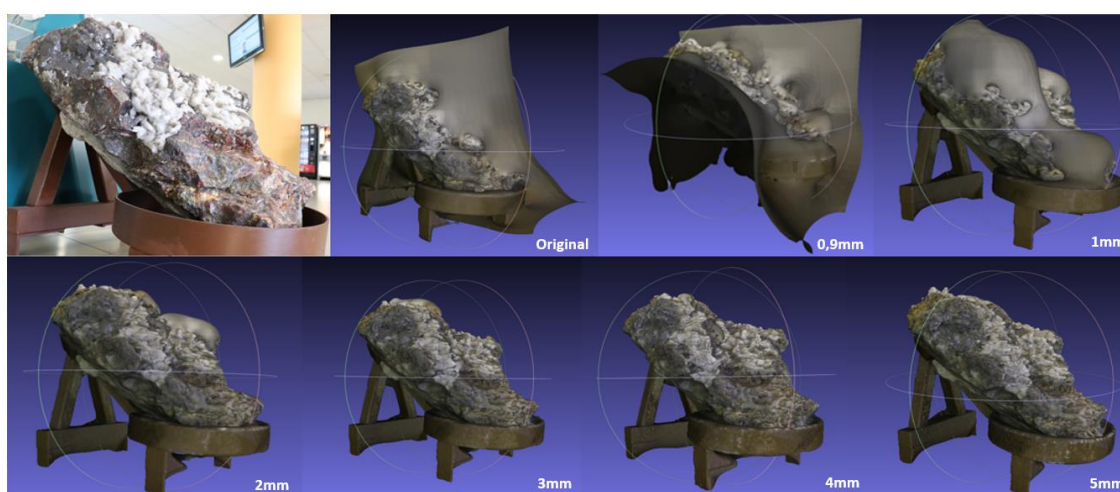


Figura 7.3. Resultados con la reconstrucción "Screened Poisson" directa sobre los modelos de TLS

Seguidamente se recogen las triangulaciones depuradas generadas a través de los modelos a los que se les aplicó el *sampling* "Disc Poisson" y su reconstrucción mediante la herramienta "Screened Poisson":

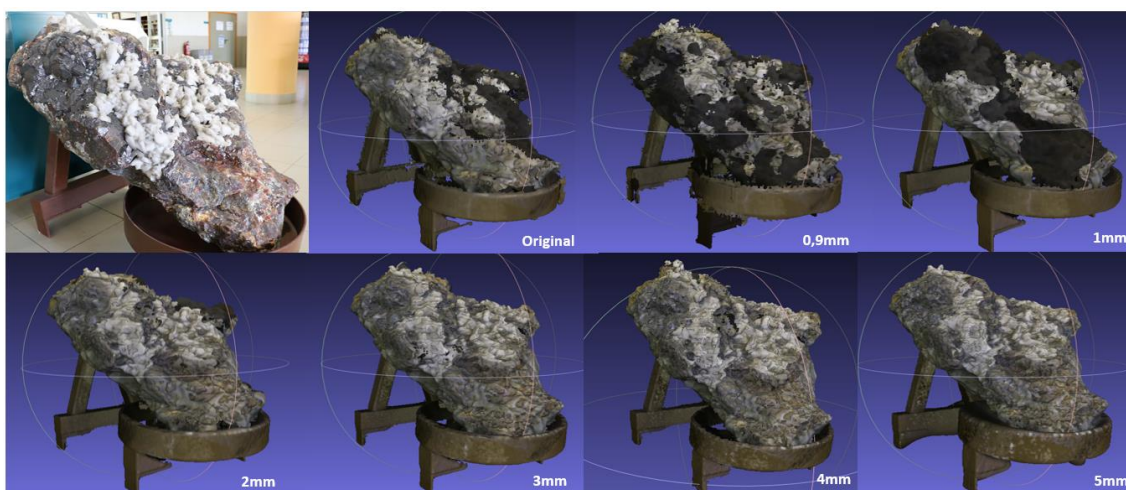


Figura 7.4. Resultados con la reconstrucción en TLS por método de sampling "Poisson Disc"- "Screened Poisson"

Como puede observarse, los modelos son casi idénticos salvo por la eliminación de los efectos de burbuja que generaron zonas oscuras probablemente por la inversión de las normales bajo las mismas.

A continuación, se muestran las características de densidad de puntos y caras de cada uno de los modelos en la siguiente tabla:

MUESTRA TLS	REC. POISSON		SAMPLE REC. POISSON		SAMPLE REC. POISSON LIMPIO	
	PTOS	CARAS	PTOS	CARAS	PTOS	CARAS
NUBE OR. LIMPIA	328241	657634	350760	703370	323028	638363
SUBSAMP. D.P. 0,0009m	332954	648492	345318	694070	315498	620934
SUBSAMP. D.P. 0,001m	254079	508866	256885	514754	238060	468474
SUBSAMP. D.P. 0,002m	238011	476421	240527	481565	228594	451257
SUBSAMP. D.P. 0,003m	235156	470623	240580	481732	229222	453076
SUBSAMP. D.P. 0,004m	237644	475964	237590	475953	225464	445943
SUBSAMP. D.P. 0,005m	224173	448891	224172	448889	211168	422827

Tabla 7.3. Tabla de resultados de puntos y caras de los productos obtenidos en cada proceso del método TLS

En la tabla siguiente se muestran los datos de volumen de los archivos generados mediante las triangulaciones:

MUESTRA TLS	REC. POISSON (MB)	SAMPLE REC. POISSON (MB)	SAMPLE REC. POISSON LIMPIO (MB)
NUBE OR. LIMPIA	14,42	15,41	14,08
SUBSAMP. D.P. 0,0009m	14,64	15,19	13,72
SUBSAMP. D.P. 0,001m	11,16	11,28	10,35
SUBSAMP. D.P. 0,002m	10,45	10,56	9,96
SUBSAMP. D.P. 0,003m	10,32	10,56	9,99
SUBSAMP. D.P. 0,004m	10,43	10,43	9,83
SUBSAMP. D.P. 0,005m	9,84	9,84	9,27

Tabla 7.4. Tabla de resultados de volumen de archivo de cada producto de método TLS

7.1.3. Otros posibles resultados

En cuanto al tratamiento de la nube de puntos, el método podría diferir en función de los productos que deseamos. Aunque suelen componerse de una serie de operaciones de común aplicación, el orden podría ser variado dependiendo de las necesidades. Las



nubes de puntos podrían llegar a considerarse un producto intermedio, del que pueden obtenerse infografías, ortoimágenes o recorridos virtuales, entre otros.

Las posibilidades que genera el método TLS en cuanto a las reconstrucciones tridimensionales son de gran interés, aplicados al ámbito minero se puede enfocar en concreto a procesos de rehabilitación, cierre y abandono. La posibilidad de documentar aquellos procesos que modifiquen el entorno debido a la actividad minera, los inmuebles o estructuras del mismo, así como las labores realizadas tienen gran peso en la valorización de los mismos. La generación de nubes de puntos y su tratamiento puede ser un gran valor añadido en el momento de realizar esta documentación, así como ser un medio directo para conseguir la misma, la generación de infografías y ortoimágenes o también los itinerarios virtuales pueden ser opciones alternativas al propio producto en sí mismo y su utilización con fines lúdicos o formativos puede tener un peso importante sobre el favorecimiento de la imagen de la empresa minera o de la propia actividad en sí misma para la comunidad y su entorno, así como favorecer factores socio-económicos derivados de su empleo.

En lo referente a los modelos mallados teniendo en cuenta que por sí mismos ya definirían un producto final, salidas gráficas similares a las ya mencionadas con las nubes de puntos, pero también ofrecen otras posibilidades añadidas, teniendo en cuenta el menor volumen digital de las mismas, se puede conseguir su implementación en otros productos como pueden ser PDFs interactivos o incluso formar parte de aplicaciones interactivas, videojuego, etc. Ampliando así las posibilidades de difusión y cuya valorización ampliara horizontes en cuanto al uso del Patrimonio Minero y Geológico y su aprovechamiento con el fin de la sostenibilidad en todos los ámbitos del mismo. En definitiva, todas estas posibles aplicaciones son herramientas de interpretación, con características intuitivas, de fácil acceso y difusión a través de las plataformas en línea, disponibles en repositorios virtuales, debido a su origen y finalidad requerirán el empleo de software adecuado a sus características, tanto para su uso, como para su generación. Independientemente del uso final que quiera dárseles, los elementos origen serán tanto nubes de puntos como mallas triangulares que requerirán de pasos previos de gestión y tratamiento para llegar a un producto que pueda ser editable[2].

Dichos productos quedan fuera del alcance del presente Trabajo Fin de Grado.

7.2. RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DEL MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO DE CORTO ALCANCE CON CÁMARAS NO MÉTRICAS

El tratamiento de imágenes fotográficas dio lugar a las 8 distintas nubes de punto del modelo. En la siguiente table se recoge el número de fotografías utilizada, el tiempo empleado en cada paso del proceso de generación de las nubes, así como las nubes modelo resultantes antes de su densificación y posteriores al mismo.

CANON SX520HS							CANON EOS 200D						
DIST.(m)	Nº FOTOS	PROCESO	TIEMPO	MODELOS	FUSION	MOD. FIN	DIST.(m)	Nº FOTOS	PROCESO	TIEMPO	MODELOS	FUSION	MOD. FIN
2,5	80	CMM	0:01:23	1	N/D	1	2,5	38	CMM	0:00:31	2	SI	1
		C3dR	0:00:13						C3dR	0:00:10			
		RDR	0:13:11						RDR	0:12:58			
1	41	CMM	0:00:31	1	N/D	1	1	48	CMM	0:01:10	2	NO	2
		C3dR	0:00:08						C3dR	0:00:06			
		RDR	0:06:12						RDR	0:21:27			
0,3	110	CMM	0:07:22	3	NO	3	0,3	95	CMM	0:04:52	7	SI	4
		C3dR	0:00:22						C3dR	0:00:29			
		RDR	0:33:09						RDR	1:01:46			
COMB	231	CMM	0:22:55	1	N/D	1	COMB	181	CMM	0:16:11	4	SI	1
		C3dR	0:00:40						C3dR	0:00:32			
		RDR	1:23:23						RDR	1:36:11			

Tabla 7.5. Tabla de resultados del tratamiento de las capturas fotográficas

Algunas capturas generaron más de una nube de puntos. Éstas se trataron de fusionar por medio del software Visual SFM. Al no poder éste generar una fusión, se trató de emplear de CloudCompare. Dadas las limitaciones del método y la falta de referencias entre las nubes, no fue posible la misma. Al establecerse nubes de puntos de pequeña densidad y poco representativas frente a la principal, se prescindió de estas nubes secundarias, a continuación, en la imagen, se presentan las nubes principales utilizadas para la generación de mallas:

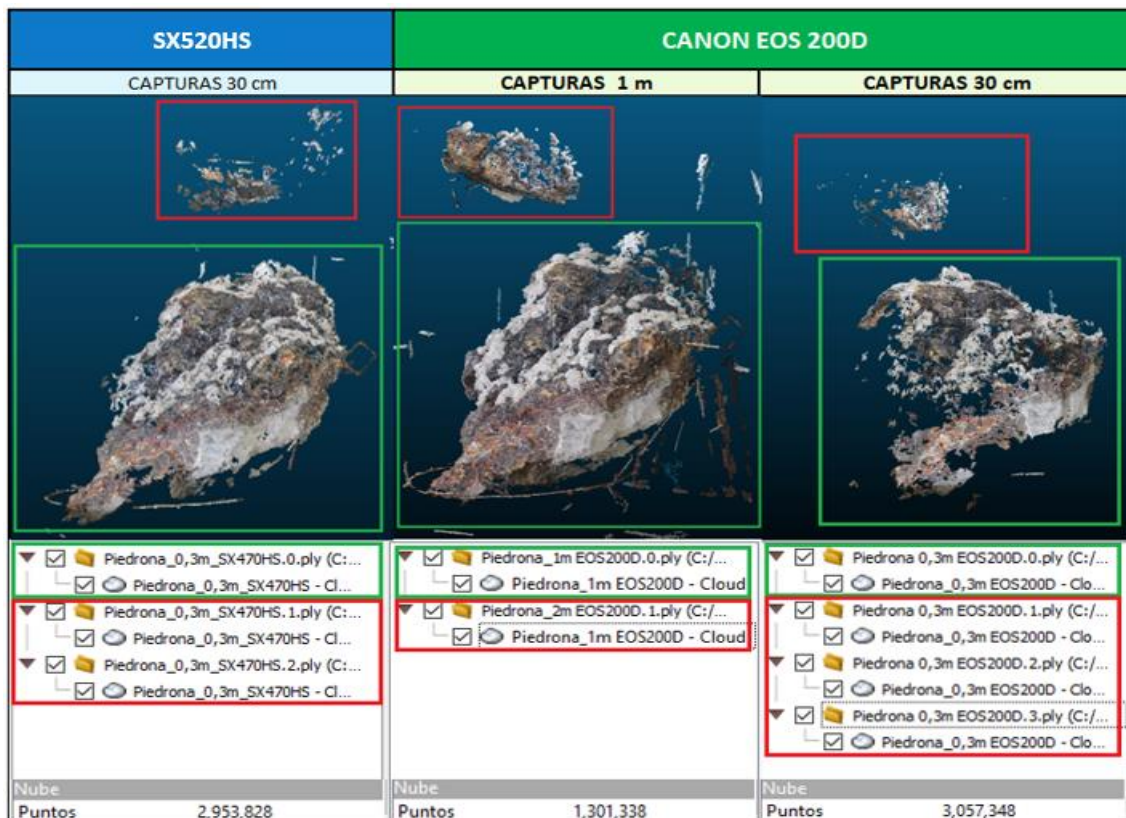


Figura 7.5. Nubes de puntos utilizadas como modelo de trabajo en casos no fusionables

7.2.1. Resultados Canon SX520HS

7.2.1.1. Nubes de puntos

Las nubes de puntos generadas tras la reconstrucción por medio del software Visual SfM, con la cámara digital Canon SX520HS son las mostradas en la siguiente imagen:

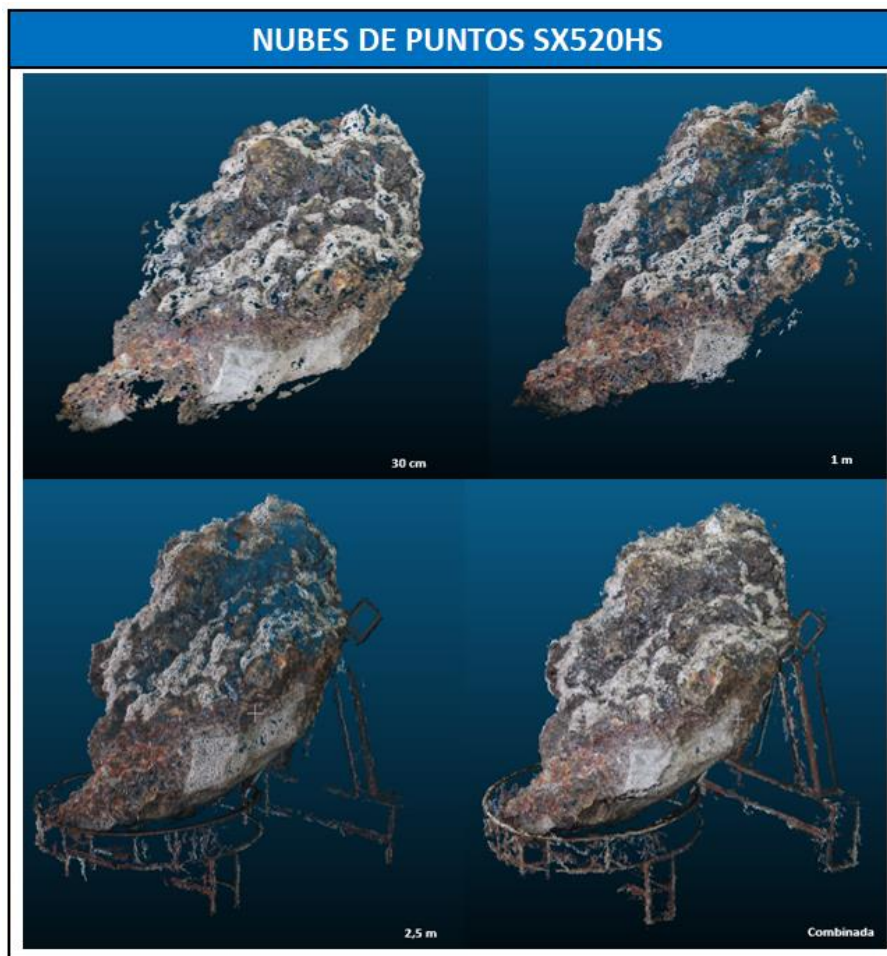


Tabla 7.6. Nubes de puntos resultantes de las capturas de la Canon SX520HS

Puede observarse que existe representatividad en las nubes de 2,5m y la combinada, en el resto de las mismas solo se ha conseguido una reconstrucción parcial de la superficie de “La Piedrona”.

En la tabla siguiente se muestran las características de densidad de puntos de las nubes origen y tras su depuración:

MUESTRA FOTOGRAMETRÍA SX520HS	NUBE DE PTOS.	N. P. LIMPIA
	PUNTOS	PUNTOS
Modelo Combinado	7194512	437617
Modelo 30 cm	2953828	2911795
Modelo 1m	589745	496571
Modelo 2,5 m	627214	232882

Tabla 7.7. Resultado de densidad de las nubes de puntos generadas con la Canon SX520HS

A continuación, se muestra el volumen de los archivos generados en la reconstrucción y los resultantes tras la depuración:

MUESTRA FOTOGRAMETRIA SX520HS	NUBE DE PTOS. (MB)	NUBE DE PTOS. LIMPIA (MB)
Modelo Combinado	212,70	173,78
Modelo 30 cm	78,88	77,75
Modelo 1m	18,54	13,26
Modelo 2,5 m	17,44	6,22

Tabla 7.8. Resultado de volumen de archivo de nubes de puntos generadas con la Canon SX520HS

7.2.1.2. Triangulaciones

Los resultados generados por las capturas de la cámara Canon SX520HS fueron 5 mallas depuradas de distintos grados de definición de las superficies mostrados en la siguiente imagen:

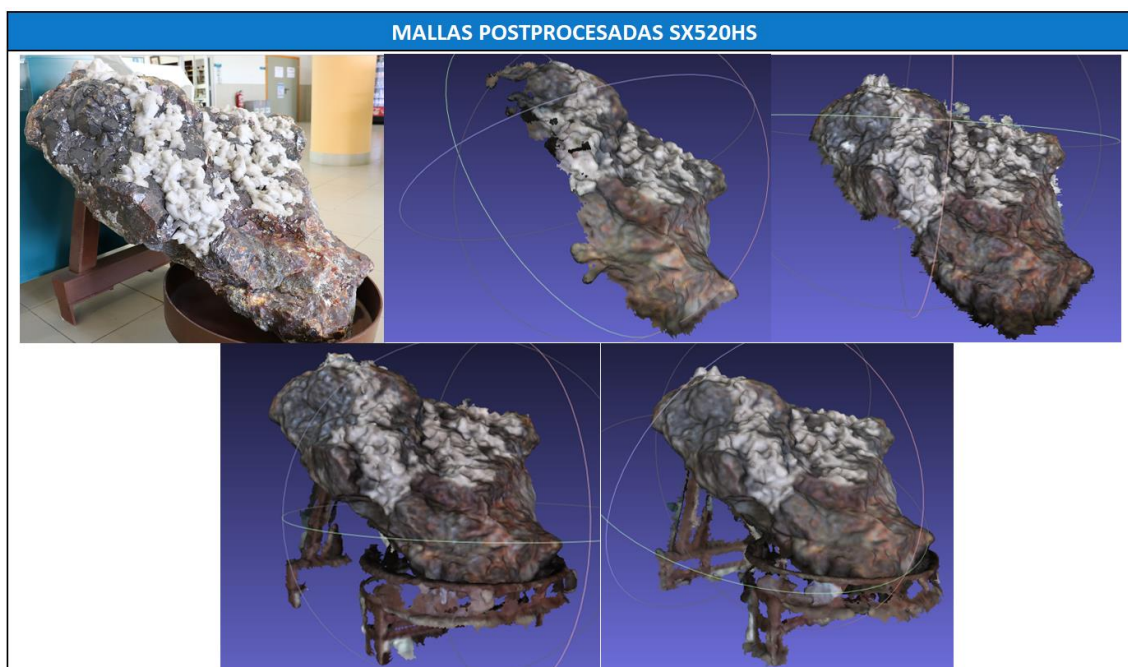


Figura 7.6. Modelos resultantes con capturas de la CANON SX520HS

Se puede observar la baja representatividad de las mallas generadas a partir de las capturas a 30 cm y 1m de distancia, en las que faltan partes integrales del elemento a representar. En cambio, debido a la densidad de capturas en la nube de puntos generada a partir de fotografías a 2,5 m, ésta tiene una definición casi idéntica a la malla de capturas combinadas salvo en la zona superior de la misma.

Las capturas permitieron conseguir una representación de casi la totalidad del elemento, así como el soporte, es el caso de la malla generada a partir de imágenes combinadas, donde puede observarse mayor paridad con la imagen fotográfica adjunta.

En la siguiente tabla se recogen los datos de densidad de puntos y caras de las mallas triangulares generadas y tras su postproceso:



MUESTRA FOTOGRAMETRÍA SX520HS	REC. POISSON		R.P. POSTP.	
	PUNTOS	CARAS	PUNTOS	CARAS
Modelo Combinado	143458	286595	128558	251977
Modelo 30 cm	84512	168807	78393	154959
Modelo 1m	116499	232712	110142	218249
Modelo 2,5 m	175731	351325	152412	298478

Tabla 7.9. Resultado de densidad de puntos y caras de las mallas generadas con la Canon SX520HS

A continuación, en la tabla se detalla el volumen de los archivos generados en la que puede observarse la pequeña variación entre las mallas generadas directamente y las mallas postprocesadas:

MUESTRA FOTOGRAMETRÍA SX240HS	REC. POISSON (MB)	REC. POISSON POSTP. (MB)
Modelo Combinado	6,29	5,58
Modelo 30 cm	3,71	3,42
Modelo 1m	5,11	4,81
Modelo 2,5 m	7,71	6,61

Tabla 7.10. Resultado de volumen de archivo de mallas generadas con la Canon SX520HS

7.2.2. Resultados Canon EOS 200D

7.2.2.1. Nubes de puntos

Tras la generación de la nube de puntos por medio del software Visual SfM, se obtuvieron los siguientes resultados para las tomas a las distancias referidas.

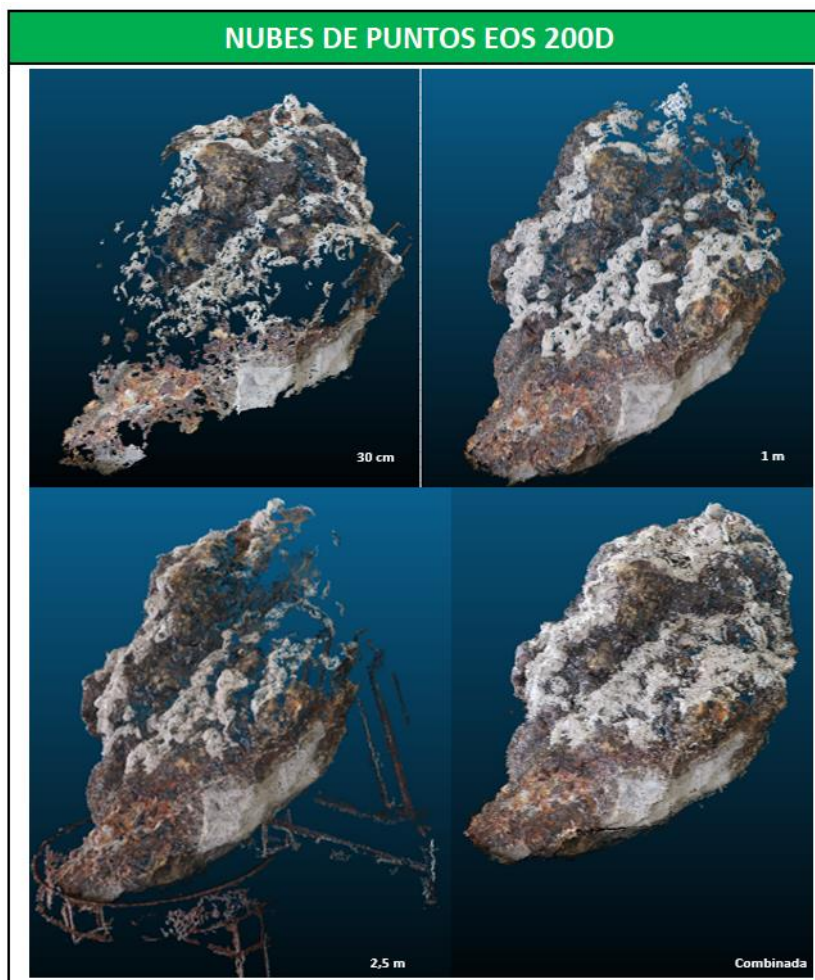


Figura 7.7. Nubes de puntos resultantes de las capturas de la Canon EOS 200D

En las nubes de puntos solo puede observarse representatividad en la nube de 2,5m, aunque aparentemente la nube combinada parece recoger mayor superficie de “La Piedrona” y una mayor definición de la misma.

Se recogen los datos de densidad de puntos y caras de las mallas triangulares generadas y tras su postproceso en la siguiente tabla:

MUESTRA FOTOGRAMETRÍA EOS200D	NUBE DE PTOS.	N. P. LIMPIA
	PUNTOS	PUNTOS
Modelo Combinado	6263050	5655046
Modelo 30 cm	3057348	3045661
Modelo 1m	1301338	1212175
Modelo 2,5 m	827430	6507746

Tabla 7.11. Resultado de densidad de las nubes de puntos generadas con la Canon EOS 200D

En la tabla siguiente se muestra el volumen de los archivos generados en la reconstrucción y los resultantes tras la depuración.

MUESTRA FOTOGRAMETRÍA EOS200D	NUBE DE PTOS. (MB)	NUBE DE PTOS. LIMPIA (MB)
Modelo Combinado	185,16	151,01
Modelo 30 cm	90,39	81,33
Modelo 1m	38,47	32,37
Modelo 2,5 m	24,46	11,69

Tabla 7.12. Resultado de volumen de archivo de nubes de puntos generadas con la Canon EOS 200D

7.2.2.2. Triangulaciones

Los resultados ofrecidos por las capturas de la cámara Canon EOS 200D fueron 5 mallas depuradas con distintos grados de definición de las superficies mostrados en la siguiente imagen:

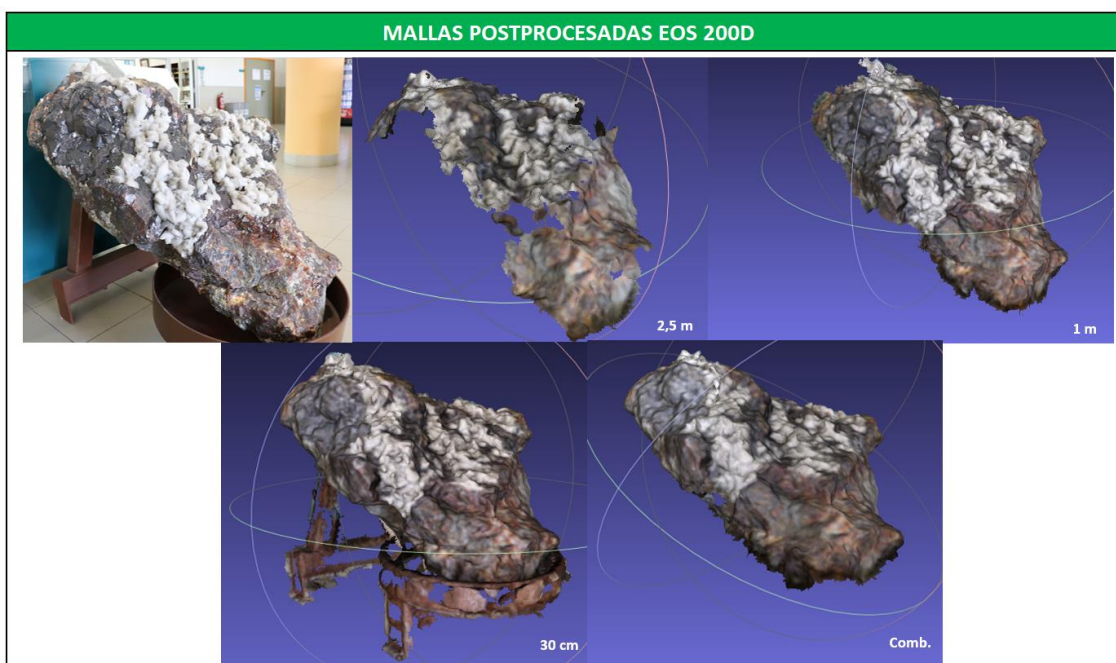


Figura 7.8. Modelos resultantes con capturas de la Canon EOS 200D

A diferencia de los resultados de la primera cámara solo el modelo de 2,5 m puede usarse como representativa del modelo adjunto, en el resto solo se observa una reconstrucción parcial de la misma.

En la siguiente tabla se recogen los datos de densidad de puntos y caras de las mallas triangulares generadas y tras su postproceso:

MUESTRA FOTOGRAMETRÍA EOS200D	REC. POISSON		R.P. POSTP.	
	PUNTOS	CARAS	PUNTOS	CARAS
Modelo Combinado	107981	215655	102102	202855
Modelo 30 cm	62453	124705	55730	109740
Modelo 1m	108903	217601	103157	204457
Modelo 2,5 m	152395	304583	136378	266222

Tabla 7.13. Resultado de densidad de puntos y caras de las mallas generadas con la Canon EOS 200D

En la tabla siguiente se detalla el volumen de los archivos generados en la que puede observarse la pequeña variación entre las mallas generadas directamente y las mallas postprocesadas.

MUESTRA FOTOGRAMETRÍA EOS200D	REC. POISSON (MB)	REC. POISSON POSTP. (MB)
Modelo Combinado	4,73	4,46
Modelo 30 cm	2,74	2,42
Modelo 1m	4,78	4,50
Modelo 2,5 m	6,68	5,90

Tabla 7.14. Resultado de volumen de archivo de las mallas generadas con la Canon EOS 200D

7.3. RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DEL MÉTODO DE CAPTURA POR INFRARROJOS CON KINECT

El uso de Kinect no ofreció resultados aceptables, tras un largo periodo de procesamiento para generar la nube de puntos, se pudo observar que esta era errónea.

7.3.1. Nube de puntos

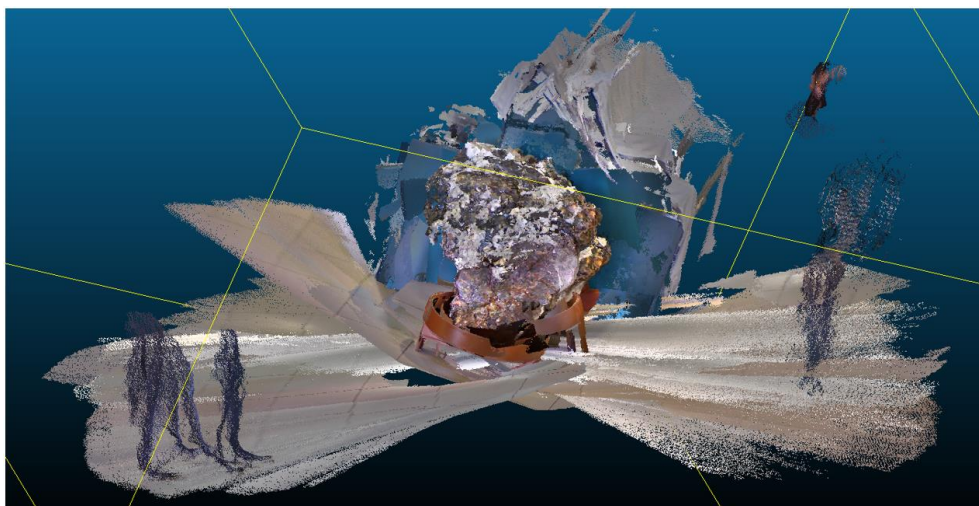


Figura 7.9. Nube de puntos generada mediante Kinect

En algún momento, ya fuera por pérdida de conexión o algún otro fallo durante la reconstrucción de nubes de puntos, que no se pudo esclarecer, las referencias del aparato cambiaron, generando un barrido en ángulo pronunciado que desarticuló la nube de puntos y fue imposible reparar la misma ya que este sistema genera un barrido continuo, por lo que solo se obtuvo un archivo.

No pudieron obtenerse resultados cuantitativos reseñables, únicamente, densidad de la nube, volumen de archivo y el tiempo de operación y procesado.

KINECT	
PUNTOS	35803082
V. ARCHIVO	1,7048 GB
T. CAPTURA	0:15:00
T. PROCESADO	3:16:00

Tabla 7.15. Datos obtenidos del método Kinect

7.4. COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se procede seguidamente a realizar una serie de comparativas y análisis para poder poner en relación las distintas metodologías de estudio y ofrecer resultados cuantitativos y cualitativos que permitan esclarecer las ventajas o desventajas que las diversas alternativas consideradas presentan de cara a cumplir los objetivos propuestos en este Trabajo Fin de Grado.

Las nubes de puntos del método TLS no podrán ser comparadas entre ellas, dado que son generadas a partir de la misma nube original y la distancia entre los puntos ha sido seleccionada a propósito mediante *sampling*.

7.4.1. Nubes de puntos

Para comparar las nubes de puntos resultantes de diferentes métodos planteados se establece una sistema de análisis para poder cuantificar las características de similaridad entre las mismas, en relación a las diferencias distanciométricas entre las nubes generadas y una nube de referencia, que será la nube de puntos saneada original a partir de la cual se obtuvieron las nubes de puntos del método TLS, que por sus características de densidad de puntos y el método operativo para su obtención ya consolidado en otros estudios es la que más información y con mejor calidad de dato ofrece a priori.

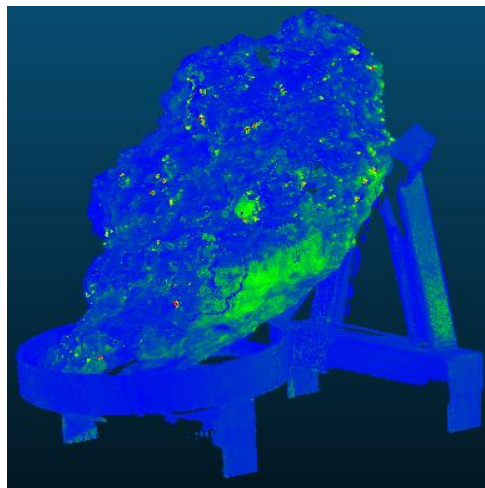


Figura 7.10. Nube Original Saneada, visualizada como campo escalar

Para este análisis se establecerá como criterio para validar la nube de puntos, que la misma siendo superpuesta sobre la de referencia, tenga al menos el 60% de sus puntos a una distancia de alineación menor de 5mm. Para poder hacer estos cálculos se alinearán las nubes de puntos por medio del software CloudCompare y se utilizará la herramienta de comparación de distancias implementada en el mismo “Dist. Nube/Nube” y se establecerán mediciones con tope de distancia inicial de 20 cm y se analizarán los resultados. Si las nubes pasan con un 70% de sus puntos por debajo la distancia de 2,5cm, se procederán a realizar los cálculos siguientes con distancias máximas inferiores, hasta conocer la dispersión mejor ponderada de estas.

Sólo se utilizaron aquellas nubes que permitieron su superposición frente a la de referencia, estas tenían la característica común de presentar al menos el contorno del

soporte de “La Piedrona”, elemento bien definido por sus aristas que permitieron una correcta alineación. Las nubes a representar fueron las siguientes:

- Nube de puntos Combinada de la cámara Canon EOS 200D.
- Nube de puntos a 2,5 m de la cámara Canon SX520HS.
- Nube de puntos Combinada de la cámara Canon SX520HS.

Se mencionará también los resultados de nube de puntos obtenidos por el método de captura por medio de infrarrojos mediante el sensor Kinect.

7.4.1.1. Nube de puntos Combinada EOS 200D

La superposición de mallas muestra las principales diferencias entre los dos modelos referencia y combinada de la cámara EOS 200D, donde la estructura de soporte varía en densidad de puntos, así como las zonas más pobladas por cristales de calcita.

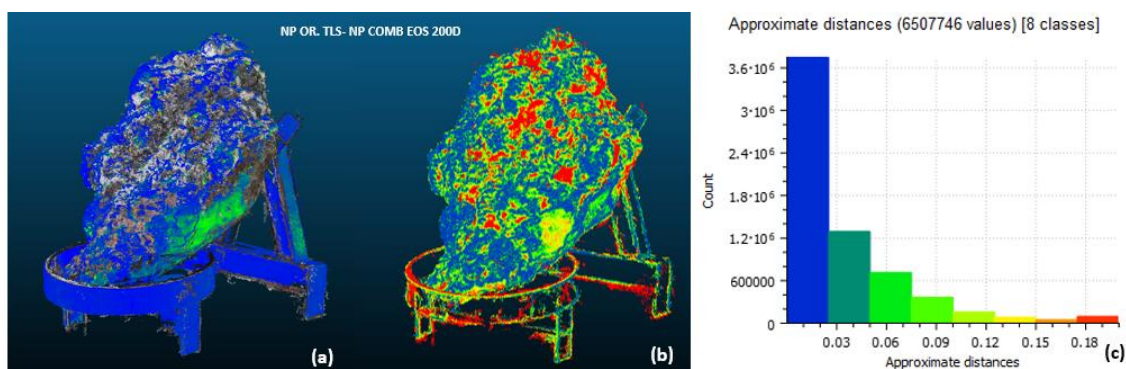


Figura 7.11. Comparación de nubes de puntos con Nube Original saneada vs Nube Combinada de cámara EOS 200D, (a) Superposición de las nubes, (b) Mapa escalar de distancia 20cm, (c) Gráfico Densidad de ptos. - Distancia aprox.

En la figura 7.11.(b) Puede observarse las zonas con densidad de puntos alejadas entre los dos modelos. Esto indica la imprecisión entre las nubes de puntos de referencia y generada por medio de la cámara Canon EOS 200D. Las zonas donde mayor error puede encontrarse son las pobladas por calcitas y en los contornos de la dolomía matriz.

Cod, Color	Clase	Interv, Inicial (m)	Interv, Final (m)	Puntos	%Total
	1	0,000	0,025	3748859	57,61
	2	0,025	0,050	1294013	19,88
	3	0,050	0,075	715446	10,99
	4	0,075	0,100	365919	5,62
	5	0,100	0,125	159841	2,46
	6	0,125	0,150	81255	1,25
	7	0,150	0,175	47102	0,72
	8	0,175	0,200	95311	1,46

Tabla 7.16. Resumen de resultados de la Figura 7.11.(c)

El resultado no es satisfactorio, ya que existen diferencias de distancia de alineación superiores a los 2,5cm en el 42,39% de los puntos.

7.4.1.2. Nube de puntos a 2,5 m SX520HS

La superposición de mallas muestra las principales diferencias entre los dos modelos referencia y combinada de la cámara EOS 200D, donde la estructura de soporte varía en densidad de puntos, así como las zonas más pobladas por cristales de calcita.

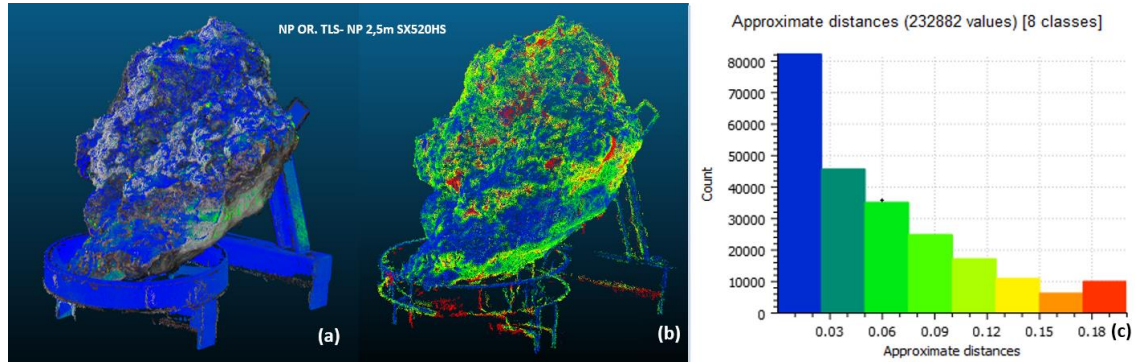


Figura 7.12. Comparación de nubes de puntos con Nube Original saneada vs Nube 2,5 m de cámara SX450HS, (a) Superposición de las nubes, (b) Mapa escalar de distancia 20cm, (c) Gráfico Densidad de ptos.- Distancia aprox.

En la figura 7.12.(b) pueden observarse zonas con densidad de puntos alejadas, localizando la imprecisión entre las nubes de puntos de referencia y generada por medio de la cámara Canon SX520HS en las zonas de cristalización de calcita, los soportes que no fueron capturados en su totalidad y en los contornos de la roca encajante, así como bordes afilados de la misma.

Cod, Color	Clase	Interv, Inicial (m)	Interv, Final (m)	Puntos	%Total
1	1	0,000	0,025	82288	35,33
2	2	0,025	0,050	45793	19,66
3	3	0,050	0,075	35187	15,11
4	4	0,075	0,100	24952	10,71
5	5	0,100	0,125	17264	7,41
6	6	0,125	0,150	11018	4,73
7	7	0,150	0,175	6309	2,71
8	8	0,175	0,200	10071	4,32

Tabla 7.17. Resumen de resultados de la Figura 7.12.(c)

El resultado no es satisfactorio existen diferencias de distancia de alineación superiores a los 2,5cm en el 74,77% de la de los puntos.

7.4.1.3. Nube de puntos Combinada SX520HS

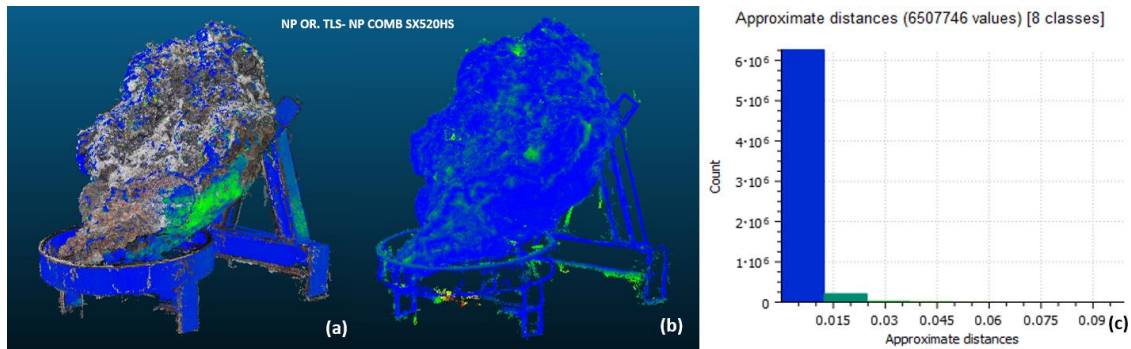


Figura 7.13. Comparación de nubes de puntos con Nube Original saneada vs Nube Combinada de cámara SX520HS, (a) Superposición de las nubes, (b) Mapa escalar de distancia 10 cm, (c) Gráfico Densidad de ptos. - Distancia aprox.

En la figura 7.13.(b) pueden observarse zonas con densidad de puntos alejadas, localizando la imprecisión entre las nubes de puntos de referencia y Combinada generada por medio de la cámara Canon SX520HS en las zonas más difuminadas del soporte, pero se puede observar muy poca densidad de puntos.

Cod, Color	Clase	Interv, Inicial (m)	Interv, Final (m)	Puntos	%Total
1	1	0,00	0,01	6265032	96,27
2	2	0,01	0,02	210591	3,24
3	3	0,02	0,04	17688	0,27
4	4	0,04	0,05	9524	0,15
5	5	0,05	0,06	3582	0,06
6	6	0,06	0,07	1076	0,02
7	7	0,07	0,09	155	0,00
8	8	0,09	0,10	98	0,00

Tabla 7.18. Resumen de resultados de la Figura 7.13.(c)

Solo el 0,49% de los puntos presentan diferencias de distancia de alineación mayores de 2cm, por lo que se ejecuta un nuevo análisis con distancia máxima de alineación de 5mm.

Se realizo el segundo cálculo de densidad de puntos, la imagen de solape se mantiene invariable.

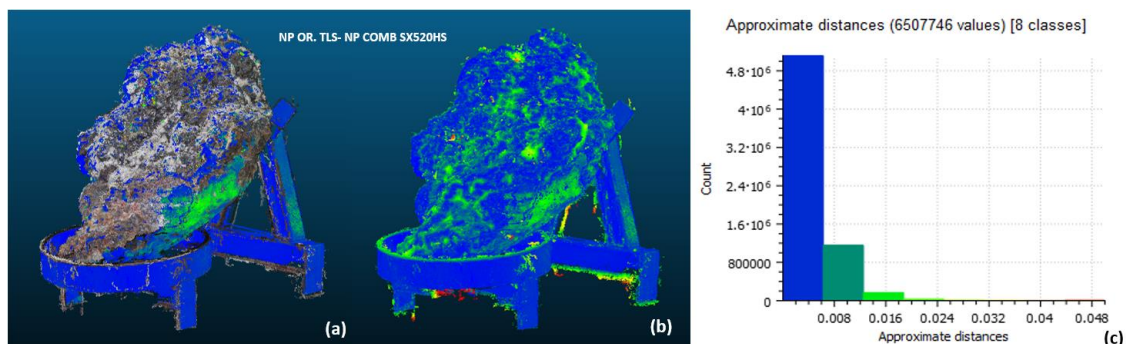


Figura 7.14. Comparación de nubes de puntos con Nube Original saneada vs Nube Combinada de cámara SX520HS, (a) Superposición de las nubes, (b) Mapa escalar de distancia 5 cm, (c) Gráfico Densidad de ptos. - Distancia aprox.

En la figura 7.14.(b) se aprecia que comienzan a aparecer zonas con mayor dispersión de puntos con alrededor de 1cm de distancia en los contornos de la roca encajante, y zonas de contornos afilados de la esfalerita fracturada, y el canal de calcitas en el centro de “La Piedrona”, así como los puntos del soporte difuminados anteriormente mencionados.

Cod, Color	Clase	Interv, Inicial (m)	Interv, Final (m)	Puntos	%Total
	1	0,000	0,006	5116117	78,62
	2	0,006	0,013	1157722	17,79
	3	0,013	0,019	169415	2,60
	4	0,019	0,025	33146	0,51
	5	0,025	0,031	10691	0,16
	6	0,031	0,038	6584	0,10
	7	0,038	0,044	4529	0,07
	8	0,044	0,050	9542	0,15

Tabla 7.19. Resumen de resultados de la Figura 7.14.(c)

Sólo el 21,38% de los puntos presentan diferencias de distancia de alineación mayores de 6mm, por lo que se ejecuta un nuevo análisis con distancia máxima de alineación de 1cm.

Se realiza un tercer cálculo de densidad de puntos para comprobar si se encuentra la distribución de distancias más representativa del modelo.

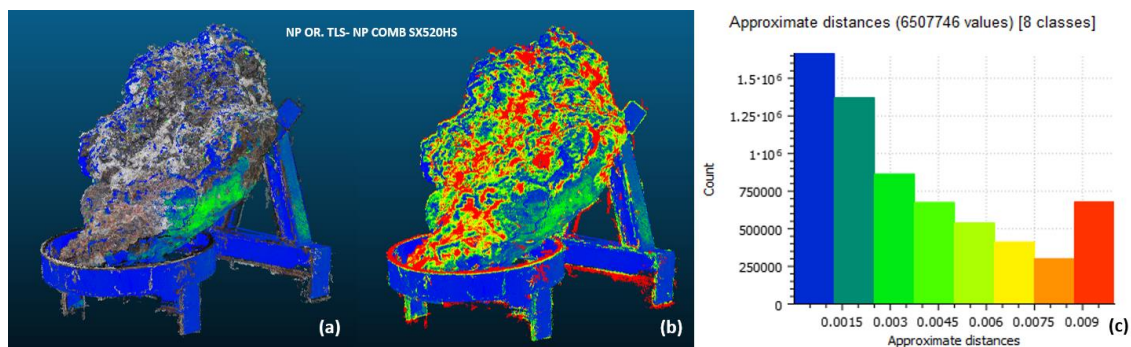


Figura 7.15. Comparación de nubes de puntos con Nube Original saneada vs Nube Combinada de cámara SX520HS, (a) Superposición de las nubes, (b) Mapa escalar de distancia 1 cm, (c) Gráfico Densidad de ptos. - Distancia aprox.

En la figura 7.15.(b) puede verse la distribución mejor ponderada de distancias. Se aprecia que todas las zonas mineralizadas, así como las zonas difuminadas del soporte están por encima de 8mm de distancia y las zonas de contorno de la roca encajante en el espacio de los 3 y 6 mm. Estos valores se adecuan a una precisión bastante alta, teniendo en cuenta la metodología realizada para la obtención de la nube de puntos, y que a priori se esperaban resultados similares a los otros modelos analizados. Son las zonas de superficies mineralizadas donde mayor contraste existe.



Cod, Color	Clase	Interv, Inicial (m)	Interv, Final (m)	Puntos	%Total
	1	0,000	0,001	1664534	25,58
	2	0,001	0,003	1371919	21,08
	3	0,003	0,004	864471	13,28
	4	0,004	0,005	675044	10,37
	5	0,005	0,006	539586	8,29
	6	0,006	0,008	411964	6,33
	7	0,008	0,009	300887	4,62
	8	0,009	0,010	679341	10,44

Tabla 7.20. Resumen de resultados de la Figura 7.15.(c)

Se puede observar que existe diferencia superior a 5 mm en el 29,68% de los puntos. Dadas las características del método, y en comparación al resto de nubes analizadas, puede determinarse que el resultado con esta nube es satisfactorio a nivel de resolución y solapamiento espacial al modelo de referencia generado con láser escáner. Será necesario analizar otras características para establecer si la información de esta nube puede considerarse válida para el alcance de este proyecto.

Tabla resumen de las nubes de puntos analizadas:

CAMARA	DIST.(m)	Nº FOTOS	PROCESO	T. OPERACIÓN	T. TOTAL	MALLADO SATISFACTORIO	CUMPLE PRECISION (Dif<1cm)
SX520HS	2,5	80	CMM	0:01:23	0:14:47	SI	NO
			C3dR	0:00:13			
			RDR	0:13:11			
	1	41	CMM	0:00:31	0:06:51	NO	N/D
			C3dR	0:00:08			
			RDR	0:06:12			
	0,3	110	CMM	0:07:22	0:40:53	NO	N/D
			C3dR	0:00:22			
			RDR	0:33:09			
	COMB	231	CMM	0:22:55	1:46:58	SI	SI
			C3dR	0:00:40			
			RDR	1:23:23			
EOS 200D	2,5	38	CMM	0:00:31	0:13:39	NO	N/D
			C3dR	0:00:10			
			RDR	0:12:58			
	1	48	CMM	0:01:10	0:22:43	NO	N/D
			C3dR	0:00:06			
			RDR	0:21:27			
	0,3	95	CMM	0:04:52	1:07:07	NO	N/D
			C3dR	0:00:29			
			RDR	1:01:46			
	COMB	181	CMM	0:16:11	1:52:54	SI	NO
			C3dR	0:00:32			
			RDR	1:36:11			

Tabla 7.21. Tabla resumen de comparación de nubes de puntos

De todos los modelos generados, sólo uno de ellos alcanzo los requisitos para poder establecer una comparación más detallada de los resultados.

7.4.1.4. Nube de puntos Kinect

En cuanto a la generación de nubes de puntos con Kinect, como se mencionó anteriormente, la nube quedo inutilizada. En la imagen siguiente pueden verse los efectos del cambio en la orientación de captura, obteniendo un efecto de cierta curiosidad estética, pero que justifica la carencia de utilidad de la nube.

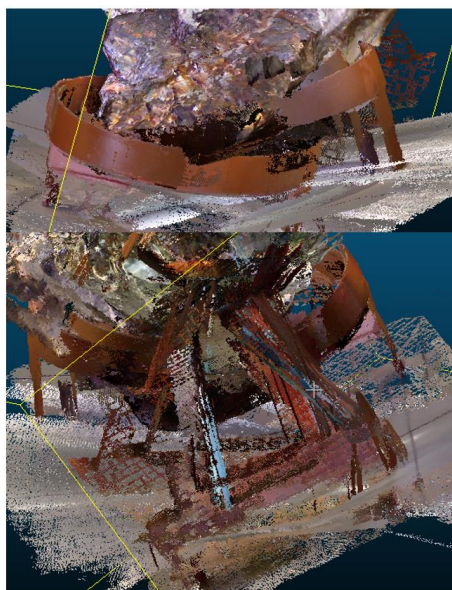


Figura 7.16. Defectos en la nube de puntos

Este efecto es claramente visible en la captura del soporte de “La Piedrona”, donde se observa un “crakeo”, así como en su parte anterior, que se difumina en dos elementos.

7.4.2. Triangulaciones resultantes

7.4.2.1. Análisis cuantitativo

Como complemento al análisis anterior, se llevó a cabo una comparación entre las mallas realizadas a partir de la captura obtenida con de TLS. Esto se debe a que se emplearon dos métodos para la realización de las mismas. Al contrario que en el caso de las nubes de puntos, si tiene sentido su análisis para ver el resultado ofrecido por el postprocesado de las mismas, este se muestra en la siguiente tabla:

MUESTRA TLS	REC. POISSON		SAMPLE REC. POISSON LIMPIO			
	PTOS	CARAS	PTOS	CARAS	%DEP PTOS	% DEP CARAS
NUBE OR. LIMPIA	328241	657634	323028	638363	-1,59	-2,93
SUBSAMP. D.P. 0,0009m	332954	648492	315498	620934	-5,24	-4,25
SUBSAMP. D.P. 0,001m	254079	508866	238060	468474	-6,30	-7,94
SUBSAMP. D.P. 0,002m	238011	476421	228594	451257	-3,96	-5,28
SUBSAMP. D.P. 0,003m	235156	470623	229222	453076	-2,52	-3,73
SUBSAMP. D.P. 0,004m	237644	475964	225464	445943	-5,13	-6,31
SUBSAMP. D.P. 0,005m	224173	448891	211168	422827	-5,80	-5,81

Tabla 7.22. Comparativa de reducción de parámetros por depuración en modelos TLS

En este caso las mallas generadas por fotogrametría también se les realizó un análisis para ver la reducción en densidad de puntos y caras procedentes de del postprocesado.



MUESTRA FOTOGRAMETRÍA		REC. POISSON		R.P. POSTP.		%DEP PTOs	% DEP CARAS
		PUNTOS	CARAS	PUNTOS	CARAS		
SX520HS	Modelo Combinado	143458	286595	128558	251977	-10,39	-12,08
	Modelo 30 cm	84512	168807	78393	154959	-7,24	-8,20
	Modelo 1m	116499	232712	110142	218249	-5,46	-6,21
	Modelo 2,5 m	175731	351325	152412	298478	-13,27	-15,04
EOS200D	Modelo Combinado	107981	215655	102102	202855	-5,44	-5,94
	Modelo 30 cm	62453	124705	55730	109740	-10,76	-12,00
	Modelo 1m	108903	217601	103157	204457	-5,28	-6,04
	Modelo 2,5 m	152395	304583	136378	266222	-10,51	-12,59

Tabla 7.23. Comparativa de reducción de parámetros por depuración en modelos fotogramétricos

Se puede observar que tanto para las caras como para los puntos los valores oscilaron entre una reducción del 5 y el 10% de los mismos procedente, de la eliminación de las “burbujas” y “sábanas” generadas.

A partir de los resultados de las nubes de puntos se compararán las mallas con mejores resultados derivadas de los modelos satisfactorios de mallado, es decir, aquellas que no han generado “burbujas” en la reconstrucción y que muestran un resultado representativo de “La Piedrona” en la mayor parte de su contorno, ya que ha sido imposible generar un modelo perfectamente cerrado.

En la siguiente tabla se ve la comparación de densidad de puntos y caras de ambos modelos, así como la relación existente entre puntos del método TLS y fotogramétrico para dos mallas semejantes.

MODELO	MALLA ORIGINAL		REL PTOs TLS FOTO	REL CARAS TLS FOTO	MALLA DEPURADA		REL PTOs TLS FOTO	REL CARAS TLS-FOTO	%REL DEP PTOS	%REL DEP CARAS
	PTOS	CARAS			PTOS	CARAS				
SUBSAMP. D.P. 0,005m	224172	448889	1,563	1,566	211168	422827	1,643	1,678	-5,80	-5,81
Modelo SX520HS Combinado	143458	286595			128558	251977			-10,39	-12,08

Tabla 7.24. Comparativa de parámetros por depuración de modelos satisfactorios y relación de entre los mismos

También se tuvo en cuenta la comparación entre la efectividad del saneamiento de las triangulaciones en el postprocesado, lo cual puede dar una idea de los defectos creados en la reconstrucción por la calidad de la nube. En este caso, se puede observar que la malla TLS contaba con menos elementos erróneos, pese a contar con una densidad 1,5 veces mayor.

7.4.2.2. Análisis cualitativo

Seguidamente se analizarán de forma gráfica las diferencias entre los dos modelos de malla finales elegidos como más representativos de cada técnica, donde podrán observarse a simple vista las diferencias generadas por la reconstrucción de cada método. Estas características derivan de la distribución de las nubes de puntos, puesto que el método de reconstrucción utilizado es el mismo.

En el caso de las triangulaciones generadas por el método TLS, para poder comparar entre si hace falta explicar la decisión del *sampling* por medio de Disco de Poisson. Las mallas generadas por medio de las nubes “subsampladas” originales contaban con gran número de puntos internos generados por el paso del láser por las cristalizaciones que aparentemente parecen absorber y refractar el haz laser.



Figura 7.17. (a) Interior de nube origen con puntos internos, (b) Interior de la nube tras el "Poisson Disc" sampling

La forma de eliminar la mayor parte de estos puntos fue generar un submuestreo por el método "Disc Poisson", que consiste en el recorrido del algoritmo por los puntos superficiales de la nube, de forma similar al que realiza la reconstrucción de mallas de Poisson, pero extrayendo los puntos en vez de generar triangulaciones, e ignorando aquellos puntos de la nube que queden alejados de la superficie.

Los resultados de las nubes sin el uso de este proceso creaban efectos superficiales variados, sobretodo en aquellas con mayor densidad de puntos. Esto explica por qué las mallas más representativas en ambos casos sean el *subsample* a 5mm y su derivada mediante el *sampling* de disco de Poisson.

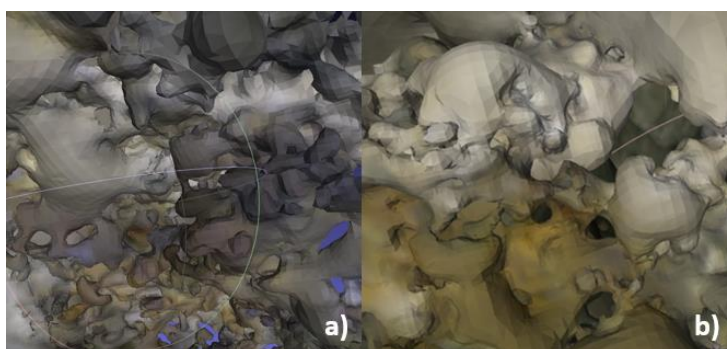


Figura 7.18. a) Efectos "Túnel" y "Burbuja" en el interior de un modelo TLS, b) Efectos "Túnel" y "Burbuja" en el exterior de un modelo

Estos efectos debidos a la reflexión en la superficie cristalina de "La Piedrona", y la refracción de los haces láser en el interior de los cristales anteriormente mencionada, pueden observarse como burbujas y túneles, tanto en el interior como en el exterior de los modelos de mayor densidad de puntos.

Parte de los efectos que generaron las burbujas fueron los debidos al ruido, eliminado en el mayor grado posible en el proceso de depuración de la nube de puntos, pero imposible de eliminar completamente debido a la imposibilidad de establecer una distancia mínima entre puntos cercanos.

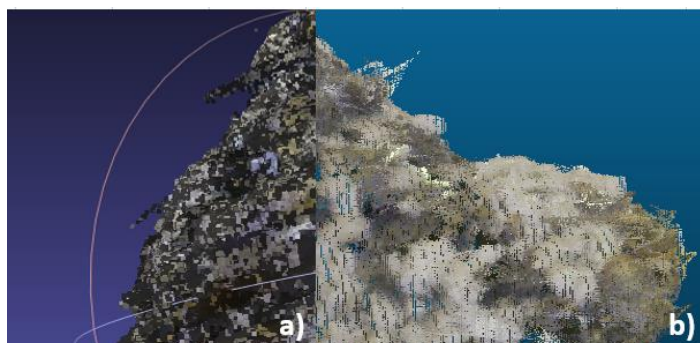


Figura 7.19. a) Ruido en nube del método fotogramétrico, b) Ruido en nube del método TLS

De nuevo en el caso del TLS aparece el efecto de la reflexión de los haces láser enviados por el dispositivo, que genera puntos falsos, con la apariencia de un deslizamiento de los mismos sobre las superficies. En el caso de la fotogrametría, la aparición de ruidos es menor en densidad, pero más grosera, y su eliminación requiere de operaciones manuales, pues las densidades en la nube de puntos no son tan altas como el caso TLS, y un depurado automático elimina puntos correctos, además de incorrectos al basarse estos filtros automáticos en distancia.

Una vez justificados los métodos de depuración que han dado lugar a las actuales triangulaciones y sus aspectos, se procede a comparar los detalles de texturas, definición y aspecto exterior de las mismas. A continuación, se muestran detalles de zonas de contorno críticas como muestra de la calidad de representación de las mallas.

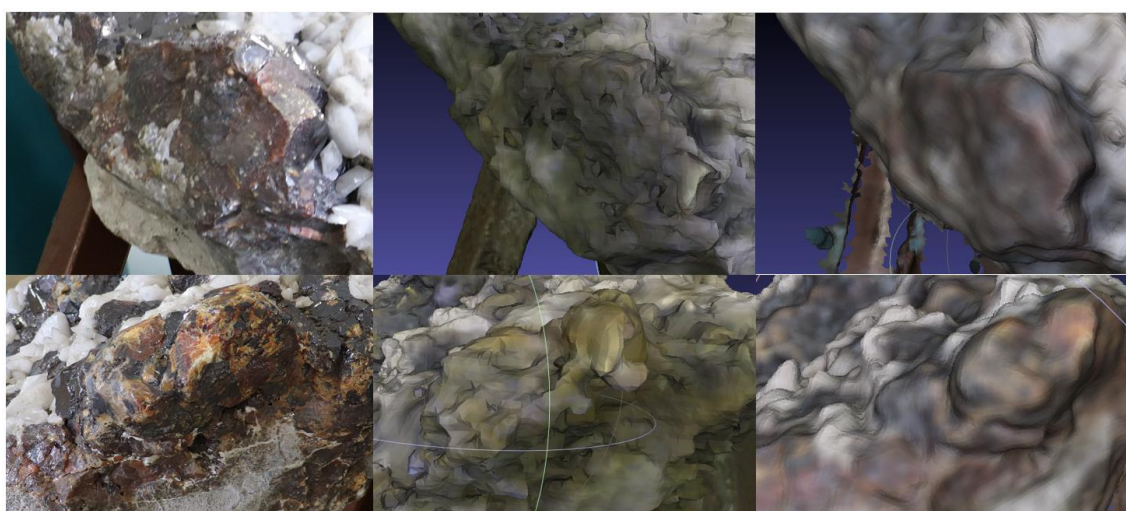


Figura 7.20. Comparación del elemento real frente a las mallas TLS 5 mm y Fotogramétrica SX520HS Combinada

Pueden observarse las diferencias de información que pueden proporcionar una técnica de alto coste frente a una de bajo coste. En el caso del TLS, existe una mayor heterogeneidad de relieve y formas. En cambio, en el método fotogramétrico pueden verse curvaturas ahí donde deberían estar bordes afilados. El grado de definición es claramente superior en el caso del sistema TLS.

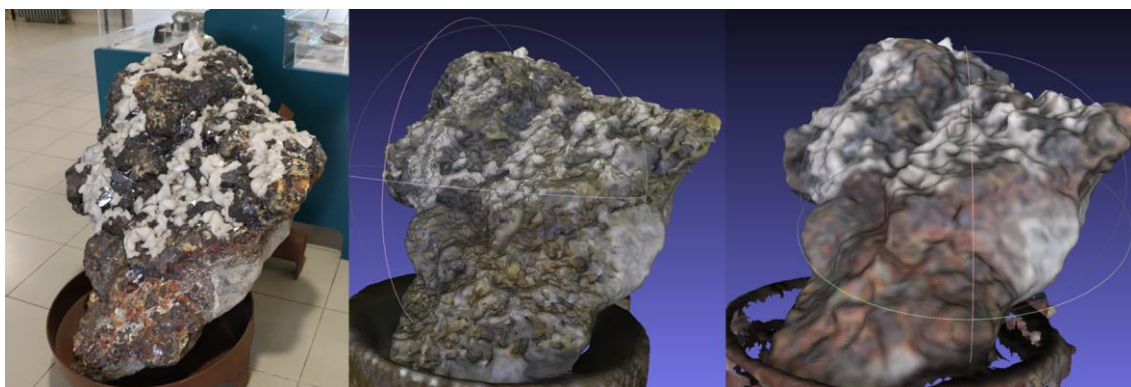


Figura 7.21. Diferencia en la definición de las superficies

Además, el TLS es capaz de recoger todos aquellos elementos que se situasen en su trayectoria. En cambio, el método fotogramétrico sólo es capaz de generar puntos ahí donde los pares fotográficos tengan solape suficiente., Sirva como ejemplo el caso del soporte de “La Piedrona”, cuya reproducción ha sido imposible en la mayoría de los casos, y en aquellos en que ha sido factible, la falta de puntos o vértices hace que se creen numerosos agujeros, dando lugar a mallas abiertas que solo podrían taparse por una edición intensiva que excede el alcance de este proyecto.

Las texturas de la superficie externa en los modelos pueden observarse que es mejor en el caso del método fotogramétricos. Esto se debe a la calidad óptica de las cámaras utilizadas, de 16,8 y 24,2Mpx, en comparación con las ópticas de los laser-escáner. Una posible solución al problema planteado, sería la combinación de la nube de puntos más precisa obtenida, con la textura de la fotogrametría, pero este proceso de edición queda fuera del alcance del proyecto.

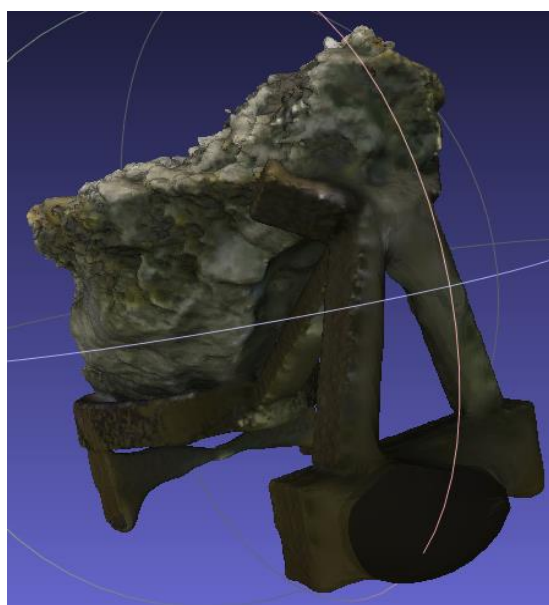


Figura 7.22. Malla triangular TLS abierta

Si bien en ninguno de los casos fue posible generar mallas cerradas, el método que más se aproximó fue el de laser escáner como puede observarse en la imagen.



7.4.3. Discusión de los métodos operativos en relación a los resultados obtenidos.

La operativa de captura ya descrita se volverá enunciar de forma simplificada, y se analizarán los pros y los contras de los métodos operativos, enunciando sus condicionantes, con objeto de establecer un marco comparativo entre los mismos.

7.4.3.1. Láser-Escáner

Una vez definido el elemento a representar se han de establecer una serie de dianas, si fuera necesario, se estaciona el aparato, y por medio de un software controlador o de forma manual, se procederá al escaneo.

Los datos obtenidos se vuelcan a un equipo y mediante software específico se procede a la gestión de las nubes capturadas. Debido a la densidad de datos capturada, este proceso lleva una cantidad de tiempo considerable para el trabajo de postprocesado de la nube de puntos y los productos derivados

El método de captura de datos por medio de láser escáner es sencillo y rápido en cuanto a la obtención de información se refiere, pues se generan nubes de gran densidad de puntos con cada escaneo. Otro aspecto a considerar es la cantidad de tomas necesarias para representar un elemento, la cual dependerá de su geometría y características, pudiendo alargar el tiempo de captura, como sucedió en este caso concreto, con nueve nubes de puntos capturadas y en un tiempo de 1 hora y 15 minutos.

En términos de coste, la opción de adquisición supone un requisito de inversión muy superior, aún en los dispositivos de entrada, inferiores al aquí considerado, con respecto al asociado a la compra de una cámara no métrica. Esta situación supondría un coste no asumible para la modelización de un solo elemento patrimonial como el aquí considerado, pero existen vías, como por ejemplo el alquiler, que pueden hacer factible la disponibilidad de estos dispositivos por un tiempo limitado, acorde a los requisitos del objeto a modelar. Debe además tenerse en cuenta que los programas requeridos para la gestión del dispositivo y la alineación y registro de las nubes, son de carácter propietario, por lo que ha de satisfacerse el coste adicional de la licencia.

Considerando la operativa, la necesidad de realizar capturas desde puntos concretos implica el que debe de posicionarse el equipo en puntos concretos, con una densidad de escaneos suficientes para garantizar una buena cobertura del objeto. Por otro lado, las características superficiales del elemento a capturar, o su naturaleza, puede conducir a la generación de ruido, como consecuencia de la interacción como el haz láser. A este respecto, la presencia de vidrios, superficies metálicas o agua son claros ejemplos, pero igualmente lo ilustran las cristalizaciones de calcita asociadas a “La Piedrona”.

En cuanto al software libre disponible para el trabajo de procesado de nubes de puntos, existen pocos programas que ofrezcan resultados tan precisos como los ofrecidos por el software comercial y permitan una gestión integral.

7.4.3.2. Fotogrametría de corto alcance con cámaras no métricas

El proceso de captura se realiza con la toma de fotografías del contorno del elemento a representar. El proceso es sencillo y lleva poco tiempo, si bien se podrá demorar todo lo deseado en función de la cantidad de fotografías que quieran tomarse.



En cuanto a la generación de nubes de puntos, el proceso podrá realizarse in situ si se dispone de equipos suficientemente potentes, o en gabinete. Este método ofrece la posibilidad de ver el resultado previo de la nube de puntos por medio de reconstrucciones rápidas, lo que da la ventaja (también presente en el caso de los TLS actuales) de comprobar que las tomas han sido realizadas correctamente, o si hay que tomar alguna acción correctiva o si es necesario ampliar el número de capturas. El hecho de que el elemento de captura de datos sea una cámara fotográfica digital permite el acceso a otros lugares donde otros aparatos no llegan, y la alta disponibilidad de este aparato para casi cualquier usuario.

En cuanto al software para la generación de las nubes de puntos, hay multitud de programas que permiten este tipo de operaciones con mayor o menor complejidad de utilización. Resulta en definitiva un método cómodo y barato con pocos requisitos de material.

En relación al método TLS, las diferencias de operación son claras, pero la cantidad de información de la que se dispondrá, se limitará al elemento que se quiera representar, pues la información se generará a partir de las fotografías realizadas, y a medida que aumente la distancia de captura, se irá perdiendo información. También hay que destacar que elementos con altos contrastes o alto nivel de similitud pueden generar errores de disposición de los pares fotogramétricos, lo cual puede arruinar el resultado de las tomas, y por consiguiente el modelo generado

7.4.3.3. Método operativo con Kinect

En cuanto al método de generación de modelos por medio de Kinect, al no estar la edición de los elementos capturados en el alcance de este proyecto, se determinó que los resultados de este método no se tendrían en cuenta para este estudio.

Lo que sí pudo comprobarse con la aplicación de este método, fue la complicada operación que requiere y los requisitos técnicos, puesto que es necesario el uso de un ordenador permanentemente conectado mediante cable al sistema de captura para volcar la información en tiempo real, y a su vez corriente para alimentar al sistema de captura. Esto dificultan gravemente el trabajo con este sistema de modelización y además imposibilita el trabajo en campo si no se dispone de un sistema generador o baterías suficientes.

Puede concluirse que, pese a la ausencia de resultados cuantitativos más allá del tiempo de trabajo y procesamiento de la nube, que, por sus cualidades, no es un método de bajo coste aceptable para la modelización tridimensional en el estado actual del mismo.

Logísticamente trata de un método complejo en cuanto a operativa al depender de sistemas con cables, ineficiente por la lentitud de movimiento necesario para poder hacer una captura correcta e inabordable en exterior si no se dispone de algún punto de conexión de corriente o sistemas generadores, además de baterías.

7.4.4. Tiempos de operación

Para el cálculo de tiempos de operación solo se han tenido en cuenta el relativo a la generación de las nubes de puntos, puesto que la generación de triangulaciones y su postprocesado requiere tiempos variables en función del resultado que se desee obtener. Además, el método de triangulación utilizado requería pocos segundos para la



realización de las mallas, lo que no presenta diferencias con la magnitud de los datos utilizados.

Los resultados temporales para cada uno de los casos de estudio seleccionados son los representados en la siguiente tabla:

METODO	PROCESO DE CAPTURA	GEN. NUBE DE PUNTOS	TIEMPO TOTAL	RESULTADO SATISFACTORIO
TLS	1:15:00	8:00:00	9:15:00	SI
KINECT	0:15:00	3:16:00	3:31:00	NO
FOTOGRAMETRÍA	EOS 200D 2,5 m	0:13:39	0:28:39	NO
		0:22:43	0:37:43	NO
		1:07:07	1:22:07	NO
		1:52:54	2:07:54	NO
	EOS 200D 1 m	0:14:47	0:29:47	NO
		0:06:51	0:21:51	NO
		0:40:53	0:55:53	NO
		1:46:58	2:01:58	SI

Tabla 7.25. Comparativa de tiempos de generación de nubes de puntos

Para comparar, se utilizará como referencia el valor temporal más alto de la generación de nube de puntos, en este caso el TLS, con el que se obtendrán la relación porcentual de reducción de tiempo frente al método de referencia y por otra parte también se obtendrán las relaciones porcentuales de tiempo de cada operación para el tiempo total de la generación de la nube para el método propio, descritas en la siguiente tabla:

MODELO COMPARADO	COMPARATIVA DE TIEMPOS							
	PROCESO DE CAPTURA			GEN. NUBE DE PUNTOS			TIEMPO TOTAL	
	TIEMPO	% DEL TOTAL	% REF	TIEMPO	% DEL TOTAL	% REF	TIEMPO	% REF
TLS (5mm Smp. D.P. Post)	1:15:00	13,51	N/D	8:00:00	86,49	N/D	9:15:00	N/D
KINECT	0:15:00	7,11	-80	3:16:00	92,89	-59,17	3:31:00	-61,98
FOTO (SX520HS Comb)	0:15:00	12,30	-80	1:46:58	87,70	-77,72	2:01:58	-78,02

Tabla 7.26. Comparación de tiempos entre las diferentes metodologías propuestas para modelos satisfactorios y Kinect

Puede observarse como claramente el método fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas es el más rápido en cuanto a la obtención de nubes de puntos, seguido por el fallido método Kinect y por último el método TLS.

Se puede observar que la generación de nube de puntos es el proceso más restrictivo en cuanto a tiempo se refiere suponiendo del entorno del 90% del tiempo para todos los casos. La relación entre estos métodos es una reducción de casi el 62% en general para el método Kinect y casi un 80% para el método fotogramétrico.

Hay que indicar que el tamaño original de las nubes de puntos masivas del láser-escáner son mucho más densas que las generadas por método fotogramétrico o las de Kinect, pero son reconstruidas por medio de un software comercial cuyo funcionamiento está destinado concretamente a este objetivo, por tanto, no podría establecerse una relación real en cuanto a densidad de puntos frente a tiempo de procesado. En este análisis se ha tratado de obtener una visión global del tiempo necesario para llevar a cabo la reconstrucción tridimensional de un elemento concreto por tres metodologías distintas, independientemente de la densidad.

7.4.5. Volumen de archivos

En cuanto a la comparación de los archivos generados, se procederá a comparar de forma individual cada método, puesto que con los resultados ofrecidos no existen diferencias reseñables en cuanto a diferencia de volumen de los mismo.



Se comparará cada método de forma individualizada y se buscará saber las relaciones de reducción de volumen por medio de la depuración y la generada por el paso de la nube depurada a la malla postprocesada.

7.4.5.1. Método TLS

En la siguiente tabla se muestran las relaciones de reducción de volumen de archivo entre las nubes de puntos obtenidas:

MUESTRA TLS	NUBE DE PTOS. (MB)	P.D. SAMPLE (MB)	% RED. DEPURADO
NUBE OR. LIMPIA	408,38	98,20	75,95
SUBSAMP. D.P. 0,0009m	197,54	45,35	77,04
SUBSAMP. D.P. 0,001m	115,56	39,76	65,59
SUBSAMP. D.P. 0,002m	47,41	16,74	64,70
SUBSAMP. D.P. 0,003m	29,97	8,77	70,74
SUBSAMP. D.P. 0,004m	14,00	4,24	69,72
SUBSAMP. D.P. 0,005m	8,26	2,40	70,90

Tabla 7.27. Comparación de volumen de archivo de nubes de puntos origen y con sampling por "Poisson Disc"

Puede observarse que el efecto del *sampling* mediante disco de Poisson generó una reducción del volumen de archivo alrededor de entre el 65 y 75% en la mayoría de los casos.

A continuación, se muestran las relaciones entre los archivos de las nubes de puntos y su triangulación directa:

MUESTRA TLS	NUBE DE PTOS. (MB)	P.D. SAMPLE (MB)	% RED. MALLADO
NUBE OR. LIMPIA	408,38	98,20	75,95
SUBSAMP. D.P. 0,0009m	197,54	45,35	77,04
SUBSAMP. D.P. 0,001m	115,56	39,76	65,59
SUBSAMP. D.P. 0,002m	47,41	16,74	64,70
SUBSAMP. D.P. 0,003m	29,97	8,77	70,74
SUBSAMP. D.P. 0,004m	14,00	4,24	69,72
SUBSAMP. D.P. 0,005m	8,26	2,40	70,90

Tabla 7.28. Comparativa de volumen de archivo de nube de puntos y su malla por reconstrucción "Screened Poisson"

En la tabla siguiente se observan las relaciones entre las nubes de puntos a las que se aplicó el *sampling* por Disco de Poisson y las mallas depuradas generadas a partir de estas nubes de puntos:

MUESTRA TLS	NUBE DE PTOS. (MB)	P.D. SAMPLE (MB)	% RED. MALLADO
NUBE OR. LIMPIA	98,20	14,08	85,67
SUBSAMP. D.P. 0,0009m	45,35	13,72	69,75
SUBSAMP. D.P. 0,001m	39,76	10,35	73,97
SUBSAMP. D.P. 0,002m	16,74	9,96	40,52
SUBSAMP. D.P. 0,003m	8,77	9,99	-13,96
SUBSAMP. D.P. 0,004m	4,24	9,83	-131,88
SUBSAMP. D.P. 0,005m	2,40	9,27	-285,89

Tabla 7.29. Comparativa de volumen de archivo de nube con sampling "Poisson Disc" y su malla postprocesada resultante



Se observa cómo los modelos de menor volumen aumentan de tamaño en vez de decrecer. Esto puede venir dado por una cierta compresión de la información relativa al archivo, pero no ha podido demostrarse.

Se realizaron comparaciones adicionales en este método como comparar la densidad de las nubes de puntos con el volumen del archivo, tal y como se muestra esta comparación en la tabla siguiente:

MUESTRA TLS	NUBE DE PTOS. (MB)	PTOS	REL. PT-MB	P.D. SAMPLE (MB)	PTOS	REL. PT-MB
NUBE OR. LIMPIA	408,38	6479351	15866	98,20	328241	3343
SUBSAMP. D.P. 0,0009m	197,54	3174665	16071	45,35	332954	7342
SUBSAMP. D.P. 0,001m	115,56	1858018	16078	39,76	254079	6390
SUBSAMP. D.P. 0,002m	47,41	763044	16095	16,74	238011	14220
SUBSAMP. D.P. 0,003m	29,97	482661	16107	8,77	235156	26824
SUBSAMP. D.P. 0,004m	14,00	225621	16118	4,24	237644	56058
SUBSAMP. D.P. 0,005m	8,26	133154	16127	2,40	224173	93314

Tabla 7.30. Comparación de densidad de puntos con volumen de archivo de las nubes de puntos TLS

Se puede observar que en el caso de las nubes de puntos depuradas que el valor de relación densidad-volumen es de aproximadamente 16.000 ptos./MB. Este valor cambia radicalmente cuando se comparan los volúmenes de las nubes con *sampling* por el método de Disco de Poisson, donde el valor de puntos crece enormemente a medida que el volumen del archivo baja. No se consiguió encontrar una explicación clara a este fenómeno, puesto que a priori la información de los puntos se vio inalterada. Podría deberse este fenómeno a una compresión de la información, pero no está claro. Además, este análisis quedaría fuera del alcance del proyecto.

7.4.5.2. Método fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas

En la tabla siguiente se muestran los efectos de la depuración de nubes de puntos y triangulaciones, así como el efecto de paso de nube a malla en relación al volumen de los archivos generados por la cámara Canon SX520HS:

MUESTRA FOTOGRAMETRÍA SX520HS	NUBE DE PTOS. (MB)	NUBE DE PTOS. LIMPIA (MB)	% RED. DEPURADO	REC. POISSON (MB)	REC. POISSON POSTP. (MB)	% RED. DEPURADO	% RED. TOTAL
Modelo Combinado	212,70	173,78	18,30	6,29	5,58	11,33	96,79
Modelo 30 cm	78,88	77,75	1,42	3,71	3,42	7,78	95,61
Modelo 1m	18,54	13,26	28,49	5,11	4,81	5,89	63,75
Modelo 2,5 m	17,44	6,22	64,33	7,71	6,61	14,27	-6,25

Tabla 7.31. Comparación de volumen de archivo de nube de puntos – triangulación y efectos de depuración de SX520HS

Puede verse cómo en el caso del modelo generado a 2,5 m la triangulación depurada genera mayor volumen de archivos que la nube original. Las nubes más masivas, al ser trianguladas, tuvo una reducción de volumen de aproximadamente el 95%. En cuanto a la reducción de volumen generada en la depuración de la nube de puntos, se puede observar datos más dispares, cabe destacar el caso de la nube generada a 2,5, donde los elementos del entorno captados suponían una gran cantidad de puntos.

A continuación, se muestran en la tabla los efectos de la depuración de nubes de puntos y triangulaciones, así como el efecto de paso de nube a malla en relación al volumen de los archivos generados por la cámara Canon EOS 200D:



MUESTRA FOTOGRAMETRIA EOS200D	NUBE DE PTOS. (MB)	NUBE DE PTOS. LIMPIA (MB)	% RED. DEPURADO	REC. POISSON (MB)	REC. POISSON POSTP. (MB)	% RED. DEPURADO	% RED. TOTAL
Modelo Combinado	185,16	151,01	18,45	4,73	4,46	5,73	97,04
Modelo 30 cm	90,39	81,33	10,02	2,74	2,42	11,48	97,02
Modelo 1m	38,47	32,37	15,87	4,78	4,50	5,71	86,09
Modelo 2,5 m	24,46	11,69	52,23	6,68	5,90	11,69	49,49

Tabla 7.32. Comparación de volumen de archivo de nube de puntos – triangulación y efectos de depuración de EOS 200D

Puede observarse la reducción de volumen uniforme en la depuración de la nube salvo el caso de la generada a partir de las tomas a 2,5 m, de nuevo debido a la cantidad de objetos registrados en las capturas al realizarse a mayor distancia. En cuanto a la depuración de las mallas, todas se encuentran en un intervalo de entre el 6 y el 12%. La reducción de volumen del paso de nube de puntos a malla es similar en todos los casos, salvo en el del modelo ejecutado con las fotos a 2,5 m de nuevo, esto se debe a un recrecimiento al generar la triangulación ya observado en otros casos del TLS.



8. CONCLUSIONES

Poniendo en valor los resultados obtenidos y la comparación entre los mismos, y teniendo en cuenta que lo expuesto a continuación se deriva exclusivamente de la experiencia desarrollada en el presente TFG, con los condicionantes y características en términos de complejidad asociados al elemento objeto de estudio, pueden obtenerse las siguientes conclusiones, que pueden ser clasificadas según las características observadas.

En cuanto a calidad de los productos:

- El método TLS ofrece mucha más información en las nubes de puntos generadas, son nubes de mayor densidad y cobertura.
- El método TLS puede generar triangulaciones con mayor posibilidad de ser cerradas dada la cantidad de datos presentada en las nubes de datos.
- El método TLS presenta dificultades en la representación de superficies reflectantes y elementos capacidad de refracción.
- El método TLS puede tener dificultades en la generación de nubes viables si existen obstáculos en la captura.
- El método fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas solo permite la generación de nubes de puntos correctas si la captura de fotografías genera suficiente solapamiento en los pares fotogramétricos.
- El método fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas, en la mayoría de los casos experimentados y bajo los condicionantes descritos a lo largo del trabajo, no ofrece resultados aceptables en la generación de nubes de puntos en cuanto a representatividad y precisión si no son realizadas amplias series de capturas a distintas distancias, y se combinan las mismas.
- El método fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas ofrece peores resultados en cuanto a información constructiva el elemento representado, ya que suaviza los ángulos y vértices del elemento.

En cuanto al tiempo de operación y generación de productos:

- Bajo las condiciones del ensayo desarrollado, el método fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas tiene tiempos de captura realmente cortos en comparación al resto.
- El método fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas es el más rápido para la generación de nubes de puntos.
- El método TLS es el que requiere más tiempo para capturar elementos complejos.
- El método TLS es más lento en la generación de nubes de puntos, pero el grado de automatización en la limpieza de ruidos generados resulta sustancialmente mayor.
- El mallado en ambos métodos se realiza en segundos mediante la reconstrucción seleccionada.
- El método de captura infrarroja mediante Kinect se sitúa a medio término entre el TLS y el fotogramétrico, pese a no haber ofrecido resultados válidos.

En cuanto a las herramientas de software utilizadas:



- El software libre ofrece herramientas útiles, pero limitadas para la gestión de las nubes de puntos por sus características masivas, y la especialización necesaria para ciertas operaciones, como la limpieza de ruidos o puntos falsos, como fue el caso de la limpieza de la nube de puntos generada por TLS.
- El software libre en casos de alta automatización no permite la interacción con los datos capturados para poder corregir errores en la generación de nubes de puntos, como sucedió en el caso de SCENECT para la generación de la nube de Kinect.
- El software libre no tiene un elevado potencial en la gestión de mallas generadas por medio de nubes masivas de puntos en elementos de pequeño tamaño y geometrías complejas, en todos los casos de mallado planteados no hubo posibilidad de saneo satisfactorio de las mallas.

En cuanto a costes de operación de cada método:

- El método TLS es un método de alto coste, estando su adquisición condicionada por la cuantía de trabajos a realizar, siendo inviable la justificación en el caso de exclusivamente una modelización como la aquí planteada, pero el alquiler puede suponer una alternativa interesante.
- El método fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas es un método de bajo coste, ideal para aplicaciones cuyo grado de definición no resulte grande o usuarios no especializados, puesto que los requerimientos económicos se limitan a una cámara digital o incluso un smartphone, al alcance de casi cualquier usuario, y un equipo para procesar los datos.
- El método de captura por infrarrojos mediante Kinect no pudo ser evaluado, pero en cuanto a coste, es similar al método fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas, pues los materiales necesarios no son especialmente costosos.

En cuanto a la posibilidad de difusión de los productos:

- Los productos de nube de puntos, tanto del método operativo mediante TLS como el fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas, generaron productos, tanto en el caso de las validadas para el caso de estudio como las que no, de volumen en ningún momento superior a los 250MB, por tanto, siendo, teniendo en cuenta los estándares de almacenamiento, perfectamente almacenables y gestionables.
- Los productos de triangulación de las nubes de puntos tanto del método operativo mediante TLS como el fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas, generaron archivos de volumen en ningún momento superiores a los 10MB. Esto los hace perfectamente manejables y almacenables.
- Dichos tamaños permiten tanto una subida como una descarga simple de la red, facilitando el que puedan ser compartidos y gestionados, si bien la capacidad de los propios dispositivos condicionará el último aspecto.
- En el caso de las mallas, los archivos podrán ser compartidos incluso por correo electrónico, dado que en la mayoría de los casos estos permiten la subida de archivos de hasta 25MB.



En cuanto a la posibilidad de utilización para reconstrucción, inventariado, valorización del patrimonio geológico y minero:

- El método TLS es idóneo para generar reconstrucciones de elementos ya sean muebles, inmuebles o entornos gracias a la densidad de puntos, del orden de millones, capturable en cada escaneo.
- El método TLS permite georreferenciación directa de los elementos capturados.
- El método TLS no es eficiente en la representación de formaciones minerales con superficies reflectivas y capacidades refractivas.
- El método TLS puede ser especialmente útil para la generación de recorridos virtuales u otros elementos derivados del escaneo útiles para la puesta en valor del patrimonio minero.
- El método fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas presenta dificultades para representar elementos con geometría compleja, tales como “La Piedrona”.
- El método fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas permite la captura de datos en tiempos relativamente cortos, lo que puede ser una ventaja para la representación de elementos de tipo mueble de pequeñas dimensiones.
- El método fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas permite la reconstrucción de elementos con difícil acceso para otros equipos.
- El método fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas permite captura en campo con muy pocos medios, y es posible comprobar los resultados de las tomas en campo por medio de reconstrucciones tridimensionales rápidas mediante software (posibilidad que igualmente ofrece el TLS).
- El método fotogramétrico de corto alcance con cámaras no métricas requiere de menos elementos auxiliares para la captura de datos, y no requiere de excesivas operaciones en gabinete.

Los métodos de alto coste aún mantienen predominancia como técnicas de modelización tridimensional frente a los de bajo coste. El láser escáner ofrece gran potencial en aplicaciones para la obtención de modelos tridimensionales de elementos patrimoniales tipo mueble, inmueble o entornos, estando caracterizado por su velocidad de captura y la densidad de las nubes de puntos. Se concluye por tanto que el láser escáner proporciona gran grado de definición de elementos presentes en el entorno no alcanzable por las metodologías o instrumentales alternativos aquí considerados. En cuanto al nivel de textura resultante de los productos, el método basado en la aplicación del láser escáner ve mermadas sus capacidades. Esto puede ser corregido con la combinación de metodologías de bajo coste, como es el caso de estudio de fotogramétrico, pudiendo combinar ambas metodologías para mejorar resultados.

En definitiva, los métodos de bajo coste ofrecen cualitativa y cuantitativamente peores resultados en cuanto a precisión y definición de los elementos a representar. La alta disponibilidad de los métodos de bajo coste los hace muy interesantes para la reconstrucción de elementos tipo mueble o inmueble con geometrías no demasiado complicadas y que no necesitan de un nivel de detalle excesivo. Los métodos de bajo coste con uso de fotogrametría de corto alcance con cámaras no métricas permiten una aproximación suficiente a la modelización de elementos inmóviles con posibilidad de ser



capturados a lo largo de toda su superficie. Alguno de los métodos de bajo coste considerados no permite la modelización en campo, como es el caso del Kinect, debido a su complicada operativa y necesidad de alimentación.

Los programas de softwares libre en la actualidad constituyen herramientas para el trabajo independientes a las técnicas de captura utilizadas, pero en cierta medida siguen por detrás de softwares comerciales específicos en cuanto a potencial. La amplia disponibilidad de software libre dedicado a técnicas de bajo coste permite la elección del mismo en función de los requerimientos del producto que se desee generar. Con el avance de la tecnología, es probable que en algún momento puedan acercarse los resultados de las distintas metodologías.

En cuanto a las posibilidades de difusión, ambas metodologías presentan características similares, ya que los productos finales generados tienen un volumen similar. En la actualidad, con los medios existentes los volúmenes de información generados permiten su difusión sin dificultad y su almacenamiento. En el caso de los modelos de triangulaciones de elementos de pequeñas dimensiones es posible incluso su envío por correo electrónico, debido al escaso volumen de los archivos contenedores.

Enfocándose en el interés de estos métodos para la conservación, catalogación, inventariado y valorización del patrimonio minero y geológico, ambos métodos presentan gran interés. Los métodos de alto coste deberían enfocarse a tareas de representación de elementos complejos, georreferenciación o reconstrucción de entornos de mayor dimensión. Los métodos de bajo coste tendrían cabida en la reconstrucción tridimensional de elementos de tipo mueble o inmueble, de menor relevancia, con características más simples y tamaños reducidos, o zonas donde los métodos de alto coste no puedan llegar, donde quedaría justificada una menor definición a cambio de una modelización de carácter ilustrativo.

El potencial de los métodos de bajo coste reside en las posibilidades que da a entidades o al individuo de generar productos representativos del patrimonio, que puedan generar interés para la comunidad minera o población circundante sin la participación de capitales externos. El uso de estos modelos tiene gran interés para la difusión de la imagen de la empresa minera o de la propia actividad ya extinguida. Los fines museísticos, lúdicos o turísticos a los que puedan aplicarse los productos resultantes de estas metodologías pueden servir para potenciar o dinamizar las económicas de las áreas donde se hayan ejecutado labores mineras. Pese a no obtener la definición y características que arrojan las metodologías de alto coste, las técnicas de modelización de bajo coste son y con la mejora de las tecnologías, serán, determinantes para la conservación y difusión del patrimonio minero y geológico, debiendo además tener en cuenta que existen otras alternativas, como la fotogrametría aérea a través del uso de drones, que si bien ha sido mencionada, no se ha estudiado en profundidad ni ha sido objeto de aplicación en el presente TFG, quedando fuera del alcance del mismo.

Son estas las principales conclusiones derivadas del presente trabajo, que pone de manifiesto el interés relativo de las tecnologías de modelización de bajo coste, en relación a otras más precisas, y la necesidad de llevar a cabo una adecuada gestión y preservación del Patrimonio Minero.



9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «El Gobierno de Cantabria estudia la creación de un parque de ocio y aventuras de carácter geominero en Udías | PATRIMONIO INDUSTRIAL DE CANTABRIA». <https://patrimonioindustrialcantabria.wordpress.com/2012/06/13/el-gobierno-de-cantabria-estudia-la-creacion-de-un-parque-de-ocio-y-aventuras-de-caracter-geominero-en-udias/> (accedido 20 de junio de 2022).
- [2] R. Pérez Álvarez, «Aplicaciones del láser escáner en entornos mineros, implementación en el grupo minero de La Florida (Cantabria)», p. 676, 2014, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/5901>
- [3] «Cantabria Occidental: Labor sindical minera en Udías». <http://cantabriaoccidentalprensa.blogspot.com/2014/09/labor-sindical-minera-en-udias.html> (accedido 20 de junio de 2022).
- [4] «Formaciones». <https://www.elsoplao.es/es/galeria/formaciones> (accedido 20 de junio de 2022).
- [5] R. Jordá Bordehore, «Inventario y propuesta de puesta en valor del patrimonio geológico-minero de las minas del Macizo Central de los Picos de Europa (Cantabria)», 2016.
- [6] «MTI Minas Cantabria: Minas de Udías: Casas de la Mina». <https://mti-cantabria.blogspot.com/2015/01/minas-de-udias-casas-de-la-mina-cobijon.html> (accedido 20 de junio de 2022).
- [7] «Las Médulas | Castilla y León Patrimonio de la Humanidad». <https://www.patrimoniocastillayleon.com/es/las-medulas> (accedido 20 de junio de 2022).
- [8] E. Alberruche del campo, C. Marchán Sanz, A. Sánchez Rodríguez, D. Ponde de León Gil, y A. García de Domingo, *Guía metodológica para la integración del Patrimonio Minero en la evaluación de impacto ambiental*. 2012. [En línea]. Disponible en: [https://www.igme.es/patrimonio/descargas/Guía metodológica para la integración del Patrimonio Minero en la Evaluación de Impacto Ambiental.pdf](https://www.igme.es/patrimonio/descargas/Guía%20metodológica%20para%20la%20integración%20del%20Patrimonio%20Minero%20en%20la%20Evaluación%20de%20Impacto%20Ambiental.pdf)
- [9] D. J. Carvajal Gómez, «Metodología para la gestión de proyectos de puesta en valor del patrimonio minero», Universidad de Huelva, 2009. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10272/2869>
- [10] L. Jordá Bodehore, «LA MINERÍA DE LOS METALES EN LA PROVINCIA DE MADRID: PATRIMONIO MINERO Y PUESTA EN VALOR DEL ESPACIO SUBTERRÁNEO», UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://oa.upm.es/2061/>
- [11] «Parque de la Naturaleza de Cabárceno - Cantur - Cantabria - España - Descubre, este puente de diciembre, los lugares escondidos de Cabárceno». <https://www.parquedecabarceno.com/siguenos/blogs/26-descubre-este-puente-de-diciembre-los-lugares-escondidos-de-cabarceno#.YrBmDnZBx3i> (accedido 20 de junio de 2022).



- [12] «Información y tarifas». <https://www.elsoplao.es/es/informacion-visita/informacion> (accedido 20 de junio de 2022).
- [13] «Cargadero de Dícido - Patrimonio minero - Mioño - ITM GUÍA CANTABRIA». <https://itm.com.es/planes/cargadero-de-dicido/18.html> (accedido 20 de junio de 2022).
- [14] «El Mineral Digital: Mina Hermosa. La Gándara. Udías.Cantabria». <http://elmineraldigital.blogspot.com/2009/12/mina-hermosa-la-gandara-udiascantabria.html> (accedido 20 de junio de 2022).
- [15] Jefatura del Estado, *Ley 16/1985 de 25 de Junio, del Patrimonio Histórico Español*, vol. 155, n.º 155. España, 1985, pp. 20342-20352. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/1985/06/25/16/con>
- [16] Jefatura del Estado, *Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad*. España, 2007, pp. 1-116. [En línea]. Disponible en: <http://www.citeulike.org/user/LNCScatalogo/article/10236401?updated=1334769541&rejected=>
- [17] Jefatura del Estado, *Ley 45/2007 para el desarrollo sostenible del medio rural*, n.º 299, de 14 de diciembre. España, 2007, pp. 1-18. [En línea]. Disponible en: <http://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-21493-consolidado.pdf>
<http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-21493>
- [18] Comunidad Autónoma de Cantabria, «Ley 11/1998, de 13 de octubre, de Patrimonio Cultural de Cantabria», *Boe*, vol. 53, n.º 9, pp. 1-58, 1998, [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/1999/BOE-A-1999-652-consolidado.pdf>
- [19] C. C. de Gobierno, *Decreto 36/2001, de 2 de mayo, de desarrollo parcial de la Ley de Cantabria 11/1998, de 13 de octubre, de Patrimonio Cultural*. 2001, pp. 3811-3822. [En línea]. Disponible en: <https://boc.cantabria.es/boces/verAnuncioAction.do?idAnuBlob=19999>
- [20] C. Cañizares, «Patrimonio, Parques Mineros y Turismo en España», *Cuad. Tur.*, vol. 27, pp. 133-153, 2011, [En línea]. Disponible en: <https://digitum.um.es/xmlui/handle/10201/28003>
- [21] J. M. de Luis-Ruiz, J. Sedano-Cibrián, R. Pérez-Álvarez, R. Pereda-García, y B. Malagón-Picón, «Metric contrast of thermal 3D models of large industrial facilities obtained by means of low-cost infrared sensors in UAV platforms», *Int. J. Remote Sens.*, vol. 43, n.º 2, pp. 457-483, 2022, doi: 10.1080/01431161.2021.2003903.
- [22] «Nuevo Curso de Piloto de Drones de Ala Fija | SEAS». <https://www.seas.es/noticias/curso-dron-ala-fija-online> (accedido 20 de junio de 2022).
- [23] «¿Es mejor un Drone de Ala Fija o Multirrotor? | Survey Rental & Sales». <https://surveyrental.com.pe/blog/nuestro-blog-1/post/es-mejor-un-drone-de-ala-fija-o-multirrotor-1> (accedido 20 de junio de 2022).
- [24] Y. Furukawa, B. Curless, S. M. Seitz, y R. Szeliski, «Towards internet-scale multi-



- view stereo», *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, n.º June, pp. 1434-1441, 2010, doi: 10.1109/CVPR.2010.5539802.
- [25] F. Remondino y S. El-hakim, «Image-based 3D modelling: A review», *Photogramm. Rec.*, vol. 21, n.º 115, pp. 269-291, 2006, doi: 10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x.
- [26] M. J. Westoby, J. Brasington, N. F. Glasser, M. J. Hambrey, y J. M. Reynolds, «“Structure-from-Motion” photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications», *Geomorphology*, vol. 179, pp. 300-314, 2012, doi: 10.1016/j.geomorph.2012.08.021.
- [27] D. G. Lowe, «Distinctive image features from scale-invariant keypoints», *Int. J. Comput. Vis.*, pp. 91-110, 2004.
- [28] Y. Furukawa y J. Ponce, «Accurate, dense, and robust multiview stereopsis», *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 32, n.º 8, pp. 1362-1376, 2010, doi: 10.1109/TPAMI.2009.161.
- [29] B. Bayram, G. Nemli, T. Özkan, O. E. Oflaz, B. Kankotan, y A. Çetin, «Comparison of laser scanning and photogrammetry and their use for digital recording of cultural monument case study: Byzantine land walls-istanbul», *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. 2, n.º 5W3, pp. 17-24, 2015, doi: 10.5194/isprsannals-II-5-W3-17-2015.
- [30] J. H. Chandler y S. J. Buckley, «Structure from motion (SFM) photogrammetry vs terrestrial laser scanning», *Geosci. Handb. 2016 AGI Data Sheets*, pp. 0-4, 2016, [En línea]. Disponible en: <https://dspace.lboro.ac.uk/2134/21673%5Cnhttps://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/handle/2134/21673>
- [31] S. Peña Villasenín, «APLICACIONES DE LA FOTOGRAMETRÍA DE BAJO COSTE AL ESTUDIO DE PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO Y ARQUITECTÓNICO», Universidad de Santiago de Compostela, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://minerva.usc.es/xmlui/handle/10347/20867>
- [32] C. Beekmans, J. Schneider, T. Läbe, M. Lennefer, C. Stachniss, y C. Simmer, «Cloud photogrammetry with dense stereo for fisheye cameras», *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 16, n.º 22, pp. 14231-14248, 2016, doi: 10.5194/acp-16-14231-2016.
- [33] A. R. Mosbrucker, J. J. Major, K. R. Spicer, y J. Pitlick, «Camera system considerations for geomorphic applications of SfM photogrammetry», *Earth Surf. Process. Landforms*, vol. 42, n.º 6, pp. 969-986, 2017, doi: 10.1002/esp.4066.
- [34] «Kinect - ElOtroLado». <https://www.elotrolado.net/wiki/Kinect> (accedido 25 de junio de 2022).
- [35] M. Sebastián Magallón, «La cámara Microsoft Kinect», pp. 33-76, 2010, [En línea]. Disponible en: https://zagan.unizar.es/record/12845/files/TAZ-PFC-2013-649_ANE.pdf
- [36] «PrimeSense - Wikipedia». <https://en.wikipedia.org/wiki/PrimeSense> (accedido 30 de junio de 2022).



- [37] K. Litomisky, «Consumer RGB - D Cameras and their Applications Krystof Litomisky», n.º March 2012, 2019, [En línea]. Disponible en: <http://alumni.cs.ucr.edu/~klitomis/files/RGBD-intro.pdf>
- [38] «Historia de Liébana. Cantabria, España». <http://www.valledelibana.info/historia.html> (accedido 20 de junio de 2022).
- [39] R. Á. Preciso, «Leica RTC360», pp. 3-4, [En línea]. Disponible en: <https://leica-geosystems.com/es-mx/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>
- [40] «Canon PowerShot SX520 HS - PowerShot and IXUS digital compact cameras - Canon Spain». https://www.canon.es/for_home/product_finder/cameras/digital_camera/powershot/powershot_sx520_hs/ (accedido 30 de junio de 2022).
- [41] «Canon EOS 200D - Cámaras - Canon Spain». <https://www.canon.es/cameras/eos-200d/> (accedido 19 de junio de 2022).
- [42] «Canon EOS 200D (Rebel SL2) Ficha rápida, opiniones y precios». <https://quecamarareflex.com/canon-eos-200d-rebel-sl2-ficha-rapida-opiniones-precios/> (accedido 20 de junio de 2022).
- [43] «Canon EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 IS STM - Lentes - Camera & Photo lenses - Canon Spain». <https://www.canon.es/lenses/ef-s-18-55mm-f-3-5-5-6-is-stm-lens/> (accedido 19 de junio de 2022).
- [44] M. R. Serrano, «Reconocimiento de expresiones con kinect», UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, 2015. [En línea]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26066/PFC_Manuel_Regidor_Serrano.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [45] «Kinect - Wikipedia, la enciclopedia libre». <https://es.wikipedia.org/wiki/Kinect> (accedido 25 de junio de 2022).
- [46] «GP66 Leopard 11UG-089XES», [En línea]. Disponible en: [https://storage-asset.msi.com/specSheet/es/nb/GP66 Leopard 11UG-089XES.pdf](https://storage-asset.msi.com/specSheet/es/nb/GP66%20Leopard%2011UG-089XES.pdf)
- [47] L. G. AG, «Leica Cyclone FIELD 360». Accedido: 10 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://leica-geosystems.com/es-es/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-field-360>
- [48] Leica Geosystems AG, «Leica Cyclone REGISTER 360 El poder de Cyclone , simplificado», 2017.
- [49] «Leica Cyclone REGISTER 360 | Leica Geosystems». <https://leica-geosystems.com/es-es/products/laser-scanners/software/leica-cyclone/leica-cyclone-register-360> (accedido 28 de junio de 2022).
- [50] «CloudCompare - Wikipedia». <https://en.wikipedia.org/wiki/CloudCompare> (accedido 20 de junio de 2022).
- [51] D. Girardeau-Montaut, «CloudCompare version 2.6.1. user manual», p. 181, 2015, [En línea]. Disponible en: <http://www.danielgm.net/cc/>
- [52] «CloudCompare v2.6.1 User Manual». [En línea]. Disponible en:



<http://www.cloudcompare.org/doc/qCC/CloudCompare> v2.6.1 - User manual.pdf

- [53] «FILE I/O - CloudCompareWiki». https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=FILE_I/O (accedido 20 de junio de 2022).
- [54] «MeshLab - Wikipedia». <https://en.wikipedia.org/wiki/MeshLab> (accedido 20 de junio de 2022).
- [55] «MeshLab». <https://www.meshlab.net/> (accedido 20 de junio de 2022).
- [56] «VisualSFM: A Visual Structure from Motion System - Documentation». <http://ccwu.me/vsfm/doc.html#usage> (accedido 19 de junio de 2022).
- [57] «VisualSFM | Un Consortium 3D pour les SHS». <https://shs3d.hypotheses.org/6290> (accedido 20 de junio de 2022).
- [58] M. Rothermel y K. Wenzel, «SURE - Photogrammetric Surface Reconstruction from Imagery», *Proc. LC3D Work.*, n.º May 2015, pp. 1-21, 2012, [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/276090364_SURE_Photogrammetric_Surface_Reconstruction_From_Imagery
- [59] «Manual Scenect 5.2», 2013, [En línea]. Disponible en: <https://dl-manual.com/download/e1073-scenect-52-manual-en-d5zd12ymnjzr?hash=a7d3123ac6d93f3844f2fe133836ce1f>
- [60] F. T. Inc, «FREESTYLE 3D AND SOFTWARE», [En línea]. Disponible en: https://es-knowledge.faro.com/Hardware/Legacy-Hardware/Freestyle/User_Manual_for_Freestyle3D-SCENE_Capture_and_SCENE_Process
- [61] «Manual de usuario para Freestyle3D, SCENE Capture y SCENE Process - Base de conocimiento FARO®». https://es-knowledge.faro.com/Hardware/Legacy-Hardware/Freestyle/User_Manual_for_Freestyle3D-SCENE_Capture_and_SCENE_Process (accedido 30 de junio de 2022).
- [62] «Normals\Compute - CloudCompareWiki». <https://cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Normals%5CCompute> (accedido 22 de junio de 2022).