

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y
AGRIMENSURA



“EVALUAR EL GRADO DE PRECISIÓN DEL ESCÁNER LÁSER EN
CONTRASTACIÓN CON UNA ESTACIÓN TOTAL EN LA GENERACIÓN DE
MODELOS DIGITALES DE TERRENO EN LA CIUDAD DE PUNO”

TESIS

PRESENTADA POR:

ROY CCOSI CAHUANA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR

PROMOCIÓN: 2013 - II

PUNO – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y AGRIMENSURA

“EVALUAR EL GRADO DE PRECISIÓN DEL ESCÁNER LÁSER EN CONTRASTACIÓN CON UNA ESTACIÓN TOTAL EN LA GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE TERRENO EN LA CIUDAD DE PUNO”

TESIS

PRESENTADA POR:
ROY CCOSI CAHUANA



PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR
FECHA DE SUSTENTACIÓN: 17 DE NOVIEMBRE DE 2017

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

| | | |
|-------------------|---|---|
| PRESIDENTE | : | Ing. M.Sc. Valeriano Condori Apaza |
| PRIMER MIEMBRO | : | Ing. Saúl Sardón Flores |
| SEGUNDO MIEMBRO | : | Ing. D.Sc. Víctor Andrés Gonzales Gonzales |
| DIRECTOR / ASESOR | : | Ing. Víctor Cipriano Flores Flores |

PUNO – PERÚ
2017

Área : Ciencias naturales
Tema : Topografía, geodesia, cartografía y catastro

DEDICATORIA

A mi Madre Benedicta Cahuana Ccosi. Con mucho respeto, amor y cariño, por ser la guía de mi vida, y su apoyo constante e incondicional.

A mi Padre Segundo Ccosi Ccosi, por su ejemplo de vida y su ves por ser mi primer maestro que su guiarme y conducirme a ser un profesional de prestigio.

A mis siete Hermanos Víctor, José, Rene, Joaquín, Nelson, María y alexsander por su constante apoyo incondicional en todos los momentos decisivos de mi vida y por su confianza que pusieron en mí persona de ser un profesional.

A mis Sobrinos Manuel, Alexis y Magdiel, por su inocencia y alegría al compartir en los momentos difíciles de mi vida, de ser ejemplo para ellos a seguir.

Roy Ccosi Cahuana

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno por haber dado la oportunidad de seguir y concluir mis estudios universitarios.

A cada uno de los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica Agrimensura, por los conocimientos transmitidos, tiempo y orientación que día a día contribuyeron en mi formación profesional.

Al ingeniero Víctor C. Flores Flores, docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica Agrimensura de la UNA – Puno, que no dudo en el apoyo como asesor de la presente tesis.

Al ingeniero Saúl Sardón Flores, docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica Agrimensura de la UNA – Puno, por su acertada dirección y orientación en la ejecución de la presente investigación.

A mis grandes amigos; Nicanor, Néstor, Justo y Jony, por su apoyo incondicional en la ejecución de esta investigación, ya que sin su apoyo se hubiese tenido más dificultades.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|------|
| ÍNDICE DE FIGURAS | |
| ÍNDICE DE TABLAS | |
| ÍNDICE DE ACRÓNIMOS | |
| RESUMEN | 14 |
| ABSTRACT | 15 |
| INTRODUCCIÓN | 16 |
| CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN, ANTECEDENTES, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN | 18 |
| 1.1. Planteamiento del Problema | 18 |
| 1.2. Justificación | 19 |
| 1.3. Antecedentes de la Investigación | 20 |
| 1.3.1. Ámbito Global | 20 |
| 1.3.2. Ámbito Nacional | 22 |
| 1.3.3. Ámbito Local | 22 |
| 1.4. Hipótesis de la Investigación | 23 |
| 1.4.1. Hipótesis General | 23 |
| 1.4.2. Hipótesis Específicos | 23 |
| 1.5. Objetivos de la Investigación | 23 |
| 1.5.1. Objetivo General | 23 |
| 1.5.2. Objetivo Específicos | 23 |
| CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA | 24 |
| 2.1. Topografía | 24 |
| 2.1.1. La Tierra en su Verdadera Forma | 24 |
| 2.1.2. División Básica de la Topografía | 25 |
| 2.2. Sistema De Posicionamiento Global (GPS) | 26 |
| 2.2.1. Constelaciones de Satélites para Fines de Georreferenciación ... | 26 |
| 2.3. Sistema Proyección UTM | 27 |
| 2.3.1. La Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) | 27 |
| 2.4. Datum WGS-84 | 28 |
| 2.5. Sistema de Coordenadas | 29 |

| | |
|---|----|
| 2.5.1. Coordenadas Geodésicas | 29 |
| 2.5.2. Coordenadas UTM | 29 |
| 2.5.3. Coordenadas Topográficas | 30 |
| 2.6. Factor Escala | 30 |
| 2.7. Modelo Digital de Terreno (MDT) | 30 |
| 2.7.1. El Origen de los MDT | 30 |
| 2.7.2. Definición de Modelos Digitales del Terreno (MDT) | 32 |
| 2.7.3. Representación de la Superficie del Terreno | 34 |
| 2.8. Modelo Digital de Elevaciones (MDE) | 35 |
| 2.8.1. Definición del MDE | 35 |
| 2.8.2. Estructuras de Datos en el MDE | 36 |
| 2.9. La Construcción del MDE y Captura de Datos | 38 |
| 2.9.1. Captura de los Datos..... | 39 |
| 2.10. Teledetección | 43 |
| 2.10.1. Sistema Espacial Teledetección..... | 44 |
| 2.11. Principios del Escáner Láser | 45 |
| 2.11.1. El espectro Electromagnético y la Luz..... | 45 |
| 2.11.2. Escáner Láser | 46 |
| 2.11.3. Mediciones Usando la Luz | 48 |
| 2.11.4. Escáner Láser Faro Focus 3D y su Método | 53 |
| 2.11.5. Funcionamiento de Focus 3D..... | 54 |
| 2.11.6. Método de Escaneo..... | 55 |
| 2.12. Especificaciones Técnicas Mínimas para Trabajos Cartográficos..... | 59 |
| 2.12.1. Precisión y Exactitud | 59 |
| 2.12.2. Exactitud Posicional | 61 |
| 2.12.3. La Sociedad Americana para la Fotogrametría y la Lectura a Distancia..... | 62 |
| 2.12.4. La Norma SNCP – PERU Estándares Cartográficos..... | 66 |
| 2.13. Caracterización del Área de Investigación | 67 |
| 2.13.1. Ubicación de Área de Investigación | 67 |
| 2.13.2. Características Geográficas y Demográficas | 70 |
| CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS | 72 |
| 3.1. Materiales e Instrumentos | 72 |

| | |
|---|-----|
| 3.1.1. Materiales..... | 72 |
| 3.1.2. Equipos | 72 |
| 3.1.3. Softwares | 73 |
| 3.2. Metodología Para el Desarrollo del Trabajo | 73 |
| 3.2.1. Trabajo Inicial | 75 |
| 3.2.2. Trabajo de Campo..... | 78 |
| 3.2.3. Trabajo de Gabinete..... | 107 |
| 3.3. Selección de la Muestra | 131 |
| 3.3.1. Muestra | 131 |
| 3.3.2. Población..... | 131 |
| 3.4. Tipo de Estudio | 131 |
| 3.4.1. Prueba de t de Student..... | 132 |
| 3.4.2. Análisis de Regresión Lineal Simple | 133 |
| 3.4.3. Análisis de la Exactitud Absoluta Error Medio Cuadrático | 137 |
| 3.5. Variables de Investigación..... | 141 |
| 3.5.1. Variable Independiente..... | 141 |
| 3.5.2. Variable Dependiente..... | 141 |
| CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 142 |
| 4.1. Análisis de los Resultados..... | 142 |
| 4.1.1. Análisis de Resultados para el Objetivo Específico 1 | 142 |
| 4.1.2. Análisis de Resultados para el Objetivo Específico 2..... | 168 |
| 4.2. Análisis de Discusión..... | 174 |
| CONCLUSIONES | 175 |
| RECOMENDACIONES | 177 |
| BIBLIOGRAFÍA | 178 |
| ANEXOS..... | 181 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. La forma de la Tierra..... | 25 |
| Figura 2. Representación gráfica del sistema de satélites NAVSTAR. | 26 |
| Figura 3. Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) | 28 |
| Figura 4. Superficie justo en el nivel del suelo (MDT)..... | 33 |
| Figura 5. Distribución de frecuencias de las elevaciones de DEM..... | 33 |
| Figura 6. Vista en perspectiva creada a partir de un modelo de elevación | 35 |
| Figura 7. Prisma que descompone la luz blanca en los diferentes colores. | 45 |
| Figura 8. El espectro electromagnético..... | 45 |
| Figura 9. Imágenes y nube de puntos tomadas con Escáner. | 48 |
| Figura 10. Principio del láser escáner basado en triangulación. | 49 |
| Figura 11. Principio de un láser escáner basado en el tiempo de vuelo. | 50 |
| Figura 12. Medición láser por pulsos. | 51 |
| Figura 13. Láseres escáneres comerciales basados en el tiempo de vuelo. | 52 |
| Figura 14. Principio de medición basado en la fase..... | 52 |
| Figura 15. Láseres escáneres comerciales basados en fase..... | 53 |
| Figura 16. Escáner Láser Faro Focus 3D. | 54 |
| Figura 17. Rotación vertical y horizontal. | 55 |
| Figura 18. Tipos de dianas artificiales (target). | 56 |
| Figura 19. Escaneado de alta resolución de una diana. | 56 |
| Figura 20. Pantalla del escáner según parámetros de resolución y calidad. | 57 |
| Figura 21. Precisión. | 60 |
| Figura 22. Exactitud. | 60 |
| Figura 23. Ejemplos de Precisión y Exactitud. | 61 |
| Figura 24. Ubicación y localización de la investigación..... | 69 |
| Figura 25. Área de la investigación. | 69 |
| Figura 26. Diagrama de flujo de la metodología..... | 74 |
| Figura 27. Diagrama de desarrollo de trabajo. | 73 |
| Figura 28. Vista panorámica del ejército Manco Cápac (área de estudio). | 76 |
| Figura 29. Diseño y separación de la cuadrícula..... | 77 |
| Figura 30. Monumentación de los puntos UNA-1 y UNA-2. | 78 |

| | |
|---|-----|
| Figura 31. Ubicación de puntos en la imagen. | 79 |
| Figura 32. Georreferenciación de punto UNA-1..... | 79 |
| Figura 33. Georreferenciación de punto UNA-2..... | 80 |
| Figura 34. Levantamiento de poligonal de apoyo con estación total ES-105.... | 81 |
| Figura 35. Referencia de azimut y toma de coordenadas para la poligonal..... | 82 |
| Figura 36. Nivelación compuesta de poligonal con el nivel AT-B3..... | 83 |
| Figura 37. Presentación de la mira metálica en el punto UNA-1..... | 83 |
| Figura 38. Línea base y poligonal de apoyo. | 84 |
| Figura 39. Replanteo inicial de la cuadrícula T-01 al T-18 con estación total. .. | 85 |
| Figura 40. Trazo de cuadrícula para la excavación de puntos T-01 al T-18..... | 86 |
| Figura 41. Monumentación de puntos de T-01 al T-18 dim. 22 x 22 cm. | 86 |
| Figura 42. Replanteo de los ejes de T-01 al T-18 sobre los puntos | 87 |
| Figura 43. Pintado de los ejes de T-01 al T-18 con fondo blanco. | 87 |
| Figura 44. Trazo y control de la línea eje con apoyo de escuadras. | 88 |
| Figura 45. Pintado de blanco y negro de los puntos T-01 al T-18..... | 88 |
| Figura 46. Estacionamiento en el punto ESC. y orientación de azimut | 89 |
| Figura 47. Estacionamiento de tribach con prisma en el punto T-10. | 89 |
| Figura 48. Toma de coordenadas de los puntos T-01 al T-18 sobre los ejes. .. | 90 |
| Figura 49. Presentación de la mira en el punto ESC. Para cota de inicio. | 91 |
| Figura 50. Nivelación compuesta de los puntos T-01 al T-18. | 91 |
| Figura 51. Posicionamiento y medición de altura del equipo escáner láser. | 93 |
| Figura 52. Encendido y Pantalla de inicio del equipo escáner láser. | 93 |
| Figura 53. Configuración de los parámetros de escaneo..... | 94 |
| Figura 54. Seleccionar de perfil para exteriores hasta 20m. | 94 |
| Figura 55. Detalle de la configuración de la resolución y calidad de escaneo. . | 95 |
| Figura 56. Configuración del rango de escaneo..... | 95 |
| Figura 57. Selecciones de sensores (clinómetro, brújula y altímetro). | 96 |
| Figura 58. Parámetro de color..... | 97 |
| Figura 59. Inicio y progreso de escaneo | 98 |
| Figura 60. Escaneado del área estudio el a resoluciones 1/1, 1/8 y 1/20. | 98 |
| Figura 61. Presentación preliminar del escaneo | 99 |
| Figura 62. Ubicaciones de las 8 estaciones de escaneo. | 100 |
| Figura 63. Ubicación de los puntos de muestreo para la prueba exactitud. ... | 101 |

| | |
|--|-----|
| Figura 64. Moldes de metal 22 x 22 cm targets para la prueba exactitud. | 102 |
| Figura 65. Moldes de metal colocados sobre el terreno..... | 102 |
| Figura 66. Referencia de azimut al punto UNA-1 con prisma y bípode..... | 103 |
| Figura 67. Levantamiento de posición del escáner láser y puntos muestreo.. | 104 |
| Figura 68. Presentación de prisma en los puntos de posiciones del escáner. | 104 |
| Figura 69. Configuración de la res. 1/8 y calidad 4x para escaneo de MDT. ... | 105 |
| Figura 70. Escáner láser en proceso de escaneo y registro de datos..... | 106 |
| Figura 71. Puntos de muestreo tomados desde el punto R4. | 107 |
| Figura 72. Importación y propiedades del área de escaneo | 108 |
| Figura 73. Posición de escaneo en sus propias coordenadas. | 109 |
| Figura 74. Georreferenciación de escaneo. | 109 |
| Figura 75. Procesamiento del filtro de contraste de color. | 110 |
| Figura 76. Resultado después del filtro de contraste. | 110 |
| Figura 77. Procesamiento de la aplicación de imágenes. | 111 |
| Figura 78. Resultado después del filtro de imágenes. | 111 |
| Figura 79. Presentación de nube de puntos del escaneo en 3D..... | 112 |
| Figura 80. Identificación de objetivo de tablero de los puntos T-01 al T-18. ... | 112 |
| Figura 81. Medidas entre los puntos para verificar. | 113 |
| Figura 82. Entorno principal de SCENE y vista de escaneos. | 118 |
| Figura 83. Georreferenciación de las 8 escenas de escaneos..... | 119 |
| Figura 84. Las 8 Escenas de escaneo georreferenciado MDT. | 120 |
| Figura 85. Procesamiento de filtro de color y de imágenes nube de puntos... | 120 |
| Figura 86. Resultado de filtro de contraste y de imágenes nube de puntos.... | 121 |
| Figura 87. Exportación de proyecto de nube de puntos a Autodesk ReCap. ... | 121 |
| Figura 88. Abriendo en ReCap 360 la nube de puntos. | 122 |
| Figura 89. Registro de coordenadas para la prueba de exactitud..... | 122 |
| Figura 90. Identificación de 48 puntos de prueba de exactitud. | 123 |
| Figura 91. Vista de nube de puntos antes de limpieza..... | 124 |
| Figura 92. Vista de nube de puntos de árboles y personas sobre superficie.. | 124 |
| Figura 93. Vista de nube puntos árboles y personas a eliminar de superficie. | 125 |
| Figura 94. Vista de nube puntos árboles y personas eliminados. | 125 |
| Figura 95. Vista de nube de puntos después de la limpieza. | 126 |
| Figura 96. Importación de nube de puntos 3D al Autodesk Civil 3D. | 126 |

| | |
|---|-----|
| Figura 97. Nube de puntos 3D en plataforma Autodesk Civil 3D. | 127 |
| Figura 98. Generación de modelo digital de terreno con nube puntos 3D. | 127 |
| Figura 99. Importación de puntos topográficos al Autodesk Civil 3D. | 128 |
| Figura 100. Puntos topográficos en plataforma Autodesk Civil 3D. | 128 |
| Figura 101. Generación de MDT con puntos topográficos..... | 129 |
| Figura 102. Base grafica obtenida con escáner láser. | 130 |
| Figura 103. Base grafica obtenida con estación total..... | 130 |
| Figura 104. Representación gráfica del modelo matemático. | 134 |
| Figura 105. Levantamiento con escáner láser res. 1/8 y estación total..... | 143 |
| Figura 106. Contrastación de método de levantamiento para MDT..... | 152 |
| Figura 107. Diferencias de Dispersión en Distancia (m) Res. Alta de 1/1..... | 160 |
| Figura 108. Histograma para la resolución alta de 1/1..... | 160 |
| Figura 109. Diferencias de Dispersión en Distancia (m) Res. Media de 1/8. .. | 162 |
| Figura 110. Histograma para la resolución media de 1/8..... | 162 |
| Figura 111. Diferencias de Dispersión en Distancia (m) Res. baja de 1/20. ... | 164 |
| Figura 112. Histograma para la resolución baja de 1/20..... | 164 |
| Figura 113. Diferencias de Dispersión en Distancia de las tres resoluciones. | 165 |
| Figura 114. Medidas con escáner láser distancia 23 m y distancias reales.... | 166 |
| Figura 115. Nube de puntos de las tres resoluciones. | 168 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Resumen de las estructuras más utilizadas para los MDT..... | 36 |
| Tabla 2. Ejemplos de métodos de captura de datos para construcción MDE ... | 40 |
| Tabla 3. Resolución y calidad | 58 |
| Tabla 4. Exactitud horizontal / Calidad de datos planimétricos digitales | 65 |
| Tabla 5. Exactitud vertical / calidad para datos de elevación digital..... | 66 |
| Tabla 6. Resumen de coordenadas y cotas de la poligonal de apoyo | 84 |
| Tabla 7. Resumen de coordenadas topográficas y cotas de la cuadrícula | 92 |
| Tabla 8. Configuración de las características de los escaneos..... | 97 |
| Tabla 9. Coordenadas topográficas de la resolución alta de 1/1..... | 114 |
| Tabla 10. Coordenadas topográficas de la resolución media de 1/8..... | 115 |
| Tabla 11. Coordenadas topográficas de la resolución baja de 1/20..... | 116 |
| Tabla 12. Coordenadas topográficas absolutas de estación total | 117 |
| Tabla 13. Transformación de posición del escaneo a la posición absoluta..... | 119 |
| Tabla 14. Análisis de varianza para t de Student..... | 133 |
| Tabla 15. Analisis de varianza (ANOVA) para el modelo regresion lineal..... | 137 |
| Tabla 16. Estimación de la precisión horizontal y vertical | 141 |
| Tabla 17. Variables de estudio del proyecto | 141 |
| Tabla 18. Matriz de distancias topográficas y de resolución alta de 1/1 | 144 |
| Tabla 19. Matriz de distancias topográficas y de resolución media de 1/8 | 145 |
| Tabla 20. Matriz de distancias topográficas y de resolución baja de 1/20 | 146 |
| Tabla 21. Análisis de varianza (t de Student)..... | 148 |
| Tabla 22. Prueba t para dos muestras varianzas iguales $\alpha=0.01$ | 150 |
| Tabla 23. Prueba t para dos muestras varianzas iguales $\alpha=0.05$ | 150 |
| Tabla 24. Conclusión de hipótesis | 151 |
| Tabla 25. Análisis de varianza (modelo de regresion) | 154 |
| Tabla 26. Resultado de hipótesis para cada modelo | 156 |
| Tabla 27. Estadística de la regresión | 157 |
| Tabla 28. Porcentaje de ajuste de regresión lineal | 157 |
| Tabla 29. Coeficientes (a) | 158 |
| Tabla 30. Coordenadas topograficas lev. Topografico y lev. con escáner | 170 |
| Tabla 31. Prueba de exactitud a un nivel de confianza de 95%..... | 172 |

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- (AM) Amplitud Modulada
- (ASPRS) Sociedad Americana para la Fotogrametría y la Lectura a Distancia
- (DSM) Modelo Digital de Superficie
- (EL) Escáner Láser
- (ELT) Escáner Láser Terrestre
- (FDGC) Federal Geographis Data compite
- (FM) Frecuencia Modulada
- (GPS) Sistema De Posicionamiento Global
- (IGN) Instituto Geográfico Nacional
- (LiDAR) Linght Detection And Ranging
- (MAT) Modelos Analógicos del Terreno
- (MDE) Modelos Digitales de Elevaciones
- (MDT) Modelo Digital de Terreno
- (NSSDA) National Standard for Spatial Data Accuracy
- (NTC) Norma Técnica Colombiana
- (RMSE) Error Medio Cuadrático
- (Res.) Resolución
- (SAR) Radar de Apertura Sistemático
- (SIG) Sistemas de Información Geográfica
- (SNCP-PERU) Sistema Nacional Integrado de Información Catastral
Predial – Perú
- (TIN) Red de Triángulos Irregulares
- (UTM) Universal Transversal de Mercator
- (WGS) Sistema Geodésico Mundial

RESUMEN

El presente trabajo de investigación denominada “**Evaluar el Grado de Precisión del Escáner Láser en Contrastación con una Estación Total en la Generación de Modelos Digitales de Terreno en la Ciudad de Puno**” ejecutado en el Departamento, Provincia, Distrito de Puno, Barrio de Chanu - Chanu lugar de Ejército Manco Cápac. En las coordenadas UTM WGS-84 zona 19L sur comprendida entre 391771.7578 este, 8246540.5389 norte y una altitud 3823.048 msnm. Que tiene por objetivo general: evaluar el grado de precisión del escáner láser en contrastación con una estación total en la generación de modelos digitales de terreno, evaluar las resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 del escáner láser para la confiabilidad de los datos en contrastación con una estación total y determinar la exactitud de un modelo digital de terreno según la resolución obtenida en una posición absoluta. La investigación ha determinado a través del análisis estadístico de **t de Student** con un nivel de significancia $\alpha = 0.01$ y 0.05 , en su ensayo bilateral, que los métodos de levantamiento con escáner láser en las resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 y método de levantamiento con estación total es confiable en la generación de modelos digitales de terreno y se encuentra dentro de área de aceptación bajo la curva de distribución “t”. Con el análisis estadístico de **regresión lineal** se ha determinado que la mejor resolución encontrado, que no presenta en sus datos un grado de diferencia de dispersión muy grande a la recta es la resolución alta de 1/1 y media de 1/8, y otro elemento que se evaluó fue el menor tiempo de toma de datos y cantidad de archivo en mega-puntos menos pesado es la resolución media de 1/8. De esta manera se puede concluir que el escáner láser alcanza una precisión alta en la generación de modelos digitales de terreno, y que la mejor resolución determinada e evaluada del escáner láser es la de media de 1/8. Según las normas y especificaciones de ASPRS y el SNCP-PERU estándares cartográfico, que los levantamientos con escáner láser se pueden utilizar en mapas de escala grandes de 1:50 a 1:2000 con precisión para la topografía y proyectos de ingeniería civil.

Palabras Clave: Coordenadas, Escáner, Exactitud, Precisión, Topografía.

ABSTRACT

The present work of investigation called " the Accuracy degree of the Scanner Evaluates Laser in comparison with a Total Station in the Generation of Digital Models of Area in Puno's City " executed in the Department, Province, Puno's District, Neighborhood of Chanu - Chanu place of One-handed Manco Cápac. In the coordinates UTM WGS-84 zone 19L south understood between 391771.7578 this one, 8246540.5389 north and an altitude 3823.048 msnm. That it takes as a general aim: the accuracy degree of the scanner to evaluate laser in comparison with a total station in the generation of digital models of area, evaluate the high resolutions of 1/1, average of 1/8 and low of 1/20 of the laser scanner for the reliability of the data in contrast with a total station and determine the exactitude of a digital model of area according to the resolution obtained in an absolute position. The investigation has determined across the statistical analysis of t of Student with a level of significance to = 0.01 and 0.05, in his bilateral test, that the methods of raising with scanner laser in the resolutions discharge of 1/1, average of 1/8 and fall of 1/20 and method of raising with total station is reliable in the generation of digital models of area and is inside area of acceptance under the distribution curve "t". With the statistical analysis of linear regression one has determined that the best resolution found that does not present in his information a difference degree of very big dispersion to the straight line, is the high resolution of 1/1 and average de1/8, and another element that was evaluated was the minor time of capture of information and quantity of file in mega-points less heavy is the average resolution of 1/8. Hereby I could conclude that the scanner laser reaches a high accuracy in the generation of digital models of area, and that the best resolution certain and evaluated of the scanner laser is that of average of 1/8. According to the procedure and ASPRS's specifications and the SNCP-PERU standards cartographic, that the raisings with scanner laser can be in use in maps on a large scale big of 1:50 to 1:2000 accurately for the surveying and projects of civil engineering.

Key Words: Coordinates, Scanner, Exactitude, Accuracy, Surveying.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación de tesis titulado “**Evaluar el Grado de Precisión del Escáner Láser en Contrastación con una Estación Total en la Generación de Modelos Digitales de Terreno en la Ciudad de Puno**”. El avance tecnológico de la actualidad ha generado la posibilidad de implementar diversas ayudas en la ejecución de proyectos ingenieriles en cualquier especialidad, por ejemplo, la tecnología LiDAR (Light Detection And Ranging) en Topografía, la cual permite obtener una nube de puntos de la superficie del terreno generada mediante el escáner láser, que se apoya en la georreferenciación de las escenas levantadas con el dispositivo, la posición del sensor y el ángulo del espejo en cada barrido que realiza.

A partir de esta nueva tecnología se plantea realizar el presente trabajo para establecer un método que permita generar modelos digitales de terreno en base con datos de escáner láser, con precisión, con menor tiempo en la recolección de datos y el nivel de detalle de los datos recolectados. En comparación de los métodos convencionales como GPS (sistema posicionamiento global), mediante Estaciones Topográficas y Teodolitos presentan algunas limitaciones que reducen su utilidad.

Existe un gran vacío con respecto a los tipos de escáner láser y qué resolución es la más óptima para generar una nube de puntos que permita conocer el comportamiento del terreno. La metodología realizada es de tipo descriptivo, con muestras que se tomaron para la comparación en base a la técnica de levantamiento con estación total y a la técnica de levantamiento con

escáner láser. Para cumplir el objetivo principal que es evaluar el grado de precisión del escáner láser en contrastación con una estación total en la generación de modelos digitales de terreno. Para la ejecución del trabajo se planteó dos (2) Fases; **Primero** se evalúan las resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 del escáner láser para la confiabilidad de los datos en contrastación con una estación total, según el análisis de t de Student y regresión lineal, y **la segunda** se realizó un análisis para determinar la exactitud de un modelo digital de terreno según la resolución obtenida en una posición absoluta.

Se evaluó la precisión de esta nueva tecnología en la obtención de superficies de terreno para trabajar en mapas a escalas grandes de 1:50 a 1:2000, con especificaciones de precisión referidas en la normativa de la Sociedad Americana para la Fotogrametría y la Lectura a Distancia (ASPRS) y Sistema Nacional Integrado de Información Catastral Predial – Perú (SNCP – PERU), para proyectos de ingeniería civil y topografía.

En esta investigación se realizan actividades como la georreferenciación del área de estudio con GPS diferencial, la determinación de coordenadas por método topográfico con estación total, nivelación con nivel de ingeniero, recopilación de datos con escáner láser, georreferenciación de la nube de puntos, procesamiento y análisis con software Scene, Autocad ReCap y Autocad Civil 3D. La metodología propuesta por posición del escáner, sobre placas topográficas, genera datos confiables en su posición absoluta en X, Y y Z. Los conceptos y procedimientos son aplicables a cualquier equipo escáner láser. Para el desarrollo de este trabajo se utilizó un equipo Escáner Láser de marca FARO Focus 3D S 120.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN, ANTECEDENTES, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

Para la realización de proyectos de ingeniería se requiere equipo, precisión, tiempo, personal calificado y metodologías de procesamiento de los datos, día a día se adoptan nuevas tecnologías que facilitan al profesional de la topografía participar en diseños, cálculos, construcciones y levantamientos; con la utilización de la estación total cada vez más robustas, y las nuevas tecnologías como el escáner láser 3D el cual optimiza el tiempo y la digitalización, puede ser utilizado en zonas de difícil acceso, representación de la superficie del terreno (modelos digitales de terreno), restauración de restos arqueológicos, las labores subterráneas y túneles, para obtener la visualización del proyecto en tiempos más cortos, y la realización de los cálculos con la ayuda de software especializados con una mayor precisión.

La representación de la superficie para generar modelos digitales de terreno con topografía convencional con estación total se realiza por medio de secciones transversales en intervalos de distancia de acuerdo al detalle que se

requiere, dónde se asume que el sector entre abscisas es homogéneo, es decir, estos espacios son tomados como una superficie con pendientes promediados, en el caso de tecnología escáner láser barre todo su campo visual, éstas superficies son tomadas en su totalidad, el cual obteniendo mayor número de detalle en toda la superficie del terreno.

La comparación de los dos métodos de recopilación de datos, tomando en cuenta que el avance tecnológico evoluciona cada día para la optimización y calidad de trabajo, cuál es el mejor método a utilizar en cuanto a eficiencia y precisión en la toma de datos; en el Perú y la Región de Puno, ésta tecnología viene siendo utilizada muy poco o nada frente a métodos convencionales como estación total ya que en relación al escáner láser para generar modelos digitales de terreno, no ha sido estudiado y existe escasa referencia bibliográfica y normativas al uso del equipo de escáner láser y los datos recolectados e igualmente se requiere de capacitación para su manejo e implementación.

¿Cuál es el grado de precisión del escáner láser en contrastación con una estación total en la generación modelos digitales de terreno?

1.2. Justificación

El propósito de este proyecto de investigación es evaluar el grado de precisión del escáner láser en la generación modelos digitales de terreno, con una metodología técnica, entre las ventajas que ofrece el escáner láser 3D con respecto a los procesos desarrollados en la actualidad con la utilización de la topografía convencional con una estación total y demostrar que tal útil resulta su

ejecución en proyectos de ingeniería, en materia de precisión para la proyección y ejecución de proyectos locales y nacionales.

Los beneficios que se pueden apreciar con la utilización de este tipo de tecnologías es la calidad y obtención de información tanto cuantitativa como cualitativa, logrando una ventaja con respecto al método convencional y al mismo tiempo compite en otros aspectos tanto técnicos como económicos, lo que se busca en un proyecto es maximizar la recolección de datos y los avances en la ejecución de obras en periodos de tiempo mucho más cortos y una correcta administración de los recursos.

1.3. Antecedentes de la Investigación

1.3.1. Ámbito Global

Generación de un modelo digital de terreno georreferenciado con el escáner láser faro FOCUS 3d.- Investigación realizada por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente. El avance del tiempo y la necesidad del ser humano de ser más preciso cada día, hacen que este se esfuerce por el mejoramiento de las herramientas un caso claro de esta necesidad es la topografía que ha venido desde los inicios de la humanidad mejorando. Haciendo de sus procesos cada vez más precisos con mayor rapidez y lo más importante sin tanto esfuerzo. Uno de los avances más importantes en esta rama de estudio es el escáner terrestre 3D que nos permite hacer levantamientos de grandes áreas disminuyendo tiempo, duración y mano de obra, como si esto fuera poco la precisión de estos escáneres es muy superior a la precisión que se obtendría generalmente en un levantamiento con una

estación total. Debido a que esta nueva tecnología emplea un sistema de escaneo por triangulación un sistema parecido al de una cámara fotográfica que se encarga de tomar la geometría real de un objeto de la forma más precisa posible que exista en el mercado. Para este trabajo de investigación se generó un MDT y se georreferenció para poder compararlo con un levantamiento con estación y nivel. Y así poder determinar qué tipo de levantamiento es más confiable teniendo en cuenta distintos factores que afectan la precisión y las ventajas y desventajas de cada método. **(Tesis, 2016)**

Estudio de la variable altimétrica (z) sobre un modelo digital de elevación por medio de tecnología lidar terrestre. - Investigación realizada por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. El uso del Escáner Láser Terrestre constituye una herramienta con un considerable potencial en la caracterización y monitorización de las variaciones superficiales del terreno. Los métodos topográficos utilizados en torno a todas las fases que abarca el proceso constructivo de las obras de ingeniería y Arquitectura son las fuentes clásicas de topografía (cartografía, fotografías aéreas, planos, entre otros) y algunas tecnologías más recientes como: La Estación total, Los GPS (diferencial y tiempo real-RTK) y la fotogrametría digital. En el sistema LiDAR se evidencian errores que varían desde centímetros hasta varios metros, lo que dificulta su uso para llevar a cabo cuantificaciones presupuestales en proyectos de ingeniería. Por lo anterior en este tipo de estudios son aun prácticamente inexistentes. EL escáner Láser abre todo un mundo de posibilidades de estudio para los modelos digitales de superficie (MDS), no concebidas hace algunos años. Sin embargo, el TLS es

el método topográfico con menor número de prácticas de control estandarizadas.

(Tesis, 2016)

1.3.2. Ámbito Nacional

Investigación monográfica presentado para la segunda especialidad profesional en hidrografía y navegación. - investigación realizada por la Marina De Guerra Del Perú Escuela Superior De Guerra. El presente trabajo de investigación forma parte de la currícula del programa de Segunda Especialidad Profesional en Hidrografía y Navegación, el mismo que establece como tema el estudio, el Sistema LIDAR, tecnología moderna que viene siendo aplicada en Servicios Hidrográficos de países desarrollados, por lo que este trabajo de investigación va orientado a establecer la conveniencia o no de su utilización en la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN), para la confección de las cartas náuticas, así como las cartas de inundación. Determinar en qué medida se podrá implementar en la Dirección de Hidrografía y Navegación, el Sistema LIDAR para los levantamientos hidrográficos (batimétricos y topográficos) y posterior obtención de cartas hidrográficas. **(Tesis, 2015)**

1.3.3. Ámbito Local

A nivel local en relación con el escáner láser en la generación modelo digital de terreno no ha sido estudiado y existe escasas referencias bibliografías y normativas referente al tema.

1.4. Hipótesis de la Investigación

1.4.1. Hipótesis General

Al utilizar el escáner láser se consigue una precisión eficiente en la generación de modelos digitales de terreno al contrastar con una estación total.

1.4.2. Hipótesis Específicos

- El análisis de los datos de las resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 del escáner láser es confiable en contrastación con una estación total.
- La exactitud en posición absoluta de un modelo digital de terreno en función a la resolución obtenida es determinable.

1.5. Objetivos de la Investigación

1.5.1. Objetivo General

Evaluar el grado de precisión del escáner láser en contrastación con una estación total en la generación de modelos digitales de terreno.

1.5.2. Objetivo Específicos

- Evaluar las resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 del escáner láser para la confiabilidad de los datos en contrastación con una estación total.
- Determinar la exactitud de un modelo digital de terreno según la resolución obtenida en una posición absoluta.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Topografía

La topografía es una ciencia aplicada que a partir de principios, métodos y con la ayuda de instrumentos permite representar gráficamente las formas naturales y artificiales que se encuentran sobre una parte de la superficie terrestre, como también determinar la posición relativa o absoluta de puntos sobre la Tierra. (Jiménez, 2007)

La topografía se encarga de realizar mediciones en una porción de tierra relativamente pequeña. Las informaciones se obtienen de instrucciones especializadas en cartografía y/o a través de las mediciones realizadas sobre el terreno (“levantamiento”), complementando esta información con la aplicación de elementos procedimientos matemáticos. (Mendoza, 2017)

2.1.1. La Tierra en su Verdadera Forma

Estudios más recientes han demostrado que en realidad la Figura exacta de la tierra, se asemeja a un elipsoide de revolución llamado geoide (superficie compleja formada por el nivel de los mares supuestos prolongados por debajo

de los continentes) A finales de la década de los 80 se ha postulado la teoría de que la tierra más bien se parece a un cardioide, entendiéndose como un cuerpo que posee más masa hacia el norte que hacia el sur. (Jiménez, 2007)

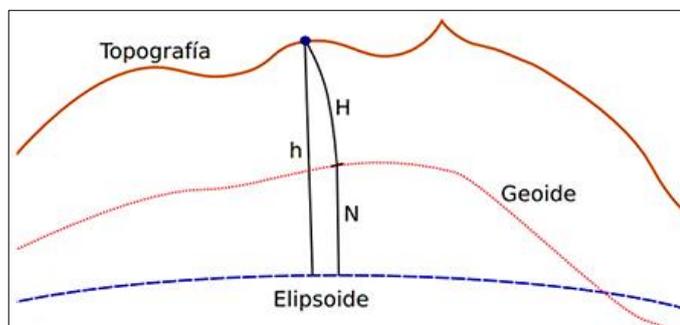


Figura 1. La forma de la Tierra.
Fuente: (Jiménez, 2007)

2.1.2. División Básica de la Topografía

De hecho, “Para el mejor desarrollo de la topografía, estas se dividen en tres partes” (Mendoza, 2017):

2.1.2.1. Planimetría

Se encarga de representar una porción de tierra, sin tener en cuenta los desniveles o diferentes alturas que pueda tener el mencionado terreno. Para esto es importante proyectar a la horizontal todas las longitudes inclinadas que hayan de intervenir en la determinación del plano.

2.1.2.2. Altimetría

Se encarga de representar gráficamente las diferentes altitudes de los puntos de la superficie terrestre a una superficie de referencia. Es la parte de la topografía que tiene por objeto el estudio de los métodos y procedimientos para representar el relieve del terreno.

2.1.2.3. Topografía integral

Se encarga de representar gráficamente los diferentes puntos sobre la superficie terrestre, teniendo presente su posición planimétrica y su altitud.

2.2. Sistema De Posicionamiento Global (GPS)

El GPS (Global Positioning System) es un sistema de navegación creado por el Departamento de Defensa de los estados unidos, basado en un conjunto de satélites que giran en orbitas respecto a la Tierra con el objetivo de determinar la posición de un punto en cualquier parte de nuestro planeta, gracias a la presencia de un receptor. (Mendoza, 2017)

2.2.1. Constelaciones de Satélites para Fines de Georreferenciación

2.2.1.1. Constelación GPS o NAVSTAR

De acuerdo con Mendoza (2017), La constelación de satélites NAVSTAR (GPS). Actualmente está compuesto por 32 satélites (30 activos y de reserva), cada uno de ellos gira en torno a la Tierra con una frecuencia de 2 veces por día y una velocidad aproximada de 13 300km/h.

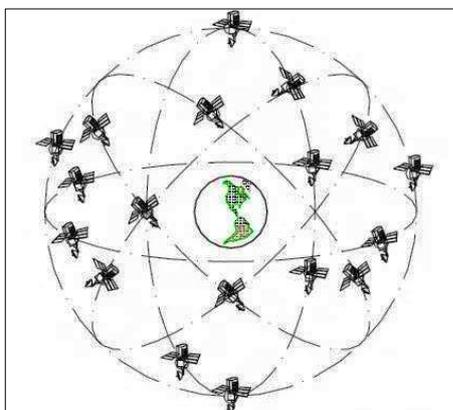


Figura 2. Representación gráfica del sistema de satélites artificiales NAVSTAR.
Fuente: Mendoza, 2017.

2.2.1.2. Constelación GLONASS o RUSA

De acuerdo con Mendoza (2017), La constelación de satélites GLONASS. Arduamente está compuesto por 31 satélites (24 activos, 3 de respuesta, 2 mantenimiento, 1 en servicio y otros en prueba), cada uno de ellos gira en torno a la Tierra con periodo de 11 horas 55 minutos y una velocidad aproximada de 13 400 km/h.

2.3. Sistema Proyección UTM

La representación cartográfica del globo terrestre ya sea considerado este como una esfera o un elipsoide, supone un problema, ya que no existe modo alguno de representar toda la superficie desarrollada sin deformarla e incluso de llegar a representarla fielmente, ya que la superficie de una esfera no es desarrollable en su conversión a un soporte papel (a una representación plana).

2.3.1. La Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM)

La proyección TRANSVERSAL MERCATOR toma como base la proyección Mercator, sin embargo, la posición del cilindro de proyecto es transversal respecto del eje de la tierra. El sistema UTM divide el globo terráqueo en un total de 60 husos. Cada huso esta notado con un número y zona, identificada como una letra. Cada huso comprende un total de 6° de Longitud, medidos desde el antemeridiano de Greenwich (180° Este), numerados en dirección este. (Fernández, 2001)

Cada uno de estos sesenta husos se encuentra dividido en 20 zonas. 10 situadas en el hemisferio Norte y 10 situadas en hemisferio Sur. Cada una de

estas zonas se designa por una letra CDEFGHJLM, corresponde a zonas situadas en el hemisferio sur y las notadas como NPQRSTUVWXYZ corresponden a zonas situadas en el hemisferio Norte. Cada una de estas zonas se corresponden a 8° de Latitud si está comprendido dentro de las zonas desde la letra CDEF...STUW, y para la zona B y X que comprenden 12° de Latitud. El Huso 30 identificado una zona de superficie terrestre situado entre la latitud 0° y 6°W (oeste), su meridiano central es el de 3°W. (Fernández, 2001)

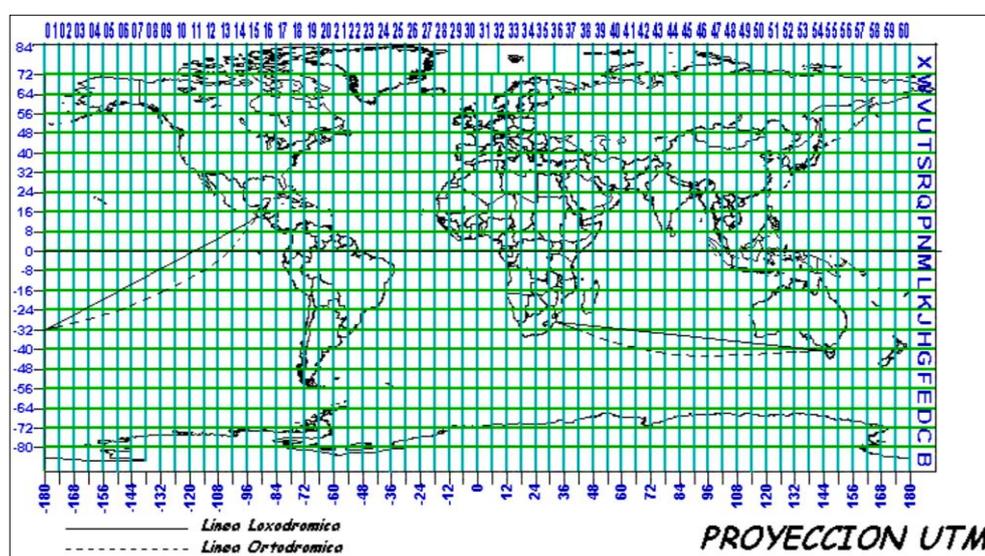


Figura 3. Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM).
Fuente: Fernández, 2001.

2.4. Datum WGS-84

Con el empleo de nuevas técnicas de posicionamiento, en especial la constelación GPS (Sistema de Posicionamiento Global) se hace necesario disponer de un sistema para posicionar una situación geográfica con referencia a un Datum Universal con cobertura en toda la superficie terrestre, evitándose así la “territorialidad” del resto de los Datum Existentes.

Para ello fue creado en sistema WGS (Sistema Geodésico Mundial), con el primer sistema denominado WGS-74, revisado y modificado, estando actualmente vigente y en uso el sistema WGS-84. (Fernández, 2001)

2.5. Sistema de Coordenadas

Es un conjunto de valores y puntos convencionales que permita unívocamente la posición de cualquier punto (P) de un espacio unidimensional, bidimensional o tridimensional. Son cantidades lineales o angulares que designan la posición ocupada por un punto en un sistema de referencia. (Jiménez, 2007)

2.5.1. Coordenadas Geodésicas

Son los Valores de Latitud y de Longitud que indican la posición horizontal de un punto sobre la superficie de la Tierra en un mapa (Norma IGN,2016).

- Latitud geodésica: ángulo que forma la normal al elipsoide con el plano del Ecuador.
- Longitud geodésica: ángulo entre el meridiano geodésico del punto y el meridiano de Greenwich.

2.5.2. Coordenadas UTM

Son las que resultan de proyectar la superficie del elipsoide sobre un plano. Los puntos proyectados son designados por la coordenada X o Norte y la coordenada Y o Este, medidas sobre dos ejes perpendiculares, trazados a partir

de un origen definido convencionalmente de distintas maneras, según sea el sistema de proyección elegido. (Norma IGN,2016)

2.5.3. Coordenadas Topográficas

Trabajos de escasa envergadura que por dicha circunstancia se omite la corrección de las medidas tomadas para referirlas al elipsoide, o esfera.

2.6. Factor Escala

De acuerdo con Norma IGN (2016), “Es aquel valor que permite proyectar la longitud media entre dos puntos en el elipsoide de referencia sobre el plano cartográfico”.

Los factores de escala K y de elevación se multiplican entre sí para obtener el factor combinado, convirtiéndose en la única variable que cambia de formula, en el cálculo de distancias, que para el caso de conversiones de UTM a topográficas se procede a multiplicar por la distancia de proyección y para el caso de conversión de topográficas a UTM se procede a dividir por la distancia topográfica o de terreno.

2.7. Modelo Digital de Terreno (MDT)

2.7.1. El Origen de los MDT

El término digital terrain model tiene aparentemente su origen en el Laboratorio de Fotogrametría del Instituto de Tecnología de Massachussetts en la década de los años 50. En el trabajo pionero de Miller y Laflamme (1958) se

establecen ya los primeros principios del uso de los modelos digitales para el tratamiento de problemas tecnológicos, científicos y militares.

La revolución informática acaecida a partir de los años 60 ha introducido drásticos cambios en muchos aspectos de la sociedad. El desarrollo científico y tecnológico ha sido uno de los campos más afectados por la enorme capacidad de cálculo de los ordenadores, cada vez más accesible al público y, particularmente, a los equipos investigadores de pequeña entidad. Las ciencias ambientales no han sido una excepción y, aprovechando esta capacidad, se han visto sometidas a una serie de cambios que han permitido nuevas formas de trabajo diferentes a las tradicionales. (Felicísimo, 2004)

En este sentido, las concepciones tradicionales de lo que es la cartografía y de las formas de trabajo que se apoyan en ella se han visto profundamente transformadas:

- El tratamiento manual de la información cartográfica se ha complementado con la integración de la misma en los sistemas de información geográfica (SIG), definidos como sistemas informáticos diseñados para el manejo, análisis y cartografía de información espacial referenciada internamente. En su contexto, la concepción del mapa impreso se ha extendido considerablemente y se ha reconocido que un mapa puede ser representado también mediante un conjunto de datos numéricos donde se encuentran recogidas, implícita o explícitamente, las relaciones espaciales de los elementos cartografiados.

- Se ha pasado progresivamente de una concepción analítica, en la que cada variable era contemplada y estudiada de una forma independiente, a una concepción sintética, donde las variables ambientales tienden a integrarse en sistemas de elementos interrelacionados e interdependientes.
- Se ha evolucionado desde un enfoque básicamente descriptivo hacia otro explicativo y prospectivo, en el que los medios disponibles permiten la realización de modelos cuantitativos de propiedades y de fenómenos dinámicos.

2.7.2. Definición de Modelos Digitales del Terreno (MDT)

De acuerdo con Miller & Laflamme (1958), “Un modelo digital de terreno (MDT) puede definirse como una representación estadística del terreno, en forma de números digitales, por medio de un conjunto de puntos con coordenadas x, y, z respecto a un sistema de georreferenciación conocido”.

De acuerdo con Felicísimo (2004), propongo una definición de MDT que creo más completa y precisa que las anteriores: “Un MDT es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua”.

Los modelos digitales de terreno se definen como la representación en formato digital de una porción de la superficie terrestre, y se conocen de diferentes maneras. Los términos más utilizados son (Miller & Laflamme, 1958):

- **Modelo digital de superficie o DSM**, describe la superficie terrestre, incluyendo los objetos que lo cubren como edificios, la vegetación y, en general, se expresan a través de elementos geométricos (rectángulos o triángulos).
- **Modelo digital del terreno o MDT**, describe la superficie justo en el nivel del suelo.
- **Modelo digital de elevación o DEM**, en términos geométricos, es equivalente a la MDT. Se puede definir como una cuadrícula regular de la medición de la altura (generalmente con celdas cuadradas) organizado en un formato raster.

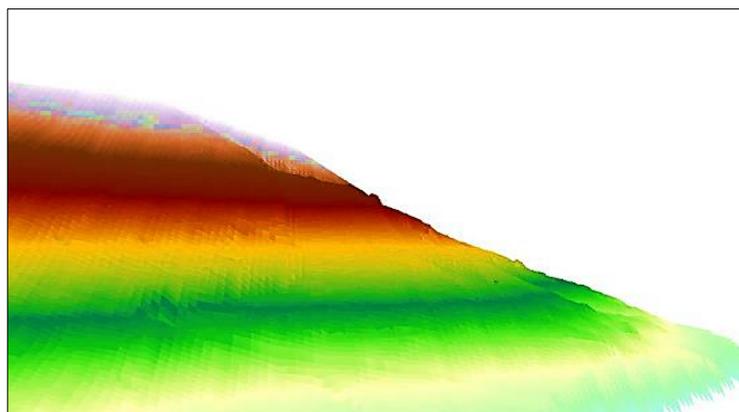


Figura 4. Superficie justo en el nivel del suelo (MDT).
Fuente: Felicísimo, 2004.

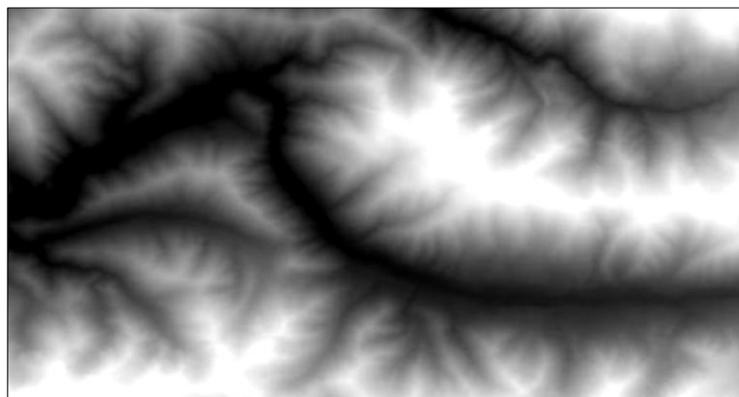


Figura 5. Distribución de frecuencias de las elevaciones de DEM (intervalos de 50 m).
Fuente: Felicísimo, 2004.

2.7.3. Representación de la Superficie del Terreno

Los pobladores han intentado por todos los medios conocer y representar su entorno y los componentes del terreno con los que han estado familiarizados, y la pintura puede ser la representación más antigua. Una pintura ofrecía información muy general sobre la forma y localización del terreno que representaba; luego se representaron las características del terreno sobre mapas que han tenido un rol importante en el desarrollo de las sociedades, mejorando la métrica de calidad (o exactitud) usándola para proyectos de ingeniería.

Los mapas topográficos usan por medio de un plano en 2D y con ayuda de las curvas de nivel, una representación de la tierra en 3D. Tal vez por ese elemento se cree que el mapa de contorno o curvas de nivel, es uno de los inventos más importantes en la historia de la cartografía, debido a su conveniencia y a la intuición para percibir la información de la altura. Desde 1849 las fotografías y más tarde las fotografías aéreas se han utilizado por medio de la fotogrametría para la representación del terreno. Luego desde 1970 los sistemas de satélites toman imágenes superpuestas del terreno de modo que estas imágenes también se puedan utilizar para construir modelos 3D.

“En como representar la superficie del terreno, el MDT es uno de los conceptos más importantes, y se puede definir como: ‘Una representación estadística de la superficie continua de la tierra por un gran número de puntos seleccionados con coordenadas conocidas X, Y, Z en un campo de coordenadas arbitrario’ (Miller & Laflammer, 1958).

2.8. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

2.8.1. Definición del MDE

De acuerdo con Felicísimo (2004), “un modelo digital de elevaciones (MDE) se define como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno”.

En este caso la palabra elevación enfatiza el concepto de medición de altura con respecto a un datum y la generación por parte del modelo de valores absolutos de altura. Este término se utiliza con frecuencia en los Estados Unidos para describir un arreglo rectangular o hexagonal de puntos con valores de elevación obtenidos por métodos fotogramétricos o cartográficos. (Fallas, 2007)

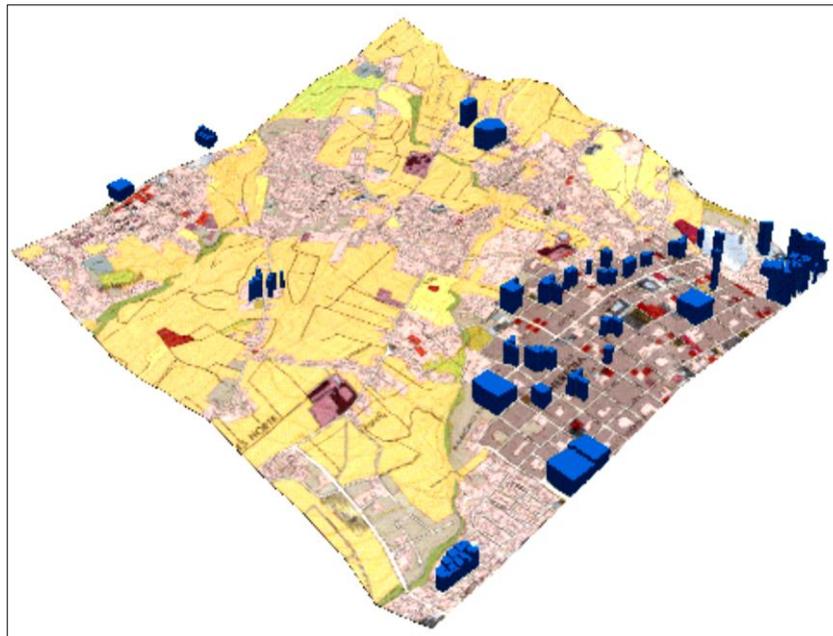


Figura 6. Vista en perspectiva creada a partir de un modelo de elevación Digital del terreno y de un mapa vectorial.

Fuente: Fallas, 2007.

2.8.2. Estructuras de Datos en el MDE

El diseño de estas interrelaciones es lo que configura las diferentes opciones en la estructura de datos, cuya elección es trascendental pues completamente el futuro manejo de la información. Mientras que los mapas convencionales usan casi exclusivamente una única convención (las curvas de nivel) para la representación de la superficie del terreno, los MDE disponen de alternativas más variadas, desde una transposición casi directa de las isohipsas hasta otras menos habituales en la cartografía impresa pero más adaptadas al proceso digital. (Felicísimo, 2004)

En todas ellas la altitud se describe básicamente mediante un conjunto finito y explícito de cotas. El valor propio de un punto de localización arbitraria será, en su caso, estimado por interpolación a partir de los datos de su entorno. La Tabla 2 muestra un resumen de las estructuras de datos de mayor interés para la gestión de los MDE.

Tabla 1. *Resumen de las estructuras más usuales utilizadas para el almacenamiento de los modelos digitales de elevaciones*

| | | |
|--------------------|---------------|---|
| VECTORIALES | CONTORNOS | SECUENCIAL: las líneas se almacenan como cadenas de cotas ANALÍTICA: las líneas se almacenan como segmentos de Bézier, polinómicos, etc. |
| | PERFILES | Cadenas paralelas de cotas en línea con altitud variable |
| | TRIANGULACIÓN | Red de triángulos irregulares (TIN) |
| RASTES | MATRICES | REGULAR: cotas sobre una malla cuadrada de filas y columnas equidistantes. ESCALABLES: cotas sobre sub-matrices jerárquicas y de resolución variable |
| | POLÍGONOS | Cotas asignadas a teselas poligonales regulares (triángulos o hexágonos) |

Fuente: Felicísimo (2004).

Históricamente, los modelos digitales de elevaciones se han dividido básicamente en dos grupos en función de la concepción básica de la representación de los datos: vectorial y raster. Los modelos vectoriales están basados en entidades (básicamente puntos y líneas) definidas por sus coordenadas. En los modelos raster, los datos se interpretan como el valor medio de unidades elementales de superficie no nula que teselan el terreno con una distribución regular, sin solapamiento y con recubrimiento total del área representada. (Felicísimo, 2004)

2.8.2.1. Modelo vectorial: contornos

La estructura básica es el vector, compuesto por un conjunto de pares de coordenadas (x, y) que describe la trayectoria de líneas isométricas (coincidiendo, por tanto, con las curvas de nivel o isohipsas del mapa topográfico convencional). El número de elementos de cada vector es variable y la reducción de éste a un único elemento permite incorporar cotas puntuales sin introducir incoherencias estructurales. (Felicísimo, 2004)

2.8.2.2. Modelo vectorial: redes de triángulos irregulares (TIN)

Los triángulos se construyen ajustando un plano a tres puntos cercanos no colineales, y se adosan sobre el terreno formando un mosaico que puede adaptarse a la superficie con diferente grado de detalle, en función de la complejidad del relieve.

2.8.2.3. Modelo raster: matrices regulares

La estructura matricial tiene antecedentes relativamente remotos: Chapman (1952) propone ya métodos de análisis topográficos basados en matrices regulares. Esta estructura es el resultado de superponer una retícula sobre el terreno y extraer la altitud media de cada celda (aunque habitualmente se utiliza un valor puntual, asociado a cada nudo de la retícula o punto medio de la celda, con lo que esencialmente se construye un modelo vectorial de puntos). (Felicísimo, 2004)

2.8.2.4. Modelo raster: matrices de resolución variable

El interés de las matrices de resolución variable reside en la posibilidad de solucionar el principal problema de las matrices regulares (su resolución espacial prefijada), manteniendo, en principio, sus principales ventajas: la sencillez conceptual y operacional. En este tipo de matrices los elementos pueden ser, bien datos elementales (como en las matrices regulares), bien sub-matrices con un nivel de resolución diferente. (Felicísimo, 2004)

2.9. La Construcción del MDE y Captura de Datos

La captación de la información altimétrica constituye, lógicamente, el paso inicial en el proceso de construcción del MDE, e incluye la fase de transformación de la realidad geográfica a la estructura digital de datos manipulable por medios informáticos. Numerosos autores han coincidido en que esta fase inicial es la más costosa (en términos de tiempo y trabajo) de todo el proceso de manejo de los MDE. Por añadidura, se trata de la fase de mayor transcendencia ya que la

calidad de su resultado es el principal factor limitante para todos los tratamientos que se realicen posteriormente. Tras la captación de los datos, éstos deben ser estructurados de forma adecuada para el manejo por parte de las aplicaciones informáticas, lo cual puede realizarse de formas variadas, aún dentro del mismo esquema general (matricial, vectorial, etc.). (Felicísimo, 2004)

2.9.1. Captura de los Datos

En general, los insumos para elaborar un MDE pueden obtenerse a través de levantamientos de campo, métodos fotogramétricos y digitando elevaciones a partir de hojas topográficas. El trabajo de campo es el método más costoso, pero también el que genera los datos de mejor calidad. Las hojas topográficas, son la fuente de menor costo, pero también las de menor calidad. El levantamiento de campo es factible para áreas pequeñas y que requieran de gran exactitud. (Fallas, 2007)

El origen de un modelo digital de elevaciones puede estar, en principio, en la medida directa sobre la superficie real del terreno mediante, por ejemplo, altímetros aerotransportados. Es más frecuente, sin embargo, el uso de métodos indirectos, que utilizan como base un conjunto de documentos (analógicos o digitales) elaborados previamente. (Felicísimo, 2004)

Tabla 2. Ejemplos de métodos de captura de datos para la construcción del modelo digital de elevaciones

| | | |
|-------------------|----------------|--|
| DIRECTOS | ALTIMETRÍA | Altímetros transportados por plataformas aéreas |
| | GPS | Global positioning system, sistema de localización mediante satélites |
| | TOPOGRAFÍA | Mediante estaciones topográficas con salida digital |
| INDIRECTOS | RESTITUCIÓN | Origen digital: imágenes digitales captadas por satélites (p. ej. SPOT, ASTER) con diferentes ángulos de visión Origen analógico: pares fotográficos convencionales (pancromático, color, infrarrojo) |
| | DIGITALIZACIÓN | Manual: mediante tableros digitalizadores Automática: mediante scanners |

Fuente: Felicísimo (2004).

2.9.1.1. Métodos directos: altímetros, GPS y estaciones topográficas

Algunos satélites han incorporado altímetros entre sus instrumentos, con lo que se hace posible, al menos teóricamente, el registro directo de los datos altimétricos en formato digital. Las características de estos altímetros hacen de ellos aparatos extremadamente precisos: el transportado por el satélite ERS-1 (iniciales de European Remote-Sensing Satellite) es un radar de 13.8 GHz con un error nominal de apenas unos cm (Bruzzi y Wooding, 1990:13). Sin embargo, problemas relacionados con la dispersión de la señal en zonas rugosas y con una resolución espacial reducida han limitado prácticamente su uso al análisis de la topografía de la superficie marina y seguimiento de los hielos polares (Francis, 1991, p.42-43). Su mayor ventaja reside en que se trata de un método de captación remota de información por lo que la toma de los datos no está limitada por la accesibilidad de la zona. (Felicísimo, 2004)

En los últimos años se han desarrollado sistemas de localización geográfica conocidos como GPS (siglas de su denominación en inglés: global positioning system). Estos métodos utilizan un conjunto de satélites de referencia y, mediante métodos de triangulación, permiten obtener valores de las tres coordenadas espaciales para un lugar localizado sobre la superficie terrestre. (Felicísimo, 2004)

Finalmente, las estaciones topográficas más avanzadas pueden generar y almacenar los resultados de sus medidas en formato digital. Algunos sistemas de información geográfica incorporan utilidades que permiten el tratamiento e incorporación de los datos en este tipo de formatos. A pesar de su utilidad, el método tiene problemas similares al anterior ya que la recogida de información exige la presencia física sobre el terreno. Asimismo, el tiempo necesario para realizar una toma de datos fiable y completa invalida el método como única vía de incorporación de datos en la construcción del MDE. (Felicísimo, 2004)

2.9.1.2. Métodos indirectos: restitución fotogramétrica

Es más frecuente utilizar métodos indirectos para la generación de los MDE. Las causas son principalmente que estos métodos no necesitan acceder físicamente a la totalidad de la zona de estudio, pues utilizan documentos preexistentes, y que la generación de datos se hace de forma relativamente rápida, cuestión básica cuando el volumen de información es muy elevado. (Felicísimo, 2004)

En las operaciones de restitución se utiliza como documento básico un conjunto de pares estereoscópicos de imágenes de la zona a estudiar. El trabajo

se basa en métodos fotogramétricos que, examinando puntos homólogos en los pares estereoscópicos, deducen de su paralaje las cotas de referencia necesarias para reconstruir la topografía. Actualmente existen sistemas (restituidores fotogramétricos) completamente automatizados que realizan esta labor grabando directamente los resultados en un formato digital compatible con sistemas de información geográfica. En este caso, los pares estereoscópicos son analizados mediante sistemas ópticos de exploración. (Felicísimo, 2004)

Finalmente, cabe mencionar los ensayos para la construcción de MDE a partir de datos tomados por los Radars de Apertura Sintética (SAR) que, aunque basados también en el análisis de pares de imágenes, difieren notablemente de los métodos más convencionales. Las técnicas implicadas suelen agruparse bajo el neologismo radargrametría y la precisión de los resultados depende básicamente de la resolución espacial y de la precisión y estabilidad de la trayectoria de la plataforma. (Felicísimo, 2004)

2.9.1.3. Métodos indirectos: digitalización de mapas topográficos

La digitalización automática ha sido una línea de investigación en constante desarrollo en los últimos años debido a que los métodos de digitalización manual son lentos y proporcionalmente muy costosos dentro del total de procesos. El método usado mayoritariamente en la actualidad se basa en el uso de microdensitómetros de exploración (scanners) que detectan un cierto número de niveles de gris (o componentes de color) en un mapa original mediante sensores ópticos. Existen dos variantes básicas en función del formato del resultado, vectorial o raster. (Felicísimo, 2004)

La digitalización mediante scanners puede generar también salidas en formato raster cuando el barrido se hace de acuerdo con un esquema matricial. La salida digital es una matriz de valores de gris, de componentes primarios (amarillo, cian y magenta) en los dispositivos sensibles al color o, simplemente, de blanco y negro. La generación de esta matriz es un proceso simple, pero constituye una información que no es aprovechable directamente para la construcción del modelo digital.

2.10. Teledetección

De acuerdo con Chuvieco (2010), “La teledetección o la percepción remota es la ciencia de adquirir y/o procesar información de la superficie terrestre desde los sensores instalados en plataformas espaciales, esto gracias a la interacción de la energía electromagnética que existe entre el sensor y la tierra”.

La palabra teledetección significa “detección a distancia” y se puede aplicar a cualquier técnica que permita obtener información de un objeto sin necesidad de entrar en contacto con él. La teledetección abarca un enorme número de posibilidades, desde una imagen del interior del cerebro vivo por resonancia magnética nuclear hasta la observación del estado de la atmósfera por un satélite meteorológico, por poner dos ejemplos. Nuestros ojos son los instrumentos más familiares de teledetección, pero actualmente se ha desarrollado un conjunto de novedosas tecnologías que los superan en muchos aspectos y que están demostrando su valía a la hora de observar fenómenos que tienen lugar a muy diversas escalas. (Sánchez 2010)

2.10.1. Sistema Espacial Teledetección

2.10.1.1. Tipos de sistemas

Chuvieco (2010), indica que Entre las variadas formas de clasificar los sensores remotos, una de las más habituales considera el procedimiento de recibir la energía procedente de distintas cubiertas; en este sentido, se habla de dos tipos de sensores: pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior; así mismo se habla de sensores activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía, el equipo más conocido es el radar, bastante aprovechado para aplicaciones militares.

2.10.1.2. El espectro electromagnético

Chuvieco (2010), indica que Podemos definir cualquier tipo de energía radiante en función de su longitud de onda o frecuencia, aunque la sucesión de valores de longitud de onda es continua, suelen establecerse una serie de bandas en donde la radiación electro-magnética manifiesta un comportamiento similar; la organización de estas bandas de longitudes de onda o frecuencia denominada espectro electro-magnético, comprende desde las longitudes de onda más cortas (rayos gamma, rayos X) hasta las kilométricas (telecomunicaciones); las unidades de medida más comunes se relacionan con la longitud de onda; para las más cortas se utilizan micrómetros, mientras que las más largas se miden en centímetros o metros, normalmente a estas últimas denominadas micro-ondas, se las designa también por valores de frecuencia (en Gigahertzios. GHz=10⁹ Hz).

2.11. Principios del Escáner Láser

2.11.1. El espectro Electromagnético y la Luz

Dado que el escáner láser se fundamenta en conceptos de luz es necesario hablar primero del espectro electromagnético. “La razón porque vemos los objetos es porque emiten, reflejan o transmiten una parte visible del espectro que llamamos luz. Esta parte visible del espectro electromagnético está compuesta por los colores que podemos ver en el arco iris” (Lerma & Biosca, 2008). Los colores corresponden a longitudes de onda diferentes (Figura 7).

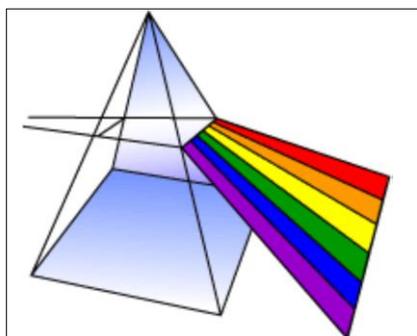


Figura 7. Prisma que descompone la luz blanca en los diferentes colores.
Fuente: Lerma & Biosca, 2008.

De acuerdo con Lerma & Biosca (2008), “Las longitudes de onda del espectro electromagnético varían desde las ondas largas de radio (del tamaño de edificios) hasta los cortos rayos gamma más pequeños que el núcleo de un átomo”, como se muestra en la Figura 8.

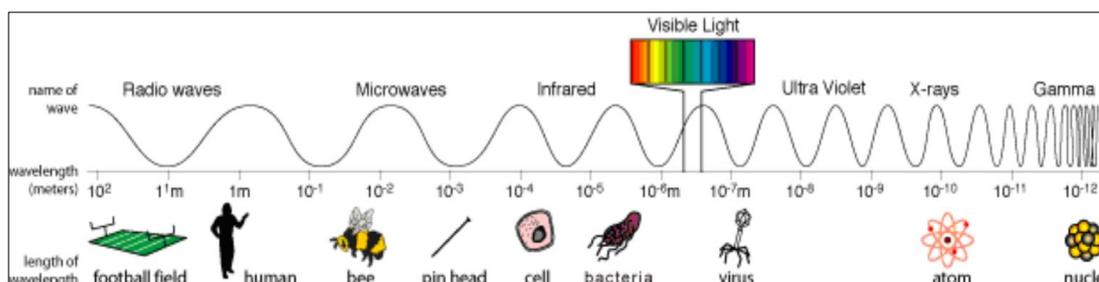


Figura 8. El espectro electromagnético.
Fuente: Lerma & Biosca, 2008.

El espectro electromagnético se puede expresar en términos de energía, longitud de onda o frecuencia. Estas magnitudes están relacionadas mediante las siguientes ecuaciones:

$$C = v * \lambda \quad y \quad E = h * v = C / \lambda$$

Donde:

C: es la velocidad de la luz, 299.792.458 m/s

H: es la constante de Planck, $6.626069 \cdot 10^{-34}$ J-s

N: representa la frecuencia y λ la longitud de onda.

De este modo, las frecuencias altas del espectro tienen longitudes de onda cortas y energía alta y viceversa.

2.11.2. Escáner Láser

El Escáner Láser Terrestre funciona por medio de la emisión de un haz de láser infrarrojo hacia el centro de un espejo giratorio. El láser es un instrumento capaz de generar ondas de luz usando una estrecha banda del espectro electromagnético. La palabra láser es el acrónimo en inglés de las palabras amplificación de la luz por emisión inducida de radiación. (Lerma & Biosca, 2008)

A un instrumento que sea capaz de generar ondas de luz usando una estrecha banda del espectro se le llama láser. Un láser típico emite luz en un estrecho y poco divergente haz de longitud de onda bien definida (correspondiente a un color particular si el láser opera en el espectro visible). Esto contrasta con otra fuente de luz como la bombilla incandescente, que emite luz con una gran abertura y con un amplio espectro de longitudes de onda, lo

que hace que veamos la luz de la bombilla de color blanco y no sólo en una única dirección. (Lerma & Biosca, 2008)

Los escáneres láseres miden básicamente coordenadas polares (ángulos y distancias) y almacenan las coordenadas rectangulares x, y, z de cada punto, estas se calculan utilizando codificadores de ángulos para medir la rotación del espejo y la rotación horizontal escáner láser. La PC a bordo permite que el escáner funcione sin necesidad de utilizar una computadora portátil. Después de hacer el escaneo, él puede desplazarse con facilidad por una vista 3D en la que puede inspeccionar y analizar la totalidad de los datos de escaneo. (Lerma & Biosca, 2008)

Los escáneres pueden alcanzar hasta 400 m, son rápidos y precisos ya que crean una copia virtual de la realidad con una exactitud milimétrica, algunos alcanzando una velocidad de hasta 976.000 puntos de medición por segundo. Los nuevos sensores incluyen pantalla táctil para las funciones de control y escaneo, brújula, sensor de altura y compensador de eje dual. Con diseños portátiles permiten funcionamientos sin dispositivos externos, son pequeños y compactos con pesos que llegan hasta los 5.0 kg, permitiendo buena movilidad. (Lerma & Biosca, 2008)

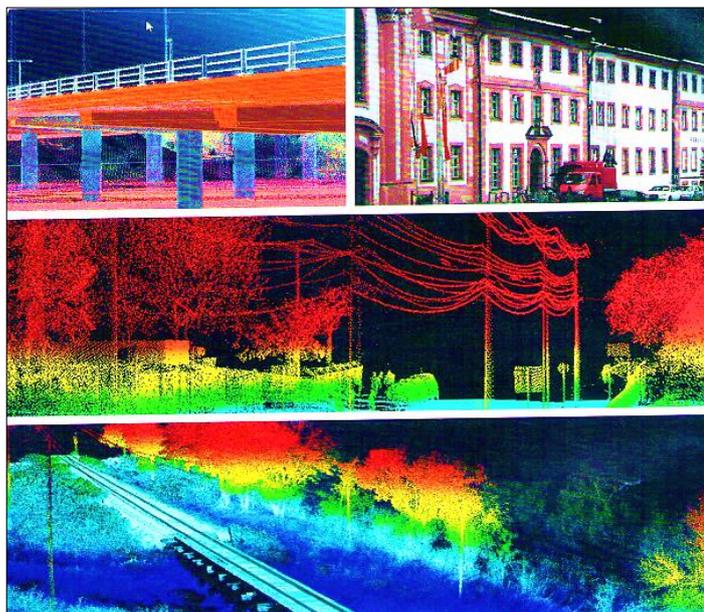


Figura 9. Imágenes y nube de puntos tomadas con Escáner.
Fuente: Lerma & Biosca, 2008.

2.11.3. Mediciones Usando la Luz

De hecho, “Debido a los recientes desarrollos en la visión por computador y la tecnología de sensores, la luz se ha utilizado de varias maneras para medir objetos. Estas técnicas de medición se pueden dividir en dos categorías: técnicas activas y pasivas” (Lerma & Biosca, 2008). Existe un número de escáneres activos, diferenciándose todos ellos en la manera en la que el escáner recibe y/o analiza la señal de radiación reflejada.

2.11.3.1. Medición basada en triangulación

Los triángulos son la base de muchas técnicas de medición. Se utilizaron en mediciones geodésicas básicas en la Antigua Grecia y todavía pueden encontrarse en las modernas cámaras 3D basadas en láser.

Se dirige un patrón láser sobre el objeto y se emplea una cámara para buscar la localización de la proyección del mismo. El emisor láser y la cámara se

instalan con un ángulo constante, creando un triángulo entre ellos y la proyección del láser sobre el objeto. De ahí, el nombre de triangulación. Debido a esta configuración, la proyección del láser cambia el campo de visión de la cámara en función de la distancia a la cámara. (Lerma & Biosca, 2008)

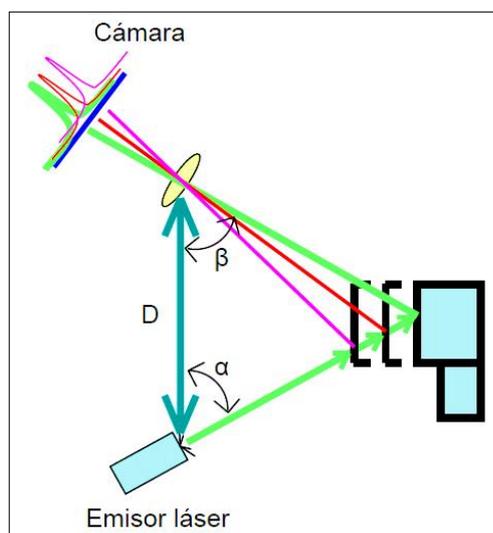


Figura 10. Principio del láser escáner basado en triangulación.
Fuente: Lerma & Biosca, 2008.

2.11.3.2. Medición basada en tiempo

Los escáneres de medición basados en tiempo son escáneres activos que miden un intervalo de tiempo entre dos sucesos. En general, hay dos principios de medición por tiempo: escáneres basados en pulsos (tiempo de vuelo) y basados en fase.

A. Escáneres basados en pulsos (tiempo de vuelo) (detección incoherente)

De acuerdo con Lerma & Biosca (2008), "Las ondas de luz viajan con una velocidad finita y constante a través de un medio. Por consiguiente, cuando puede medirse la demora durante el cual la luz viaja de una fuente a un objeto

reflectante y regresa a la fuente”, la distancia a dicha superficie (Fig. 11) puede calcularse mediante la fórmula siguiente:

$$D = (c \cdot t) / 2$$

Donde:

c = velocidad de la luz en el aire

t = tiempo que tarda la señal en ir y volver

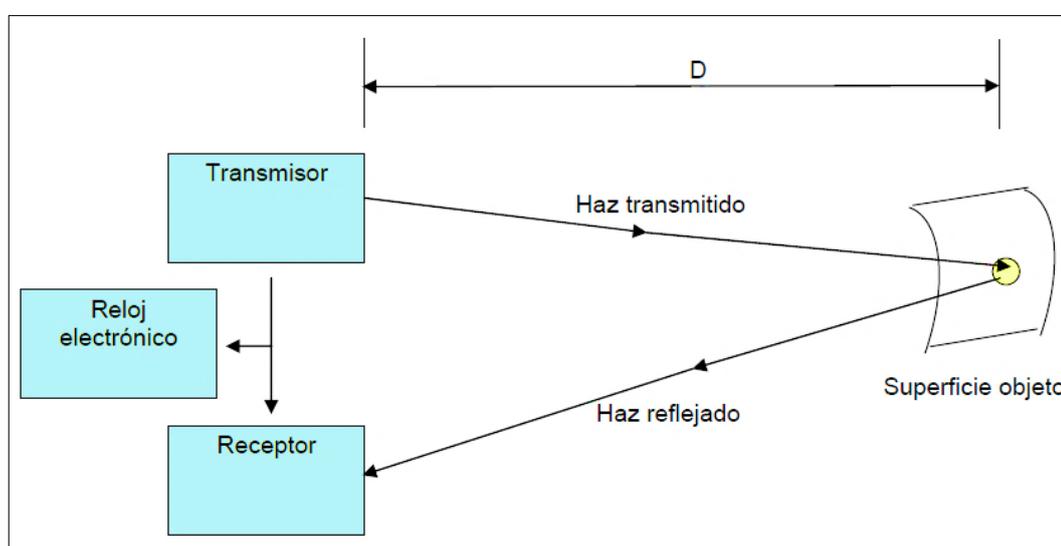


Figura 11. Principio de un láser escáner basado en el tiempo de vuelo.

Fuente: Lerma & Biosca, 2008.

El valor actual de la velocidad de la luz en el vacío es exactamente 299.792.458 m/s. Si la luz viaja por el aire, se debe aplicar un factor de corrección igual al índice de refracción (en función de la densidad del aire). Tomando el valor de la velocidad de la luz en el aire como 3,108 km/s aproximadamente se puede obtener que tarda 3.33 nanosegundos en recorrer un metro. Por tanto, para alcanzar una precisión de 1mm, necesitamos ser capaces de medir intervalos de tiempo de alrededor de 3.33 picosegundos.

De acuerdo con Lerma & Biosca (2008), “Los escáneres por tiempo de vuelo no suelen usar haces continuos, sino pulsos de láser. Escanean todo su campo de visión punto a punto cambiando la dirección del haz mediante una unidad de desviación”. Un láser escáner 3D típico basado en el tiempo de vuelo puede medir de 2.000 a 50.000 puntos por segundo.

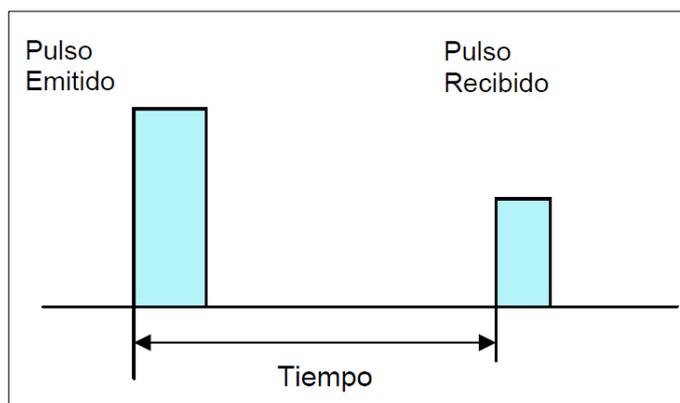


Figura 12. Medición láser por pulsos.
Fuente: Lerma & Biosca, 2008.

Hay que destacar que para que no se produzcan mediciones ambiguas, el tiempo medido (t) debe ser mayor que la amplitud del pulso (T_{pulso}). De esta manera.

$$t = T_{pulso} \text{ o } d > \frac{1}{2} c \cdot T_{pulso}.$$

En la Figura 13 se muestran algunos escáneres basados en el tiempo de vuelo existentes en el mercado. En el año 2008, los fabricantes más conocidos son: Optech, Leica, Riegl, Trimble, Callidus.



Figura 13. Láseres escáneres comerciales basados en el tiempo de vuelo.
Fuente: Lerma & Biosca, 2008.

B. Escáneres basados en la fase

Otro principio de medición basado en tiempo evita el uso de relojes de alta precisión modulando la potencia del haz láser. La luz emitida (incoherente) se modula en amplitud y se envía a una superficie. La reflexión dispersa se captura y un circuito mide la diferencia de fase entre las ondas enviada y recibida, y por tanto la demora. (Lerma & Biosca, 2008)

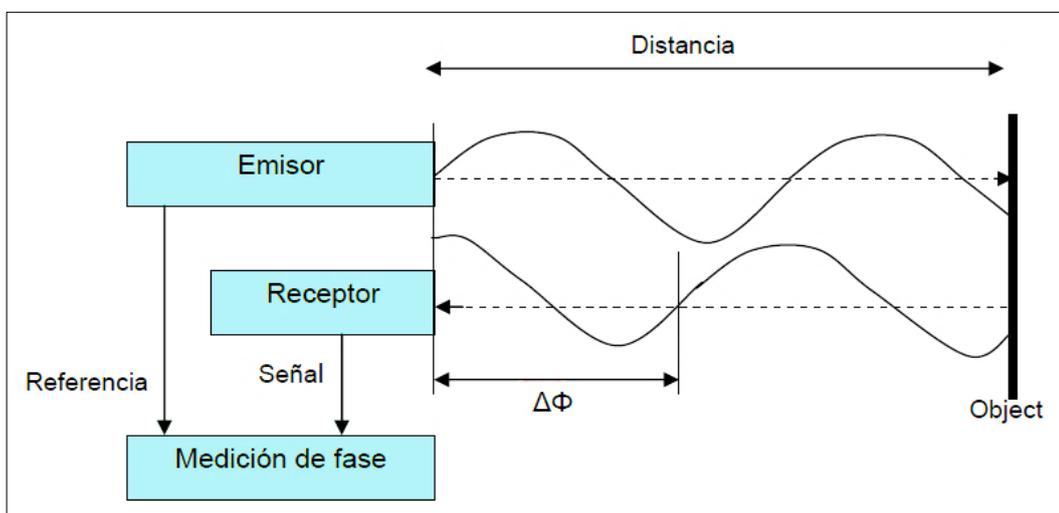


Figura 14. Principio de medición basado en la fase.
Fuente: Lerma & Biosca, 2008.

Los escáneres basados en la fase típicos modulan su señal utilizando modulaciones sinusoidales, amplitud modulada (AM), frecuencia modulada (FM), pseudo ruido o modulación polarizada. En el caso de una señal sinusoidal

modulada, la luz reflejada se demodula por medio de cuatro puntos de muestra que son disparados a la onda emitida.

En la Figura 15 se muestran algunos escáneres basados en la fase. En el año 2008, las compañías más conocidas son: IQSun, Leica, Z+F y Faro.



Figura 15. Láseres escáneres comerciales basados en fase.
Fuente: Lerma & Biosca, 2008.

2.11.4. Escáner Láser Faro Focus 3D y su Método

El Focus3D es un escáner láser 3D de alta velocidad para documentar y medir en forma detallada. Con la pantalla táctil para controlar los parámetros y las funciones de escaneo, el Focus3D utiliza tecnología láser para crear imágenes tridimensionales increíblemente detalladas de entornos complejos y geometrías de gran escala en tan solo algunos minutos. La imagen que crea es un conjunto de millones de puntos de medición 3D que brindan una reproducción digital exacta de condiciones existentes. (FARO, 2013)



Figura 16. Escáner Láser Faro Focus 3D.
Fuente: FARO, 2013.

2.11.5. Funcionamiento de Focus 3D

Para medir la distancia, el Focus3D utiliza la tecnología de desfasaje. Esto significa que el haz del láser es modulado mediante ondas constantes de diferente longitud. La distancia del escáner láser al objeto se determina con exactitud al medir los desfasajes en las ondas de luz infrarroja. HYPERMODULATION-TM mejora en gran medida la relación señal-ruido de la señal modulada con la ayuda de una tecnología especial de modulación. Las coordenadas X, Y y Z de cada punto se calculan utilizando codificadores de ángulos para medir la rotación del espejo y la rotación horizontal del Focus3D. Estos ángulos se codifican simultáneamente con la medición de la distancia. La distancia, el ángulo vertical y el ángulo horizontal forman una coordenada polar (δ, α, β) , que luego se transforma en una coordenada cartesiana (x, y, z) . El escáner cubre un campo de visión de $360^\circ \times 300^\circ$. (FARO, 2013)

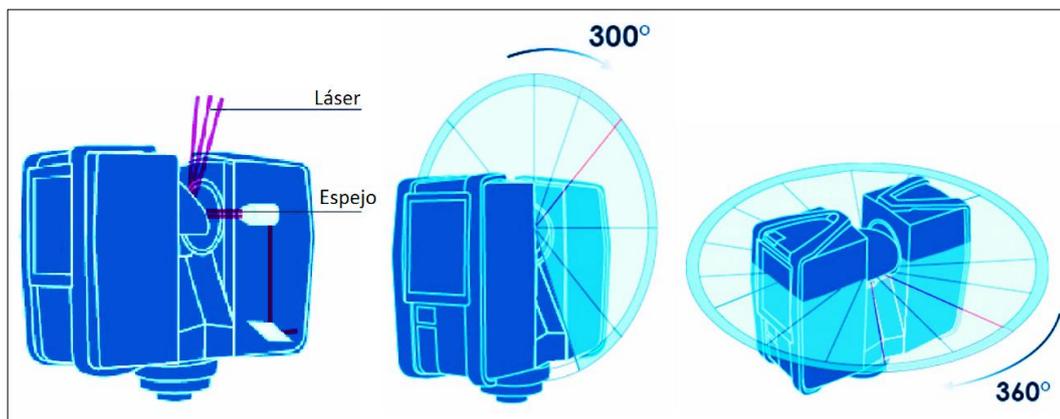


Figura 17. Rotación vertical y horizontal.
Fuente: FARO, 2013.

2.11.6. Método de Escaneo

Junto a las posiciones óptimas del escáner, los tipos de puntos de referencia y sus posiciones y/o configuración geométrica también son importantes. Los puntos de referencia se usan principalmente para registrar los escaneados realizados desde diferentes posiciones. Actualmente hay una gran variedad de dianas disponibles: retro reflectantes, esféricas, de papel, prismas... En el futuro, habrá dianas incluso con receptores GPS. (FARO, 2013)

2.11.6.1. Target o dianas

De acuerdo con Lerma & Biosca (2008), “Uno de los puntos más importantes cuando se utilizan las dianas es que tienen que estar esparcidas lo más ampliamente posible, no sólo en las direcciones de los ejes X e Y, sino también en la dirección del eje Z”.

Frecuentemente las compañías de los escáneres proporcionan dianas especiales retro-reflectantes y esféricas. Estas dianas están diseñadas para reflejar la mayor parte del haz láser. El escáner puede, entonces, detectar

automáticamente estas dianas y, tras un escaneado de mayor resolución, determinar el centro exacto ajustando una superficie primitiva a la nube de puntos medida.

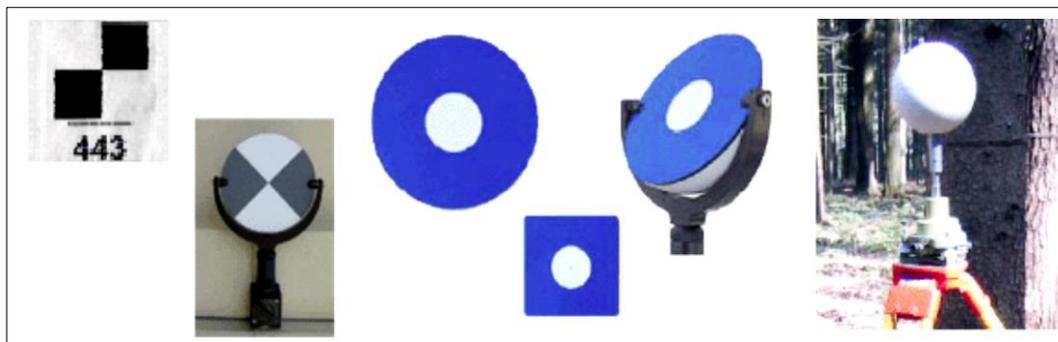


Figura 18. Tipos de dianas artificiales (target).
Fuente: Lerma & Biosca, 2008.

2.11.6.2. Resolución y la calidad

Resolución. - La cuestión clave cuando se utiliza un escáner láser es elegir la correcta resolución. La resolución se define como la distancia entre dos puntos medidos consecutivamente, y de esta manera determina la densidad de puntos de la nube. Frecuentemente se confunde precisión con resolución. Aunque hay una cierta relación entre ambos términos, definen aspectos diferentes del proceso de escaneado. (Lerma & Biosca, 2008)

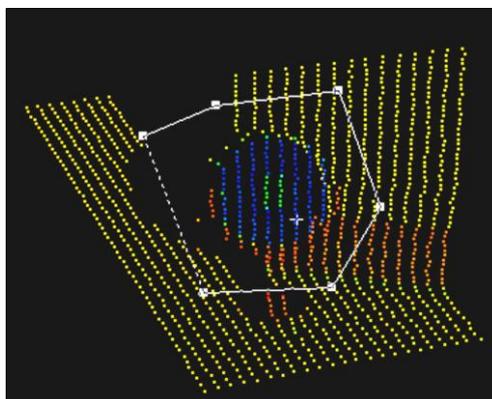


Figura 19. Escaneado de alta resolución de una diana.
Fuente: Lerma & Biosca, 2008.

Los rangos de resolución en el escáner láser utilizado son nueve (9) y se pueden elegir entre 1/1, 1/2, 1/4, 1/5, 1/8, 1/10, 1/16, 1/20 y 1/32. La variación modifica la duración del escaneo, su tamaño en puntos y el valor de mega-puntos va ligado a los valores de calidad que son cuatro (4) rangos y van desde -6x hasta -2x, que es el menor. La Figura 20 muestra los elementos de resolución y calidad. (FARO, 2013)



Figura 20. Pantalla del escáner según parámetros de resolución y calidad.
Fuente: FARO, 2013.

Tabla 3 muestra la velocidad de medición, la compresión de ruido y el tiempo de escaneo neto de todas las configuraciones de resolución y calidad disponibles.

Tabla 3. Resolución y calidad

| Resolución | | Calidad | Velocidad (kpt/seg.) | Compresión de ruido | Tiempo de escaneo neto (escaneo completo) | pt/360° |
|--------------------------------------|------|---------|----------------------|---------------------|---|---------|
| Millón de puntos. (escaneo completo) | | | | | | |
| 710.7 | 1/1 | 1x | 976 | - | 0:14:19 | 40,960 |
| 710.7 | 1/1 | 2x | 488 | - | 0:28:38 | 40,960 |
| 710.7 | 1/1 | 3x | 244 | - | 0:57:16 | 40,960 |
| 710.7 | 1/1 | 4x | 122 | - | 1:54:32 | 40,960 |
| 177.7 | 1/2 | 1x | 976 | - | 0:03:35 | 20,480 |
| 177.7 | 1/2 | 2x | 488 | - | 0:07:09 | 20,480 |
| 177.7 | 1/2 | 3x | 244 | - | 0:14:19 | 20,480 |
| 177.7 | 1/2 | 4x | 122 | - | 0:28:38 | 20,480 |
| 177.7 | 1/2 | 6x | 122 | 2x | 1:54:32 | 20,480 |
| 44.4 | 1/4 | 1x | 976 | - | 0:00:54 | 10,240 |
| 44.4 | 1/4 | 2x | 488 | - | 0:01:47 | 10,240 |
| 44.4 | 1/4 | 3x | 244 | - | 0:03:35 | 10,240 |
| 44.4 | 1/4 | 4x | 122 | - | 0:07:09 | 10,240 |
| 44.4 | 1/4 | 6x | 122 | 2x | 0:28:38 | 10,240 |
| 44.4 | 1/4 | 8x | 122 | 4x | 1:54:32 | 10,240 |
| 28.4 | 1/5 | 2x | 488 | - | 0:01:09 | 8,192 |
| 28.4 | 1/5 | 3x | 244 | - | 0:02:17 | 8,192 |
| 28.4 | 1/5 | 4x | 122 | - | 0:04:35 | 8,192 |
| 28.4 | 1/5 | 6x | 122 | 2x | 0:18:20 | 8,192 |
| 11.1 | 1/8 | 2x | 488 | - | 0:00:27 | 5,120 |
| 11.1 | 1/8 | 3x | 244 | - | 0:00:54 | 5,120 |
| 11.1 | 1/8 | 4x | 122 | - | 0:01:47 | 5,120 |
| 11.1 | 1/8 | 6x | 122 | 2x | 0:07:09 | 5,120 |
| 11.1 | 1/8 | 8x | 122 | 4x | 0:28:38 | 5,120 |
| 7.1 | 1/10 | 3x | 244 | - | 0:00:34 | 4,096 |
| 7.1 | 1/10 | 4x | 122 | - | 0:01:09 | 4,096 |
| 7.1 | 1/10 | 6x | 122 | 2x | 0:04:35 | 4,096 |
| 7.1 | 1/10 | 8x | 122 | 2x | 0:18:20 | 4,096 |
| 2.8 | 1/16 | 3x | 244 | - | 0:00:13 | 2,560 |
| 2.8 | 1/16 | 4x | 122 | - | 0:00:27 | 2,560 |
| 2.8 | 1/16 | 6x | 122 | 2x | 0:01:47 | 2,560 |
| 2.8 | 1/16 | 8x | 122 | 4x | 0:07:09 | 2,560 |
| 1.8 | 1/20 | 4x | 122 | - | 0:00:17 | 2,048 |
| 1.8 | 1/20 | 6x | 122 | 2x | 0:01:09 | 2,048 |
| 1.8 | 1/20 | 8x | 122 | 4x | 0:04:35 | 2,048 |
| 0.7 | 1/32 | 4x | 122 | - | 0:00:07 | 1,280 |
| 0.7 | 1/32 | 6x | 122 | 2x | 0:00:27 | 1,280 |
| 0.7 | 1/32 | 8x | 122 | 4x | 0:01:47 | 1,280 |
| 0.7 | 1/32 | 8x | 122 | 4x | 0:01:47 | 1,280 |

Fuente: FARO (2013).

Calidad. - Afecta la cualidad del escaneo y el tiempo del escaneo con resoluciones de escaneo constantes. Permite equilibrar las necesidades de calidad y velocidad mediante el deslizador. Al colocar el deslizador hacia arriba, se reduce el ruido de los datos de escaneo y, de este modo, aumentará la calidad del escaneo, lo que provocará un mayor tiempo de escaneo. Al mover el deslizador hacia abajo, reducirá el tiempo de escaneo y aumentará la eficacia del proyecto de escaneo. El deslizador de calidad establece los niveles de calidad, ya sea por medio de diversas frecuencias de medición, o mediante la aplicación de compresión de ruido adicional. El escaneo contiene varios millones de puntos de escaneo, y cargar escaneos en la memoria de la computadora implica importantes requisitos de memoria, en especial si los escaneos se registraron con resoluciones altas. (FARO, 2013)

2.12. Especificaciones Técnicas Mínimas para Trabajos Cartográficos

2.12.1. Precisión y Exactitud

La medida, por su naturaleza, es inexacta; la magnitud de esa "inexactitud" es el error. Esto es distinto de una equivocación que es un error grande, y por consiguiente un error que puede descubrirse y corregirse. Una equivocación es un error real en la aplicación de una medida, como leer mal un instrumento. El error es inherente a la medida, e incorpora tales cosas como la precisión y la exactitud. (Jiménez, 2007)

2.12.1.1. Precisión

De acuerdo con Jiménez (2007), "El grado de refinamiento en la ejecución de una medida, o el grado de perfección en los instrumentos y métodos

obteniendo un resultado. Una indicación de la uniformidad o reproductibilidad de un resultado”. La precisión relaciona a la calidad de un manejo por el que un resultado se obtiene, y es distinguido de exactitud que relaciona a la calidad del resultado.

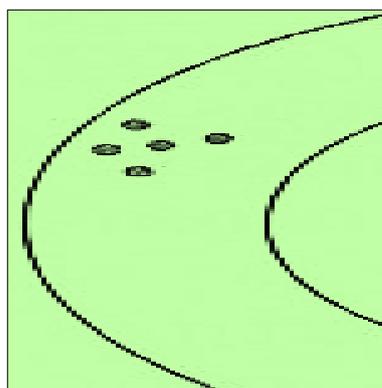


Figura 21. Precisión.
Fuente: Jiménez, 2007.

2.12.1.2. Exactitud

De acuerdo con Jiménez (2007), “Es el grado de conformidad con una norma (la "verdad"). La Exactitud relaciona a la calidad de un resultado, y se distingue de la precisión que relaciona la calidad del funcionamiento por el que el resultado se obtiene”.

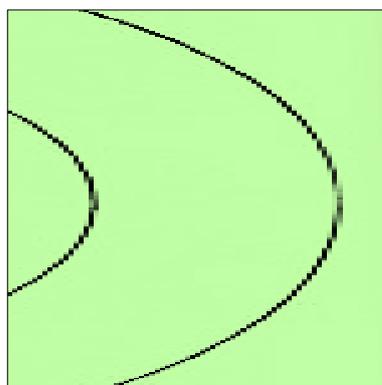


Figura 22. Exactitud.
Fuente: Jiménez, 2007.

La diferencia entre exactitud y precisión se ilustra mejor en relación con el ejemplo del tiro al blanco. En la Figura 23 se muestra (a) los resultados de los cinco tiros son precisos pero no exactos, (b) Los resultados no son ni precisos ni exactos, (c) Los resultados son tanto precisos como exactos.

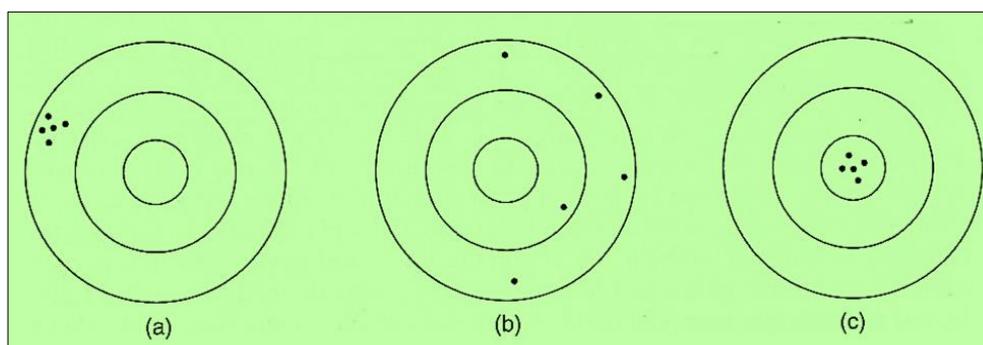


Figura 23. Ejemplos de Precisión y Exactitud.
Fuente: Jiménez, 2007.

2.12.2. Exactitud Posicional

Describe la cercanía en posición de los objetos en el conjunto de datos, con respecto a su posición verdadera (o la asumida como verdadera). La norma define “La exactitud posicional de los datos en malla es la proximidad de los valores de posición de los datos en estructura de malla regular a los valores verdaderos o aceptadas como verdaderas” (Norma SNCP-PERU, 2008).

2.12.2.1. Exactitud externa o absoluta

Es la exactitud con respecto a su posición del conjunto de objetos del modelo o mapa respecto a su posición real en el terreno. Se toma como la diferencia que existe entre las coordenadas que tienen los objetos digitales con las que tienen en el terreno. La Norma define que “Es la proximidad entre los

valores de coordenadas indicados y los verdaderos o aceptadas como tales” (Norma SNCP-PERU, 2008).

2.12.2.2. Exactitud interna o relativa

Con esta exactitud se pretende determinar la consistencia interna del modelo o mapa. Si se toma una medida de distancia X en el modelo o mapa, sea el mismo o uno muy cercano de su correspondiente distancia en el terreno. La Norma define como “Se refiere a las posiciones relativos de los objetos de un conjunto de datos y sus respectivas posiciones relativas verdaderas o aceptadas como verdaderas” (Norma SNCP-PERU, 2008).

2.12.3. La Sociedad Americana para la Fotogrametría y la Lectura a Distancia (ASPRS)

La meta de Sociedad Americana para la Fotogrametría y la Lectura a Distancia (ASPRS) es proponer la ciencia de fotogrametría y lectura a distancia; para educar a los individuos en la ciencia de fotogrametría y lectura a distancia; para fomentar el intercambio de información relacionado con la ciencia de fotogrametría y lectura a distancia; para desarrollarse, colocar en la costumbre, y mantener estándares y ética aplicable para los aspectos de la ciencia; proveer unos recursos para el diálogo entre esos le interesó en las ciencias; y para favorecerle, publicar y distribuir libros, publicaciones, tratados, y otras obras estudiosas y prácticas para fomentar la ciencia de fotogrametría y lectura a distancia. (Norma ASPRS, 2014)

2.12.3.1. Norma ASPRS (2014) estándares posicionales de exactitud para datos digitales de geoespacial

Actualización de la norma de ASPRS 1990, a la norma vigente la ASPRS 2014. El objetivo de los ASPRS los estándares posicionales de exactitud para datos digitales de geoespacial deben reemplazar al ASPRS existente de estándares de exactitud para mapas de escala grande (1990), y el ASPRS de exactitud vertical incorporándose a datos del lidar (2004) mejor se ocupen de tecnologías actuales.

Este estándar incluye estándares posicionales de exactitud para fotogrametría digital, datos digitales del planimétrico y datos digitales de elevación. La exactitud clasifica, con base en Error Medio Cuadrático (RMSE) aprecia, ha estado revisada y mejorada de los 1990 estándar para ocuparse de las exactitudes más altas realizables con más nuevas tecnologías. El estándar también incluye adicionales medidas de precisión, como las líneas de la costura de la fotogrametría, la exactitud antiaérea de triangulación, la ringlera del lidar relativa para segar en ringleras exactitud, recomendó Densidad Nominal mínima de Pulso (NPD), exactitud horizontal de datos de elevación, delineación de áreas bajas de confianza para datos verticales, y la requerida distribución más entumecida y espacial de puntos de inspección con base en área de proyecto. (Norma ASPRS, 2014)

A. Exactitud horizontal / Calidad de datos planimétricos digitales de alta precisión

Los estándares horizontales de exactitud para las informaciones digitales, incluyendo fotogrametría digital, los datos digitales del planimétrico, y el planimétrico en mapas. Este estándar define clases horizontales de exactitud en términos de su RMSE_x y RMSE_y. Mientras los anteriores estándares ASPRS usaron rangos numéricos para las clases de exactitud discretas vinculadas directamente para trazar un mapa de escala (Clase 1, Clase 2, etc.), muchas aplicaciones modernas requieren que más flexibilidad que estas clases le sean permitidas. Además, muchas aplicaciones de exactitud horizontal no pueden estar atadas directamente para la escala de la recopilación, la decisión de la imagerie originaria, o la decisión final de pixel. (Norma ASPRS, 2014)

Tabla 4. Exactitud horizontal / Calidad de datos planimétricos digitales de alta precisión

| ASPRS 2014 | | Equivalente a la escala del mapa de | | | |
|--|------------------------|--|--------------------|--------------------|--------------------------------------|
| Clase de Exactitud horizontal RMSE _x y RMSE _y (cm) | RMSE _r (cm) | Exactitud horizontal al 95% de nivel de confianza (cm) | ASPRS 1990 Clase 1 | ASPRS 1990 Clase 2 | Equivalente a escala de mapa en NMAS |
| 0.63 | 0.9 | 1.5 | 1:25 | 1:12.5 | 1:16 |
| 1.25 | 1.8 | 3.1 | 1:50 | 1:25 | 1:32 |
| 2.5 | 3.5 | 6.1 | 1:100 | 1:50 | 1:63 |
| 5.0 | 7.1 | 12.2 | 1:200 | 1:100 | 1:127 |
| 7.5 | 10.6 | 18.4 | 1:300 | 1:150 | 1:190 |
| 10.0 | 14.1 | 24.5 | 1:400 | 1:200 | 1:253 |
| 12.5 | 17.7 | 30.6 | 1:500 | 1:250 | 1:317 |
| 15.0 | 21.2 | 36.7 | 1:600 | 1:300 | 1:380 |
| 17.5 | 24.7 | 42.8 | 1:700 | 1:350 | 1:444 |
| 20.0 | 28.3 | 49.0 | 1:800 | 1:400 | 1:507 |
| 22.5 | 31.8 | 55.1 | 1:900 | 1:450 | 1:570 |
| 25.0 | 35.4 | 61.2 | 1:1000 | 1:500 | 1:634 |
| 27.5 | 38.9 | 67.3 | 1:1100 | 1:550 | 1:697 |
| 30.0 | 42.4 | 73.4 | 1:1200 | 1:600 | 1:760 |
| 45.0 | 63.6 | 110.1 | 1:1800 | 1:900 | 1:1,141 |
| 60.0 | 84.9 | 146.9 | 1:2400 | 1:1200 | 1:1,521 |
| 75.0 | 106.1 | 183.6 | 1:3000 | 1:1500 | 1:1,901 |
| 100.0 | 141.4 | 244.8 | 1:4000 | 1:2000 | 1:2,535 |
| 150.0 | 212.1 | 367.2 | 1:6000 | 1:3000 | 1:3,802 |
| 200.0 | 282.8 | 489.5 | 1:8,000 | 1:4000 | 1:5,069 |
| 250.0 | 353.6 | 611.9 | 1:10,000 | 1:5000 | 1:6,337 |
| 300.0 | 424.3 | 734.3 | 1:12,000 | 1:6000 | 1:7,604 |
| 500.0 | 707.1 | 1223.9 | 1:20,000 | 1:10000 | 1:21,122 |
| 1000.0 | 1414.2 | 2447.7 | 1:40000 | 1:20000 | 1:42,244 |

Fuente: Norma ASPRS (2014).

B. Exactitud vertical/ calidad para los datos digitales de elevación

La exactitud vertical es computada usando estadísticas RMSE en terreno poco crecido anormalmente y las estadísticas percentiles 95 en terreno crecido anormalmente. La convención que nombra para cada clase vertical de exactitud es directamente asociada con el RMSE esperado del producto. La Tabla 5 compara las diez clases de precisión verticales con intervalos de contornos de la herencia ASPRS 1990 y las normas Estándar de Precisión de Mapa Nacional NMAS 1947. (Norma ASPRS, 2014)

Tabla 5. *Exactitud vertical / calidad para datos de elevación digital*

| Clase de Exactitud Vertical (cm) | RMSE z (cm) | Intervalo de contorno de clase 1 ASPRS 1990 (cm) | Intervalo de contorno de clase 2 ASPRS 1990 (cm) | Intervalo de contorno NMAS (cm) |
|----------------------------------|-------------|--|--|---------------------------------|
| 1-cm | 1 | 3 | 1.5 | 3.29 |
| 2.5-cm | 2.5 | 7.5 | 3.8 | 8.22 |
| 5-cm | 5 | 15 | 7.5 | 16.45 |
| 10-cm | 10 | 30 | 15 | 32.9 |
| 15-cm | 15 | 45 | 22.5 | 49.35 |
| 20-cm | 20 | 60 | 30 | 65.8 |
| 33.3-cm | 33.3 | 99.9 | 50 | 109.55 |
| 66.7-cm | 66.7 | 200.1 | 100.1 | 219.43 |
| 100-cm | 100 | 300 | 150 | 328.98 |
| 333.3-cm | 333.3 | 999.9 | 500 | 1096.49 |

Fuente: Norma ASPRS (2014).

2.12.4. La Norma SNCP – PERU Estándares Cartográficos

Los estándares cartográficos de NSSDA National Standard for Spatial Data Accuracy han sido desarrollados por FDGC (Federal Geographis Data commitee) en USA, para establecer los criterios comunes de verificación

asociados a la producción de mapas, permitiendo a los usuarios comparar la precisión de los datos utilizados cuando combinan mapas en sus trabajos.

Según la Norma SNCP – PERU (2008), “El alcance de estos estándares incluyen los mapas georreferenciados, y los datos geoespaciales (en forma raster, vectorial o punto) obtenidos a partir de fotografías, imágenes de satélite o medidas de campo”.

De acuerdo con la Norma SNCP-PERU (2008), La precisión posicional de la información contenida en el mapa se estima mediante el RMSE (raíz del error cuadrático de la media), definido como “La media de las diferencias entre las coordenadas, de un conjunto de puntos, **obtenidas a partir de mediciones independientes de mayor precisión**”. La precisión se reporta como la distancia sobre el terreno al nivel de confianza del 95%, que significa, que el 95% de los datos tienen un error de posición respecto a la posición real en el terreno igual o menor a la precisión reportada.

2.13. Caracterización del Área de Investigación

2.13.1. Ubicación de Área de Investigación

2.13.1.1. Ubicación política

El área de estudio, políticamente se ubica en la siguiente manera:

Lugar: Ejército Manco Cápac
Urbanización: Chanu - Chanu
Distrito: Puno
Provincia: Puno
Departamento: Puno

2.13.1.2. Ubicación geográfica

El lugar de investigación se encuentra ubicada en el ejército de Manco Cápac se ubica en la ciudad de Puno según las coordenadas Geográficas 70° 00' 38.89" Longitud Oeste W70° 00' 38.89" Latitud Sur y coordenadas Cartográficas UTM Datum WGS-84 zona 19L sur comprendida entre 391771.7578 este, 8246540.5389 norte y una altitud 3823.048 msnm, como centroide.

2.13.1.3. Límites del área de estudio

Este: Con el ejército de Manco Cápac

Oeste: Con el complejo deportivo del ejército

Norte: Con el complejo deportivo de Chanu – Chanu

Sur: Con el parque del niño de la ciudad de Puno

2.13.1.4. Vías de acceso

Vía de acceso: con pistas asfaltadas desde la plaza de la ciudad de Puno hasta el área de investigación de ejército de Manco Cápac, con una distancia 2 km y con un tiempo de viaje 15 minutos.

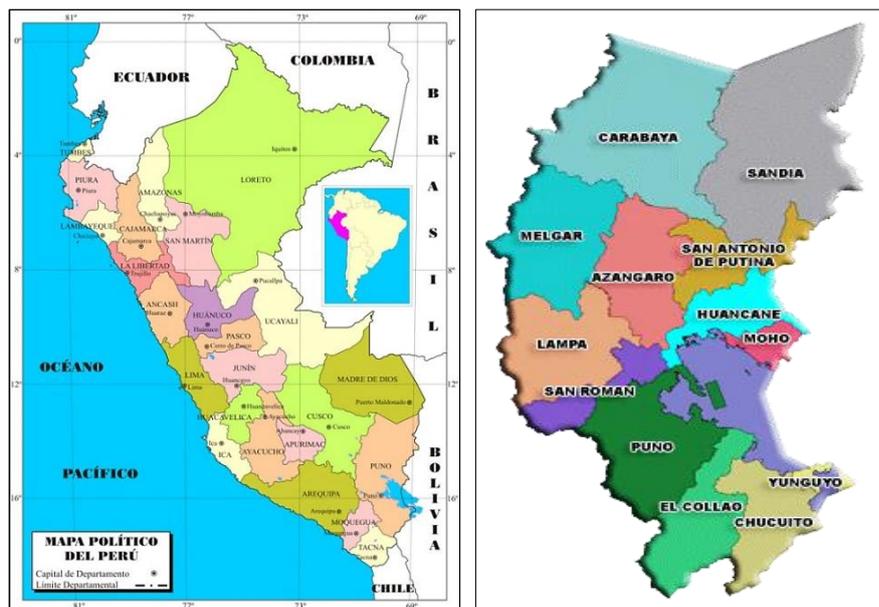


Figura 24. Ubicación y localización de la investigación.
Fuente: IGN, 2011.

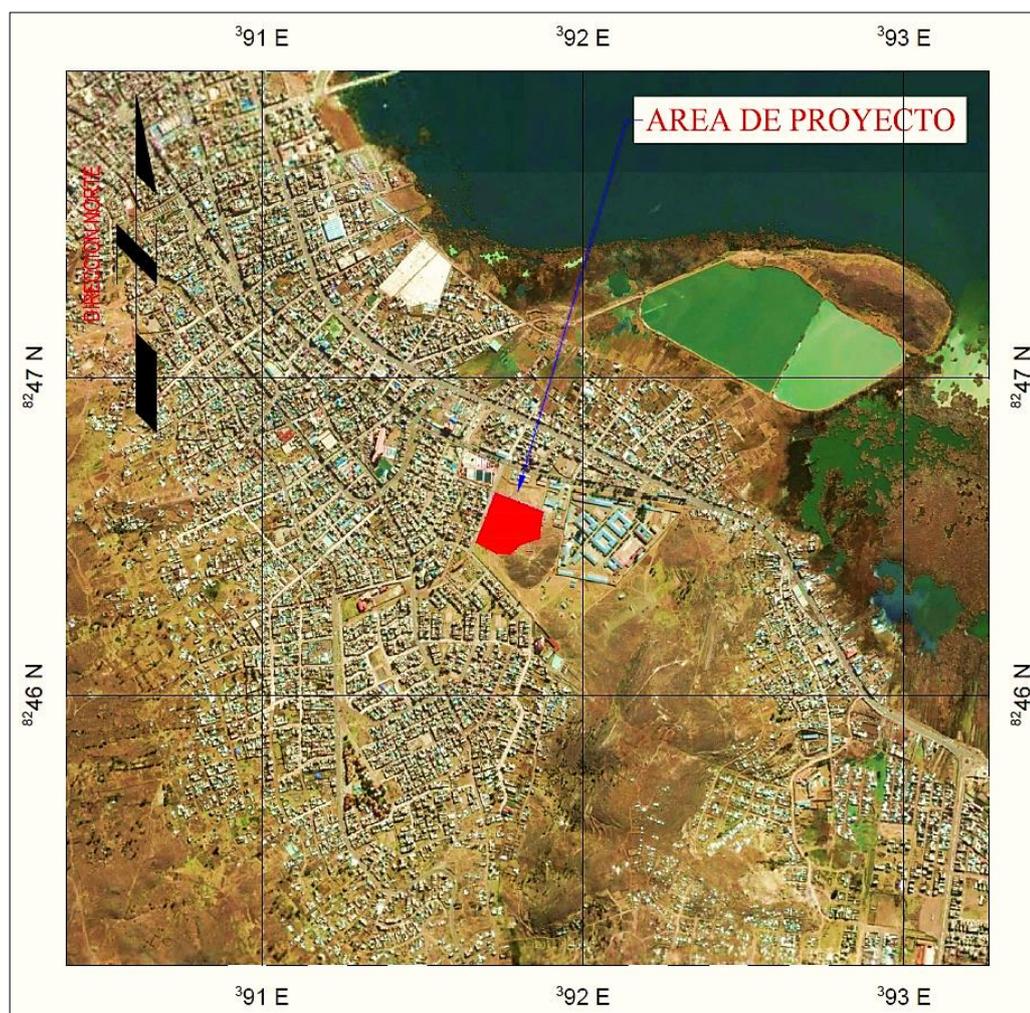


Figura 25. Área de la investigación.
Fuente: Google Earth.

2.13.2. Características Geográficas y Demográficas del Ámbito de Estudio

Está ubicada en las inmediaciones de la ciudad y Departamento del mismo nombre, zona del altiplano de la sierra sur del Perú, a orillas y en su extremo noroeste del lago Titicaca, la Capitanía de Puerto, comprende la parte del Lago Titicaca e islas dentro del territorio nacional.

2.13.2.1. Población

Según datos del INEI, en el periodo intercensal 1993 – 2007, la población total de Puno se incrementó en 188,592 habitantes, llegando a alcanzar un total de 1,268,441 moradores, es decir, un aumento de 17.46%; respecto a la población total de 1993, que fue de 1 millón 79 mil 849 habitantes. Por su parte, la población total estimada para la región para el 2012 es de 1 millón 377 mil 122 habitantes, con una densidad demográfica promedio de ;17.62; hab. /km².

2.13.2.2. Características meteorológicas

Climáticamente el Puerto se caracteriza por ser una zona muy seca y fría, debido fundamentalmente a su ubicación altitudinal; sin embargo, por su cercanía a Lago Titicaca que actúa como un efecto termorregulador, la temperatura del ambiente es ligeramente menor en comparación con la zona cercana y descampada de Juliaca, su régimen pluvial es estacional, ausentes o muy escasas lluvias en el invierno y con regular frecuencia durante el verano que en algunos casos las precipitaciones se intensifican acompañadas de tormentas eléctricas que caracterizan a las nubes convectivas de gran desarrollo vertical,

eventualmente inducidas por profundas alteraciones atmosféricas también suelen presentarse precipitaciones de nieve y granizo, principalmente en los periodos de cambio estacional. (SENAMHI, 2016)

La Temperatura del Aire, promedio multianual durante el verano oscila alrededor de 10.5° y durante el invierno entre 8° y 9°C ; durante estas temporadas, los valores promedios mensuales multianuales máximos y mínimos son alrededor de 16.5°C y 0°C respectivamente; sin embargo, se han presentado temperaturas extremas de 20°C y mínimos absolutos de -3°C , aunque en su cercanía hacia la ciudad de Juliaca las temperaturas son inferiores a este valor. La humedad relativa oscila alrededor del 55% en el verano y entre el 36% y 40% en el invierno. Estadísticamente, la dirección del viento es variable, aunque son más frecuentes direcciones del viento proveniente del Este (23% de los casos), Sur (15%), Suroeste (11%) y Oeste (14%), así como también los estado de calma (15%), con velocidades más frecuentes menores a 6 nudos (77% de los casos); sin embargo, aunque con menor frecuencia suelen presentarse velocidades entre 07 y 10 nudos (7%), eventualmente y menores del 1% también se presentan velocidades superiores a 16 nudos, en casos extremos han alcanzado valores de hasta 22 nudos. (SENAMHI, 2016)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales e Instrumentos

3.1.1. Materiales

- Estacas de fierro D. 1/2
- Clavos de 4''
- Pintura roja, negra y blanco
- Moldes de metal
- Cemento
- Hormigón
- Libreta de Campo
- Chaleco de Seguridad
- Casco de seguridad
- Zapatos de Seguridad
- Lente de seguridad 3M
- Wincha Metálica 8 m
- Wincha Metálica 50 m
- Material de oficina y gabinete

3.1.2. Equipos

- GPS SOKKIA Modelo STRATUS
- Estación Total Topcon modelo ES-105
- Nivel Automático Topcon modelo AT-B3
- Escáner láser – modelo FARO Focus 3D S 120

- Laptop MSI Core i7
- Impresora a color
- Plotter
- Cámara Fotográfica
- Calculadora científica

3.1.3. Softwares

- Software Topcon Link 7.1
- Software SCANE 3D 5.5
- Software Global Mapper 16
- Software Autodesk ReCap 360
- Software AutoCAD Civil 3D 2017
- Software AutoCAD 2017
- Software IBM SPSS Statistics 19
- Imágenes Satelitales Google Earth
- Microsoft Office 2016

3.2. Metodología Para el Desarrollo del Trabajo

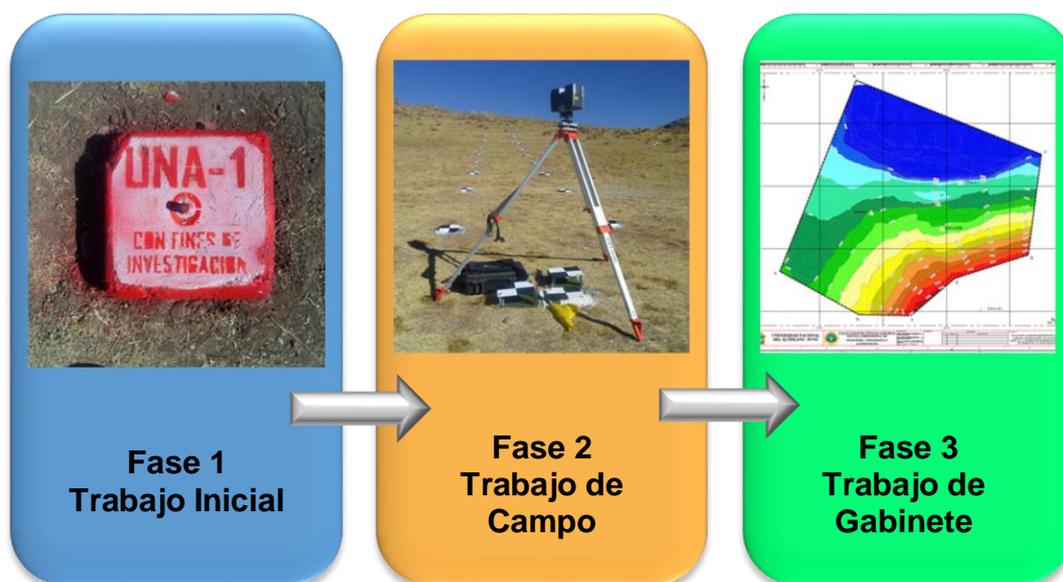


Figura 26. Diagrama de desarrollo de trabajo.
Fuente: Elaboración Propia.

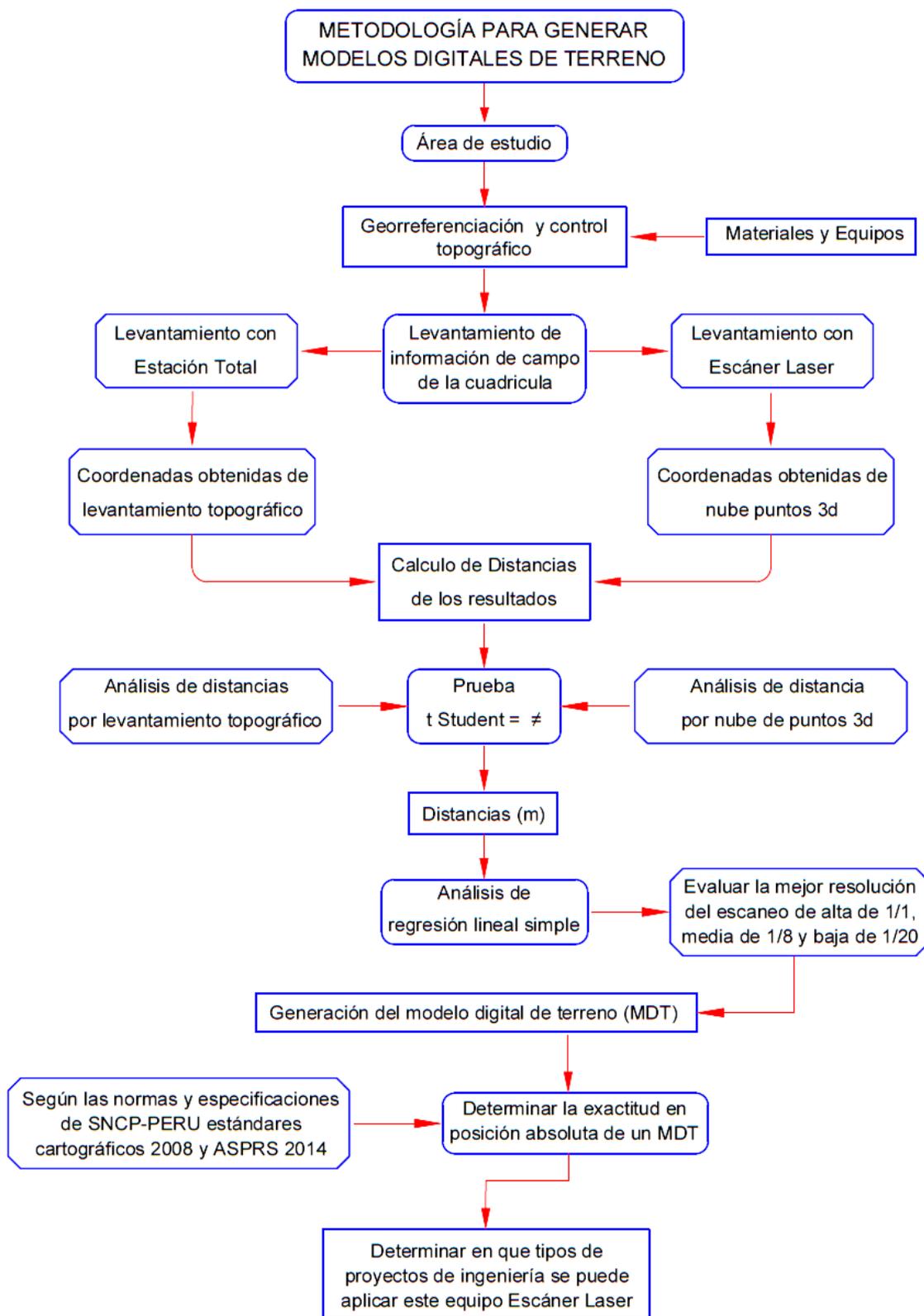


Figura 27. Diagrama de flujo de la metodología.
Fuente: Elaboración Propia.

3.2.1. Trabajo Inicial

A. Planificación de trabajos

Se diseña en oficina una cuadrícula con una longitud cercana a los 25 m aproximadamente de escáner láser, suponiendo que es el alcance del equipo escáner láser de modelo FARO Focus 3D S 120 para lecturas en exteriores. Esta cuadrícula está separada cada 3.00 m y la última está separada a 1.50m, sobre dos ejes separados 2.00 m para evaluar las tres resoluciones de escáner láser, como se muestra en la Figura 29.

B. Recopilación de información existente

En la recopilación información existente primeramente, recurrimos a la carta nacional de Instituto Geográfico Nacional (IGN), se encuentra en la carta nacional Hoja 32-v-Puno de escala 1/ 100 000. En la segunda instancia recurrimos a las entidades de gobiernos locales, como Municipalidad Provincial de Puno a la oficina de catastro, este proyecto se encuentra ubicado dentro de la ciudad de Puno en el ejército Manco Cápac.

C. Reconocimiento de área de estudio

En esta parte se hizo una primera visita de campo, para el reconocimiento del área de estudio, verificar en qué condiciones se encuentra el terreno y el propietario del terreno. Para seguidamente solicitar los permisos de estudios y definir el alcance que va tener este proyecto de investigación.



Figura 28. Vista panorámica del ejército Manco Cápac (área de estudio).
Fuente: Elaboración Propia.

En el campo se busca una zona que no tenga vegetación, ni obstrucciones y que tenga una pendiente uniforme para hacer trazo y replanteo de la cuadrícula, para luego escanear la zona identificada con las tres resoluciones del escáner láser.

Diseño de la cuadrícula. - Se diseñó con una metodología de alcance de medición que puede realizar el equipo escáner láser de modelo FARO Focus 3D S 120. En la siguiente Figura se muestra el diseño de la cuadrícula y la posición del equipo escáner láser.

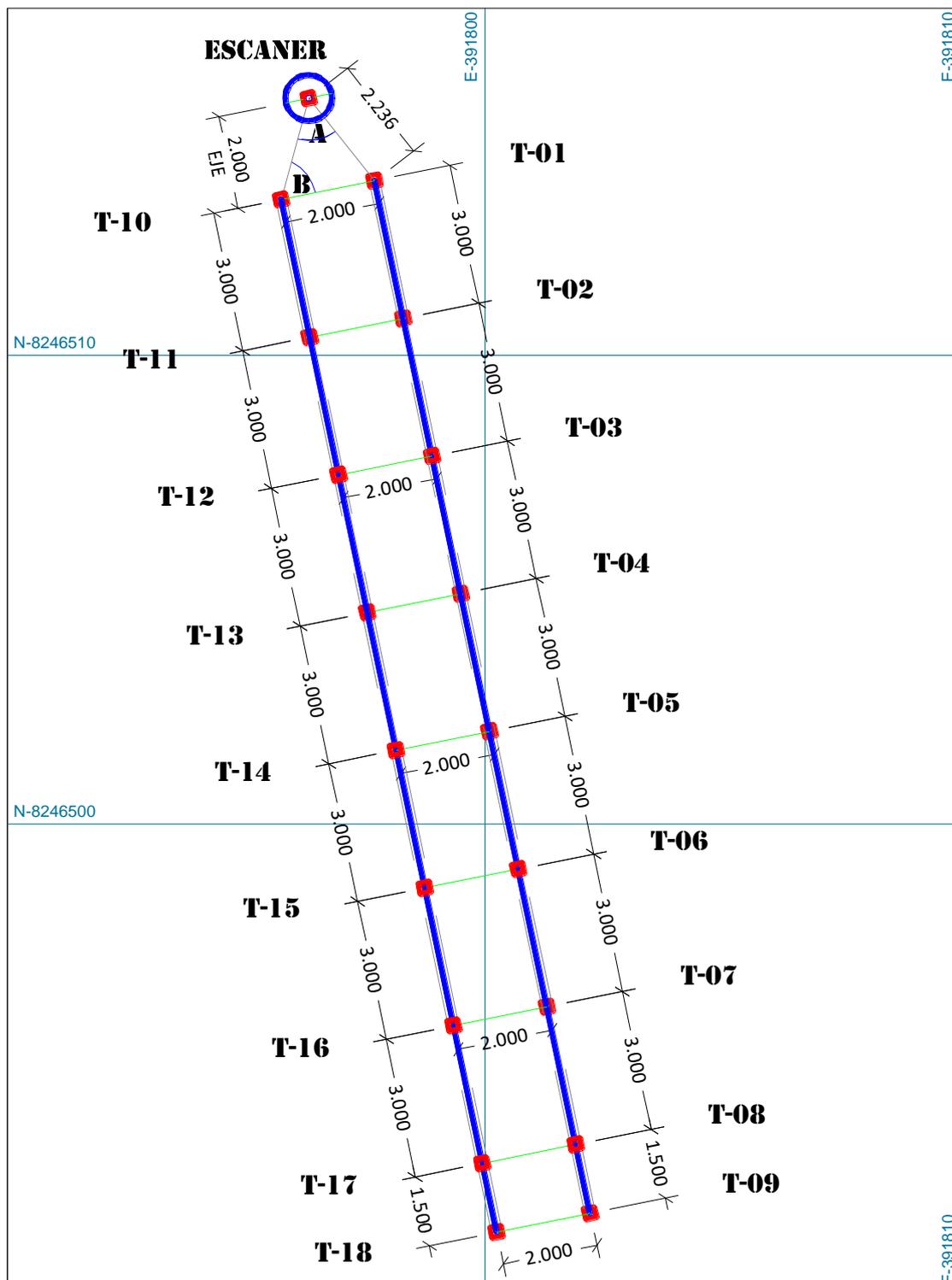


Figura 29. Diseño y separación de la cuadrícula.
Fuente: Elaboración Propia.

3.2.2. Trabajo de Campo

3.2.2.1. Georreferenciación y control topográfico

A. Monumetación de puntos de control

En parte se buscan dos puntos que sean notorios entre si, se ha materializado 2 puntos de control que son UNA-1 y UNA-2, que es la línea base, la Monumetación de los 2 puntos se ha realizado mediante hitos de concreto que incluye una varilla corrugada \varnothing 1/2 en el centro, cada hito está claramente identificado con pintura esmalte de color blanco de fondo y descripción de los mismos de color rojo, como se muestra en Figura 30.



Figura 30. Monumentación de los puntos UNA-1 y UNA-2.
Fuente: Elaboración Propia.

La denominación de los hitos es la siguiente: los vértices de la línea base; **UNA-1**, **UNA-2** y los vértices de la poligonal de apoyo para el levantamiento con estación total para los puntos UNA-3 y ESCÁNER ubicados en puntos estratégicos sobre el área de estudio.



Figura 31. Ubicación de puntos en la imagen.
Fuente: Google Earth.

B. Georreferenciación línea base

Georreferenciación de los puntos UNA-1 y UNA-2 para la línea base, por el método Estático Diferencial a Post Proceso, que consistió en el estacionamiento simultáneo de dos Receptores GPS, a fin de lograr la traslación precisa de Coordenadas y Cotas, se usaron Receptores GPS Geodésicos SOKKIA, modelo STRATUS. Como se presenta en la siguiente figura.



Figura 32. Georreferenciación de punto UNA-1.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 33. Georreferenciación de punto UNA-2.
Fuente: Elaboración Propia.

C. Poligonal y nivelación de puntos de control topográfico

Poligonal. - la finalidad de este levantamiento se realizó con el propósito hacer una poligonal de apoyo y determinar las coordenadas de los puntos (UNA-3 y ESC) a partir de la línea base que conforman los puntos; **UNA-1, UNA-2** cuya posición ya sido georreferenciado con GPS diferencial, las cuales se encuentran en el Anexo A fichas técnicas de georreferenciación.

Análisis de errores de la estación Topcon modelo **ES-105**: partes por millón (ppm) expresa la precisión o error relativo de una medición, medición de distancia en modo prisma del equipo ES-105 $\pm (2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} * D) \text{ mm}$ y medición angular 5".

Para $\pm 2\text{ppm}$; el error relativo será:

$$E_R = 2\text{mm}/1\text{km} = 2\text{mm}/1\,000\,000 \text{ mm}$$

$$E_R = 1/500\,000$$

Según la clasificación de errores éstas se dividen:

- **Análisis general:** Los valores medidos son almacenadas en una libreta electrónica interna tal como sucede en nuestro caso, la probabilidad de existencia de errores propios es casi nula.
- **Análisis de errores sistemáticos:** Estos errores aparecen debido a la influencia de agentes externos tales como la presión atmosférica, temperatura, humedad, ppm, etc.

Con el equipo ES-105 que hemos utilizado tiene la opción para realizar la corrección automática, para datos obtenidos en campo:

- Factor escala 1.000000
- Temperatura 15°C
- Promedio de Cota 3835 m. (para obtener la presión atmosférica)
- presión atmosférica 469 mmHg
- Calculando automáticamente 108 ppm.



Figura 34. Levantamiento de la poligonal de apoyo con estación total ES-105.
Fuente: Elaboración Propia.

Para la orientación de azimut y toma de datos para la poligonal se utilizó un tribach y prisma montado sobre un trípode, para obtener coordenadas de mayor precisión.



Figura 35. Referencia de azimut y toma de coordenadas para la poligonal.
Fuente: Elaboración Propia.

Nivelación. – Una vez se obtuvieron las coordenadas de la poligonal seguimos a realizar parte altimétrica. Se toma la elevación referencial (EGM 2008) **3843.294** s.n.m.m. del punto **UNA-2** extraídos del Anexo A ficha técnica de georreferenciación, para seguidamente realizar una nivelación compuesta con equipo de nivel de ingeniero y obtener las cotas restantes de los puntos UNA-1, UNA-3 y ESC.

La nivelación realizada fue con un equipo de precisión, utilizando el nivel automático Topcon modelo AT-B3 con precisión 1.5 mm (1 km de nivelación de doble pasada).



Figura 36. Nivelación compuesta de la poligonal con el nivel de ingeniero AT-B3.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 37. Presentación de la mira metálica en el punto UNA-1.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 38 se muestra la línea base de color azul cual fue georreferenciado con GPS diferencial y la poligonal de apoyo se muestra de color anaranjado obtenidas mediante el levantamiento topográfico de precisión con una estación total.

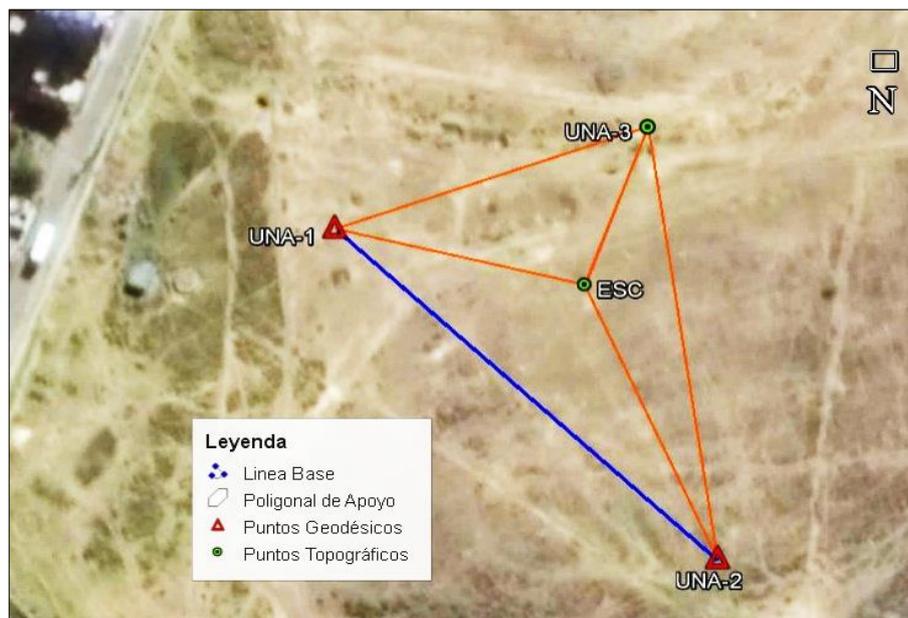


Figura 38. Línea base y poligonal de apoyo.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 6 se muestran las coordenadas topográficas y cotas de la poligonal de apoyo, dichas coordenadas fueron debidamente compensadas para su levantamiento se utilizó una poligonal cerrada. Anexo C.

Tabla 6. Resumen de coordenadas y cotas de la poligonal de apoyo

| PUNTO | ESTE | NORTE | COTA | DESCRIP. | FAC. ESCALA |
|---------|-------------|--------------|----------|-------------|-------------|
| UNA-2G | 391826.9592 | 8246451.1359 | 3843.294 | UTM | |
| UNA -1 | 391740.7320 | 8246528.3116 | 3825.290 | TOPOGRAFICA | 1.00000 |
| UNA - 3 | 391810.7216 | 8246552.1178 | 3822.583 | TOPOGRAFICA | |
| ESCÁNER | 391796.3080 | 8246515.4920 | 3826.930 | TOPOGRAFICA | |

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.2.2. Procedimiento para toma de datos con las tres resoluciones

En esta etapa se buscó poder materializar los puntos sobre dos ejes en el terreno a una cierta distancia, para luego comparar y medir con topografía de alta precisión sobre la nube de puntos que recolecta el escáner láser escaneando desde una posición estática en diferentes resoluciones.

A. Trazo y replanteo de la cuadrícula con estación total

En esta parte se procede a realizar el replanteo inicial de la cuadrícula que fue diseñada anteriormente como se presentó en la Figura 29, para el replanteo de los puntos de T-01 al T-18 de la cuadrícula se utilizó una estación total, una prima y un ayudante de campo como muestra en la Figura 39.



Figura 39. Replanteo inicial de la cuadrícula de T-01 al T-18 con estación total.
Fuente: Elaboración Propia.

Después de haber finalizado el replanteo de los puntos T-01 al T-18 de la cuadrícula, seguidamente se empezó a realizar los trazos de los puntos T-01 al T-18 con espray de color rojo con dimensiones de 26 x 26 cm de área ya que los moldes de encofrado son 22 x 22 cm de área. Para luego hacer la excavación de los puntos con una profundidad de 10 a 15 cm dependiendo del terreno, con la finalidad de realizar la Monumetación con concreto se aprecia en la Figura 40.



Figura 40. Trazo de la cuadrícula para la excavación de puntos de T-01 al T-18.
Fuente: Elaboración Propia.

B. Monumentación y pintado de la cuadrícula

La Monumentación que se empleó para los puntos de T-01 al T-08 de la cuadrícula utilizamos concreto ciclope, con moldes de encofrado de 22 cm de ancho, 22 cm de largo y con una altura 15 cm como se observa en la Figura 41. Considerando que el molde de encofrado tiene una inclinación promedio de pendiente del terreno de 30° proyectados al plano, el diseño de moldes de encofrado se encuentra en el Anexo B.



Figura 41. Monumentación de puntos de T-01 al T-18 de dimensiones 22 x 22 cm.
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez materializado los puntos T-01 al T-018 de la cuadrícula con concreto, antes de que el concreto quede fraguado se procedió a realizar nuevamente a replantear y alinear los dos ejes que conforman de T-01 al T-9 y de T-10 al T-18 sobre los puntos materializados con clavos de 4", con la ayuda de láser que refleja desde la estación total sobres los puntos materializados ubicándolos en el centro de cada punto materializado, (Figura 42).



Figura 42. Replanteo de los ejes de T-01 al T-18 sobre los puntos materializados.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 43. Pintado de los ejes de T-01 al T-18 con fondo blanco.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 43, se muestra el pintado de la cuadrícula con pintura esmalte blanco y se dejó secar por unos días, después de haber secado la pintura se continuo con el trazado de los dos ejes en forma de + es decir en ejes X y Y en forma de plano cartesiano, dividiéndose en cuatro cuadrantes como se muestra en la Figura 44. Seguidamente se pintó con color negro los cuadrantes 1 y 4, los cuadrantes 2 y 3 se mantienen con el pintado de color blanco como presenta en la Figura 45 en forma de targets. Se tuvo mucho cuidado en el pintado de los dos colores blanco y negro.



Figura 44. Trazo y control de la línea eje con apoyo de escuadras.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 45. Pintado de blanco y negro de los ejes de T-01 al T-18 de la cuadrícula.
Fuente: Elaboración Propia.

C. Toma de dato de la cuadrícula con estación total y nivel de ingeniero

Para esta metodología se usa un tribach con prisma montado sobre el trípode, lo cual da un punto con mayor precisión ya que el prisma es estático en todo momento como se muestra en la Figura 47. Instalación de prisma para todos los puntos de T-01 al T-18 y toma de datos con estación total desde el punto de ESC. Donde se estaciono el equipo como lo muestra la Figura 46.



Figura 46. Estacionamiento en el punto ESC. y orientación de azimut al punto UNA-3.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 47. Estacionamiento de tribach con prisma en el punto T-10 para toma de datos.
Fuente: Elaboración Propia.

Para la toma de datos que viene hacer el levantamiento topográfico a la vez tomadas como distancias reales para este estudio, son obtenidas mediante las coordenadas de alta precisión. Las coordenadas obtenidas de los puntos de T-01 al T-18 desde el punto ESC. se realizó 3 lecturas por cada punto desde la estación y a la vez se empleó el uso de opción de varias lecturas simultaneas que hace la estación total internadamente en modo fino (9 lecturas internas), obteniendo los resultados promediados por la estación total que vendría hacer 27 lecturas por cada punto. Se recomienda usar esta opción de varias lecturas simultaneas internamente cuando la prima esta estático en todo momento de la lectura como lo muestra en la Figura 48.



Figura 48. Toma de coordenadas de los puntos T-01 al T-18 sobre los ejes.
Fuente: Elaboración Propia.

El proceso topográfico de campo se concluye con la determinación de las cotas de los puntos T-01 al T-18 sobre los puntos materializado, para determinar las cotas de los puntos se empleó el uso del equipo de nivel automático realizando doble nivelación por cada punto de T-01 al T-18 obteniendo resultados de precisión.

La Figura siguiente muestra la presentación de la mira en el punto ESC. que la cota de partida para iniciar la nivelación de los puntos materializados.



Figura 49. Presentación de la mira en el punto ESC. Para cota de inicio.
Fuente: Elaboración Propia.

Nivelación de los puntos T-01 al T-18 para determinar las cotas se realizó doble nivelación de los puntos, haciendo dos cambios del equipo y las para verificar estas cotas si son las mismas en campo mismo, llegando obtener los mismos resultados y con una diferencia de 1mm en algunos puntos de la nivelación como lo muestra en la Figura 50. Los cálculos de la nivelación se encuentran en el Anexo D.



Figura 50. Nivelación compuesta de los puntos T-01 al T-18.
Fuente: Elaboración Propia.

La Tabla 7 muestra el resumen de las coordenadas Norte, Este, que fueron obtenidas por medio de una poligonal con estación total Topcon ES-105 y las cotas por medio de una nivelación de precisión con nivel de ingeniero Topcon AT-B4.

Tabla 7. Resumen de coordenadas topográficas y cotas de la cuadrícula

| Coordenadas topográficas obtenidas con Estación Total | | | | | |
|---|-------------|--------------|----------|-------|-----------------|
| N° | Este | Norte | Cota | Punto | Descripción |
| 1 | 391797.6990 | 8246513.7320 | 3827.199 | T-01 | Monumento de C° |
| 2 | 391798.2940 | 8246510.8210 | 3827.649 | T-02 | Monumento de C° |
| 3 | 391798.8990 | 8246507.8590 | 3828.122 | T-03 | Monumento de C° |
| 4 | 391799.4920 | 8246504.9700 | 3828.672 | T-04 | Monumento de C° |
| 5 | 391800.1000 | 8246502.0010 | 3829.245 | T-05 | Monumento de C° |
| 6 | 391800.7040 | 8246499.0520 | 3829.884 | T-06 | Monumento de C° |
| 7 | 391801.2940 | 8246496.1700 | 3830.658 | T-07 | Monumento de C° |
| 8 | 391801.8990 | 8246493.2050 | 3831.361 | T-08 | Monumento de C° |
| 9 | 391802.2000 | 8246491.7360 | 3831.699 | T-09 | Monumento de C° |
| 10 | 391795.7380 | 8246513.3540 | 3827.219 | T-10 | Monumento de C° |
| 11 | 391796.3360 | 8246510.4260 | 3827.639 | T-11 | Monumento de C° |
| 12 | 391796.9400 | 8246507.4700 | 3828.120 | T-12 | Monumento de C° |
| 13 | 391797.5460 | 8246504.5100 | 3828.685 | T-13 | Monumento de C° |
| 14 | 391798.1390 | 8246501.5870 | 3829.258 | T-14 | Monumento de C° |
| 15 | 391798.7350 | 8246498.6820 | 3829.847 | T-15 | Monumento de C° |
| 16 | 391799.3410 | 8246495.7130 | 3830.596 | T-16 | Monumento de C° |
| 17 | 391799.9410 | 8246492.7800 | 3831.321 | T-17 | Monumento de C° |
| 18 | 391800.2330 | 8246491.3450 | 3831.706 | T-18 | Monumento de C° |

Fuente: Elaboración propia.

D. Escaneo del área de la cuadrícula en las resoluciones alta de 1/1, media 1/8 y baja 1/20

Después de tener el levantamiento topográfico tanto planimétrico y altímetro de los puntos T-01 al T-18 materializados de la cuadrícula se procede

a realizar el levantamiento con escáner láser con los siguientes pasos y configuraciones del equipo antes de su escaneo.



Figura 51. Posicionamiento y medición de altura del equipo escáner láser en el punto ESC.
Fuente: Elaboración Propia.

Unas ves posicionado el equipo se procedió con el encendido del escáner láser y apareció la pantalla de inicio del software operativo del escáner láser, como se muestra en la Figura 52.



Figura 52. Encendido y Pantalla de inicio del equipo escáner láser.
Fuente: Elaboración Propia.

Configuración de los parámetros de escaneo:

En la Figura 53 se observa los parámetros de escaneo, como perfil seleccionado, resolución e calidad, ángulo horizontal e vertical, sensores de escaneo, son los parámetros que se tomaron en cuenta y se cambiaron en este estudio para registrar los datos de escaneo según planteado.



Figura 53. Configuración de los parámetros de escaneo.
Fuente: Elaboración Propia.

Perfil seleccionado. – Para este proyecto fue seleccionado Exterior hasta 20 m, es decir realiza escaneos en exteriores donde las distancias del escáner láser a los objetos de interés principales son superiores a 20 m, el punto más alejado se encuentra ubicado a 25 m del escáner láser. (FARO, 2013)



Figura 54. Seleccionar de perfil para exteriores hasta 20m.
Fuente: Elaboración Propia.

Resolución y calidad. – Para este proyecto fue seleccionado tres diferentes resoluciones y calidades para cada escaneo tal como se planteó en los objetivos; resolución alta de 1/1 con calidad de 2x, media 1/8 con calidad de 4x y baja de 20 con calidad de 6x. La Figura 55, muestra los detalles de las resoluciones que se configuraron en campo para cada escaneo.



Figura 55. Detalle de la configuración de la resolución y calidad de escaneo.
Fuente: Elaboración Propia.

Rango de escaneo. – En nuestro caso se tomó por defecto para los tres escaneos que bien hacer la Área predeterminada (vertical de -60° a 90° y horizontal de 0° a 360°), en la Figura 56.



Figura 56. Configuración del rango de escaneo.
Fuente: FARO, 2013.

Selección de sensores. – Para este proyecto fue seleccionado los tres sensores que incluye el equipo tales como; clinómetro, brújula y altimétrica. Donde el uso clinómetro se refiere a la medición de inclinación del compensador de eje doble, asegurándose de que la inclinación del escáner láser sea inferior a 5°; El uso de brújula los datos de la brújula siempre se miden y se adjuntan a cada escaneo durante el proceso de escaneo en forma automática; El uso de altimétrica los datos del altímetro siempre se miden y se adjuntan a cada escaneo y se utilizaron en forma automática para el registro de escaneos estando activado los tres sensores.

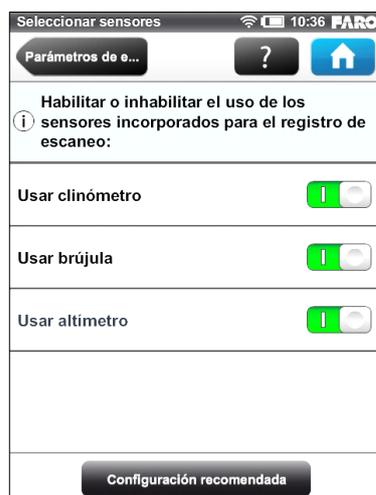


Figura 57. Selecciones de sensores (clinómetro, brújula y altímetro).
Fuente: Elaboración Propia.

Parámetros de color. – Para este proyecto fue seleccionado **Medición ponderada al horizontal**, con este modo de medición, la cámara utilizó la información de la luz del horizonte para determinar su configuración de exposición, con luz brillante proveniente de sol.

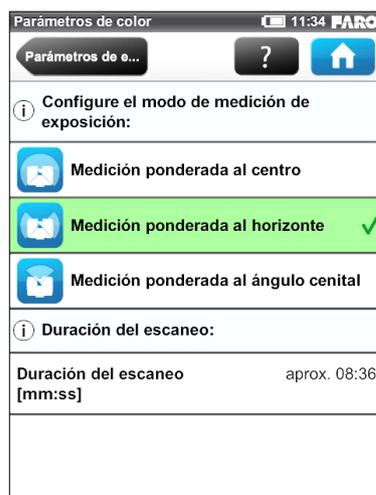


Figura 58. Parámetro de color.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8. Configuración de las características de los escaneos

| FARO Focus 3D S 120 | | | | | | | |
|---------------------|----------------------------|---------|-------------------------|-----------------|-----------|---------------------|---------------|
| Nombre del Archivo | Resolución | Calidad | Tamaño Escaneo (puntos) | Angulo Vertical | Angulo Hz | Perfil Selec. | Tiempo (Min.) |
| FARO_LS4 457_3052 | 1/1. alta 40960 pt/360° | 2x | 41330 x 17068 | 90° a - 60° | 0°- 360° | Exterior hasta 20 m | 32:43 |
| FARO_LS4 457_3053 | 1/8. media 5120 pt/360° | 4x | 5160 x 2134 | 90° a - 60° | 0°- 360° | Exterior hasta 20 m | 5:53 |
| FARO_LS4 457_3054 | 1/20. baja 2048 pt/360° | 6x | 2062 x 853 | 90° a - 60° | 0°- 360° | Exterior hasta 20 m | 5:14 |

Fuente: Elaboración Propia.

Inicio de escaneo en las tres diferentes resoluciones:

Un ves configurado los parámetros para las tres diferentes resoluciones de escaneo, se realizó a iniciar el escaneo y los pasos de procesamiento ejecutados se muestran en la barra de estado de la pantalla de escaneo, y la barra de progreso indica el progreso del escaneo como muestra en la Figura 59. Durante el escaneo, el escáner láser gira 360° en sentido horario escaneando y capturando imágenes como se observa en Figura 60.

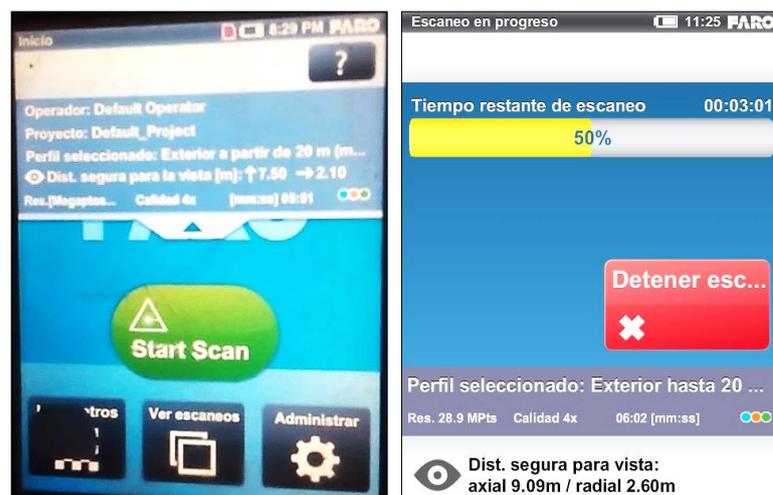


Figura 59. Inicio y progreso de escaneo.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 60. Escaneado del área estudio el a resoluciones 1/1, 1/8 y 1/20.
Fuente: Elaboración Propia.

Después de completar el escaneo y capturar las imágenes, dependiendo de las condiciones ambientales, el escáner láser realizó otro giro completo para capturar datos de inclinación para luego compensar. Apenas finalizó el proceso de escaneo completo, el escáner láser reprodujo un sonido de notificación y aparece una nueva pantalla con una vista previa del escaneo capturado en escala gris para verificar el escaneo como se muestra en la Figura 61.

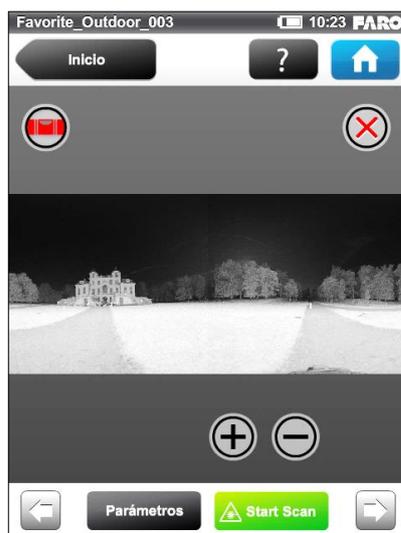


Figura 61. Presentación preliminar del escaneo.
Fuente: FARO, 2013.

Para generar modelo digital de terreno del área de estudio, se realizó de la misma manera las configuraciones de acuerdo con resolución obtenida.

3.2.2.3. Procedimiento para generar modelo digital de terreno (MDT)

A. Ubicación de posición del escáner láser y puntos de muestreo

En los procedimientos de escaneo 3D, generalmente, se realizan múltiples escaneos desde diferentes posiciones con el objetivo de evitar zonas de sombra. En el terreno de estudio el escáner láser se estaciono 8 veces. Estas estaciones fueron elegidas estratégicamente para que se lograsen tomar muy bien todo el terreno, desde cada estación del escáner láser se logró tomar información con mayor detalle a un radio aproximado de 25 m ya que a partir de esa distancia no logra tomar una información completa, según los análisis de las resoluciones obtenidas. Cada una de estas nubes de puntos, estará contenida en el sistema de coordenadas propio de cada posición, y después se realiza la fusión de todas las nubes de puntos.

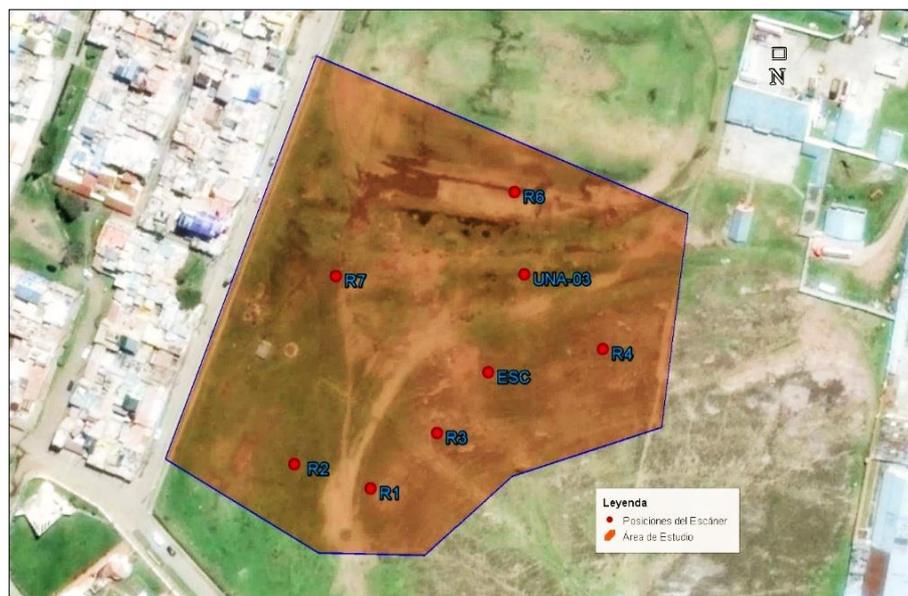


Figura 62. Ubicaciones de las 8 estaciones de escaneo.
Fuente: Elaboración Propia.

Colocación de esferas. – El uso de las esferas es necesario utilizar cuando no se conocen las coordenadas de las posiciones del escáner láser, en este estudio se materializaron las 8 estaciones del escáner láser y se conocen por tanto las coordenadas y las cotas de cada posición del escáner láser. Caso contrario las dos esferas o targets de inicio se colocan sobre los puntos que se tengan coordenadas y cotas conocidas, y que la primera posición del equipo escáner láser este a una distancia menor a los 20 m. Para la vista adelante deben observarse las esferas para el amarre de escaneos a una distancia de 20 m.

Separación entre la posición de los escaneos. – Según los resultados de análisis de resoluciones con respecto a las distancias, se recomienda que la distancia entre escaneos no sea mayor a 55 m para las resoluciones entre 1/1 y 1/8 como se muestra en la Figura 62. Obteniendo información confiable para el modelo a desarrollar, el equipo también captura información a distancias de 120 m, pero que no serán tomadas en cuenta debido a la precisión necesitara para

el MDT. Esto sabiendo que no se utilizaran las esferas, caso contrario las distancias entre escaneos no sea mayor de 40 m.

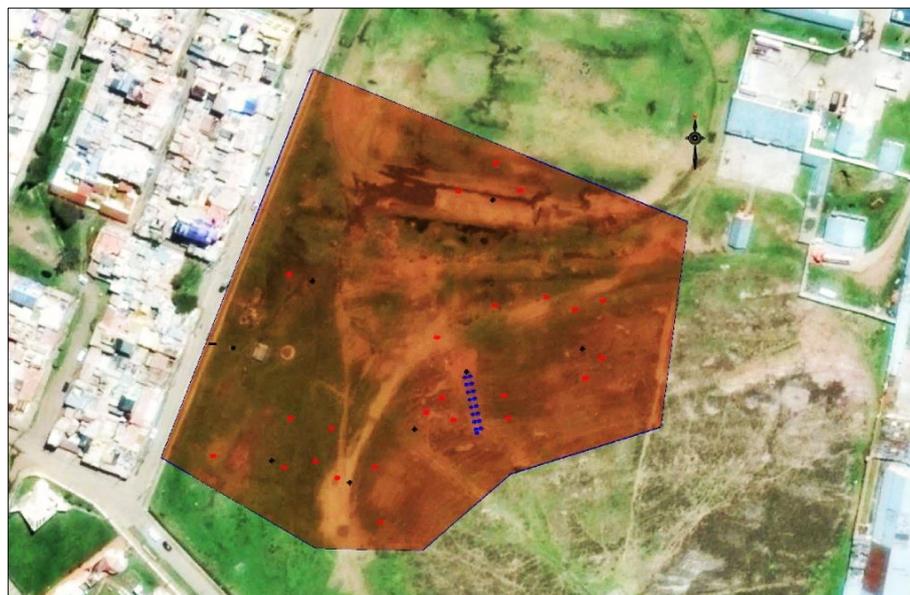


Figura 63. Ubicación de los puntos de muestreo para la prueba exactitud.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 63 se observa 48 puntos de muestreo para la prueba de exactitud, estos puntos de prueba de exactitud fueron distribuidos aleatoriamente con una inclinación orientando hacia el escáner láser a diferentes distancias no mayor a los 30 m. de cada posición del escáner láser.

Para los puntos de prueba de exactitud se utilizaron moldes de metal prefabricados con dimensiones 22 x 22 cm de área con placas de 12 cm en las cuatro esquinas y pintado en forma de targets la plataforma, lo cual es muy buena para ser captada de datos por el escáner láser y estos son utilizados para empalmes de escenas como se muestra en la Figura 64. El diseño del molde de metal se encuentra en el Anexo F.



Figura 64. Moldes de metal 22 x 22 cm o llamados targets para la prueba exactitud.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 65. Moldes de metal colocados sobre el terreno.
Fuente: Elaboración Propia.

B. Toma de dato de las posiciones del escáner láser y puntos de muestro con estación total

Cosiste en recopilar la información de campo, para esta parte de toma de datos se utilizó el equipo de estación total y el apoyo de bípode para el prisma,

el cual dada una estación estática del prisma en todo el momento para la orientación de azimut y tomo de datos con mayor precisión como se muestra en la Figura 66.



Figura 66. Referencia de azimut al punto UNA-1 con prisma apoyado con bípode.
Fuente: Elaboración Propia.

Para la toma de datos de las posiciones del escáner láser y los puntos para la prueba de exactitud, se hizo un levantamiento topográfico de precisión con el apoyo de bípode para el prisma. A partir de la estación **UNA-02** se realizó el levantamiento topográfico por el método de radiación y se empleó el uso de opción de varias lecturas simultaneas (9 lecturas internas) por cada punto, obteniendo como resultado el promedio de las 9 lecturas. Se ha registrado 8 puntos de posiciones del escáner láser y 48 puntos para la prueba de exactitud almacenado la información en forma ordenada y codificada en la memoria dela estación total Topcon ES-105 como se muestra en la Figura 67.



Figura 67. Levantamiento de posición del escáner láser y puntos de muestreo.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 68 se observa la presentación del prisma con el apoyo de bípode en los puntos de estaciones del escáner láser y en los puntos de muestreo para la prueba exactitud.



Figura 68. Presentación de prisma en los puntos de posiciones del escáner y de muestreo.
Fuente: Elaboración Propia.

Levantamiento topográfico para generar MDT. – Se empleó las mismas metodologías anteriormente mencionado, por el método de radiación con el apoyo de 3 prismas se ha registrado todos los detalles del terreno, que reflejen exactamente la topografía del terreno existente con la densidad de puntos necesarios para generar el modelo digital de terreno.

C. Levantamiento con escáner láser con la resolución media 1/8 para generar MDT

Se configuró el escáner láser según resolución establecida en el objetivo 1 llegando obtener después de análisis la resolución media de 1/8 y la calidad que es el número de veces que el rayo láser pasa sobre el mismo punto fue de 4x. Las demás configuraciones de parámetros de escaneo se mantuvieron tal como se detalló anteriormente para él escaneo de MDT. Es recomendable contar con mínimo tres personas en el proceso de escaneo, uno que opera el equipo y dos en el proceso de colocación de targets o esferas si es que hubiese y su cuidado. En la Figura 69 se observa la resolución y calidad utilizada.

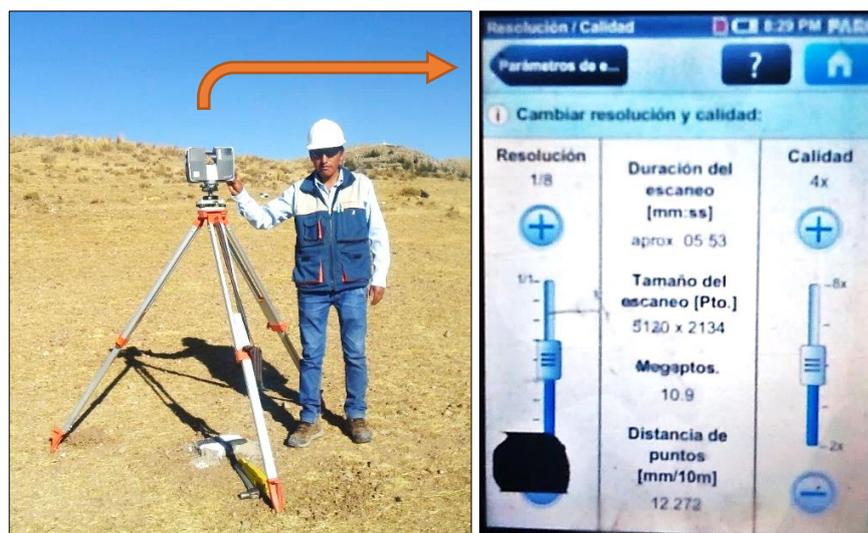


Figura 69. Configuración de la resolución 1/8 y calidad 4x para escaneo de MDT.
Fuente: Elaboración Propia.

Escaneo. - Después de haber configurado los parámetros de escaneó se procede realizar el escaneó y cambio de posiciones del equipo no mayor de 55 m en los 8 puntos establecidos anteriormente como muestra en la Figura 62, de la zona de estudio para poder hacer la comparación de los dos métodos de levantamientos y para poder general el DTM. En la Figura 70 se observa que está en proceso de escaneo y sin que se aproximaran las personas a la zona. Se observa también la posición del escáner láser enmarcado con círculo de color verde y los puntos de muestreos para la prueba de exactitud enmarcados con círculos de color rojo (moldes de metal o llamados también targets).

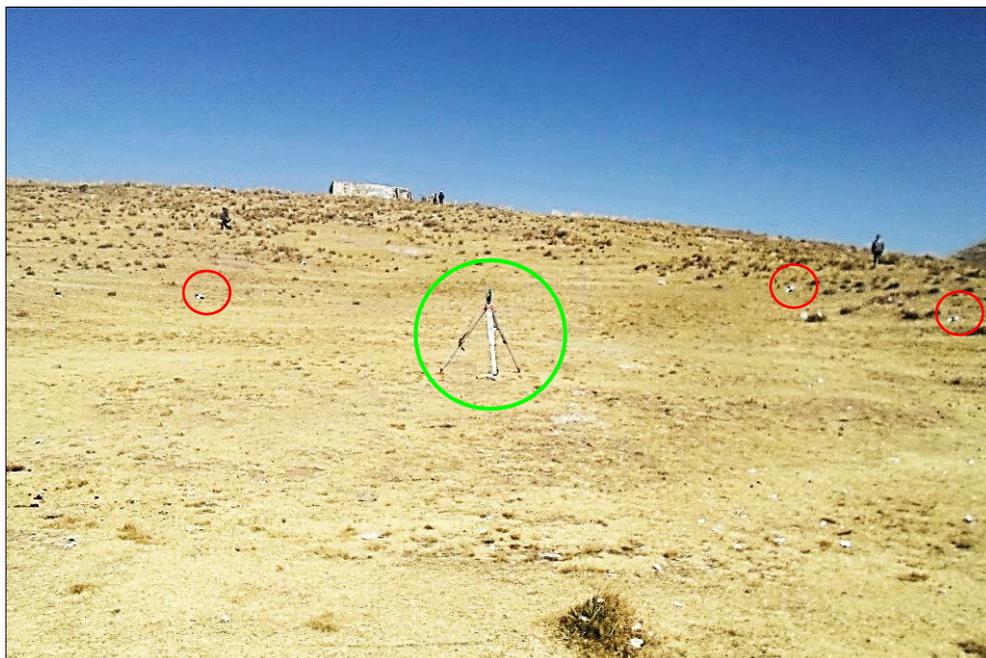


Figura 70. Escáner láser en proceso de escaneo y registro de datos.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 71. Puntos de muestreo tomados desde el punto R4.
Fuente: Elaboración Propia.

3.2.3. Trabajo de Gabinete

3.2.3.1. *Procesamiento de datos de diferentes resoluciones escaneados*

Con la información obtenida en campo con el software SCENE del escáner láser, se procedió obtener las coordenadas y distancias para evaluar las tres diferentes resoluciones.

A. **Importación de escaneo y georreferenciación**

Utilizando el software SCENE del escáner láser se abren los archivos de las tres diferentes resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 y con los detalles de las cuadrícula de los puntos materializados o llamadas los targets. Para realizar este procedimiento de gabinete se trabajó con el escaneo de la resolución media de 1/8, que viene hacer el archivo con nombre de

“FARO_LS4457_3053” escaneo desde el punto ESC. A continuación, se procedió abrir el archivo FARO_LS4457_3053 y verificar las propiedades de escaneo, en el área de escaneo se observa que tiene una resolución media de 1/8 y calidad de 4x como se muestra en Figura 72.

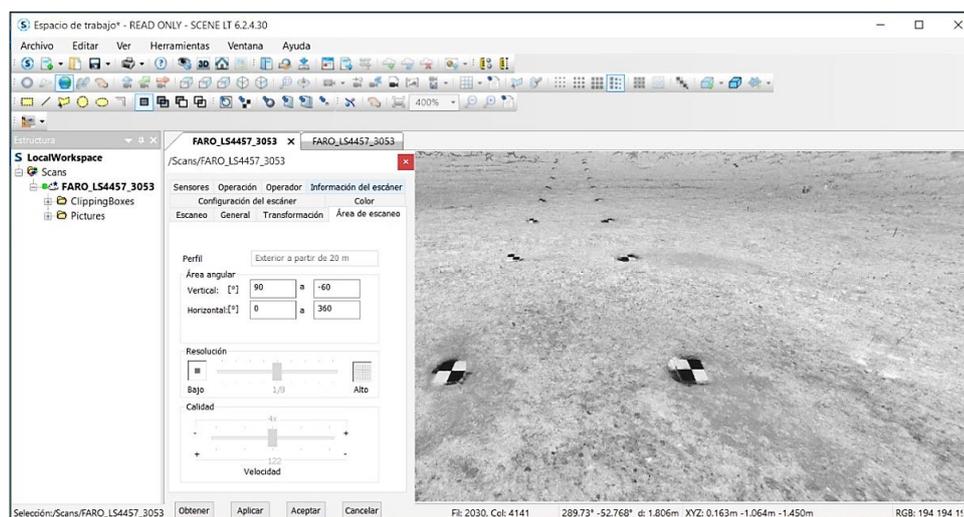


Figura 72. Importación y propiedades del área de escaneo con escáner láser.
Fuente: Elaboración Propia.

Después de abrir el archivo de escaneo se procede a verificar la posición del escaneo, en la ventana principal de SCENE dar clic derecho en FARO_LS4457_3053 y en el menú que abre se debe clicar en propiedades. En la ventana que se abre ir a la opción de Transformación donde nos muestra la posición adaptado por el escáner láser X, Y y Z (45.717, 43713 y 0.874). La posición de escaneo se muestra en la Figura 73.

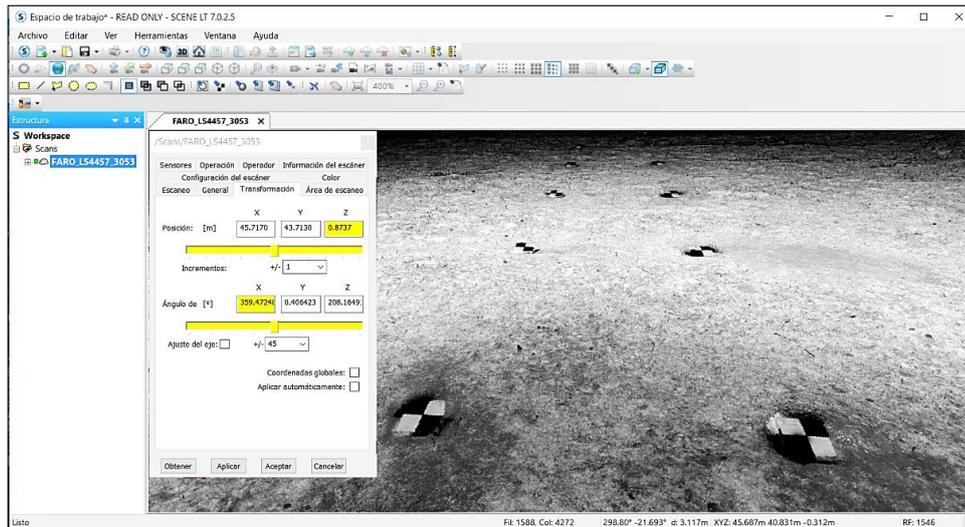


Figura 73. Posición de escaneo en sus propias coordenadas.
Fuente: Elaboración Propia.

Georreferenciación. – Estando en la misma venta de Transformación se realizó a cambiar la posición real del escaneo X, Y y Z (391796.308, 8246515.492 y 3828.471) del punto ESC. y dando una orientación al punto UNA-03, también fue escaneo utilizando el sensor bújula.

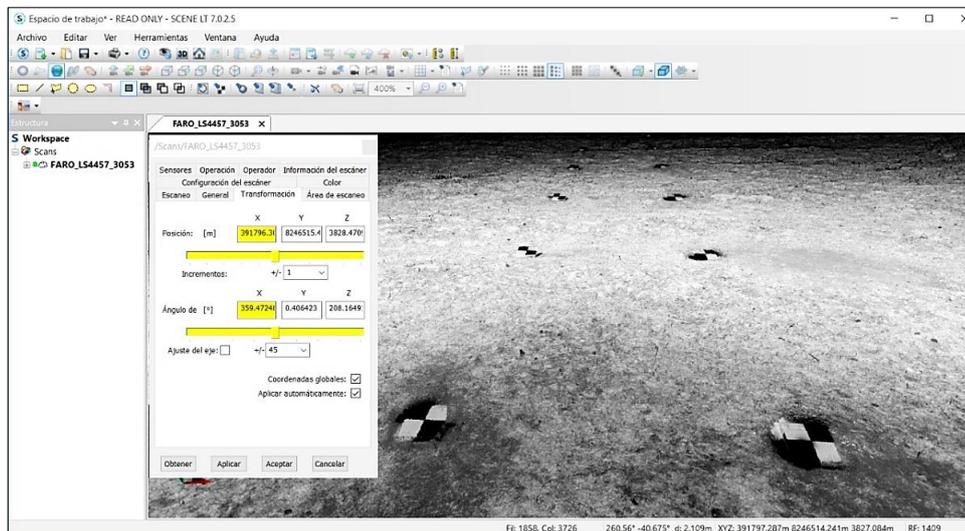


Figura 74. Georreferenciación de escaneo.
Fuente: Elaboración Propia.

B. Procesamiento de escaneo en SCENE

En ventana principal de SCENE donde dice Scans dar clic derecho y en el menú que se abre se debe dar clic en Operations, clic en Color/Picture y finalmente dar clic en Color Contrast Filter como se muestra en la Figura 75. Como resultado se obtiene un escaneo filtrado de color con mayor nitidez y se observan todos los puntos materializados como se muestra en la Figura 76.

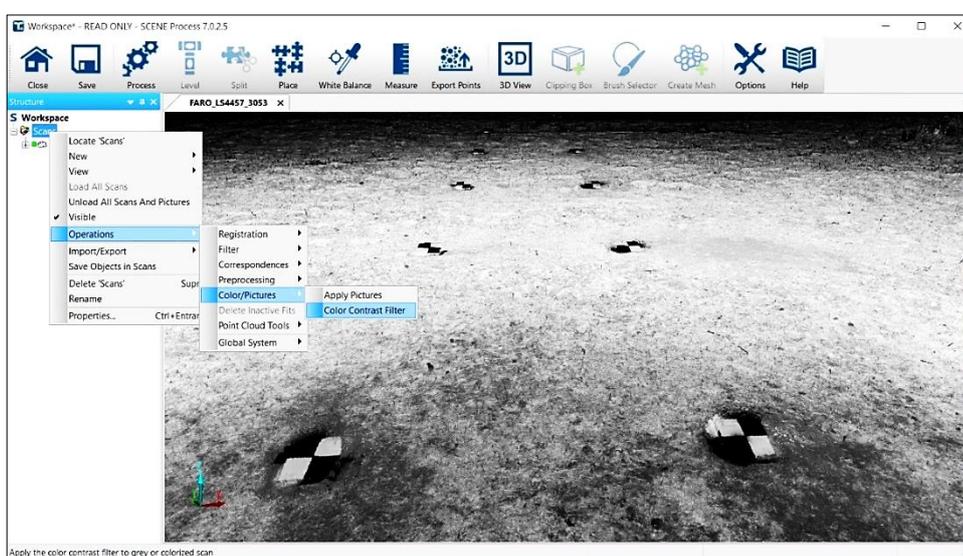


Figura 75. Procesamiento del filtro de contraste de color.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 76. Resultado después del filtro de contraste.
Fuente: Elaboración Propia.

Después de realizar el filtrado de contraste se precede a realizar la aplicación de imágenes sobre el escaneo. En ventana principal de SCENE donde dice Scans dar clic derecho y en el menú que se abre se debe dar clic en Operations, clic en Color/Picture y finalmente dar clic Apply Pictures, empezará a la aplicación de imágenes sobre el escaneo como se muestra en la Figura 77.

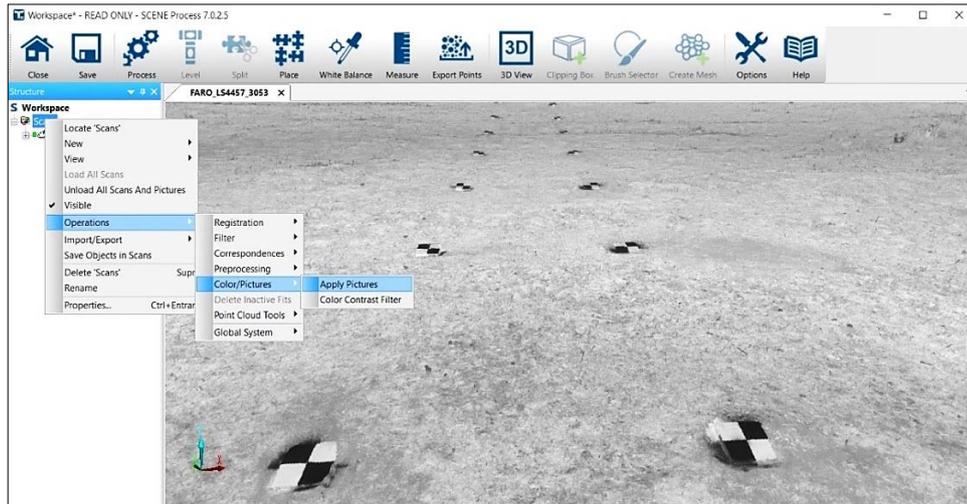


Figura 77. Procesamiento de la aplicación de imágenes.
Fuente: Elaboración Propia.

Como resultado se obtiene un escaneo a color con mayor nitidez para identificar los puntos materializados sobre la superficie del terreno, (Figura 78).



Figura 78. Resultado después del filtro de imágenes.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 79 se presenta el escaneo procesado final y obteniendo la nube de puntos 3D de las tres diferentes de escaneo de las resoluciones.

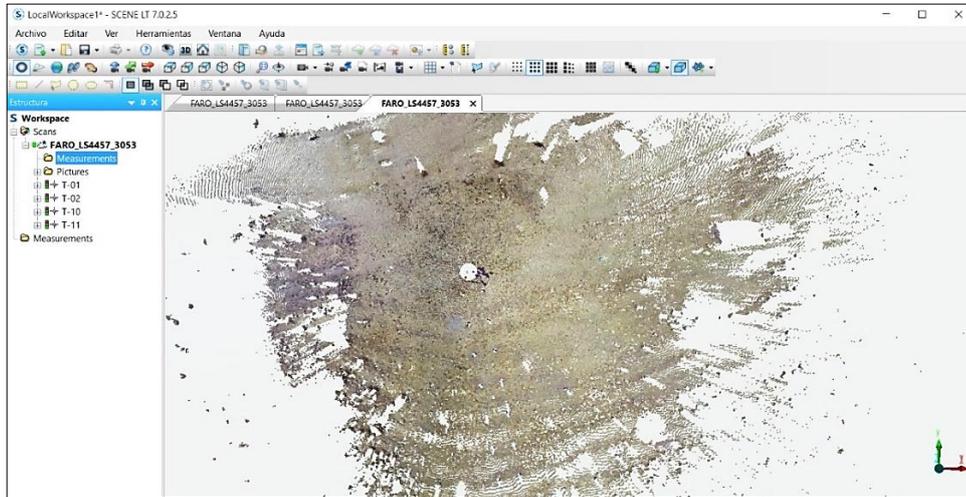


Figura 79. Presentación de nube de puntos del escaneo en 3D.
Fuente: Elaboración Propia.

C. Obtención de datos para evaluar las tres resoluciones en SCENE

Con el escaneo georreferenciado y procesado, seguidamente procedemos a registrar las coordenadas de los puntos materializados de T-01 al T-18 con el icono Marcar objetivo de tablero cuadrículado para las tres resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 (Figura 80).

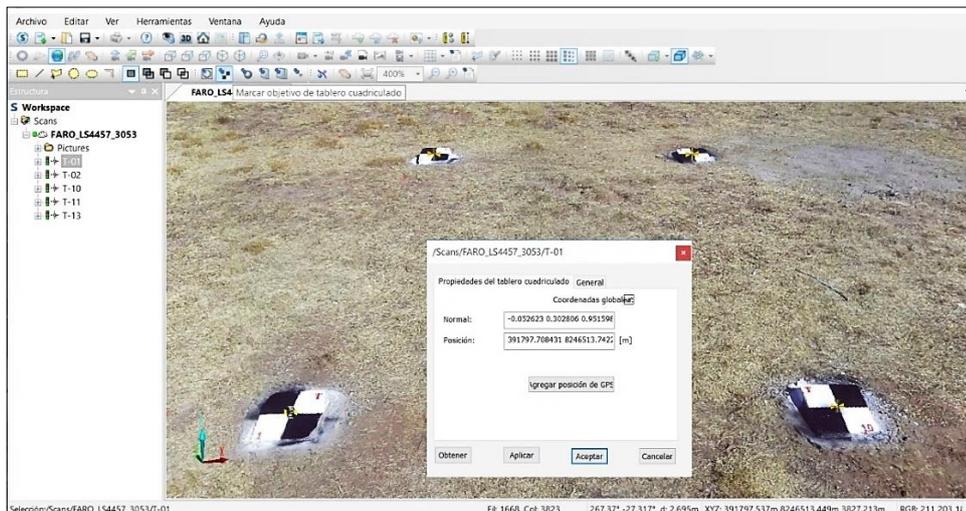


Figura 80. Identificación de objetivo de tablero cuadrículado de los puntos T-01 al T-18.
Fuente: Elaboración Propia.

Los centros de los puntos materializados son localizados con icono Marcar objetivo de tablero cuadrulado, y con el icono medir entre objetos se toman las distancias entre cada uno de los puntos entre si. Este proceso debe ser muy cuidadoso buscando el centro de los puntos materializados (llamado también targets), ya que el software muestra las distancias, horizontales e inclinadas y altura entre los centros de los puntos. Y son los valores que se toman para el análisis estadístico de cada resolución. La Figura 81 muestra el proceso para buscar los centros de los targets y la medida de separación entre ejes.

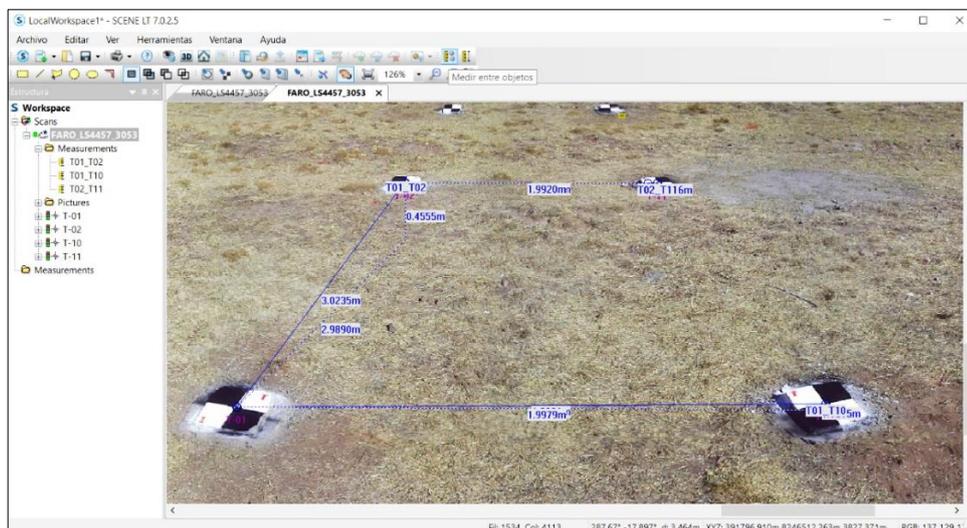


Figura 81. Medidas entre los puntos para verificar.
Fuente: Elaboración Propia.

Luego de registrar todas las coordenadas de los puntos materializados de T-01 al T-18 en el SCENE sobre el escaneo realizado, se proceda a exportar las coordenadas en las tres diferentes resoluciones de alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 como los muestran las Tablas 9, 10 y 11.

En resolución alta de 1/1 que se muestra en la Tabla 9, se obtuvo todas las coordenadas sobre los puntos materializados sin dificultad alguna, teniendo una buena resolución y calidad del escaneo de la cuadrícula.

Tabla 9. *Coordenadas topográficas de la resolución alta de 1/1*

| Coordenadas topográficas de la resolución alta de 1/1 | | | | |
|--|-------------|--------------|-------------|--------------|
| N° | Este | Norte | Cota | Punto |
| 1 | 391797.6980 | 8246513.7310 | 3827.199 | T-01 |
| 2 | 391798.2940 | 8246510.8220 | 3827.647 | T-02 |
| 3 | 391798.9010 | 8246507.8600 | 3828.124 | T-03 |
| 4 | 391799.4900 | 8246504.9680 | 3828.672 | T-04 |
| 5 | 391800.1030 | 8246502.0020 | 3829.243 | T-05 |
| 6 | 391800.7070 | 8246499.0500 | 3829.883 | T-06 |
| 7 | 391801.2890 | 8246496.1670 | 3830.661 | T-07 |
| 8 | 391801.9030 | 8246493.2010 | 3831.358 | T-08 |
| 9 | 391802.2050 | 8246491.7290 | 3831.695 | T-09 |
| 10 | 391795.7380 | 8246513.3510 | 3827.220 | T-10 |
| 11 | 391796.3380 | 8246510.4270 | 3827.637 | T-11 |
| 12 | 391796.9430 | 8246507.4710 | 3828.122 | T-12 |
| 13 | 391797.5420 | 8246504.5120 | 3828.682 | T-13 |
| 14 | 391798.1370 | 8246501.5850 | 3829.256 | T-14 |
| 15 | 391798.7370 | 8246498.6800 | 3829.849 | T-15 |
| 16 | 391799.3450 | 8246495.7170 | 3830.593 | T-16 |
| 17 | 391799.9370 | 8246492.7750 | 3831.318 | T-17 |
| 18 | 391800.2390 | 8246491.3370 | 3831.709 | T-18 |

Fuente: Elaboración Propia.

En la resolución media de 1/8 que se muestra en la Tabla 10, se observa que los puntos materializados T-09 y T-18 que son los más alejados de la posición del escáner láser aproximadamente 23 m de distancia, ya su pixelado no dejó registrar las coordenadas en el punto T-09 y en el punto T-18 se registró con dificultad.

Tabla 10. Coordenadas topográficas de la resolución media de 1/8

| Coordenadas topográficas de la resolución media de 1/8 | | | | |
|--|-------------|--------------|----------|-------|
| N° | Este | Norte | Cota | Punto |
| 1 | 391797.6990 | 8246513.7290 | 3827.204 | T-01 |
| 2 | 391798.2940 | 8246510.8180 | 3827.654 | T-02 |
| 3 | 391798.8970 | 8246507.8590 | 3828.124 | T-03 |
| 4 | 391799.4850 | 8246504.9780 | 3828.670 | T-04 |
| 5 | 391800.0930 | 8246501.9970 | 3829.242 | T-05 |
| 6 | 391800.7120 | 8246499.0630 | 3829.887 | T-06 |
| 7 | 391801.2890 | 8246496.1620 | 3830.655 | T-07 |
| 8 | 391801.8880 | 8246493.2110 | 3831.321 | T-08 |
| 9 | --- | --- | --- | --- |
| 10 | 391795.7400 | 8246513.3520 | 3827.224 | T-10 |
| 11 | 391796.3390 | 8246510.4230 | 3827.647 | T-11 |
| 12 | 391796.9380 | 8246507.4590 | 3828.125 | T-12 |
| 13 | 391797.5360 | 8246504.5100 | 3828.691 | T-13 |
| 14 | 391798.1470 | 8246501.5980 | 3829.250 | T-14 |
| 15 | 391798.7420 | 8246498.6920 | 3829.854 | T-15 |
| 16 | 391799.3510 | 8246495.7220 | 3830.574 | T-16 |
| 17 | 391799.9380 | 8246492.7700 | 3831.289 | T-17 |
| 18 | 391800.2640 | 8246491.3680 | 3831.681 | T-18 |

Fuente: Elaboración Propia.

En la resolución baja de 1/20 que se muestra en la Tabla 11, se observa que los puntos materializados T-08, T-09, T-17 y T-18 que son los más alejados de la posición del escáner láser, no permitieron registrar estos puntos por tener baja resolución y calidad en su pixelado.

Tabla 11. *Coordenadas topográficas de la resolución baja de 1/20*

| Coordenadas topográficas de la resolución baja de 1/20 | | | | |
|---|-------------|--------------|-------------|--------------|
| N° | Este | Norte | Cota | Punto |
| 1 | 391797.7040 | 8246513.7320 | 3827.207 | T-01 |
| 2 | 391798.3020 | 8246510.8240 | 3827.655 | T-02 |
| 3 | 391798.8870 | 8246507.8660 | 3828.122 | T-03 |
| 4 | 391799.5260 | 8246504.9900 | 3828.635 | T-04 |
| 5 | 391800.0830 | 8246501.9600 | 3829.197 | T-05 |
| 6 | 391800.7190 | 8246498.9910 | 3829.879 | T-06 |
| 7 | 391801.2790 | 8246496.2070 | 3830.604 | T-07 |
| 8 | --- | --- | --- | --- |
| 9 | --- | --- | --- | --- |
| 10 | 391795.7470 | 8246513.3530 | 3827.230 | T-10 |
| 11 | 391796.3210 | 8246510.4160 | 3827.648 | T-11 |
| 12 | 391796.9230 | 8246507.4640 | 3828.102 | T-12 |
| 13 | 391797.5400 | 8246504.4880 | 3828.695 | T-13 |
| 14 | 391798.1100 | 8246501.5670 | 3829.270 | T-14 |
| 15 | 391798.7550 | 8246498.7400 | 3829.805 | T-15 |
| 16 | 391799.3720 | 8246495.7800 | 3830.537 | T-16 |
| 17 | --- | --- | --- | --- |
| 18 | --- | --- | --- | --- |

Fuente: Elaboración Propia.

Como el objetivo es evaluar cuál es la mejor resolución para la confiabilidad de los datos, se toman las relaciones entre las distancias de los puntos georreferenciados T1 al T18, y las de los mismos sobre cada una de las tres resoluciones. Se realiza una matriz con las distancias de los puntos colocados por el método topográfico calculando por la fórmula de Pitágoras las distancias entre uno y todos, y todos y uno, tomando los datos de las coordenadas planas Norte y Este, como lo muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. *Coordenadas topográficas absolutas de estación total*

| Coordenadas topográficas absolutas de estación total | | | | |
|---|-------------|--------------|-------------|--------------|
| N° | Este | Norte | Cota | Punto |
| 1 | 391797.6990 | 8246513.7320 | 3827.199 | T-01 |
| 2 | 391798.2940 | 8246510.8210 | 3827.649 | T-02 |
| 3 | 391798.8990 | 8246507.8590 | 3828.122 | T-03 |
| 4 | 391799.4920 | 8246504.9700 | 3828.672 | T-04 |
| 5 | 391800.1000 | 8246502.0010 | 3829.245 | T-05 |
| 6 | 391800.7040 | 8246499.0520 | 3829.884 | T-06 |
| 7 | 391801.2940 | 8246496.1700 | 3830.658 | T-07 |
| 8 | 391801.8990 | 8246493.2050 | 3831.361 | T-08 |
| 9 | 391802.2000 | 8246491.7360 | 3831.699 | T-09 |
| 10 | 391795.7380 | 8246513.3540 | 3827.219 | T-10 |
| 11 | 391796.3360 | 8246510.4260 | 3827.639 | T-11 |
| 12 | 391796.9400 | 8246507.4700 | 3828.120 | T-12 |
| 13 | 391797.5460 | 8246504.5100 | 3828.685 | T-13 |
| 14 | 391798.1390 | 8246501.5870 | 3829.258 | T-14 |
| 15 | 391798.7350 | 8246498.6820 | 3829.847 | T-15 |
| 16 | 391799.3410 | 8246495.7130 | 3830.596 | T-16 |
| 17 | 391799.9410 | 8246492.7800 | 3831.321 | T-17 |
| 18 | 391800.2330 | 8246491.3450 | 3831.706 | T-18 |

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.3.2. Procesamiento para la generación de MDT (modelo digital de terreno)

Con la información obtenida en campo con el escáner láser, se procedió obtener la nube de puntos de cada una de las escenas en el software Nativo SCENE y la creación de los modelos digitales de terreno en el software Autodesk Civil 3D.

A. Importación de escaneos y georreferenciación

Importación. – En el software SCENE se cargan datos crudos de las 8 escenas de escaneos obtenidas en campo con el escáner láser, se crea un

proyecto en conjunto con el nombre EMPALME. Estos escaneos y el entorno de SCENE se muestran en la Figura 82.

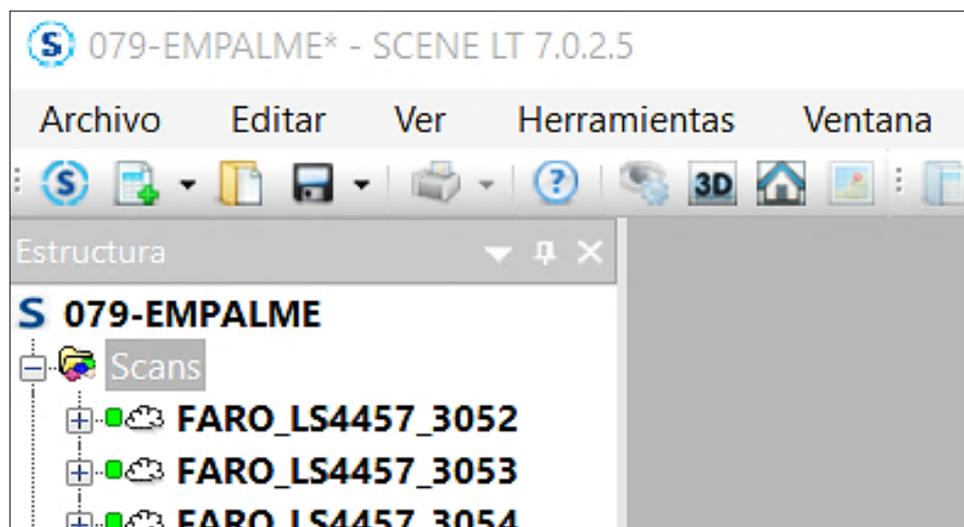


Figura 82. Entorno principal de SCENE y vista de escaneos.
Fuente: Elaboración Propia.

Georreferenciación. – El proceso de georreferenciación es igual que se hizo anteriormente para evaluar las tres diferentes resoluciones, con la diferencia de la orientación del escaneo que en este caso se realizó la orientación al escaneo más próximo. Estando en la venta de Transformación se realizó a cambiar las coordenadas de la posición del escaneo X, Y y Z (27.675, 31.847 y -3.545) a la posición real Este, Norte y Cota (391810.722, 824652.118 y 3824.052) que es del punto UNA-03 y el nombre del archivo FARO_LS4457_3060, y dando una orientación al escaneo más próximo que viene hacer el punto R6. Y también fueron escaneos utilizando el sensor bújala para tener un mayor ajuste y una georreferenciación precisa, como lo muestra en la Figura 83.

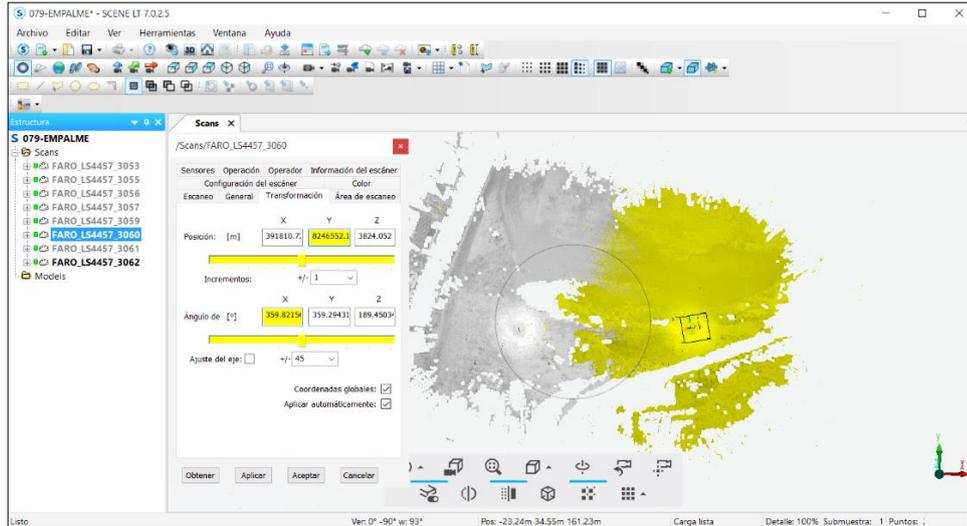


Figura 83. Georreferenciación de las 8 escenas de escaneos.
Fuente: Elaboración Propia.

Para las demás escenas de escaneos se hizo los mismos procedimientos para georreferenciar, en la Tabla 13 se muestra la transformación de coordenadas de la posición del escaneo X, Y y Z a la posición absoluta Este, Norte y Cota de cada escena de escaneo.

Tabla 13. Transformación de coordenadas de posición del escaneo a la posición absoluta

| Punto | Nombre de Escaneo | Posición del Escáner | | | Transformación a la posición absoluta | | |
|-------|-------------------|----------------------|---------|--------|---------------------------------------|-------------|----------|
| | | X | Y | Z | Este | Norte | Cota |
| ESC. | F_LS_3053 | 13.261 | -4.779 | 0.874 | 391796.308 | 8246515.492 | 3828.471 |
| R1 | F_LS_3055 | -32.456 | -48.492 | 4.011 | 391750.591 | 8246471.779 | 3831.608 |
| R2 | F_LS_3056 | -63.007 | -39.949 | 0.838 | 391720.040 | 8246480.322 | 3828.435 |
| R3 | F_LS_3057 | -7.025 | -27.471 | 4.824 | 391776.022 | 8246492.800 | 3832.421 |
| R4 | F_LS_3059 | 58.510 | 4.262 | 1.793 | 391841.557 | 8246524.533 | 3829.390 |
| UNA.3 | F_LS_3060 | 27.675 | 31.847 | -3.545 | 391810.722 | 8246552.118 | 3824.052 |
| R6 | F_LS_3061 | 23.510 | 63.055 | -7.122 | 391806.557 | 8246583.326 | 3820.475 |
| R7 | F_LS_3062 | -46.988 | 31.085 | -3.418 | 391736.060 | 8246551.356 | 3824.179 |

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 84 se muestra como resultado las 8 escenas de escaneo georreferenciados.

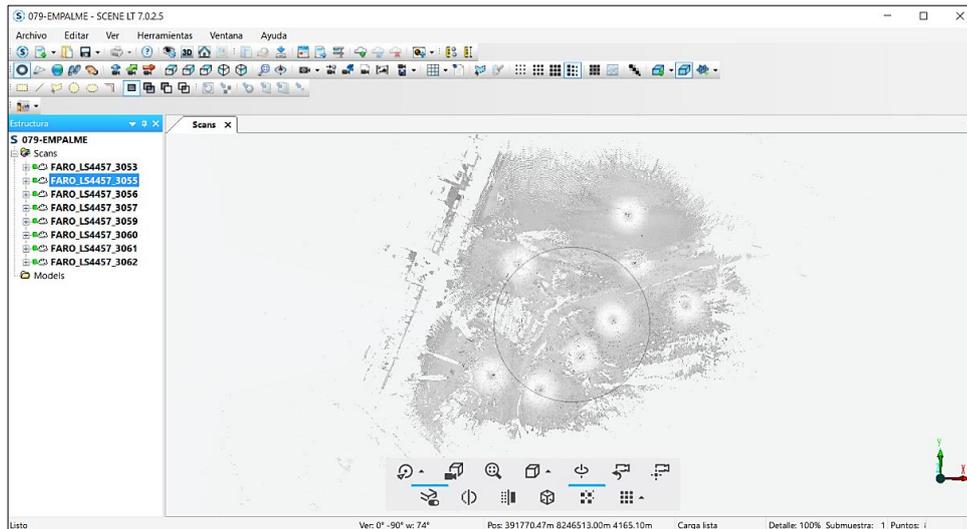


Figura 84. Las 8 Escenas de escaneo georreferenciado MDT.
Fuente: Elaboración Propia.

B. Procesamiento de escaneos agrupados en SCENE

Cuando la nube de puntos está unido y georreferenciado se procedió a procesar la información en SCENE. En ventana principal de SCENE donde dice Scans dar clic derecho y en el menú que se abre se debe dar clic en Operations, clic en Color/Picture y finalmente dar clic Color Contrast Filter y también como Apply Pictures como se muestra en la Figura 85.

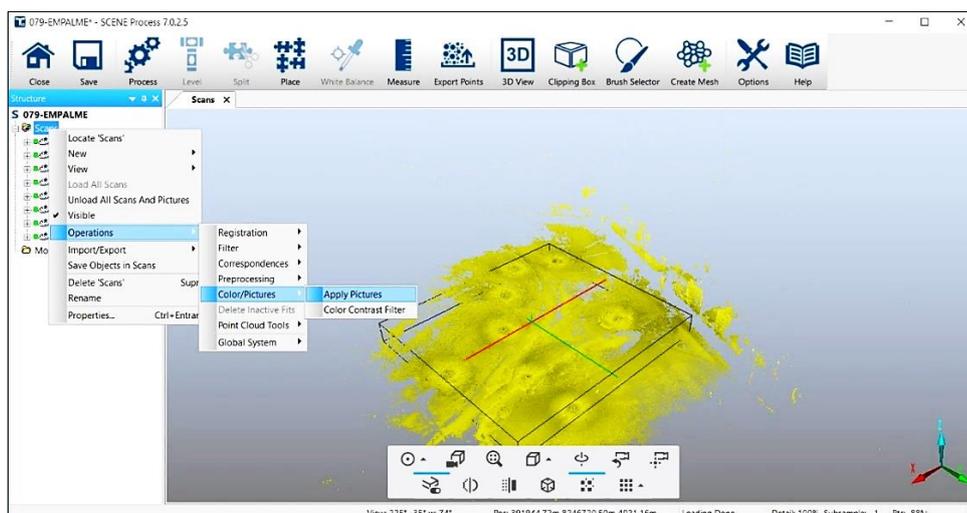


Figura 85. Procesamiento de filtro de color y la aplicación de imágenes de nube de puntos.
Fuente: Elaboración Propia.

Al procesar la nube de puntos, como resultado se obtiene un escaneo filtrado a color con mayor nitidez para identificar los puntos de prueba de exactitud y para la generación de modelo digital. En la Figura 86 se muestra el escaneo procesado final y obteniendo la nube de puntos 3D.

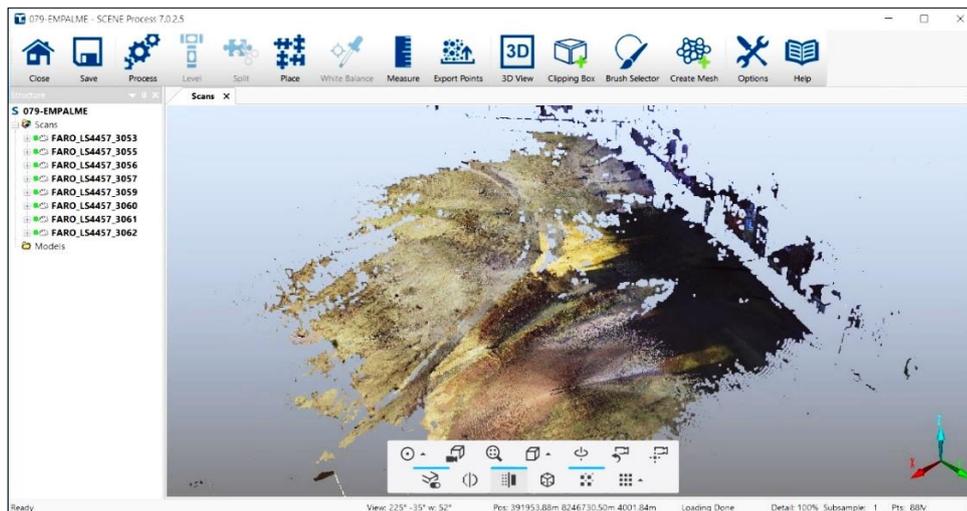


Figura 86. Resultado de filtro de contraste y filtro de imágenes de nube puntos 3D.
Fuente: Elaboración Propia.

Para la limpieza de información de nube de puntos 3D y obtener datos para la prueba de exactitud, se procedió a exportar el proyecto a Autodesk ReCap (*.rcp) como se muestra en la Figura 87.

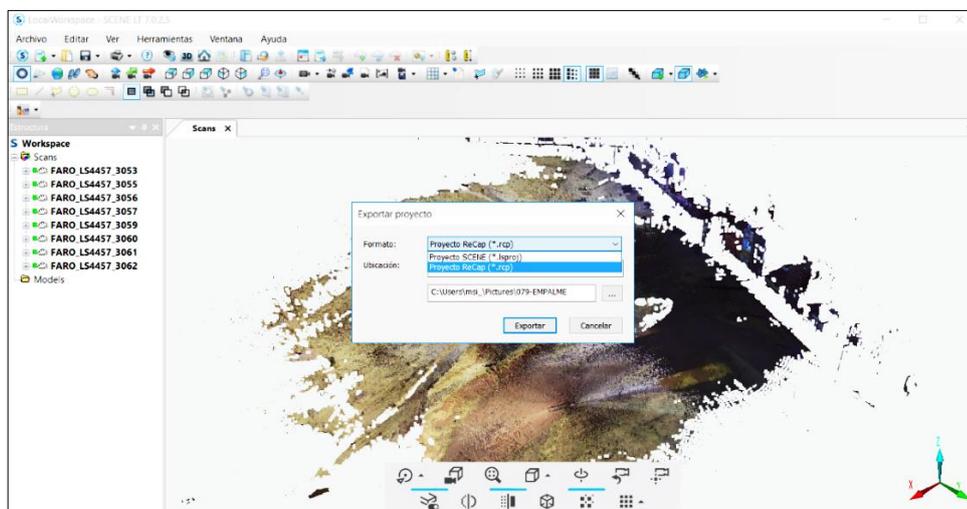


Figura 87. Exportación de proyecto de nube de puntos a Autodesk ReCap (*.rcp).
Fuente: Elaboración Propia.

C. Obtención de datos para la prueba de exactitud en ReCap 360

Utilizando el software ReCap del Autodesk se abre el archivo de nube de puntos "RECAP-TERRENO" lo cual fue procesada y georreferenciado en el software SCENE como se muestra en la Figura 88.

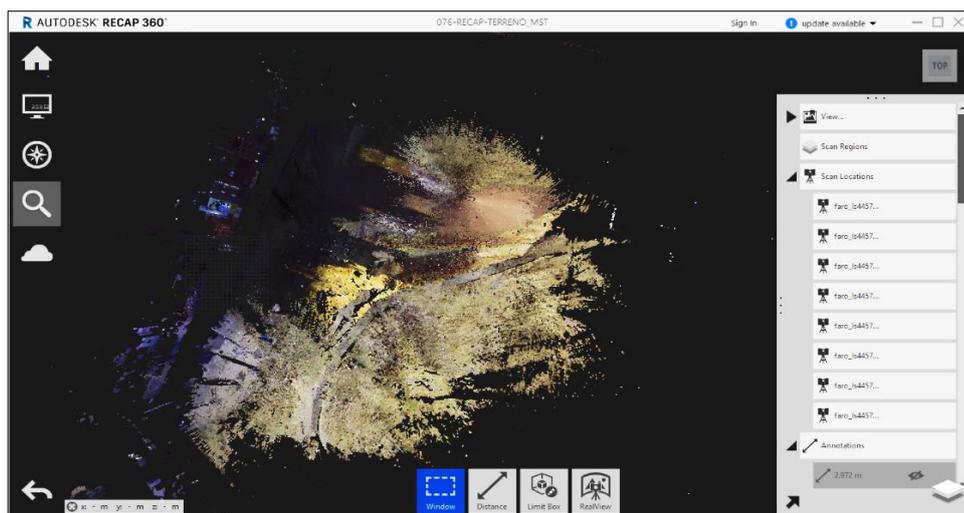


Figura 88. Abriendo en ReCap 360 la nube de puntos.
Fuente: Elaboración Propia.

Luego de abrir el archivo en ReCap, se procedió a registrar las coordenadas de los puntos de prueba de exactitud con el icono Note, identificación de posición de puntos Figura 89.

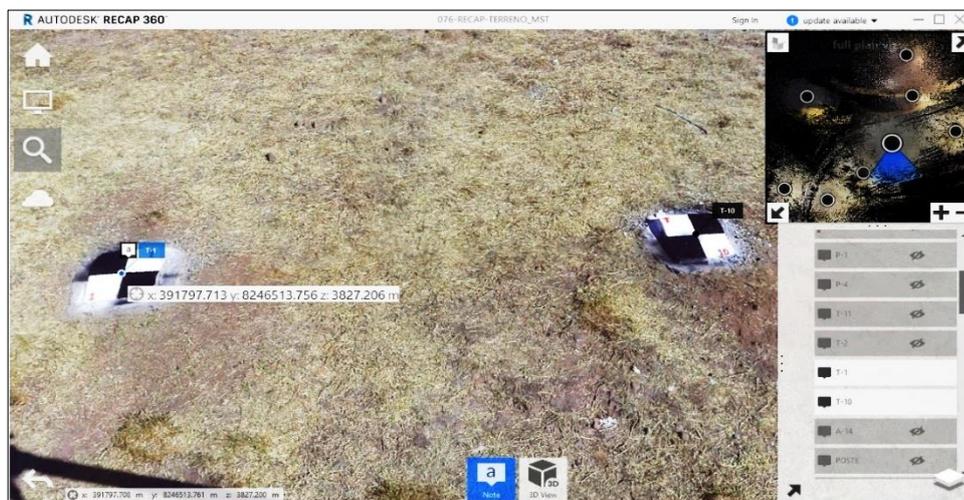


Figura 89. Registro de coordenadas para la prueba de exactitud.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 90, se muestran los 48 puntos de prueba de exactitud que fueron identificados y registrados sobre la nube de puntos del terreno. Las coordenadas obtenidas en la nube de puntos se encuentran en el Anexo F.

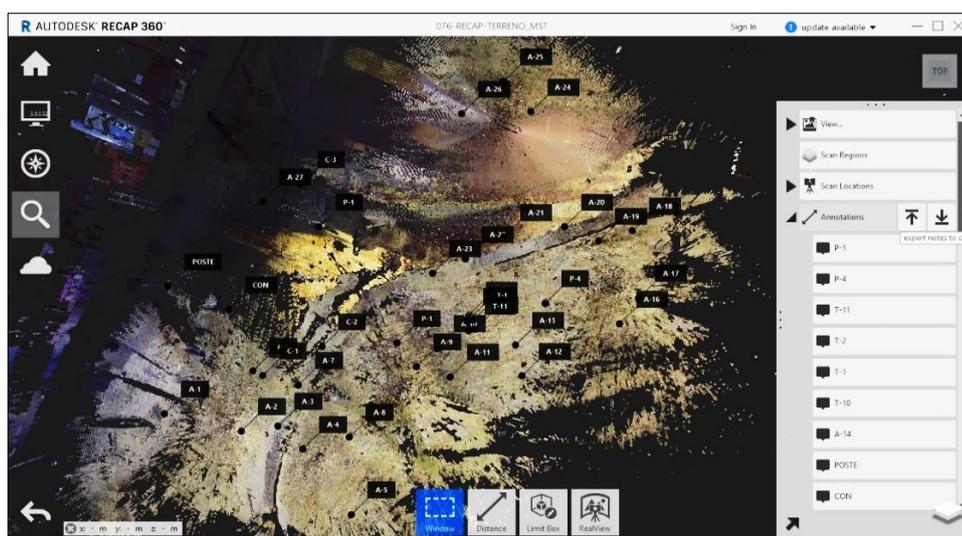


Figura 90. Identificación de 48 puntos de prueba de exactitud.
Fuente: Elaboración Propia.

D. Limpieza de información sobre la superficie en Autodesk ReCap 360

Con el software Autodesk ReCap de procesamiento de nube de puntos 3D tales como las obtenidas con el escáner láser y que fueron importadas con la extensión (*.rcp), facilitó el manejo de nubes de puntos de alta densidad. Con el conjunto de herramientas básicas se editó manualmente la nube de puntos en 3D eliminando los árboles, arbustos, elementos arquitectónicos como postes, personas y otros, presentes en la imagen. En resumen, los elementos que están sobre la superficie del suelo. Este proceso es muy importante para la exactitud del trabajo y requirió de un buen tiempo y detalle, moviendo la nube de puntos para observarlos en diferentes vistas, e ir eliminando puntos, hasta dejar lo más próximo el corte a nivel del terreno.

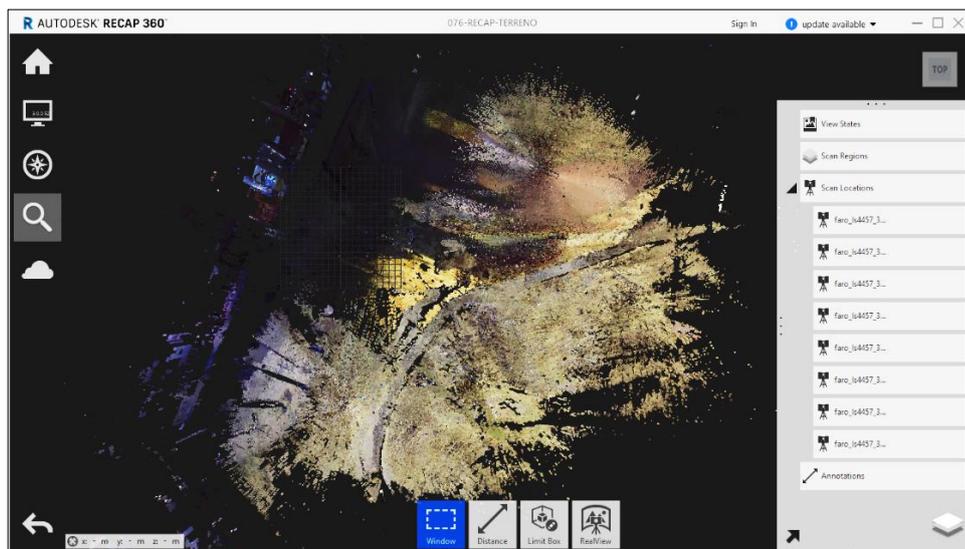


Figura 91. Vista de nube de puntos antes de limpieza.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 92 y la Figura 93 se observan la vista en donde aparecen los puntos de la superficie del terreno, de los árboles, arbustos, elementos arquitectónicos como postes, personas y otros. Estando en Autodesk ReCap dar clic en el icono de **Window** y cliquear en **Fence**, luego enmarcar los elementos tales como árboles, arbustos elementos arquitectónicos. Unas enmarcado presionar la tecla enter y la tecla suprimir para eliminar estos elementos.

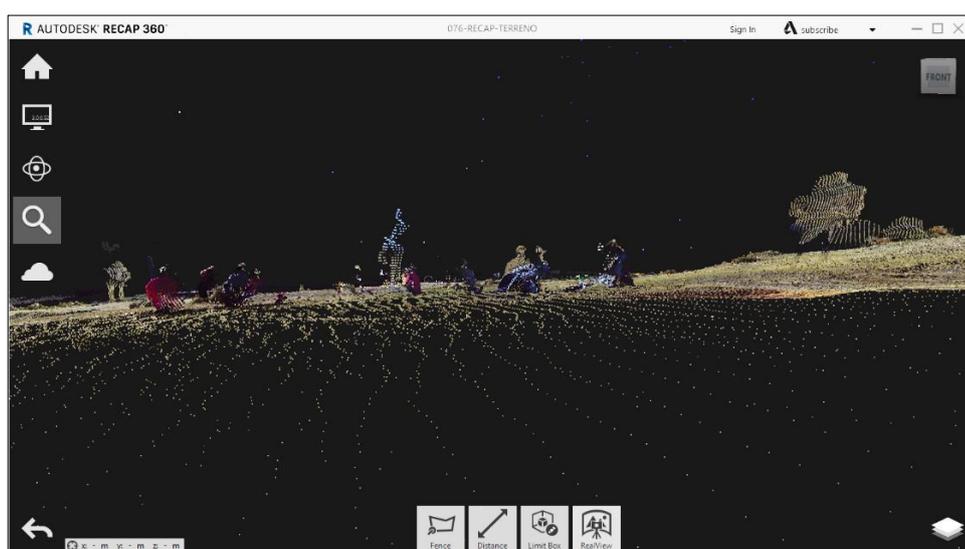


Figura 92. Vista de la nube de puntos de árboles, postes y personas sobre la superficie.
Fuente: Elaboración Propia.

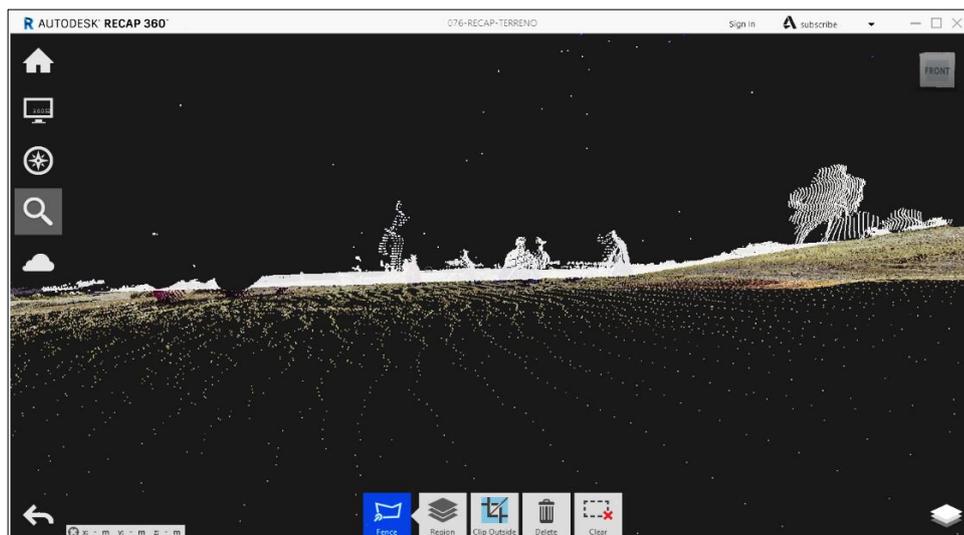


Figura 93. Vista de la nube puntos árboles, postes y personas a eliminar de la superficie.
Fuente: Elaboración Propia.

Luego de realizar este proceso de limpieza de eliminando el ruido, árboles, arbustos, elementos arquitectónicos como postes, personas y otros, el resultado final es la presencia de la capa superficial sin vegetal de puntos más cercanos al terreno, como se muestra la Figura 94.

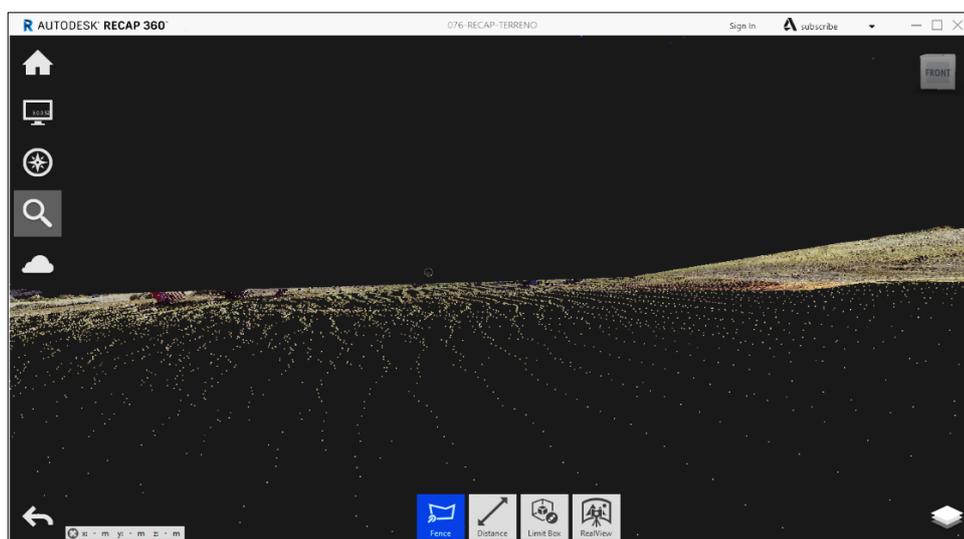


Figura 94. Vista de la nube puntos árboles, postes y personas eliminados de la superficie.
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez realizado la limpieza de eliminación el ruido, árboles, arbustos, elementos arquitectónicos como postes, personas y otros. Se procedió a

exportar el proyecto en formato (*.PTS) para generar el modelo digital de terreno, como se muestra en la Figura 95.

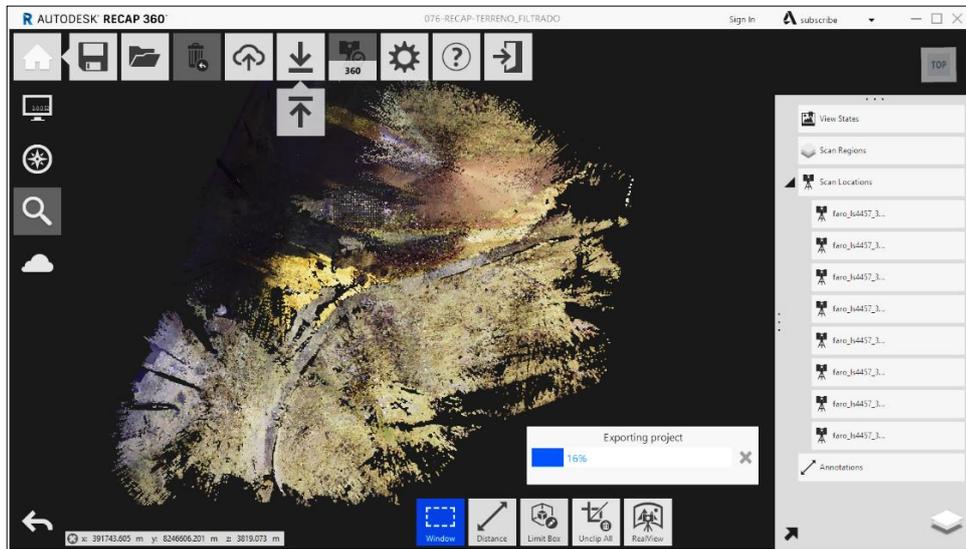


Figura 95. Vista de nube de puntos después de la limpieza.
Fuente: Elaboración Propia.

E. Generación de MDT con nube de puntos 3D en Autodesk Civil 3D

Importación de nube de puntos 3D en formato de “.PTS” al Autodesk Civil 3D como se muestra en la Figura 96.

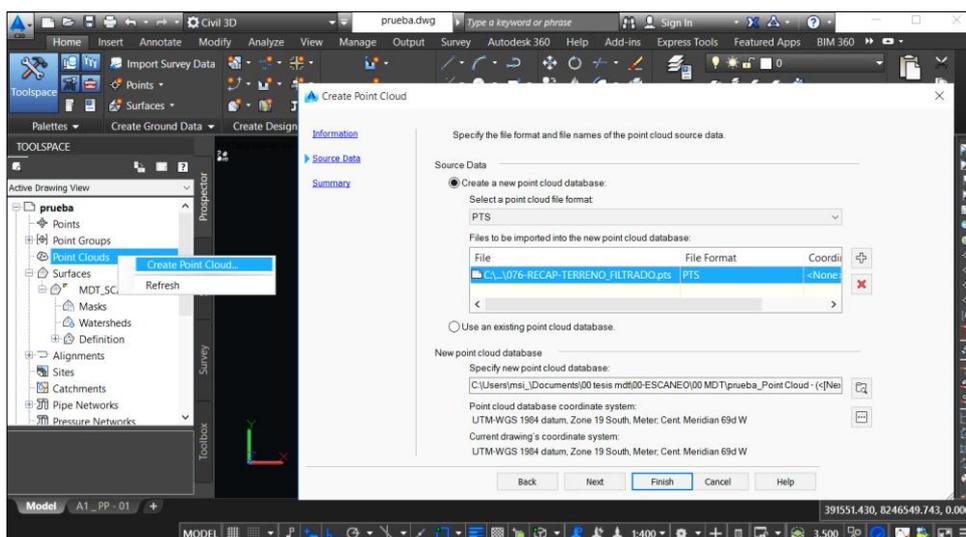


Figura 96. Importación de nube de puntos 3D al Autodesk Civil 3D.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 97. Se muestra como se a importado la nube de puntos 3D formando con una imagen. La extensión “.PTS” guarda cada punto con RGB mostrando cada punto con un color.

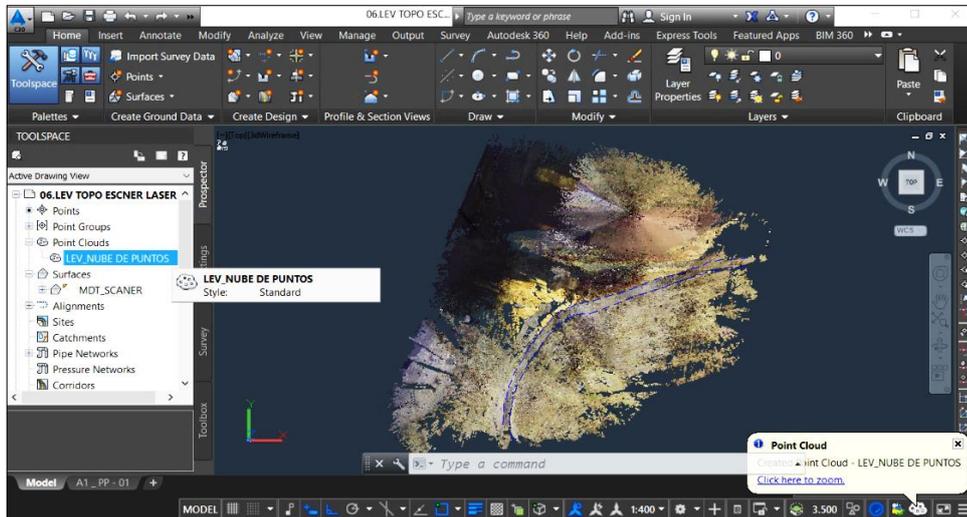


Figura 97. Nube de puntos 3D en plataforma Autodesk Civil 3D.
Fuente: Elaboración Propia.

Luego de importar la nube de puntos 3D se procedió a la generación de modelo digital de terreno (MDT) mediante la opción de creación de superficie por nube de puntos, como se muestra en ala Figura 98.

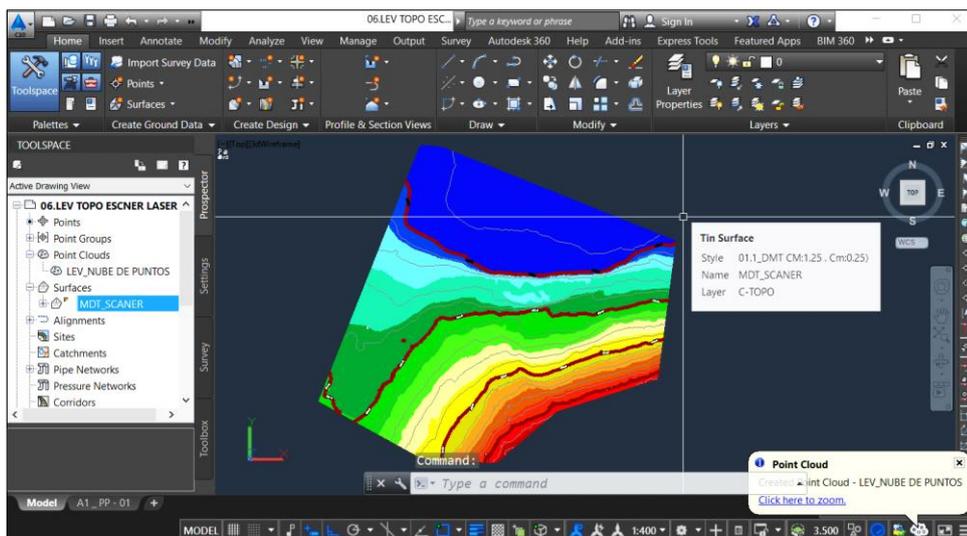


Figura 98. Generación de modelo digital de terreno con nube puntos 3D.
Fuente: Elaboración Propia.

F. Generación de MDT con puntos topográficos Autodesk Civil 3D

Importación de levantamiento de puntos topográficos en formato de “. CSV” al Autodesk Civil 3D, como se muestra en la Figura 99.

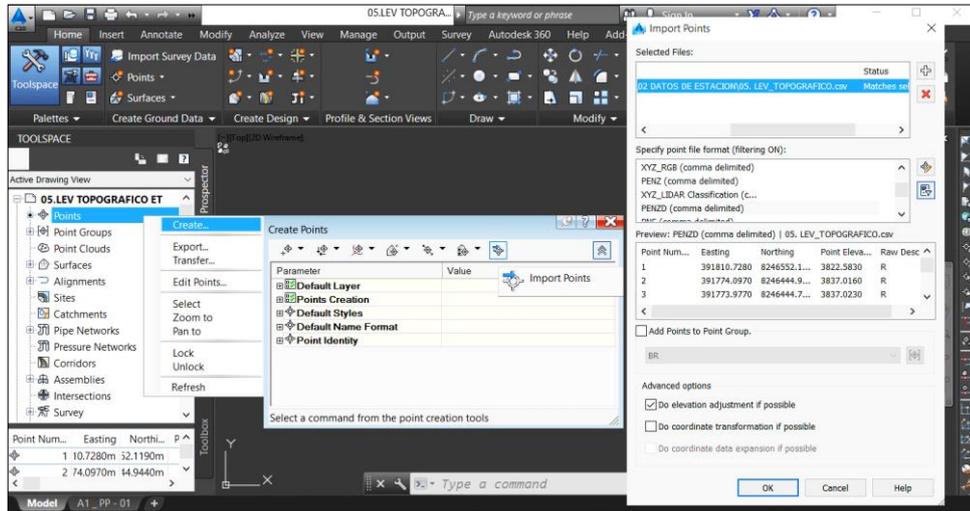


Figura 99. Importación de puntos topográficos al Autodesk Civil 3D.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 100. Se muestra como se a importado el levantamiento de puntos topograficos teniendo en cuenta los detalles que se tomaron en campo. Se genera polilineas de los detalles tales como borde de carretera, piede talud y otros detalles nesarias para ajustar el MDT.

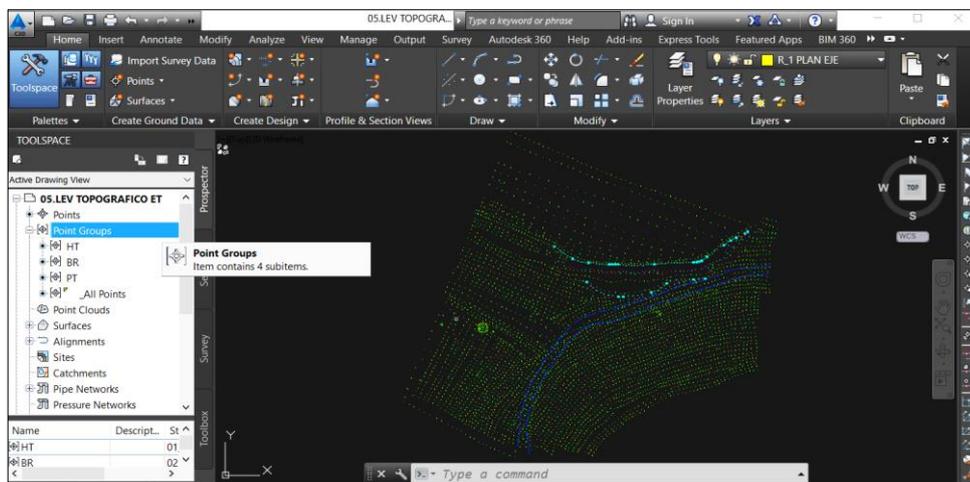


Figura 100. Puntos topográficos en plataforma Autodesk Civil 3D.
Fuente: Elaboración Propia.

Luego de importar el levantamiento de puntos topográficos se procedió a la generación de modelo digital de terreno (MDT) mediante la opción de creación de superficie por puntos topográficos, como se muestra en la Figura 101.

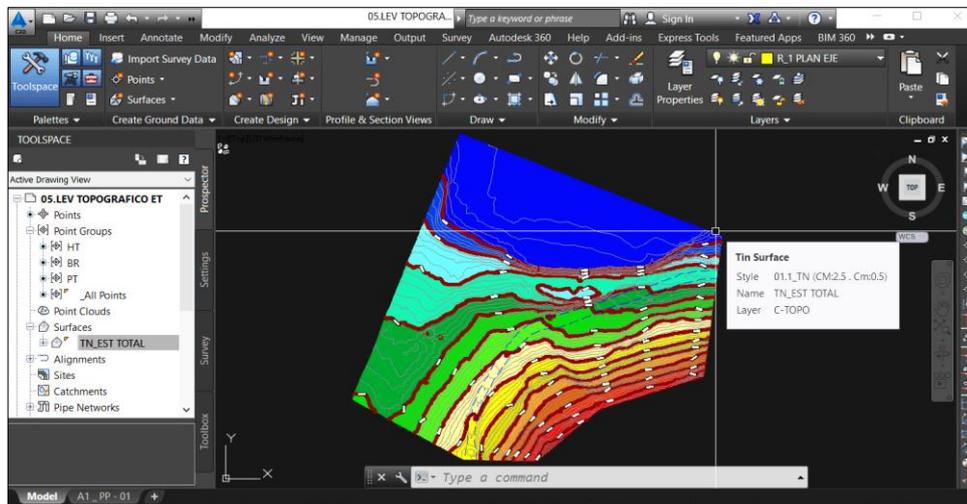


Figura 101. Generación de modelo digital de terreno con puntos topográficos.
Fuente: Elaboración Propia.

En la plataforma Autodesk Civil 3D permite realizar una amplia gama de tareas relacionadas con la Ingeniería Civil, la Topografía entre otros y el dibujo con Autodesk Civil 3D puede crear relaciones inteligentes entre objetos de dibujo para que los cambios realizados en su diseño se actualicen dinámicamente en todo el dibujo.

3.2.3.3. Producto final de MDT (modelo digital de terreno)

Como producto final obtenemos de la información procesada, un modelo digital de terreno en Autodesk Civil 3D. En la Figura 102 y Figura 103 se muestra la presentación de modelos digitales de terreno obtenidas con levantamiento de puntos topográfico con el equipo de estación total y con nube de puntos 3D con el equipo de escáner láser. Los planos de modelos digitales de terreno obtenidas con estación total y escáner láser se encuentran en el Anexo G.

3.3. Selección de la Muestra

3.3.1. Muestra

Las muestras que se tomaron para la contrastación fueron en base a la técnica de levantamiento con estación total frente a la técnica de levantamiento con escáner láser en tres diferentes resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 para generar modelo digital de terreno. Ubicado en la ciudad de puno.

3.3.2. Población

En el presente proyecto de investigación se tomaron como población, las distancias obtenidas mediante las coordenadas de una escena escanografía, los cuales están materializados de concretó de 0.22 m x 0.22 m sobre la superficie de terreno, y las distancias obtenidas por el levantamiento topográfico que son las unidades de estudio principal.

3.4. Tipo de Estudio

El presente proyecto de investigación es de tipo descriptivo. Esta investigación, se realizó de acuerdo con la metodología estadística, utilizando la de **t** de **Student** para comparar las medias del método de levantamiento escenografía con escáner láser respecto al método de levantamiento topográfico con estación total.

El análisis estadístico que se realizara también es de **regresión lineal simple** para analizar cuál es la mejor resolución del escáner láser que están relacionadas en forma lineal entre X y Y , para poder comparar cada una de ellas y poder calcular sus diferencias sobre el punto medio. Se decidió utilizar el

análisis de regresión lineal simple, ya que su objetivo es la estimación de los parámetros donde supone encontrar la ordenada en el origen y la pendiente de una recta que mejor se aproxima a los puntos. Estos datos vienen configurados en pares ordenados que tienen componentes asociadas a la variable X y a la variable Y, en este estudio son los datos topográficos y los datos de cada una de las tres resoluciones.

Se evaluó la precisión de esta nueva tecnología en la obtención de superficies de terreno para trabajar en mapas a escalas grandes de 1:50 a 1:2000, con especificaciones de precisión referidas en la normativa de la Sociedad Americana para la Fotogrametría y la Lectura a Distancia (ASPRS) y Sistema Nacional Integrado de Información Catastral Predial – Perú (SNCP – PERU), para proyectos de ingeniería civil y topografía.

3.4.1. Prueba de t de Student

En probabilidad y estadística, la **distribución-t** o **distribución t de Student** es una distribución de probabilidad que surge del problema de estimar la media de una población normalmente distribuida cuando el tamaño de la muestra es pequeño.

3.4.1.1. Planteamiento de hipótesis

Bilateral

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

H_0 : levantamiento con escáner láser (1/1, 1/8 y 1/20) = levantamiento con estación total.

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j$$

H_a : levantamiento con escáner láser (1/1, 1/8 y 1/20) \neq levantamiento con estación total.

Nivel de significación: $\alpha = 0.01$ ó $\alpha = 0.05$

Prueba estadística (t calculado para cada par de tratamientos)

$$|t_c| = \frac{\bar{d}}{S_d / \sqrt{n}}$$

Regla de decisión

Si $-t_{(tabla)} \leq t_c \leq t_{(tabla)}$ se acepta H_0

Si $|t_c| > t_{(tabla)}$ ó $|t_c| \leq -t_{(tabla)}$ se rechaza H_0

Tabla 14. Análisis de varianza para t de Student

| Mod. | Fuente de Variación | G. L. | Suma de Cuadrados | Media Cuadrática | Estadística F |
|------|---------------------|---------|--------------------------------|--------------------------------------|---|
| | Regresión | 1 | $\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2$ | $\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 / 1$ | $\frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 / 1}{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 (n - 2)}$ |
| 1 | Error | $n - 2$ | $\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$ | $\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - 2)$ | |
| | Total | $n - 1$ | $\sum (y_i - \bar{y})^2$ | | |

Fuente: Canavos (1996).

3.4.2. Análisis de Regresión Lineal Simple

Si los métodos de regresión son tan útiles en la práctica, debe comprenderse su significado y las suposiciones bajo las cuáles se han desarrollado. Las técnicas de regresión proporcionan medios legítimos de los cuales pueden establecerse asociaciones entre las variables de interés en las cuales la relación usual no es casual. La regresión tiene dos significados: uno

surge de la distribución conjunta de probabilidades de dos variables aleatorias; el otro es empírico y nace de la necesidad de ajustar alguna función a un conjunto de datos. (Canavos, 1998)

A continuación, se presenta el Análisis de Regresión lineal simple:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Donde:

$$Y_i = i -$$

esima observaciones de la variable dependiente (medidas de escaner)

X_i = *variable independiente (distancias del estacion total)*

β_0 = *Parametro desconocido*

β_1 = *Parametro desconocido*

ε_i = *Error aliatorio*

$$\beta_0 = \bar{Y} - \beta_1 \bar{X}$$

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n}}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}}$$

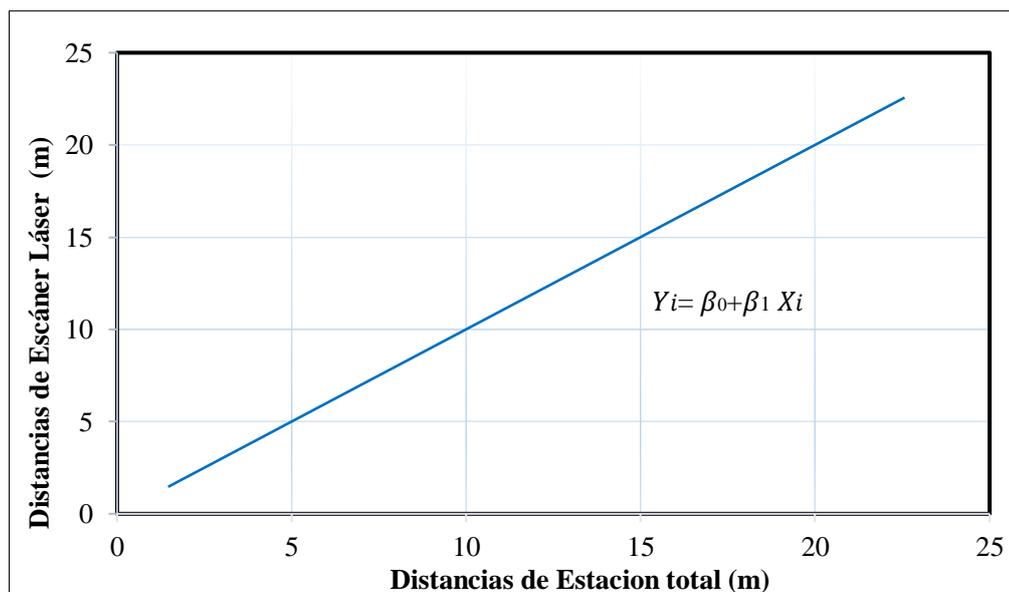


Figura 104. Representación gráfica del modelo matemático.
Fuente: Canavos (1998).

3.4.2.1. Coeficiente de correlación lineal (r)

Se puede demostrar que el coeficiente de correlación se encuentra contenido en el intervalo de $-1 \leq \rho \leq 1$. De hecho ρ es la covarianza de dos variables aleatorias estandarizadas X' y Y' en donde $X' = (X - \mu_x)/\sigma_x$ y $Y' = (Y - \mu_y)/\sigma_y$. Esto significa que el coeficiente de correlación es solo una medida estandarizada de la asociación lineal que existe entre las variables X y Y en relación con sus dispersiones. El valor $\rho = 0$ indica la ausencia de cualquier asociación lineal, mientras que los valores -1 y $+1$ indican relaciones lineales perfectas negativa y positiva, respectivamente. En este punto es necesario señalar que debe rechazarse cualquier otra interpretación de la palabra "correlación". (Canavos, 1998)

$$r(X, Y) = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{(\sum X_i)(\sum Y_i)}{n}}{\left[\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n} \right]^{1/2} \left[\sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n} \right]^{1/2}}$$

3.4.2.2. Coeficiente de determinación

Los valores que toma están siempre en el intervalo $0 \leq r^2 \leq 1$ ya que $0 \leq SCE \leq STC$. De manera ideal, se desea tener un $r^2 = 1$ ya que entonces $SCE = 0$, y toda la variación presenta en las observaciones puede explicarse por la presencia lineal de X en la ecuación de regresión. De esta forma, entre más cercano se encuentre r^2 a uno, mayor es el grado de asociación lineal que existe entre X y Y . (Canavos, 1998)

$$r^2 = \frac{SCR}{STC} = \frac{STC - SCE}{STC} = 1 - \frac{SCE}{STC}$$

Error típico de la estimación es la raíz cuadrada de la varianza residual.

$$\text{Error tip. de la estimacion} = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{n - k - 1}}$$

3.4.2.3. Contraste de hipótesis de la regresión

Para el análisis de varianza (ANOVA) se buscará una estadística para probar la hipótesis nula contra la hipótesis alternativa (Canavos, 1998).

Bilateral

$H_0: \beta_1 = 0$ (hipótesis nula)

H_0 : regresión no lineal entre x y Y , en este estudio son el levantamiento con estación total y el levantamiento con escáner láser en las resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20.

$H_a: \beta_1 \neq 0$ (hipótesis alternativa)

H_a : están relacionadas en forma lineal x y Y , en este estudio son el levantamiento con estación total y el levantamiento con escáner láser en las resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20.

Prueba estadística

$$F_0 = \frac{\frac{SCR/\sigma^2}{1}}{\frac{SCE/\sigma^2}{1}} = \frac{SCR/1}{SCE/(n-2)} = \frac{CMR}{CME}$$

Regla de decisión: La H_0 se rechaza si

$$F_0 > F(\alpha, 1, n - 2) \quad (\text{de la Tabla F})$$

Nivel de confianza: $\alpha = 5\% = 0.05$

La Tabla ANOVA. - Es un cuadro resumen del análisis de varianza para la validación del modelo de regresión lineal, con las expresiones siguientes:

Tabla 15. Analisis de varianza (ANOVA) para el modelo regresion lineal

| Mod. | Fuente de Variación | G. L. | Suma de Cuadrados | Media Cuadrática | Estadística F |
|------|---------------------|---------|--------------------------------|--------------------------------------|---|
| | Regresión | 1 | $\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2$ | $\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 / 1$ | $\frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 / 1}{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 (n - 2)}$ |
| 1 | Error | $n - 2$ | $\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$ | $\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - 2)$ | |
| | Total | $n - 1$ | $\sum (y_i - \bar{y})^2$ | | |

- a. Variables independientes: (Constante), ESTACION TOTAL
- b. Variable dependiente: Res. de Escáner láser Alta 1/1, Media 1/8 y Alta 1/20

Fuente: Canavos (1996).

3.4.3. Análisis de la Exactitud Absoluta Error Medio Cuadrático (RMSE) para MDT

El alcance de estos estándares incluye los mapas georreferenciados, y los datos geoespaciales (en formato raster, vectorial o punto) obtenidos a partir de fotografías aéreas, imágenes de satélite o medidas de campo.

Estos estándares incluyen las metodologías, estadísticas y de chequeo, para estimar la precisión posicional de la información contenida en mapas o en datos geoespaciales, con respecto a puntos superiores, georreferenciados sobre el terreno. Los valores umbrales de precisión no los establecen estos estándares si no que los marcan las agencias. En este apartamiento incluye también los datos de referencia que recogen los umbrales establecidos por ASPRS.

La precisión posicional de la información contenida en el mapa se estima mediante el RMSE (raíz del error cuadrático de la media), definido como la media de las diferencias entre las coordenadas, de un conjunto de puntos, **obtenidas a partir de mediciones independientes de mayor precisión**. La precisión se reporta como la distancia sobre el terreno al nivel de confianza del 95%, que significa, que el 95% de los datos tienen un error de posición respecto a la posición real en el terreno igual o menor a la precisión reportada. (Norma SNCP-PERU, 2008)

La precisión horizontal se estima comparando las coordenadas planimétricas y la precisión vertical comprando las elevaciones de un conjunto de puntos bien definidos con las coordenadas y/o elevaciones, medidas sobre el terreno con una precisión superior. Para realizar este chequeo se requiere un mínimo de 20 de muestras. En el caso de no disponer de 20 puntos se pueden utilizar métodos alternativos (referencia en SDTS Spatial Data Transfer Standard) necesitándose los metadatos de la información utilizada como chequeo.

3.4.3.1. Prueba de exactitud

La exactitud de posición describe la cercanía en posición de los objetos en el conjunto de datos, respecto a sus posiciones verdaderas (o las asumidas como verdaderas). Esta exactitud debe ser definida en término de los componentes horizontal y vertical. El componente horizontal se refiere a los valores de las coordenadas X y Y, mientras que el componente vertical hace referencia a la coordenada Z, según el sistema de referencia. (NTC 5043, 2010)

El cálculo de errores promedios en x y z

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Donde:

x_i : Es el error del i^{th} en la distancia especificada

n : El número de puntos de control verificado

i : Un entero que varía entre 1 para n

El cálculo de desviación estándar de muestra

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Done:

x_i : Es el error del i^{th} en la distancia especificada

\bar{x} : Es el error promedio en la distancia especificada

n : El número de puntos de control verificado

i : Un entero que varía entre 1 para n

El cálculo de error medio cuadrático (RMSE)

A continuación, se presentan la ecuación para obtener el Error Medio Cuadrático (RMSE) horizontal X e Y vertical Z.

$$RMSE_X = \sqrt{\frac{\sum (x_{dato,i} - x_{control,i})^2}{n}} \quad y \quad RMSE_Y = \sqrt{\frac{\sum (y_{dato,i} - y_{control,i})^2}{n}}$$

Donde:

$X_{dato,i}, Y_{dato,i}$: Coordenadas del punto en el conjunto de datos (escáner láser)

$X_{control,i}, Y_{control,i}$: Coordenadas del punto de control en la fuente independiente de exactitud (estación total)

n : El número de puntos de control verificado

i : Un entero que varía entre 1 y n

Para calcular el valor Z de la exactitud vertical se utiliza la siguiente fórmula:

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{\sum(Z_{dato,i} - Z_{control,i})^2}{n}}$$

Donde:

$Z_{dato,i}$: Coordenadas verticales del punto en el conjunto de datos (escáner láser)

$Z_{control,i}$: Coordenadas verticales del punto de control en la fuente independiente de exactitud (estación total)

n : El número de puntos que se están probando

i : Un entero que varía entre 1 y n

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}$$

Prueba de exactitud a un nivel de confianza de 95%

En la Tabla 16 se presentan las estimaciones de precisión horizontal y vertical a partir de los errores, suponiendo que estos siguen una distribución normal y que los errores sistemáticos han sido eliminados previamente.

Tabla 16. Estimación de la precisión horizontal y vertical

| Precisión al 95% (para la exactitud en posición absoluta) | |
|---|--|
| $RMSE_x = RMSE_y$ | Precisión horizontal al 95% = $2.447 \cdot \frac{RMSE_r}{1.4142} = 1.7308 \cdot RMSE_r$ |
| $RMSE_x \neq RMSE_y$ | Precisión horizontal al 95% $\sim 2.447 \cdot 0.5 \cdot (RMSE_x + RMSE_y)$ Si $RMSE_{min} / RMSE_{max}$ entre 0.6 y 0.1 |
| $RMSE_z$ | Precisión vertical al 95% $\sim 1.9600 \cdot RMSE_z$ |

Donde:

$RMSE_x, RMSE_y, RMSE_r$ errores planímetros x, y, y circular

$$RMSE_r = \text{sprt} (RMSE_x^2 + RMSE_y^2)$$

$RMSE_z$ error vertical

Fuente: Según Norma ASPRS (2014) y SNCP – PERU (2008).

3.5. Variables de Investigación

Las variables de investigación de este proyecto es la siguiente.

3.5.1. Variable Independiente

Son las distancias obtenidas con la técnica levantamiento con estación total (distancia real).

3.5.2. Variable Dependiente

Son las distancias obtenidas con la técnica de levantamiento con escáner láser en sus diferentes resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 (distancia de resoluciones).

Tabla 17. Variables de estudio del proyecto

| Variables | | | |
|--|--------|--|--------|
| Independiente | Unidad | Dependiente | Unidad |
| Distancias obtenidas con estación total (distancia real) | metros | Distancias de las resoluciones del escáner láser; alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 | metros |

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de los Resultados

4.1.1. Análisis de Resultados para el Objetivo Específico 1

Para el análisis del objetivo 1 que es **evaluar las resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20** del escáner láser para la confiabilidad de los datos en contrastación con una estación total, se le dará la validación mediante el análisis estadístico de t de Student y Regresión lineal simple, elaborado por adquisición de nube puntos por medio de escanografía láser con respecto a puntos terrestres de referencias con mayor precisión.

La Figura 105, muestra donde el levantamiento con escáner láser en sus resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 representada con nube de puntos 3D y el levantamiento topográfico con estación total representa con puntos terrestres (estrellas de color rojo) como la medida real. Llegando a calcular las distancias de las tres resoluciones y de estación total obteniendo los siguientes resultados.



Figura 105. Levantamiento con escáner láser resolución media de 1/8 y estación total.
Fuente: Elaboración Propia.

En el proceso de análisis se comparan todos los datos de las diferentes resoluciones en distancia con respecto al tomado con topografía de exactitud, se plantean tres matrices que relacionen todos los puntos entre sí. Para luego determinar la variación de distancias entre la más cercana al dato dado, y el de mayor separación. Primero se analizan todos los datos topográficos entre sí y luego en su complemento de matriz, los datos tomados de las medidas, en las nubes de puntos para cada una de las resoluciones como los muestran las Tablas 18, 19 y 20.

Tabla 18. Matriz de distancias topográficas y de resolución alta de 1/1

| | | DISTANCIAS REALES - ESTACION TOTAL (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | T-01 | T-02 | T-03 | T-04 | T-05 | T-06 | T-07 | T-08 | T-09 | T-10 | T-11 | T-12 | T-13 | T-14 | T-15 | T-16 | T-17 | T-18 |
| DISTANCIAS DEL ESCANER - RESOLUCION ALTA 1/1 (m) | T-01 | | 2.971 | 5.994 | 8.944 | 11.974 | 14.984 | 17.926 | 20.952 | 22.452 | 1.997 | 3.576 | 6.307 | 9.223 | 12.153 | 15.086 | 18.094 | 21.072 | 22.530 |
| | T-02 | 2.969 | | 3.023 | 5.972 | 9.003 | 12.013 | 14.955 | 17.981 | 19.481 | 3.598 | 1.997 | 3.614 | 6.355 | 9.235 | 12.147 | 15.144 | 18.116 | 19.572 |
| | T-03 | 5.993 | 3.024 | | 2.949 | 5.980 | 8.990 | 11.932 | 14.958 | 16.458 | 6.339 | 3.627 | 1.997 | 3.611 | 6.318 | 9.178 | 12.154 | 15.115 | 16.568 |
| | T-04 | 8.944 | 5.975 | 2.951 | | 3.031 | 6.041 | 8.983 | 12.008 | 13.509 | 9.186 | 6.303 | 3.573 | 1.999 | 3.643 | 6.333 | 9.258 | 12.198 | 13.645 |
| | T-05 | 11.973 | 9.004 | 5.980 | 3.029 | | 3.010 | 5.952 | 8.978 | 10.478 | 12.162 | 9.227 | 6.317 | 3.580 | 2.004 | 3.589 | 6.334 | 9.222 | 10.657 |
| | T-06 | 14.986 | 12.017 | 8.993 | 6.042 | 3.013 | | 2.942 | 5.968 | 7.468 | 15.139 | 12.184 | 9.222 | 6.306 | 3.607 | 2.003 | 3.606 | 6.318 | 7.721 |
| | T-07 | 17.927 | 14.958 | 11.934 | 8.983 | 5.954 | 2.941 | | 3.026 | 4.526 | 18.059 | 15.093 | 12.110 | 9.144 | 6.269 | 3.586 | 2.005 | 3.650 | 4.940 |
| | T-08 | 20.956 | 17.987 | 14.963 | 12.012 | 8.983 | 5.970 | 3.029 | | 1.500 | 21.069 | 18.097 | 15.102 | 12.114 | 9.187 | 6.325 | 3.582 | 2.004 | 2.497 |
| | T-09 | 22.459 | 19.489 | 16.466 | 13.515 | 10.486 | 7.473 | 4.532 | 1.503 | | 22.563 | 19.589 | 16.591 | 13.596 | 10.656 | 7.763 | 4.898 | 2.489 | 2.005 |
| | T-10 | 1.996 | 3.596 | 6.337 | 9.184 | 12.159 | 15.140 | 18.058 | 21.072 | 22.568 | | 2.988 | 6.005 | 9.026 | 12.009 | 14.974 | 18.005 | 20.998 | 22.463 |
| | T-11 | 3.573 | 1.995 | 3.627 | 6.304 | 9.228 | 12.187 | 15.095 | 18.103 | 19.597 | 2.985 | | 3.016 | 6.038 | 9.020 | 11.986 | 15.017 | 18.010 | 19.475 |
| | T-12 | 6.305 | 3.613 | 1.996 | 3.571 | 6.316 | 9.224 | 12.111 | 15.107 | 16.598 | 6.002 | 3.017 | | 3.021 | 6.004 | 8.970 | 12.000 | 14.994 | 16.458 |
| | T-13 | 9.220 | 6.355 | 3.613 | 2.001 | 3.586 | 6.313 | 9.148 | 12.123 | 13.607 | 9.021 | 6.036 | 3.019 | | 2.983 | 5.948 | 8.979 | 11.972 | 13.437 |
| | T-14 | 12.154 | 9.238 | 6.321 | 3.644 | 2.010 | 3.610 | 6.268 | 9.191 | 10.663 | 12.008 | 9.023 | 6.006 | 2.987 | | 2.966 | 5.996 | 8.990 | 10.454 |
| | T-15 | 15.087 | 12.150 | 9.181 | 6.333 | 3.592 | 2.004 | 3.582 | 6.328 | 7.768 | 14.974 | 11.989 | 8.972 | 5.953 | 2.966 | | 3.030 | 6.024 | 7.488 |
| | T-16 | 18.089 | 15.142 | 12.151 | 9.252 | 6.331 | 3.601 | 1.995 | 3.588 | 4.908 | 17.999 | 15.014 | 11.997 | 8.978 | 5.991 | 3.025 | | 2.994 | 4.458 |
| | T-17 | 21.075 | 18.122 | 15.121 | 12.201 | 9.228 | 6.322 | 3.652 | 2.012 | 2.498 | 21.000 | 18.015 | 14.998 | 11.979 | 8.992 | 6.026 | 3.001 | | 1.464 |
| | T-18 | 22.538 | 19.582 | 16.577 | 13.652 | 10.666 | 7.727 | 4.943 | 2.499 | 2.005 | 22.469 | 19.485 | 16.467 | 13.448 | 10.461 | 7.495 | 4.470 | 1.469 | |

Fuente: Elaboración Propia.

En la resolución 1/8 que se muestra en la Tabla 19, se nota que los puntos materializados de T-09 y T-18 que son los que se encuentran más lejos del escáner láser, aproximadamente a 23 m de distancia, ya su pixelado no dejó tomar los datos de las distancias entre ellos, pero en cambio el T-18 logro tomar información con dificultad. Las distancias topográficas y las de resolución media de 1/8, se encuentran en blanco por falta de información entre estos puntos.

Tabla 19. Matriz de distancias topográficas y de resolución media de 1/8

DISTANCIAS REALES - ESTACION TOTAL (m)

| | T-01 | T-02 | T-03 | T-04 | T-05 | T-06 | T-07 | T-08 | T-09 | T-10 | T-11 | T-12 | T-13 | T-14 | T-15 | T-16 | T-17 | T-18 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| T-01 | | 2.971 | 5.994 | 8.944 | 11.974 | 14.984 | 17.926 | 20.952 | 22.452 | 1.997 | 3.576 | 6.307 | 9.223 | 12.153 | 15.086 | 18.094 | 21.072 | 22.530 |
| T-02 | 2.971 | | 3.023 | 5.972 | 9.003 | 12.013 | 14.955 | 17.981 | 19.481 | 3.598 | 1.997 | 3.614 | 6.355 | 9.235 | 12.147 | 15.144 | 18.116 | 19.572 |
| T-03 | 5.992 | 3.020 | | 2.949 | 5.980 | 8.990 | 11.932 | 14.958 | 16.458 | 6.339 | 3.627 | 1.997 | 3.611 | 6.318 | 9.178 | 12.154 | 15.115 | 16.568 |
| T-04 | 8.932 | 5.960 | 2.940 | | 3.031 | 6.041 | 8.983 | 12.008 | 13.509 | 9.186 | 6.303 | 3.573 | 1.999 | 3.643 | 6.333 | 9.258 | 12.198 | 13.645 |
| T-05 | 11.974 | 9.003 | 5.983 | 3.043 | | 3.010 | 5.952 | 8.978 | 10.478 | 12.162 | 9.227 | 6.317 | 3.580 | 2.004 | 3.589 | 6.334 | 9.222 | 10.657 |
| T-06 | 14.973 | 12.001 | 8.981 | 6.041 | 2.998 | | 2.942 | 5.968 | 7.468 | 15.139 | 12.184 | 9.222 | 6.306 | 3.607 | 2.003 | 3.606 | 6.318 | 7.721 |
| T-07 | 17.931 | 14.959 | 11.939 | 8.999 | 5.956 | 2.958 | | 3.026 | 4.526 | 18.059 | 15.093 | 12.110 | 9.144 | 6.269 | 3.586 | 2.005 | 3.650 | 4.940 |
| T-08 | 20.942 | 17.970 | 14.950 | 12.010 | 8.967 | 5.969 | 3.011 | | 1.500 | 21.069 | 18.097 | 15.102 | 12.114 | 9.187 | 6.325 | 3.582 | 2.004 | 2.497 |
| T-09 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 22.563 | 19.589 | 16.591 | 13.596 | 10.656 | 7.763 | 4.898 | 2.489 | 2.005 |
| T-10 | 1.994 | 3.597 | 6.335 | 9.173 | 12.160 | 15.129 | 18.063 | 21.058 | --- | | 2.988 | 6.005 | 9.026 | 12.009 | 14.974 | 18.005 | 20.998 | 22.463 |
| T-11 | 3.575 | 1.995 | 3.622 | 6.289 | 9.225 | 12.173 | 15.096 | 18.085 | --- | 2.989 | | 3.016 | 6.038 | 9.020 | 11.986 | 15.017 | 18.010 | 19.475 |
| T-12 | 6.316 | 3.622 | 1.999 | 3.556 | 6.308 | 9.206 | 12.107 | 15.084 | --- | 6.013 | 3.024 | | 3.021 | 6.004 | 8.970 | 12.000 | 14.994 | 16.458 |
| T-13 | 9.221 | 6.354 | 3.615 | 2.005 | 3.585 | 6.305 | 9.153 | 12.108 | --- | 9.022 | 6.033 | 3.009 | | 2.983 | 5.948 | 8.979 | 11.972 | 13.437 |
| T-14 | 12.140 | 9.221 | 6.305 | 3.636 | 1.986 | 3.606 | 6.279 | 9.183 | --- | 11.998 | 9.009 | 5.985 | 2.975 | | 2.966 | 5.996 | 8.990 | 10.454 |
| T-15 | 15.074 | 12.135 | 9.169 | 6.330 | 3.571 | 2.005 | 3.590 | 6.319 | --- | 14.964 | 11.975 | 8.952 | 5.942 | 2.967 | | 3.030 | 6.024 | 7.488 |
| T-16 | 18.083 | 15.133 | 12.145 | 9.257 | 6.319 | 3.608 | 1.988 | 3.569 | --- | 17.996 | 15.007 | 11.983 | 8.974 | 5.998 | 3.031 | | 2.994 | 4.458 |
| T-17 | 21.078 | 18.123 | 15.124 | 12.216 | 9.228 | 6.340 | 3.651 | 2.000 | --- | 21.005 | 18.016 | 14.992 | 11.983 | 9.007 | 6.041 | 3.009 | | 1.464 |
| T-18 | 22.508 | 19.550 | 16.547 | 13.632 | 10.630 | 7.708 | 4.902 | 2.457 | --- | 22.444 | 19.455 | 16.432 | 13.422 | 10.447 | 7.480 | 4.449 | 1.440 | |

Fuente: Elaboración Propia.

En la matriz que presenta la Tabla 20 generada de las diferencias de distancias topográficas y de la medida de la nube de puntos, se observa que entre los diferentes puntos materializados en la resolución 1/20, los ubicados en T-08, T-09, T-17 y T-18 que son los más alejados del escáner láser, no permitieron por su pixelado ubicar el centro de los puntos materializados, así que no se pudo determinar la distancia entre ellos y los otros puntos.

Tabla 20. Matriz de distancias topográficas y de resolución baja de 1/20

DISTANCIAS REALES - ESTACION TOTAL (m)

| | T-01 | T-02 | T-03 | T-04 | T-05 | T-06 | T-07 | T-08 | T-09 | T-10 | T-11 | T-12 | T-13 | T-14 | T-15 | T-16 | T-17 | T-18 |
|------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| T-01 | | 2.971 | 5.994 | 8.944 | 11.974 | 14.984 | 17.926 | 20.952 | 22.452 | 1.997 | 3.576 | 6.307 | 9.223 | 12.153 | 15.086 | 18.094 | 21.072 | 22.530 |
| T-02 | 2.969 | | 3.023 | 5.972 | 9.003 | 12.013 | 14.955 | 17.981 | 19.481 | 3.598 | 1.997 | 3.614 | 6.355 | 9.235 | 12.147 | 15.144 | 18.116 | 19.572 |
| T-03 | 5.985 | 3.016 | | 2.949 | 5.980 | 8.990 | 11.932 | 14.958 | 16.458 | 6.339 | 3.627 | 1.997 | 3.611 | 6.318 | 9.178 | 12.154 | 15.115 | 16.568 |
| T-04 | 8.930 | 5.961 | 2.946 | | 3.031 | 6.041 | 8.983 | 12.008 | 13.509 | 9.186 | 6.303 | 3.573 | 1.999 | 3.643 | 6.333 | 9.258 | 12.198 | 13.645 |
| T-05 | 12.010 | 9.042 | 6.026 | 3.081 | | 3.010 | 5.952 | 8.978 | 10.478 | 12.162 | 9.227 | 6.317 | 3.580 | 2.004 | 3.589 | 6.334 | 9.222 | 10.657 |
| T-06 | 15.047 | 12.078 | 9.062 | 6.117 | 3.036 | | 2.942 | 5.968 | 7.468 | 15.139 | 12.184 | 9.222 | 6.306 | 3.607 | 2.003 | 3.606 | 6.318 | 7.721 |
| T-07 | 17.886 | 14.917 | 11.902 | 8.957 | 5.876 | 2.840 | | 3.026 | 4.526 | 18.059 | 15.093 | 12.110 | 9.144 | 6.269 | 3.586 | 2.005 | 3.650 | 4.940 |
| T-08 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 1.500 | 21.069 | 18.097 | 15.102 | 12.114 | 9.187 | 6.325 | 3.582 | 2.004 | 2.497 |
| T-09 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 22.563 | 19.589 | 16.591 | 13.596 | 10.656 | 7.763 | 4.898 | 2.489 | 2.005 |
| T-10 | 1.993 | 3.595 | 6.322 | 9.176 | 12.190 | 15.198 | 18.016 | --- | --- | | 2.988 | 6.005 | 9.026 | 12.009 | 14.974 | 18.005 | 20.998 | 22.463 |
| T-11 | 3.593 | 2.023 | 3.617 | 6.301 | 9.255 | 12.242 | 15.049 | --- | --- | 2.993 | | 3.016 | 6.038 | 9.020 | 11.986 | 15.017 | 18.010 | 19.475 |
| T-12 | 6.317 | 3.633 | 2.005 | 3.591 | 6.347 | 9.285 | 12.070 | --- | --- | 6.005 | 3.012 | | 3.021 | 6.004 | 8.970 | 12.000 | 14.994 | 16.458 |
| T-13 | 9.246 | 6.382 | 3.637 | 2.048 | 3.585 | 6.350 | 9.085 | --- | --- | 9.045 | 6.052 | 3.040 | | 2.983 | 5.948 | 8.979 | 11.972 | 13.437 |
| T-14 | 12.172 | 9.259 | 6.346 | 3.704 | 2.012 | 3.667 | 6.227 | --- | --- | 12.020 | 9.027 | 6.015 | 2.975 | | 2.966 | 5.996 | 8.990 | 10.454 |
| T-15 | 15.029 | 12.093 | 9.127 | 6.298 | 3.483 | 1.981 | 3.576 | --- | --- | 14.919 | 11.927 | 8.915 | 5.875 | 2.900 | | 3.030 | 6.024 | 7.488 |
| T-16 | 18.029 | 15.082 | 12.095 | 9.211 | 6.220 | 3.482 | 1.954 | --- | --- | 17.942 | 14.950 | 11.938 | 8.898 | 5.923 | 3.023 | | 2.994 | 4.458 |
| T-17 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 1.464 |
| T-18 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

Fuente: Elaboración Propia.

Las tres Tablas 18, 19 y 20 de las matrices presentan las distancias medidas por el proceso topográfico entre todos los monumentos de concreto T-01 a T-18 y su correspondiente distancia calculada por coordenadas entre todos los puntos de los targets. Los datos de distancia medidos sobre cada una de las resoluciones alta, media y baja del escáner láser de los materializados de concretos cuadriculados T-01 a T-18 y entre cada uno de ellos. Debido a que el proceso topográfico fue el georreferenciado con varios controles de distancias al milímetro y lecturas de ángulos al segundo, se deja como base para poder compararlo con las otras tres resoluciones tomadas por el equipo para determinar cuál es la mejor resolución en la generación de modelo digital de terreno.

4.1.1.1. Prueba de t de student

Después a haber registrado las distancias en metros. Con diferentes métodos de levantamiento siendo emparejados los datos se presentan en la Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20 las matrices de distancias topográficas y de resolución alta de 1/1 y media 1/8 y baja de 1/20. Para evaluar si existe diferencia en los métodos de medición se recurre a la prueba estadística “**prueba de t de Student**” la cual nos lleva a los siguientes resultados:

- i. Grados de libertad (para el modelo 1 resolución alta de 1/1)

$$GL_{trat.} = t - 1 = 2 - 1 = 1$$

$$GL_{error} = t(r - 1) = 2(153 - 1) = 304$$

$$GL_{total} = tr - 1 = 2 * 153 - 1 = 305$$

- ii. Suma de cuadrados (para el modelo 1 resolución alta de 1/1)

$$TC = \frac{Y^2}{tr} = \frac{2860.3910^2}{2 * 153} = 26738.028343$$

$$SC_{trat} = \sum_{t=1}^2 \frac{Y_1^2}{r} - TC = \frac{1430.014^2 + 1430.377^2}{153} - 26738.028343$$

$$= 0.000431$$

$$SC_{total} = \sum_{t=1}^n Y_{ij}^2 - TC = 18487.66749 + 18496.69074 - 26738.028343$$

$$= 10246.329886$$

$$SC_{Error Exp} = SC_{total} - SC_{trat} = 10246.329886 - 0.000431$$

$$= 10246.329456$$

- iii. Promedios de los cuadrados (para el modelo 1 resolución alta de 1/1)

$$CM_{trat} = \frac{SC_{trat}}{t - 1} = \frac{0.000431}{1} = 0.000431$$

$$CM_{Error Exp} = \frac{SC_{Error Exp}}{t(r - 1)} = \frac{10246.329456}{304} = 33.705031$$

$$F_c = \frac{CM_{trat}}{CM_{Error\ Exp}} = \frac{0.000431}{33.705031} = 0.000013$$

Tabla 21. Análisis de varianza (t de Student)

| Modelo | F. de V. | G.L. | S.C. | C.M. | Fc | Pr>F |
|------------------------|----------|------|-------------|----------|----------|----------|
| 1. Alta 1/1 | Métodos | 1 | 0.00043 | 0.00043 | 0.000013 | 0.997150 |
| | Residuos | 304 | 10246.32946 | 33.70503 | | |
| | Total | 305 | 10246.32989 | | | |
| 2. Media 1/2 | Métodos | 1 | 0.00177 | 0.00177 | 0.000057 | 0.993997 |
| | Residuos | 270 | 8407.33877 | 31.13829 | | |
| | Total | 271 | 8407.34053 | | | |
| 3. Baja 1/3 | Métodos | 1 | 0.00411 | 0.00411 | 0.000199 | 0.988759 |
| | Residuos | 180 | 3717.41795 | 20.65232 | | |
| | Total | 181 | 3717.42206 | | | |

Fuente: Elaboración Propia.

La prueba de análisis de varianza (ANOVA) a un nivel de significancia de 95% ha demostrado que no existe diferencia significativa siendo que F calculado en los tres modelos es menor que F tabulado.

Planteamiento de hipótesis

Levantamiento con escáner láser en las resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 **en contrastación** con estación total.

Bilateral

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

H_0 : levantamiento con escáner láser (1/1, 1/8 y 1/20) = levantamiento con estación total.

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j$$

H_a : levantamiento con escáner láser (1/1, 1/8 y 1/20) \neq levantamiento con estación total.

Nivel de significación: $\alpha = 0.01$ ó $\alpha = 0.05$

Prueba estadística (prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales).

$$|t_c| = \frac{\bar{d}}{S_d / \sqrt{n}}$$

Donde: n es el número de pares; $\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$ y $S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}}$ con d_i = diferencia entre las observaciones registradas en i -ésima unidad muestral.

Regla de decisión

Si $-t_{(tabla)} \leq t_c \leq t_{(tabla)}$ se acepta H_0

Si $|t_c| > t_{(tabla)}$ ó $|t_c| \leq -t_{(tabla)}$ se rechaza H_0

Cálculos: Prueba t para Levantamiento con escáner láser en las resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 **en contrastación** con estación total.

$$|t_c| = \frac{\bar{d}}{S_d / \sqrt{n}} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i}{\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}}}{\sqrt{n}}} = \frac{\frac{1}{153} * (-0.363)}{\frac{\sqrt{\frac{1.251}{153-1}}}{\sqrt{153}}} = -0.0035743$$

Resultados de prueba de t Student $\alpha = 0.01$ y $\alpha = 0.05$

Tabla 22. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales $\alpha=0.01$

| | Modelo 1 | | Modelo 2 | | Modelo 3 | |
|-------------------------------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | E.T. | R:1/1 | E.T. | R:1/8 | E.T. | R:1/20 |
| Media | 9.34650 | 9.3488 | 9.07347 | 9.0683 | 7.68287 | 7.6733 |
| Varianza | 33.69767 | 33.7123 | 31.14720 | 31.1293 | 20.68756 | 20.6170 |
| Observaciones | 153 | 153 | 136 | 136 | 91 | 91 |
| Varianza agrupada | 33.70503 | | 31.13829 | | 20.65232 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | | 0 | | 0 | |
| Grados de libertad | 304 | | 270 | | 180 | |
| Estadístico t | -0.00357 | | 0.00753 | | 0.01411 | |
| P(T<=t) una cola | 0.49858 | | 0.49700 | | 0.49438 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 2.33868 | | 2.34024 | | 2.34724 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.99715 | | 0.99400 | | 0.98876 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2.59210 | | 2.59416 | | 2.60342 | |

Fuente: Microsoft Office Excel 2016.

Tabla 23. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales $\alpha=0.05$

| | Modelo 1 | | Modelo 2 | | Modelo 3 | |
|-------------------------------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | E.T. | R:1/1 | E.T. | R:1/8 | E.T. | R:1/20 |
| Media | 9.34650 | 9.3488 | 9.07347 | 9.0683 | 7.68287 | 7.6733 |
| Varianza | 33.69767 | 33.7123 | 31.14720 | 31.1293 | 20.68756 | 20.6170 |
| Observaciones | 153 | 153 | 136 | 136 | 91 | 91 |
| Varianza agrupada | 33.70503 | | 31.13829 | | 20.65232 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | | 0 | | 0 | |
| Grados de libertad | 304 | | 270 | | 180 | |
| Estadístico t | -0.00357 | | 0.00753 | | 0.01411 | |
| P(T<=t) una cola | 0.49858 | | 0.49700 | | 0.49438 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.64988 | | 1.65052 | | 1.65336 | |
| P(T<=t) dos colas | 0.99715 | | 0.99400 | | 0.98876 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 1.96780 | | 1.96879 | | 1.97323 | |

Fuente: Microsoft Office Excel 2016.

Si $-t_{0.01,n} \leq t_c \leq t_{0.01,n}$ se acepta H_0

Res. alta de 1/1: como $-2.5921 \leq -0.0035 \leq 2.5921$ se acepta H_0

Res. media de 1/8: como $-2.5941 \leq 0.0075 \leq 2.5941$ se acepta H_0

Res. baja de 1/20: como $-2.6034 \leq 0.0141 \leq 2.6034$ se acepta H_0

Si $-t_{0.05,n} \leq t_c \leq t_{0.05,n}$ se acepta H_0

Res. alta de 1/1: como $-1.9678 \leq -0.0035 \leq 1.9678$ se acepta H_0

Res. media de 1/8: como $-1.9687 \leq 0.0075 \leq 1.9687$ se acepta H_0

Res. baja de 1/20: como $-1.9732 \leq 0.0141 \leq 1.9732$ se acepta H_0

Tabla 24. Conclusión de hipótesis

| modelo | Contrastación | H_0 : | H_a : | $t_{0.01,n}$ | $t_{0.05,n}$ | Sig. |
|--------------------|----------------------------------|---------|---------|--------------|--------------|------|
| 1. Alta 1/1 | Lev. con escáner láser R:1/1 | Acepta | Rechaza | 2.5921 | 1.9678 | * |
| | Vs | | | | | |
| 2. media 1/8 | Lev. con estación total R:1/8 | Acepta | Rechaza | 2.5941 | 1.9687 | * |
| | Vs | | | | | |
| 3. baja 1/20 | Lev. con escáner láser R:1/20 | Acepta | Rechaza | 2.6034 | 1.9732 | * |
| | Vs | | | | | |
| | Lev. con estación total | | | | | |

Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación

Resolución alta de 1/1: $t_{0.01,153} = 2.5921$ y $t_{0.05,153} = 1.9678$; t, también llamado t crítico; si el obtenido $t_c = 0.0035$ es menor que el valor crítico para ambos casos $t_{0.01,153}$ y $t_{0.05,153}$, por lo tanto se acepta la hipótesis de Nulidad.

Resolución media de 1/8: $t_{0.01,136} = 2.5941$ y $t_{0.05,136} = 1.9687$; t, también llamado t crítico; si el obtenido $t_c = 0.0075$ es menor que el valor crítico

para ambos casos $t_{0.01,153}$ y $t_{0.05,153}$, por lo tanto se acepta la hipótesis de Nulidad.

Resolución baja de 1/20: $t_{0.01,91} = 2.6034$ y $t_{0.05,91} = 1.9732$; t , también llamado t crítico; si el obtenido $t_c = 0.0141$ es menor que el valor crítico para ambos casos $t_{0.01,153}$ y $t_{0.05,153}$, por lo tanto se acepta la hipótesis de Nulidad.

Podemos decir que la técnica levantamiento con escáner láser en las resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 es confiable en contrastación con una estación total en la generación de modelos digitales de terreno, ya que t_c obtenida para un nivel de significancia de 0.01 y 0.05, en su ensayo bilateral, los resultados estadísticamente no son significativos y se encuentran dentro del área de aceptación bajo la curva distribución “ t ” para los tres modelos.

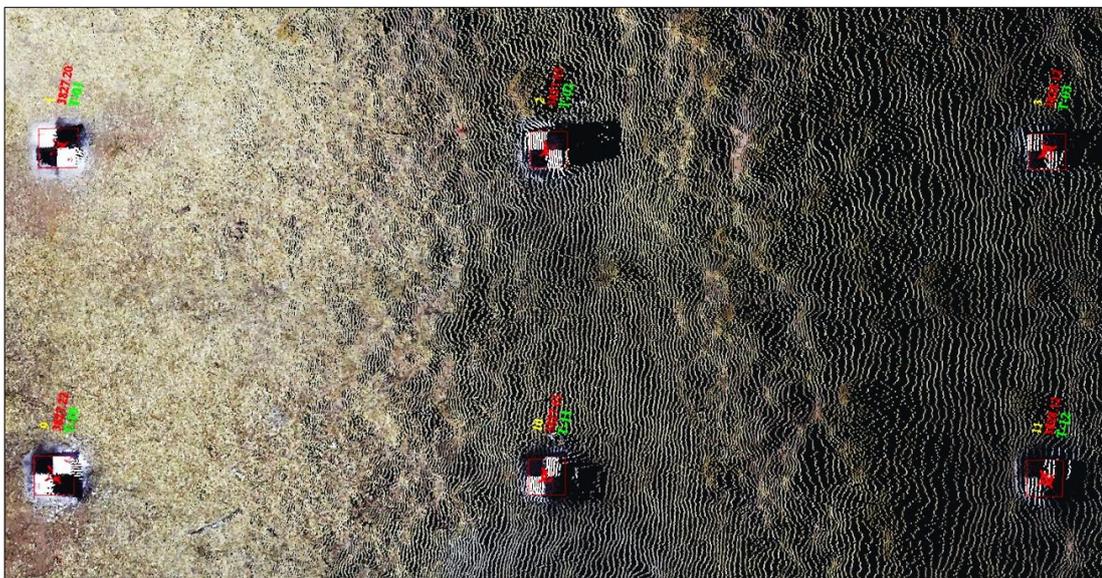


Figura 106. Contrastación de método de levantamiento en la generación MDT.
Fuente: Elaboración Propia.

El método de levantamiento con escáner láser es confiable en la generación de modelos digitales de terreno siempre y cuando se tenga una poligonal bien ajustado y a la vez georreferenciado aun sistema de coordenadas.

4.1.1.2. Análisis de regresión lineal simple

Para analizar si están relacionadas en forma lineal entre X y Y. En este estudio son los datos topográficos y con base en tres diferentes resoluciones del escáner láser alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20, se determinó las resoluciones para una determinada distancia. La regresión lineal simple se realizó con el software IBM SPSS Statistics 19.

Análisis de varianza (ANOVA). - Es un cuadro resumen del análisis de varianza, este estadísticamente se usa para una prueba del modelo de regresión lineal propuesto a un nivel de confianza 95%.

- i. Grados de libertad (ejemplo para el modelo 1 resolución alta de 1/1)

$$GL_{regresion} = p - 1 = 2 - 1 = 1$$

$$GL_{error} = n - 2 = 153 - 2 = 151$$

$$GL_{total} = n - 1 = 153 - 1 = 152$$

- ii. Suma de cuadrados (ejemplo para el modelo 1 resolución alta de 1/1)

$$SC_{Regresion} = \frac{\left[\sum X_i Y_i - \frac{(\sum X_i)(\sum Y_i)}{n} \right]^2}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}$$

$$SC_{Regresion} = \frac{\left[18492.17741 - \frac{1430.014 * 1430.377}{153} \right]^2}{18487 - \frac{(1430.014)^2}{153}} = 5124.28084$$

$$SC_{Total} = \sum_{i=1}^{n=153} Y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^{n=153} Y_i)^2}{n} = 18496.69074 - \frac{(1430.377)^2}{153}$$

$$= 5124.28315$$

$$SC_{Error\ Res.} = SC_{Total} - SC_{Regresion} = 5124.28315 - 5124.28084$$

$$= 0.00230$$

iii. Promedios de los cuadrados (ejemplo para el modelo 1 resolución alta de 1/1)

$$CM_{Regresion} = \frac{SC_{Regresion}}{p - 1} = \frac{5124.28084}{1} = 5124.28084$$

$$CM_{Error\ Res.} = \frac{SC_{Error\ Res.}}{n - 2} = \frac{0.00230}{151} = 0.00002$$

$$F = \frac{CM_{Regresion}}{CM_{Error\ Res.}} = \frac{5124.28084}{0.00002} = 336111875.579$$

Tabla 25. Análisis de varianza (modelo de regresion)

| N° Modelo | Fuente de Variación | G. L. | Suma de cuadrados | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad de F (Sig.) |
|--------------------|---------------------|-------|-------------------|---------------------------|--------------|--------------------------|
| 1 alta 1/1 | Regresión | 1 | 5124.28084 | 5124.28084 | 336111875.57 | |
| | Residuos | 151 | 0.00230 | 0.00002 | | 0.000 |
| | Total | 152 | 5124.28315 | | | |
| 2 media 1/8 | Regresión | 1 | 4202.45104 | 4202.45104 | 36342305.120 | |
| | Residuos | 134 | 0.01550 | 0.00012 | | 0.000 |
| | Total | 135 | 4202.46653 | | | |
| 3 baja 1/20 | Regresión | 1 | 1855.35025 | 1855.35025 | 880554.064 | |
| | Residuos | 89 | 0.18753 | 0.00211 | | 1.35E-179 |
| | Total | 90 | 1855.53778 | | | |

a. Variables independiente: (Constante), ESTACION TOTAL
 b. Variable dependiente: Res. de Escáner Láser Alta de 1/1, Media de 1/8 y Alta de 1/20

Fuente: Software IBM SPSS Statistics 19.

La columna **Sig**, corresponde al valor de probabilidad de F. Es la probabilidad de obtener el valor de F si la hipótesis nula fuera cierta. Como este

valor es menor que 0,05 se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el modelo de regresión es válido.

Los resultados que muestra en la Tabla 25 para el modelo de regresión con un nivel de confianza de 0.05, en la columna **Sig.** los valores obtenidos son menores que 0.05, para cada uno de los modelos; resolución alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20 entonces el modelo de regresión es significativo es decir que están relacionadas en forma lineal x y Y (levantamiento con estación total y levantamiento con escáner láser en las resoluciones alta de 1/1, media de 1/8, baja de 1/20), entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Contraste de hipótesis del modelo de regresión

bilateral

$H_0: \beta_1 = 0$ (hipótesis nula)

H_0 : regresión no lineal entre X y Y , en este estudio son el levantamiento con estación total y el levantamiento con escáner láser en las resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20.

$H_a: \beta_1 \neq 0$ (hipótesis alternativa)

H_a : están relacionadas en forma lineal X y Y , en este estudio son el levantamiento con estación total y el levantamiento con escáner láser en las resoluciones alta de 1/1, media de 1/8 y baja de 1/20.

Nivel de confianza: $\alpha = 5\% = 0.05$

Prueba estadística (ejemplo para el modelo 3 resolución baja de 1/20)

$$F_0 = \frac{SCR/1}{SCE/(n-2)} = \frac{CMR}{CME} = \frac{1855.35025}{0.00211} = 880554.064$$

Regla de decisión: La H_0 se rechaza si, (para el modelo 3 res. baja de 1/20)

$$F_0 > F(\alpha, 1, n - 2) = F_0 > F_{0.05} \text{ con } m_1 = 1, m_2 = 89$$

$$F_{0.05,1,89} = 3.95 \quad (\text{de la Tabla F})$$

En conclusión, a que $F_0 > 3.96$ se rechaza H_0 y se acepta H_a , es decir X y Y si están relacionadas en forma lineal, entonces el modelo de regresión es significativo. Obteniendo los siguientes resultados de hipótesis para cada modelo en la Tabla 26.

Tabla 26. Resultado de hipótesis para cada modelo

| N° Modelo | Hipótesis | |
|-----------------|---|------------|
| 1. alta 1/1 | H_0 Regresión no lineal entre el lev. con estación total y lev. Con escáner láser en la resolución alta de 1/1. | Se rechaza |
| | H_1 Están relacionadas en forma lineal entre el lev. con estación total y lev. Con escáner láser en la resolución alta de 1/1. | Se acepta |
| 2. media 1/8 | H_0 Regresión no lineal entre el lev. Con estación total y lev. con escáner láser en la resolución media de 1/8. | Se rechaza |
| | H_1 Están relacionadas en forma lineal entre el lev. con estación total y lev. Con escáner láser en la resolución media de 1/8. | Se acepta |
| 3. baja 1/20 | H_0 Regresión no lineal entre el lev. Con estación total y lev. con escáner láser en la resolución baja de 1/20. | Se rechaza |
| | H_1 Están relacionadas en forma lineal entre el lev. con estación total y lev. Con escáner láser en la resolución baja de 1/20. | Se acepta |

Fuente: Elaboración Propia.

A. Coeficientes de correlación lineal y determinación

Tabla 27. Estadística de la regresión

| N° Modelo | Coeficiente de correlación lineal | Coeficiente de determinación R ² | R ² ajustado | Error típ. De la estimación | Observaciones |
|--------------|-----------------------------------|---|-------------------------|-----------------------------|---------------|
| 1. alta 1/1 | 1.00000 (a) | 1.00000 | 1.00000 | 0.00391 | 153 |
| 2. media 1/8 | 1.00000 (a) | 1.00000 | 1.00000 | 0.01075 | 136 |
| 3. baja 1/20 | 0.99994 (a) | 0.99989 | 0.99989 | 0.04590 | 91 |

a. Variables predictoras: (Constante), ESTACION TOTAL
b. Variable dependiente: Res. de Escáner Láser Alta 1/1, Media 1/8 y Baja 1/20

Fuente: Software IBM SPSS Statistics 19.

Interpretación

Como se muestra en la Tabla 27 el coeficiente de determinación toma valores de 1 para los modelos 1 y 2, explica que las resoluciones alta de 1/1 y media de 1/8 del escáner láser mayor es el grado de asociación lineal que existe entre X y Y , por lo tanto, mayor es la confiabilidad de regresión lineal. Entonces multiplicando el coeficiente de determinación por 100% obtenemos alto significativo tal como se muestra en Tabla 28. Se puede observar que el coeficiente de correlación lineal r es igual a 1 para los modelos 1 y 2, es decir que el coeficiente correlación es perfecto.

Tabla 28. Porcentaje de ajuste de regresión lineal

| N° Modelo | Coeficiente de determinación R ² | ajuste regresión lineal (%) | Descripción |
|--------------|---|-----------------------------|---------------------------|
| 1. alta 1/1 | 1.00000 | 100.000 | Correlación perfecta |
| 2. media 1/8 | 1.00000 | 100.000 | Correlación perfecta |
| 3. baja 1/20 | 0.99989 | 99.989 | Correlación casi perfecta |

Fuente: Elaboración Propia.

B. Análisis de ecuación de regresión lineal

Haciendo la regresión lineal simple se esperaba que las distancias reales fueran iguales a las distancias medidas por cada una de las tres resoluciones, es decir:

$$DR=Ri$$

Donde:

DR: Distancia Real

R: Resolución

i: 1, 2 y 3 (Res. Alta de 1/1, Res. Media 1/8 y Res. Baja de 1/20)

Tabla 29. Coeficientes (a)

| N° Modelo | | Coeficientes no estandarizados | | Estadístico t | Sig. |
|----------------|--------------------------|--------------------------------|--------------|---------------|--------|
| | | B | Error típico | | |
| 1 alta 1/1 | Intercepción | 0.00033 | 0.0006 | 0.5570 | 0.5784 |
| | Variable x (β_1) | 1.00022 | 0.0001 | 18333.3542 | 0.0000 |
| 2 media 1/8 | Intercepción | -0.00248 | 0.0018 | -1.4070 | 0.1618 |
| | Variable x (β_1) | 0.99971 | 0.0002 | 6028.4579 | 0.0000 |
| 3 baja 1/20 | Intercepción | 0.00398 | 0.0095 | 0.4195 | 0.6758 |
| | Variable x (β_1) | 0.99824 | 0.0011 | 938.3784 | 0.0000 |

a. Variable dependiente: Res. de Escáner Láser Alta 1/1, Media 1/8 y Alta 1/20

Fuente: Software IBM SPSS Statistics 19.

Interpretación de la ecuación de regresión lineal

a. Análisis de la resolución alta de 1/1

Para esta resolución alta de 1/1 se trabajó con 153 datos en su totalidad de investigación. Para describir el modelo 1 de la regresión lineal simple de la resolución alta de 1/1 (R1), utilizamos los resultados de coeficientes obtenidos

en la Tabla 29, a partir de la columna β , y el coeficiente de determinación (R^2) obteniendo de la Tabla 27. a continuación, se presenta la regresión lineal:

$Y = 1.00022x + 0.00033$ con $R^2 = 1.00000$ es lo mismo decir que:

$$DR = 1.00022R1 + 0.00033$$

Donde:

DR: Variable Independiente (distancia real)

R1: Variable Dependiente (distancias de resolución alta de 1/1)

Se concluye que el coeficiente de terminación (R^2) ajusta al 100%, pero además se adquiere una regresión casi exacta a la esperada.

Dispersión. - Análisis grafico como se observa en la Figura 107 de las diferencias de dispersión de los 153 datos y distancias en metros para la resolución alta de 1/1 las separaciones de los datos no sobrepasan los 10mm de separación del punto cero. Con la resolución alta 1/1, no pasa el valor del centímetro. Esto se presenta por la cercanía del escáner y su láser a los datos medidos. Se observa que a una distancia mayor de los 23 m los datos no están muy alejados de la línea de valor cero encontrándose entre los 5 mm y 10 mm de separación. La luz láser recoge en esta resolución buena información de los targets medidos. Los datos se encuentran concentrados cerca al valor cero en distancias pequeñas.

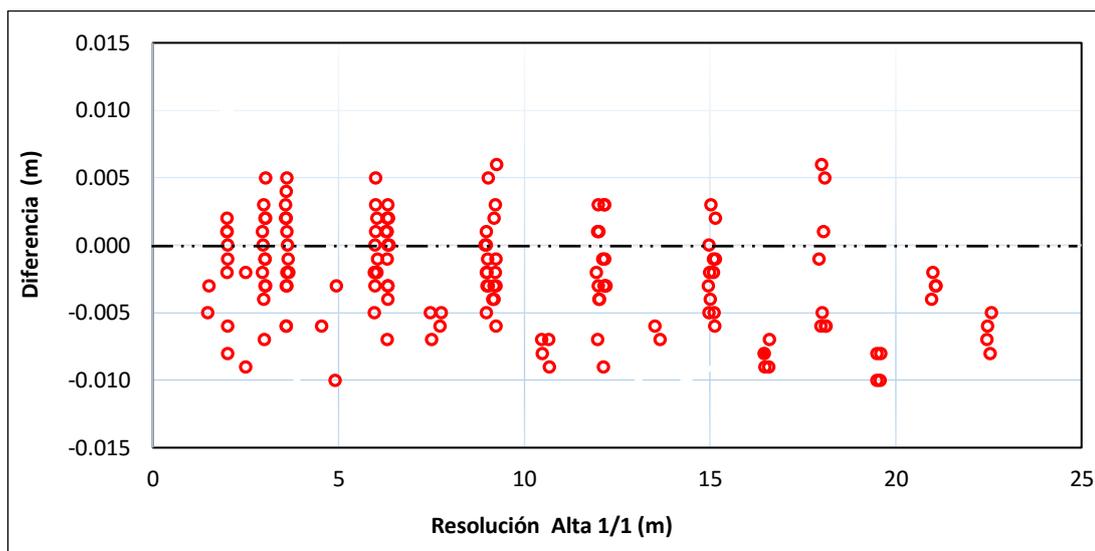


Figura 107. Diferencias de Dispersión en Distancia (m) de la Res. Alta de 1/1 (153 datos).
Fuente: Software IBM SPSS Statistics 19.

Normalidad de los residuos. - Para verificar esta hipótesis se utilizó el gráfico de histograma de los residuos, en este caso no se detecta falta de normalidad en la Figura 108. Por lo tanto, se concluye que no se encuentran diferencias estadísticamente significativas para rechazar la hipótesis de normalidad para la resolución alta de 1/1.

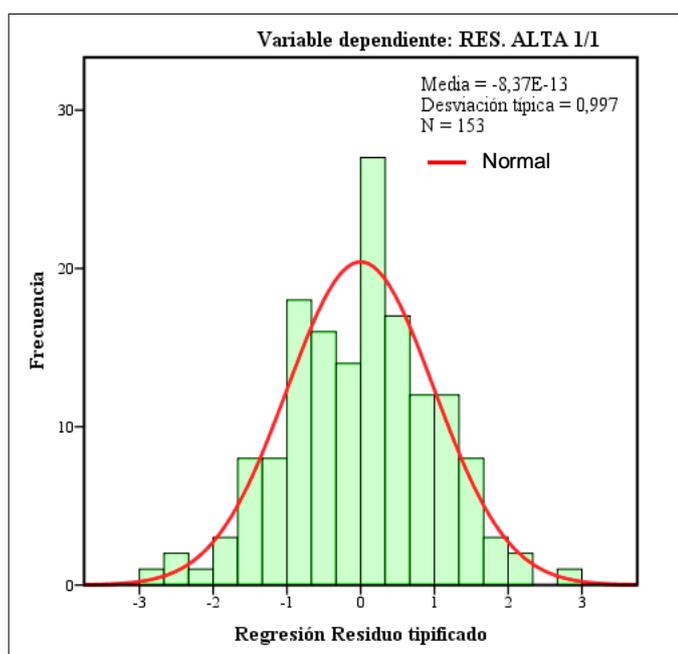


Figura 108. Histograma para la resolución alta de 1/1.
Fuente: Software IBM SPSS Statistics 19.

b. Análisis de la resolución media de 1/8

Para esta resolución media de 1/8 se trabajó con 136 datos, con una pérdida de 17 datos de la investigación. Para describir el modelo 2 de la regresión lineal simple de la resolución media de 1/8 (R_2), utilizamos los resultados de coeficientes obtenidos en la Tabla 29, a partir de la columna β , y el coeficiente de determinación (R^2) obteniendo de la Tabla 27. a continuación, se presenta la regresión lineal:

$$Y = 0.99971x - 0.00248 \quad \text{con} \quad R^2 = 1.00000 \text{ es lo mismo decir que:}$$
$$DR = 0.99971R_2 - 0.00248$$

Donde:

DR: Variable Independiente (distancia real)

R_2 : Variable Dependiente (distancias de resolución media de 1/8)

Se concluye que el coeficiente de terminación (R^2) ajusta al 100%, es decir que, aunque esta resolución es muy buena, el número de datos es más pequeño, dado que con esta se puede predecir muy cerca el valor real no se obtienen los resultados tan cercanos como con la primera resolución.

Dispersión. - Análisis gráfico como se observa en la Figura 109 de las diferencias de dispersión de los 136 datos y distancias en metros para la resolución media de 1/8, se observa a lo largo de toda la distancia muestra que las variaciones son muy pequeñas en los errores llegando a un rango de -0.02 m a +0.03 m en los mismos 23 m. Con la resolución media 1/8, alcanza todavía a una distancia de 23 m y las separaciones del punto cero son muy homogéneas.

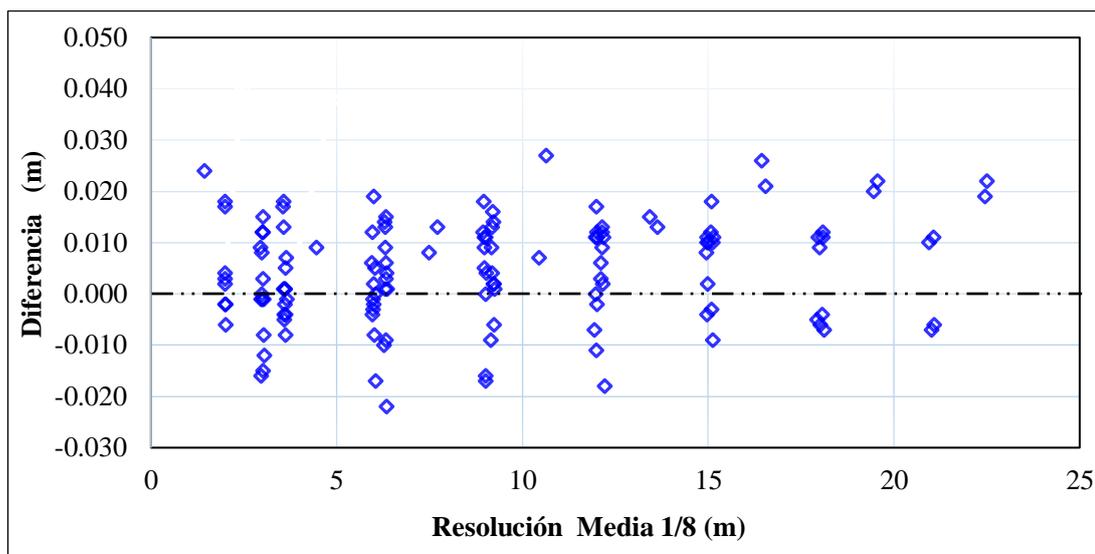


Figura 109. Diferencias de Dispersión en Distancia (m) de la Res. Media de 1/8 (136 datos).
Fuente: Software IBM SPSS Statistics 19.

Normalidad de los residuos. - Para verificar esta hipótesis se utilizó el gráfico de histograma de los residuos, en este caso no se detecta falta de normalidad en la Figura 110. Por lo tanto, se concluye que no se encuentran diferencias estadísticamente significativas para rechazar la hipótesis de normalidad para la resolución media de 1/8.

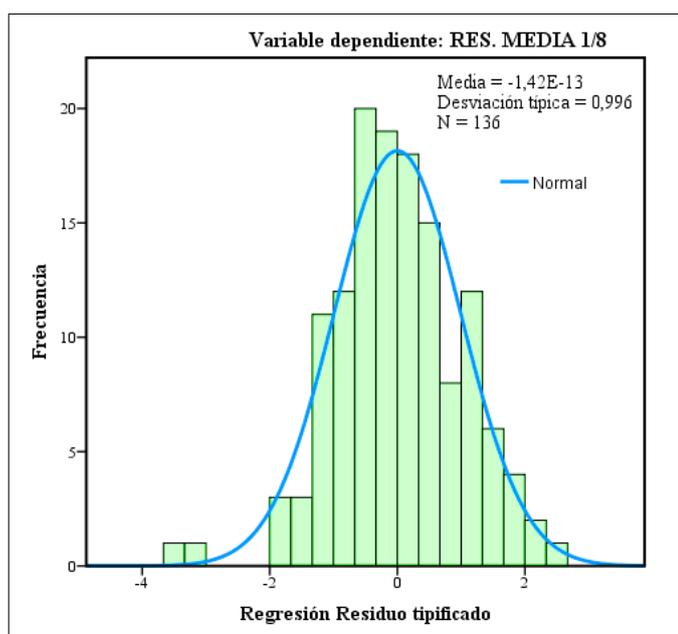


Figura 110. Histograma para la resolución media de 1/8.
Fuente: Software IBM SPSS Statistics 19.

c. Análisis de la resolución baja de 1/20

Para esta resolución baja de 1/20 se trabajó con 91 datos, con una pérdida de 62 datos esto implica a 60% de datos del total. Para describir el modelo 3 de la regresión lineal simple de la resolución baja de 1/20 (R_2), utilizamos los resultados de coeficientes obtenidos en la Tabla 29, a partir de la columna β , y el coeficiente de determinación (R^2) obteniendo de la Tabla 27. a continuación, se presenta la regresión lineal:

$$Y = 0.99824x + 0.00398 \text{ con } R^2 = 0.99989 \text{ es lo mismo decir que:}$$
$$DR = 0.99824R_3 + 0.00398$$

Donde:

DR: Variable Independiente (distancia real)

R3: Variable Dependiente (distancias de resolución baja de 1/20)

Se concluye que el coeficiente de terminación (R^2) ajusta al 99.989%, es decir que está resolución, comparada con las otras dos no es buena, ya que no ajusta perfectamente con ellas y además los valores que se esperaban, se alejan más que con las anteriores.

Dispersión. - Análisis gráfico como se observa en la Figura 111 se presentan 91 datos de los resultados de la resolución más baja de 1/20 donde la dispersión alcanza a los rangos de -0.10 m a +0.15 m. Se observa que en distancias menores a 12 m se presentan datos cercanos al valor cero, pero también en esas mismas distancias datos que están separados en 0.10 m del centro. No hay valores a mayores distancias de 18 m. El grado de dispersión es alto, el láser recoge menos densidad de información.

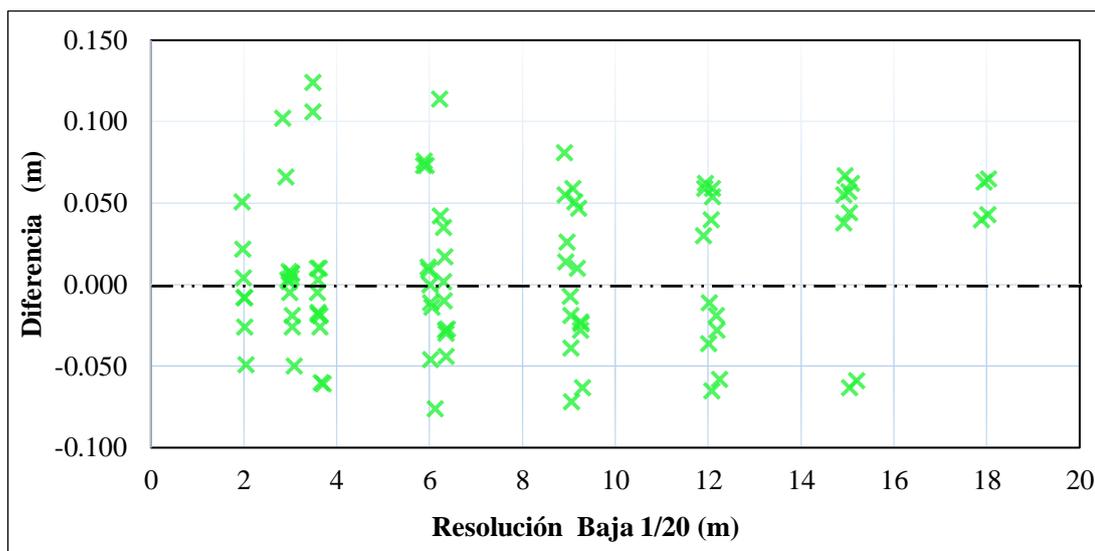


Figura 111. Diferencias de Dispersión en Distancia (m) de la Res. baja de 1/20 (91 datos).
Fuente: Software IBM SPSS Statistics 19.

Normalidad de los residuos. - Para verificar esta hipótesis se utilizó el gráfico de histograma de los residuos, en este caso no se detecta falta de normalidad en la Figura 112. Por lo tanto, se concluye que no se encuentran diferencias estadísticamente significativas para rechazar la hipótesis de normalidad para la resolución baja de 1/20.

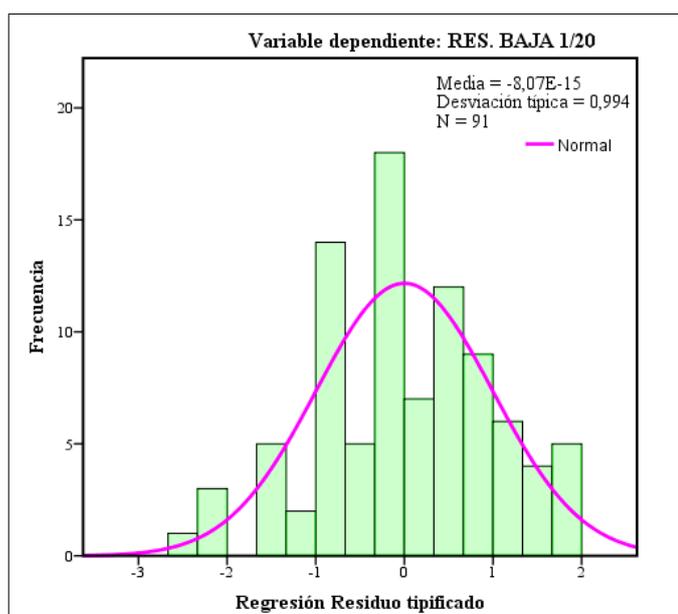


Figura 112. Histograma para la resolución baja de 1/20.
Fuente: Software IBM SPSS Statistics 19.

Dispersión de las tres resoluciones. - En la Figura 113 se muestra en conjunto todos los datos de errores, de las tres resoluciones. Lo que se observó es que los puntos de círculos rojos se dispersan en menor distancia y se mantienen alrededor de cero, alcanzando a una distancia de 23 m en eje X en su totalidad; y que los puntos de rombos azules mantienen similar comportamiento que puntos de círculos rojos, alcanzando a una distancia de 23m en eje X, pero no en su totalidad. En cambio los puntos de estrellas verdes se separan más del valor cero, aunque algunos a menor distancia en el eje X, no se dispersan tanto, alcanzando a una distancia de 18 m en el eje X lo cual pierde información a partir de 18 m y no se asemeja a las resoluciones alta de 1/1 y media de 1/8.

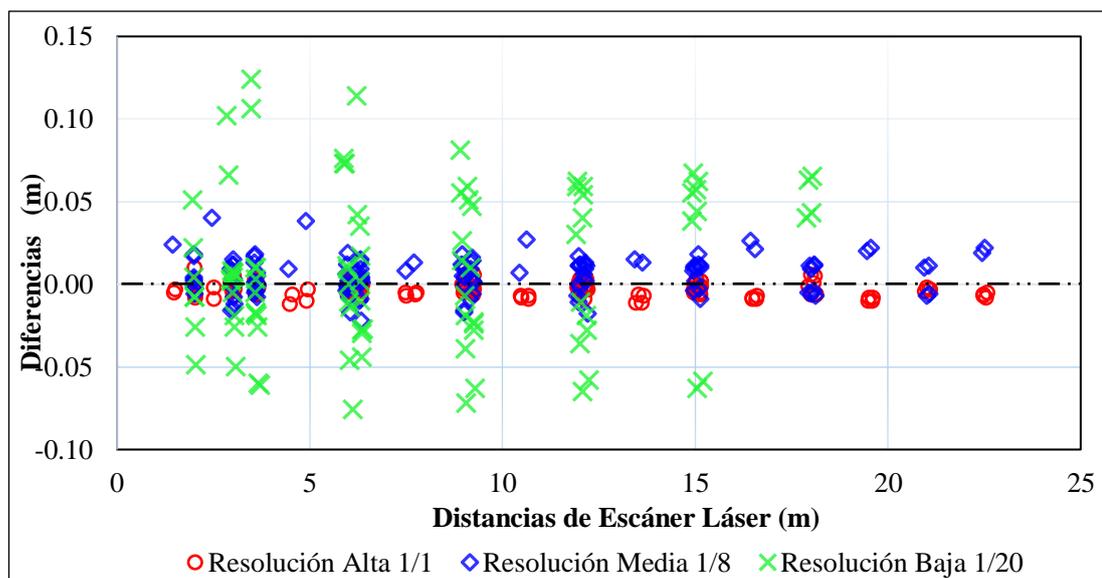


Figura 113. Diferencias de Dispersión en Distancia de las tres resoluciones.
Fuente: Software IBM SPSS Statistics 19.

Linealidad. - Comparando las distancias reales con las medidas del escáner láser en las tres resoluciones (Figura 114), dan una línea recta en donde la resolución alta de 1/1 y media 1/8 obtuvo información de los puntos ubicados a 23 m y la resolución baja de 1/20 obtuvo información de los puntos ubicados a

18 m, en todo caso se observa que el grado de dispersión no es muy alta, ya que no se alejan mucho de la recta estando los datos muy próximos a ella.

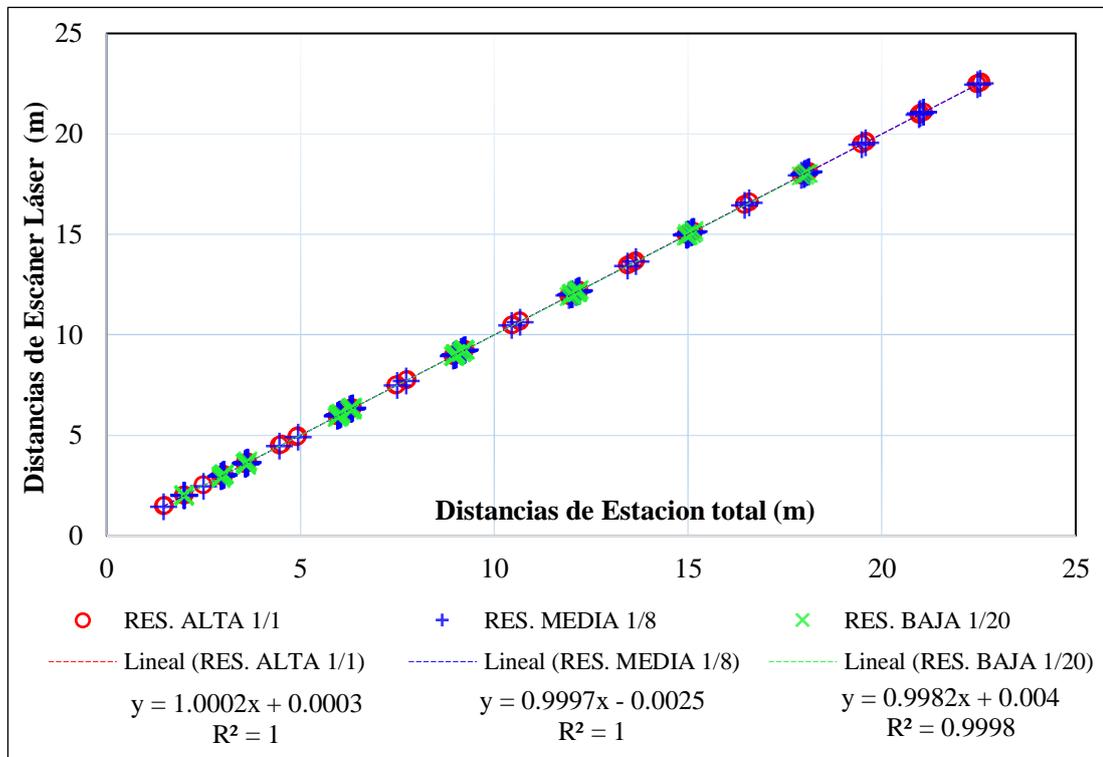


Figura 114. Medidas con escáner láser para distancia de 23 m y distancias reales.
Fuente: Software IBM SPSS Statistics 19.

C. Análisis de la mejor resolución para generar MDT

Las medidas de distancia y su separación son elementos importantes de analizar, esta información es relevante para poder desarrollar el objetivo principal, porque delimita la distancia de colocación del escáner láser con respecto a las targets o puntos de unión de las escenas.

Con respecto al tamaño de los archivos de escaneos generado en megapuntos y que están en la Tabla 8 son diferentes. Siendo la resolución alta de 1/1 el 100% del tamaño, la resolución media de 1/8 corresponde a un 12.5% de su tamaño y la resolución baja de 1/20 es un 5% del tamaño de la resolución alta

de 1/1. Estos porcentajes están muy relacionados con el tiempo de duración del escaneo, en donde la resolución alta de 1/1 es el 100% y la resolución media de 1/8 gastó un 9.4% con respecto a la resolución alta de 1/1 y la resolución baja de 1/20 un 7% del tiempo de la resolución alta de 1/1 en su duración.

En resumen, el levantamiento con escáner láser en las resoluciones alta de 1/1 y media de 1/8 el modelo de la regresión lineal es significativo contrastando con una estación total, a una determina distancia de 23 m y más la separación del equipo escáner láser del primer punto T-01 de 2m en total 25m. Al analizar las Diferencias de Dispersión en Distancia de las resoluciones 1/1, 1/8 y 1/20 en la Figura 113, se descarta la resolución baja de 1/20 por que presenta en sus datos un grado de dispersión muy grande a la recta y la información que recolecta es muy baja. También se descarta la resolución alta de 1/1, por tener tamaño y duración de escaneo al 100% lo cual hace más pesado para la manipulación de información de tamaño e archivo 1.06 GB y mayor tiempo de escaneo de 32:43 min. Esta resolución alta de 1/1 puede ser aplicada a otro tipo de estudios tales como restauración de arqueología e incluso para reconstrucción de escenas de crimen.

En resultado, la resolución media de 1/8, es muy eficiente ya que su tamaño es de 12.5% y duración de escaneo 9.4%, esta resolución es menos pesado llegando al tamaño de archivo de 73.3 MG y menor tiempo de escaneo de 5:53 min. La resolución media de 1/8 es precisa, rápida y efectiva para generar modelos digitales de terreno en mapas de escala grande, en comparación a otros métodos de recolección de datos y teniendo en cuenta el

nivel de detalle de los datos recolectados. Que permita evaluar y analizar con mayor detalle los trabajos de topografía y proyectos de ingeniería civil.

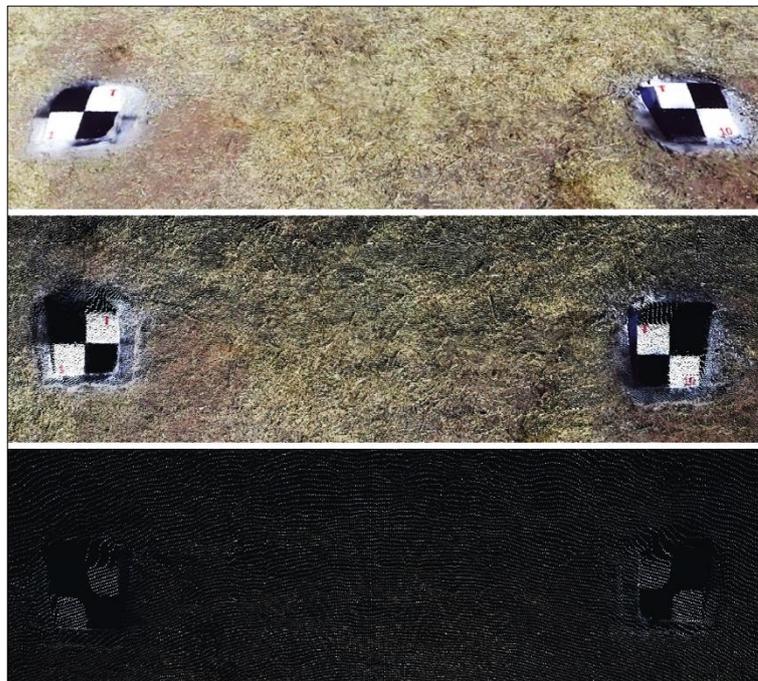


Figura 115. Nube de puntos de las tres resoluciones.
Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2. Análisis de Resultados para el Objetivo Específico 2

La exactitud en posición de un Modelo Digital de Terreno se obtuvo por medio del análisis de la exactitud absoluta. Se tomó la cercanía de los valores de coordenadas tomados respecto de puntos identificables en la nube de puntos, respecto a los valores considerados como verdaderos del sistema de referencia del control topográfico. Este proceso consistió en comparar las coordenadas en X, Y y Z, de los valores de coordenadas, unas extraídas de nube de puntos a examinar, y otras obtenidas directamente en terreno.

Las coordenadas Nortes (Y), Estés (x) y alturas (Z) obtenidas de fuente de mayor exactitud en metros del levantamiento topográfico con estación total.

Las coordenadas Nortes (Y), Estés (x) y alturas (Z) tomadas de la nube de puntos con el levantamiento del escáner láser en su resolución media de 1/8. Las coordenadas se encuentran en el anexo F.

A. Norma SNCP-PERU estándares cartográficos 2008 y ASPRS 2014

El Sistema Nacional Integrado de Información Catastral Predial – Perú, en los estándares cartográficos Aplicado al catastro dispone los métodos matemáticos para determinar la precisión de un trabajo a un nivel de confianza del 95% horizontal y vertical. Esta norma maneja los mismos fundamentos matemáticos que la norma estadounidense ASPRS. Para este proceso se requiere la comparación de unos puntos de control con coordenadas conocidas de mayor exactitud (A) tal que se comparan las coordenadas obtenidas (B) en el trabajo a evaluar (Tabla 30). Determinar a que escale de trabajo corresponde bajo las normas ASPRS, para realizar este chequeó se requiere un mínimo de 20 puntos.

Tabla 30. Coord. topograficas del lev. Topografico y lev. con escáner

| N° | Coordenadas y Cotas Levantamiento Topográfico (A) | | | Coordenadas y Cotas Levantamiento Escáner Láser (B) | | |
|----|--|--------------|----------|--|--------------|----------|
| | Este | Norte | Cota | Este | Norte | Cota |
| 1 | 391697.2760 | 8246482.3070 | 3824.887 | 391697.3190 | 8246482.224 | 3824.892 |
| 2 | 391724.8010 | 8246477.8610 | 3827.521 | 391724.8030 | 8246477.8920 | 3827.522 |
| 3 | 391737.2750 | 8246480.2590 | 3828.654 | 391737.2630 | 8246480.1740 | 3828.651 |
| 4 | 391745.7090 | 8246473.5370 | 3829.611 | 391745.6860 | 8246473.5000 | 3829.616 |
| 5 | 391762.5010 | 8246456.0390 | 3833.291 | 391762.5670 | 8246456.0840 | 3833.285 |
| 6 | 391727.5860 | 8246497.0680 | 3826.490 | 391727.4800 | 8246497.0660 | 3826.479 |
| 7 | 391743.3180 | 8246493.1050 | 3828.226 | 391743.2670 | 8246493.0250 | 3828.194 |
| 8 | 391760.5120 | 8246477.8090 | 3830.570 | 391760.4720 | 8246477.7970 | 3830.550 |
| 9 | 391780.6140 | 8246499.5010 | 3829.919 | 391780.6230 | 8246499.4930 | 3829.917 |
| 10 | 391786.6970 | 8246505.0130 | 3828.930 | 391786.7190 | 8246504.9530 | 3828.934 |
| 11 | 391791.0000 | 8246496.5440 | 3830.495 | 391791.0640 | 8246496.4760 | 3830.536 |
| 12 | 391812.5820 | 8246497.1340 | 3831.390 | 391812.6870 | 8246497.2050 | 3831.362 |
| 13 | 391810.9150 | 8246506.0760 | 3829.053 | 391811.0000 | 8246506.1240 | 3829.085 |
| 14 | 391796.3080 | 8246515.4920 | 3826.930 | 391796.4090 | 8246515.4680 | 3826.914 |
| 15 | 391842.7060 | 8246513.0310 | 3829.834 | 391842.7180 | 8246512.9620 | 3829.847 |
| 16 | 391849.1670 | 8246520.9510 | 3828.655 | 391849.1820 | 8246520.9480 | 3828.664 |
| 17 | 391849.6910 | 8246543.4620 | 3824.154 | 391849.6860 | 8246543.5000 | 3824.156 |
| 18 | 391838.7270 | 8246540.0880 | 3824.337 | 391838.7060 | 8246540.0720 | 3824.328 |
| 19 | 391827.5120 | 8246544.8900 | 3824.120 | 391827.5210 | 8246544.8500 | 3824.107 |
| 20 | 391807.6330 | 8246541.7140 | 3822.714 | 391807.6350 | 8246541.7170 | 3822.694 |
| 21 | 391784.7380 | 8246528.9870 | 3826.006 | 391784.6710 | 8246528.9960 | 3826.019 |
| 22 | 391817.2910 | 8246587.1070 | 3818.987 | 391817.2390 | 8246587.2440 | 3818.983 |
| 23 | 391807.8670 | 8246598.0780 | 3818.963 | 391807.7820 | 8246598.0420 | 3818.947 |
| 24 | 391793.1820 | 8246586.6610 | 3818.997 | 391793.1350 | 8246586.5870 | 3818.989 |
| 25 | 391726.9250 | 8246553.8630 | 3822.272 | 391726.9320 | 8246553.8970 | 3822.281 |
| 26 | 391797.6990 | 8246513.7320 | 3827.199 | 391797.6990 | 8246513.7290 | 3827.204 |
| 27 | 391798.2940 | 8246510.8210 | 3827.649 | 391798.2940 | 8246510.8180 | 3827.654 |
| 28 | 391798.8990 | 8246507.8590 | 3828.122 | 391798.8970 | 8246507.8590 | 3828.124 |
| 29 | 391799.4920 | 8246504.9700 | 3828.672 | 391799.4850 | 8246504.9780 | 3828.670 |
| 30 | 391800.1000 | 8246502.0010 | 3829.245 | 391800.0930 | 8246501.9970 | 3829.242 |
| 31 | 391800.7040 | 8246499.0520 | 3829.884 | 391800.7120 | 8246499.0630 | 3829.887 |
| 32 | 391801.2940 | 8246496.1700 | 3830.658 | 391801.2890 | 8246496.1620 | 3830.655 |
| 33 | 391801.8990 | 8246493.2050 | 3831.361 | 391801.8880 | 8246493.2110 | 3831.321 |
| 34 | 391795.7380 | 8246513.3540 | 3827.219 | 391795.7400 | 8246513.3520 | 3827.224 |
| 35 | 391796.3360 | 8246510.4260 | 3827.639 | 391796.3390 | 8246510.4230 | 3827.647 |
| 36 | 391796.9400 | 8246507.4700 | 3828.120 | 391796.9380 | 8246507.4590 | 3828.125 |
| 37 | 391797.5460 | 8246504.5100 | 3828.685 | 391797.5360 | 8246504.5100 | 3828.691 |
| 38 | 391798.1390 | 8246501.5870 | 3829.258 | 391798.1470 | 8246501.5980 | 3829.250 |
| 39 | 391798.7350 | 8246498.6820 | 3829.847 | 391798.7420 | 8246498.6920 | 3829.854 |
| 40 | 391799.3410 | 8246495.7130 | 3830.596 | 391799.3510 | 8246495.7220 | 3830.574 |
| 41 | 391799.9410 | 8246492.7800 | 3831.321 | 391799.9380 | 8246492.7700 | 3831.289 |
| 42 | 391800.2330 | 8246491.3450 | 3831.706 | 391800.2640 | 8246491.3680 | 3831.681 |
| 43 | 391731.1040 | 8246495.7400 | 3826.944 | 391731.0360 | 8246495.7180 | 3826.937 |
| 44 | 391750.2530 | 8246505.2260 | 3827.713 | 391750.3350 | 8246505.2740 | 3827.680 |
| 45 | 391739.7090 | 8246559.9050 | 3822.291 | 391739.7530 | 8246559.9120 | 3822.294 |
| 46 | 391718.1500 | 8246517.0910 | 3824.712 | 391718.0660 | 8246517.0130 | 3824.753 |
| 47 | 391774.1560 | 8246506.6640 | 3828.610 | 391774.1740 | 8246506.6920 | 3828.583 |
| 48 | 391697.1020 | 8246524.8570 | 3823.835 | 391697.1960 | 8246524.7580 | 3823.876 |

Fuente: Elaboración Propia.

B. Prueba de exactitud a un nivel de confianza de 95%

Con base en las Tablas 30 de coordenadas tomadas sobre el modelo digital y las obtenidas del levantamiento topográfico se efectúa la diferencia de dichos valores. Se obtienen discrepancias entre las posiciones en el MDT y el de la fuente de mayor exactitud o coordenadas de terreno, con base a estas diferencias se procesa la prueba exactitud a un nivel de confianza de 95% la que se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31. Prueba de exactitud a un nivel de confianza de 95%

| N° | Error X | Error Y | Error Z | $Error_x^2$ | $Error_y^2$ | $Error_z^2$ |
|---------------|---|---------------|---------------|---------------|--|----------------|
| 1 | 0.043 | -0.083 | 0.005 | 0.002 | 0.007 | 0.000 |
| 2 | 0.002 | 0.031 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| 3 | -0.012 | -0.085 | -0.003 | 0.000 | 0.007 | 0.000 |
| 4 | -0.023 | -0.037 | 0.005 | 0.001 | 0.001 | 0.000 |
| 5 | 0.066 | 0.045 | -0.006 | 0.004 | 0.002 | 0.000 |
| 6 | -0.106 | -0.002 | -0.011 | 0.011 | 0.000 | 0.000 |
| 7 | -0.051 | -0.080 | -0.032 | 0.003 | 0.006 | 0.001 |
| 8 | -0.040 | -0.012 | -0.020 | 0.002 | 0.000 | 0.000 |
| 9 | 0.009 | -0.008 | -0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 10 | 0.022 | -0.060 | 0.004 | 0.000 | 0.004 | 0.000 |
| 11 | 0.064 | -0.068 | 0.041 | 0.004 | 0.005 | 0.002 |
| 12 | 0.105 | 0.071 | -0.028 | 0.011 | 0.005 | 0.001 |
| 13 | 0.085 | 0.048 | 0.032 | 0.007 | 0.002 | 0.001 |
| 14 | 0.101 | -0.024 | -0.016 | 0.010 | 0.001 | 0.000 |
| 15 | 0.012 | -0.069 | 0.013 | 0.000 | 0.005 | 0.000 |
| 16 | 0.015 | -0.003 | 0.009 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 17 | -0.005 | 0.038 | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| 18 | -0.021 | -0.016 | -0.009 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 19 | 0.009 | -0.040 | -0.013 | 0.000 | 0.002 | 0.000 |
| 20 | 0.002 | 0.003 | -0.020 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 21 | -0.067 | 0.009 | 0.013 | 0.005 | 0.000 | 0.000 |
| 22 | -0.052 | 0.137 | -0.004 | 0.003 | 0.019 | 0.000 |
| 23 | -0.085 | -0.036 | -0.016 | 0.007 | 0.001 | 0.000 |
| 24 | -0.047 | -0.074 | -0.008 | 0.002 | 0.005 | 0.000 |
| 25 | 0.007 | 0.034 | 0.009 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| 26 | -0.001 | -0.003 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 27 | 0.000 | -0.003 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 28 | -0.002 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 29 | -0.007 | 0.008 | -0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 30 | -0.007 | -0.004 | -0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 31 | 0.008 | 0.011 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 32 | -0.005 | -0.008 | -0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 33 | -0.011 | 0.006 | -0.040 | 0.000 | 0.000 | 0.002 |
| 34 | 0.002 | -0.002 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 35 | 0.003 | -0.003 | 0.008 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 36 | -0.002 | -0.011 | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 37 | -0.011 | -0.001 | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 38 | 0.008 | 0.011 | -0.008 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 39 | 0.007 | 0.009 | 0.007 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 40 | 0.010 | 0.009 | -0.022 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 41 | -0.003 | -0.010 | -0.032 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |
| 42 | 0.031 | 0.023 | -0.024 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| 43 | -0.068 | -0.022 | -0.007 | 0.005 | 0.000 | 0.000 |
| 44 | 0.082 | 0.048 | -0.033 | 0.007 | 0.002 | 0.001 |
| 45 | 0.044 | 0.007 | 0.003 | 0.002 | 0.000 | 0.000 |
| 46 | -0.084 | -0.078 | 0.041 | 0.007 | 0.006 | 0.002 |
| 47 | 0.018 | 0.028 | -0.027 | 0.000 | 0.001 | 0.001 |
| 48 | 0.094 | -0.099 | 0.041 | 0.009 | 0.010 | 0.002 |
| ΣTotal | 0.137 | -0.362 | -0.119 | 0.104 | 0.097 | 0.016 |
| | N° de Puntos de chequeo | | | 48 | 48 | 48 |
| | Errores Promedios (m) | | | 0.0028 | -0.0075 | -0.0025 |
| | Desviación Estándar (m) | | | 0.0470 | 0.0448 | 0.0184 |
| | RMSE (m) | | | 0.0466 | 0.0450 | 0.0183 |
| | RMSE_r (m) | | | 0.0647 | $= \text{sqrt}(\text{RMSE}_x^2 + \text{RMSE}_y^2)$ | |
| | Precisión Horizontal al 95% de confianza | | | 0.1121 | $= \text{RMSE}_r * 1.7308$ | |
| | Precisión Vertical al 95% de confianza | | | 0.0359 | $= \text{RMSE}_z * 1.9600$ | |

Fuente: Norma SNCP-PERU (2008) y ASPRS (2014).

Interpretación

Precisión horizontal a un nivel de confianza de 95%. – Según la Tabla 4 que se mostró en la teoría de exactitud horizontal/ calidad para los datos digitales planimétricos según ASPRS 2014, el valor de $RMSE_r$ calculado es 0.065 m y con una precisión horizontal de 95% de 11.21 cm de este proyecto, se encuentra o enmarca para mapas de escala 1:200 en la clase 1 y 1:100 para la clase 2; lo cual implica que se pueden utilizar para mapas escalas grandes en lo que es respecta a la topografía y la ingeniería civil, cumpliendo con el estándar.

Precisión vertical a un nivel de confianza de 95%. – Según la Tabla 5 que se mostró en la teoría de exactitud vertical/ calidad para los datos digitales de elevación según la ASPRS 2014, el valor de $RMSE_z$ calculado de 0.018 m y con una precisión vertical de 95% de 3.59 de este proyecto para intervalos de curvas de nivel, se encuentra en la clase 1 para intervalos de curva de nivel a 15 cm, en la clase 2 para intervalos de curvas de 7.5 cm. Esto implica que las curvas generadas en este proyecto cumplen con los estándares.

En comparación a otros métodos de recolección de datos y teniendo en cuenta el nivel de detalle de los datos recolectados. El método de levantamiento con escáner láser nos permite evaluar y analizar con mayor detalle los trabajos de topografía y proyectos de ingeniería civil. Con el menor tiempo de recolección de datos y con precisión.

4.2. Análisis de Discusión

Los resultados del presente estudio el levantamiento con el escáner láser en las resoluciones alta de 1/1 y media de 1/8 logrando capturar un buen detalle del terreno con mediciones de precisión y exactitud milimétrica. Coincidiendo con Lerma & Biosca (2008), indican que los escáneres pueden alcanzar hasta 400 m, son rápidos y precisos ya que crean una copia virtual de la realidad con una exactitud milimétrica.

Investigaciones hechas en otras realidades como Colombia de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2016), *Generación de un modelo digital de terreno georreferenciado con el escáner láser faro FOCUS 3d*. Los resultados obtenidos de prueba de exactitud de precisión horizontal a un nivel de confianza 95% de 0.066 m y precisión vertical a un nivel de confianza 95% de 0.043 m; similares al presente proyecto de investigación de precisión horizontal de 0.112 m y precisión vertical de 0.036 m. Esta diferencia de precisión horizontal y vertical no es significativa puesto que en ambos casos se pueden utilizar para mapas de escalas grandes de 1:200 de clase 1 y 1:100 de clase 2; la precisión vertical para generar curvas de nivel a 0.15 m según las normas de ASPRS 2014.

De acuerdo con Felicísimo (2004), las estaciones totales son las más utilizadas para generar MDT. A pesar de su utilidad, el método tiene dificultades en la recogida de información exige la presencia física sobre el terreno. Asimismo, el tiempo necesario para realizar una toma de datos fiable y completa en la construcción de MDT. Concuero con el felicísimo (2004), en la presente investigación la recogida información con estación total fue con mayor tiempo.

CONCLUSIONES

El grado de precisión del escáner láser alcanza una precisión alta en la generación de modelos digitales de terreno, al contrastar con una estación total de mayor precisión, por lo cual se puede utilizar este método de levantamiento con escáner láser para obtener modelos digitales de terreno en mapas de escala grande rápida y precisa.

1. El análisis de los datos de contrastación que se hizo a un nivel de confianza de 95% en un ensayo bilateral, los resultados no son significativos y se encuentran dentro de área de aceptación bajo la curva distribución "t" de los dos métodos; levantamiento con escáner láser en las resoluciones alta de 1/1, media 1/8 y baja de 1/20 y levantamiento con estación total es confiable, además lo que demuestra que existe homogeneidad en los datos obtenidos.

La mejor resolución encontrada que no presenta en sus datos un grado de diferencia de dispersión muy grande a la recta, luego del análisis estadístico de regresión lineal es la resolución alta de 1/1 y media de 1/8, para distancias aproximadas de 25 m desde la posición del escáner láser. Otro elemento que se evaluó fue el tiempo de toma de información y cantidad de archivo en mega-puntos, en donde la resolución alta de 1/1 toma un tiempo muy grande de 32:43 minutos muy separada de la resolución media de 1/8, que tomo información en 5:53 minutos. Teniendo en cuenta el tamaño del archivo se observó, que la resolución media de 1/8 corresponde apenas a un 12.5% del tamaño comparándolo con la

resolución alta de 1/1 que es de 100%. Por lo cual la mejor resolución es la de media de 1/8, es eficiente y precisa para generar modelos digitales de terreno.

2. El análisis de exactitud de un modelo digital de terreno que se realizó para la precisión horizontal y vertical a nivel de confianza de 95% es determinable para mapas de escalas grandes de 1:200 de clase 1, 1:00 de clase 2 e intervalos de curva de nivel a 15 cm, según las normas y especificaciones APSRS 2014 y SNCP-PERU de estándares cartográficos. En comparación a otros métodos de recolección de datos y teniendo en cuenta el nivel de detalles de los datos recolectados. Que permita evaluar y analizar con mayor detalle los trabajos de topografía y proyectos de ingeniería civil con precisión.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere evaluar las 9 resoluciones 1/1, 1/2, 1/4, 1/5, 1/8, 1/10, 1/16, 1/20 y 1/32 del escáner láser y proponer para que tipo de estudios o proyectos se pueden utilizar este método de levantamiento con él escáner.
- Comparación de los métodos topográficos aplicados en la construcción de túneles, utilizando el método convencional y la tecnología escáner láser 3D.
- Se recomienda hacer una metodología para el análisis de patrimonios arquitectónicos y arqueológicos con escáner láser con la resolución de alta de 1/1 y 1/2.
- Realizar estudios de captura de datos con escáner láser para aplicaciones en modelado de información para edificaciones.
- Se sugiere realizar estudios de modelos digitales de terreno para una carretera de extensión al menos 10 km con el escáner láser en comparación con un GPS diferencial.
- Se recomienda realizar levantamientos con escáner láser en labores subterráneas para el modelado con puntos de control y siempre contrastando con una fuente de mayor precisión.

BIBLIOGRAFÍA

- Borrazás, P. M., Paz, A. R., & Rotea, R. B. (2008). Arqueología de la Arquitectura. En *Aplicación del láser escáner 3D a los procesos de documentación y análisis a Santa Patrimonio Construido* (págs. 15 – 32). Victoria, Madrid.
- Canavos, G. C. (1998). *Probabilidades y Estadística Aplicaciones y Métodos*. Mexico.
- Chuvieco, E. (2010). *Fundamentos de la Teledetección Espacial*. Madrid, España: 3ra. edición.
- Fallas, J. (2007). *Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones*. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/229021279>.
- FARO. (06 de 02 de 2013). *Manual del FARO Láser Scanner Focus3D*. Recuperado de https://doarch332.files.wordpress.com/2013/11/e866_faro_láser_scanner_focus3d_manual_en.pdf
- FARO. (21 de 08 de 2016). *SCENE LT 6.2 Manual del Usuario*. Recuperado de <http://www.faro.com/es-es/productos/construccion-bim-cim/faro-focus/descargas-para-el-focus/>
- Felicísimo, A. M. (2004). *Introducción a los Modelos Digitales del Terreno*. Recuperado de <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>.

Fernández, I. A. (2001). *Las coordenadas geográficas y la proyección UTM*.

Recuperado de <http://www.cartesia.org/top.php> en la sección “30 archivos más descargados”

NTC 5205. (2003). *Precisión de Datos Espaciales*. Bogotá, Colombia.

NTC 5043. (2010). *Conceptos Básicos de la Calidad de los Datos Geográficos*.

Bogotá, Colombia: Primera actualización.

Jimenez Cleves, G. (2007). *Topografía para Ingenieros Civiles*. Universidad del Quindío, Armenia.

Lerma García, J. L., & Biosca Tarongers, J. M. (2008). *Teoría y práctica del*

Escaneado Láser Terrestre. España, Vlaams Leonardo Da Vinci: Versión 5.

Mendoza, J. (2017). *Topografía*. Lima, Peru: Versión 5.

Miller, C. L., & Lasflamme, R. A. (1958). *The digital terrain model theory and application, Photogrammetric Engineering*.

Norma APA. (2016). *Manual*. Americana: Sexta Edición.

Norma ASPRS. (1990). *Accuracy Standards for Large Scale Maps*. United States of America.

Norma ASPRS. (2014). *Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*. United States of America: Editorial 1, Versión 1.

Norma SNCP-PERU. (2008). *Estándares Cartográficos Aplicados al Catastro*.
Lima, Perú.

Norma IGN. (2011). *Especificaciones Técnicas para la Producción de
Cartografía Básica Escala 1: 1000*. Lima, Perú: Versión 1.

Norma ING. (2016). *Especificaciones Técnicas Para Levantamientos
Geodésicoa Verticales*. Lima, Perú: Version 1.

Sánchez, J. M. (2010). *Teledetección*. La Mancha Real: 1ra. edicion.

SENAMHI. (Enero de 2016). *Boletín Meteorológico Para La Región Puno*.
Recuperado de <http://www.senamhi.gob.pe>

Tesis. (2015). *Investigación monográfica presentado para la segunda
especialidad profesional en hidrografía y navegación*. La Marina de
Guerra del Perú Escuela Superior de Guerra, Lima, Perú.

Tesis. (2016). *Estudio de la variable altimétrica (z) sobre un modelo digital de
elevación por medio de tecnología lidar terrestre*. Universidad Distrital
Francisco José de Caldas, Bogotá.

Tesis. (2016). *Generación de un modelo digital de terreno georreferenciado con
el escáner láser faro FOCUS 3d*. Universidad Distrital Francisco José de
Caldas, Bogotá.

ANEXOS

| | |
|--|-----|
| ANEXO A. Ficha técnica de georreferenciación..... | 182 |
| ANEXO B. Diseño y sepracion de la cuadrícula y moldes de encontrado..... | 186 |
| ANEXO C. Poligonal de apoyo y nivelación..... | 188 |
| ANEXO D. Levantamiento topográfico de cuadrícula con estación total..... | 190 |
| ANEXO E. Levantamiento con escáner láser en las tres resoluciones..... | 196 |
| ANEXO F. Levantamiento topográfico con estación total y levantamiento con escáner láser para prueba de exactitud del Modelo Digital de Terreno | 198 |

ANEXO A

Ficha técnica de georreferenciación

- Ficha técnica de IGN de PUNO
- FICHA N° 01 - Punto De georreferenciación UNA-01
- FICHA N° 02 - Punto De georreferenciación UNA-02



INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
DIRECCIÓN DE GEODESIA
DESCRIPCIÓN MONOGRÁFICA



PROYECTO CONSOLIDACIÓN DE LOS DERECHOS DE LA PROPIEDAD INMUEBLE

| | | | | | |
|---|--|---------------------------------------|---|--|--|
| CÓDIGO: PNO2 | | LOCALIDAD: PUNO | | ESTABLECIDA POR: INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL | |
| UBICACIÓN: PARQUE SAN ROMÁN | | | CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA: DISCO DE BRONCE 5 cm. DIÁMETRO | | |
| LATITUD (S) WGS-84 15°50'27.9122" | | | LONGITUD (O) WGS-84 70°1'45.6876" | | |
| NORTE (Y) WGS-84 8248372.2977 | | | ESTE (X) WGS-84 389775.6983 | | |
| ALTURA ELIPSOIDAL 3887.8897 | | ELEVACIÓN GEOIDAL 3842.2287 | | ZONA UTM 19 SUR | |
| | | | | ORDEN B | |
| <p>CROQUIS</p> | | | | | |
| LOCALIZACIÓN: | | | | | |
| Distrito: | | Puno | | | |
| Provincia: | | Puno | | | |
| Departamento: | | Puno | | | |
| DESCRIPCIÓN: | | | | | |
| La Estación "PNO2", se encuentra ubicada al frente de la parte central del parque San Román, a espaldas de la Catedral de Puno. | | | | | |
| MARCA DE ESTACIÓN: | | | | | |
| Es un disco de bronce de 5 cm. de diámetro, incrustado a ras del suelo y lleva grabado la siguiente inscripción: "PNO2-PCDPI-2008". | | | | | |
| REFERENCIA: | | | | | |
| Carta Nacional Escala 1/100 000, Hoja 32-v Puno. | | | | | |
| DESCRITA POR: | | REVISADO: | | JEFE PROYECTO: | |
| Garma/Pachamango | | Tte. Ing. J. Romero A. | | My. Ing. C. Sierra F. | |
| | | | | FECHA: Agosto 2008 | |

| FICHA N° 01 - PUNTO DE GEORREFERENCIACIÓN | | | |
|--|---|---|----------------------------------|
| CODIGO: UNA - 01 | LOCALIDAD: PUNO | ELABORADO POR: Ing. Bach. ROY CCOSI C. | |
| UBICACIÓN: EJERCITO MANCO CAPAC | | CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACION: HITO CONCRETO Y FIERRO Ø 1/2" | |
| COORDENADAS GEOGRÁFICAS - DATUM: WGS-84 ZONA: 19 SUR | | | |
| LATITUD (S) WGS-84 15°51'28.22997"S | | LONGITUD (O) WGS-84 70°00'39.92806"W | |
| COORDENADAS UTM - DATUM: WGS-84 ZONA: 19 SUR | | | |
| NORTE (Y) WGS-84 8246528.2494 m | | ESTE (X) WGS-84 391740.8029 m | |
| ALTURA ELIPSOIDAL 3870.929 m | ELEVACIÓN REFERENCIAL (EGM 2008) 3825.288 m | ORDEN " C " | FECHA 01 DE JULIO 2017 |
| FACTOR COMBINADO 0.999137875 | FACTOR ESCALA 0.999747573 | FACTOR DE ALTURA 0.999390148 | |
| CROQUIS | | VISTA FOTOGRÁFICA | |
| | | | |
| LOCALIDAD: | | | |
| Lugar: EJERCITO MANCO CAPAC | | | |
| Distrito: PUNO | | | |
| Provincia: PUNO | | | |
| Departamento: PUNO | | | |
| DESCRIPCIÓN: | | | |
| La estación "UNA – 01" se encuentra ubicado en la parte baja en el cerro de ejército Manco Cápac, en dirección oeste del ejército Manco Cápac. | | | |
| MARCA DE LA ESTACIÓN: | | | |
| Es de hito de concreto de 25 cm de ancho x 25 cm de largo, 40 cm de alto fierro de Ø 1/2" y lleva pintado con inscripción: UNA - 01 | | | |
| REFERENCIA: | | | |
| Carta Nacional Escala 1/100 000, Hoja 32-v Puno. | | | |

| FICHA N° 02 - PUNTO DE GEORREFERENCIACIÓN | | | |
|--|---|---|----------------------------------|
| CODIGO: UNA - 02 | LOCALIDAD: PUNO | ELABORADO POR: Ing. Bach. ROY CCOSI C. | |
| UBICACIÓN: EJERCITO MANCO CAPAC | | CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACION: HITO CONCRETO Y FIERRO Ø 1/2" | |
| COORDENADAS GEOGRÁFICAS - DATUM: WGS-84 ZONA: 19 SUR | | | |
| LATITUD (S) WGS-84 15°51'30.75282"S | | LONGITUD (O) WGS-84 70°00'37.04410"W | |
| COORDENADAS UTM - DATUM: WGS-84 ZONA: 19 SUR | | | |
| NORTE (Y) WGS-84 8246451.1359 m | | ESTE (X) WGS-84 391826.9592 m | |
| ALTURA ELIPSOIDAL 3888.934 m | ELEVACIÓN REFERENCIAL (EGM 2008) 3843.294 m | ORDEN " C " | FECHA 01 DE JULIO 2017 |
| FACTOR COMBINADO 0.999134823 | FACTOR ESCALA 0.999747457 | FACTOR DE ALTURA 0.999387211 | |
| CROQUIS | | VISTA FOTOGRÁFICA | |
| | | | |
| LOCALIDAD: | | | |
| Lugar: EJERCITO MANCO CAPAC | | Distrito: PUNO | |
| Provincia: PUNO | | Departamento: PUNO | |
| DESCRIPCIÓN: | | | |
| La estación "UNA – 02" se encuentra ubicado en la parte alta en el cerro de ejército Manco Cápac, en dirección oeste del ejército Manco Cápac. | | | |
| MARCA DE LA ESTACIÓN: | | | |
| Es de hito de concreto de 25 cm de ancho x 25 cm de largo, 45 cm de alto fierro de Ø 1/2" y lleva pintado con inscripción: UNA - 02 | | | |
| REFERENCIA: | | | |
| Carta Nacional Escala 1/100 000, Hoja 32-v Puno. | | | |

ANEXO B

Diseño y separacion de la cuadrícula y moldes de encontrado

A. Diseño y separacion de la cuadrícula para el replanteo

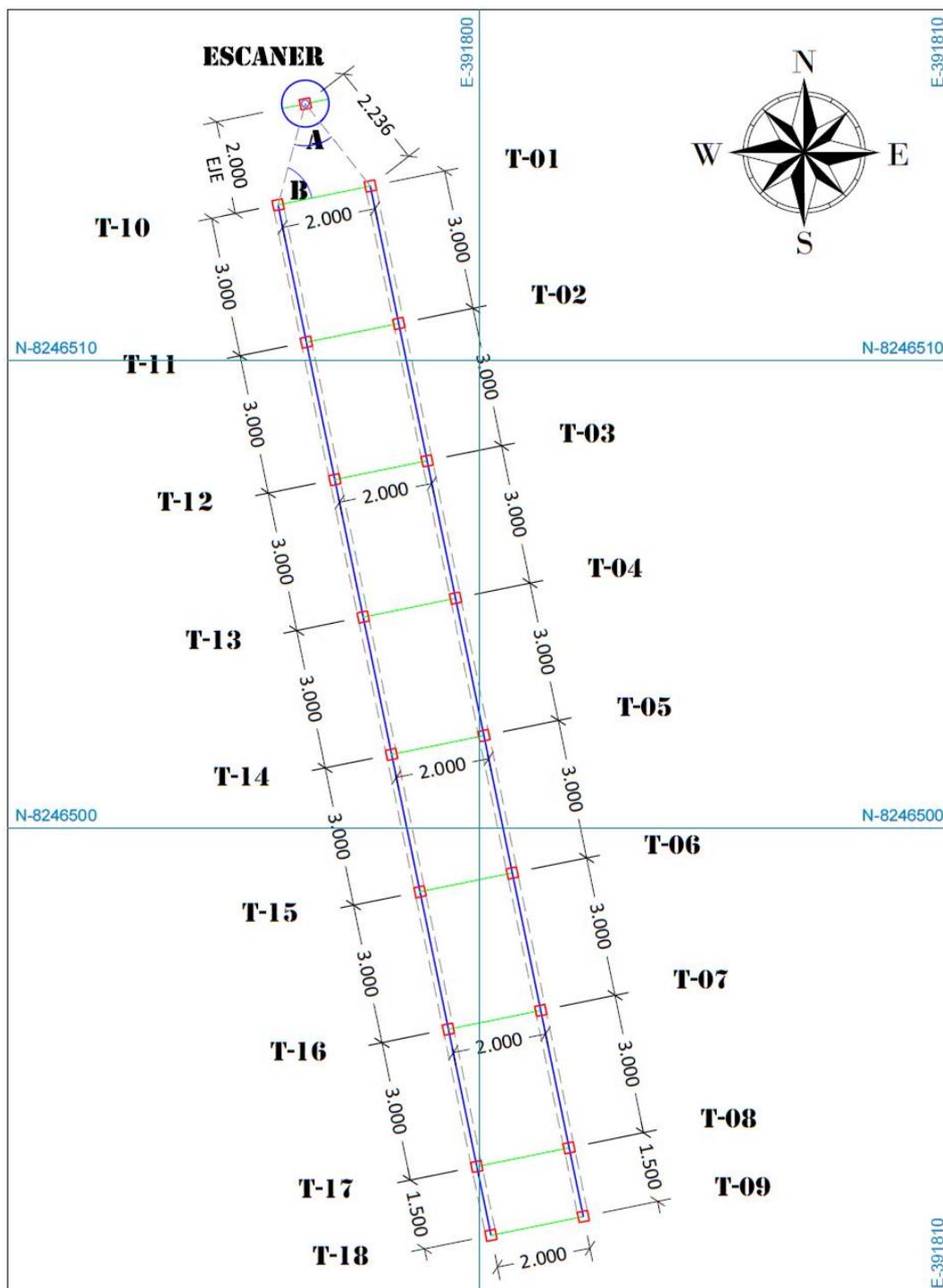


Figura B.1. Diseño y separación de la cuadrícula.

Fuente: Elaboración Propia.

B. Molde de encofrado de la cuadrícula

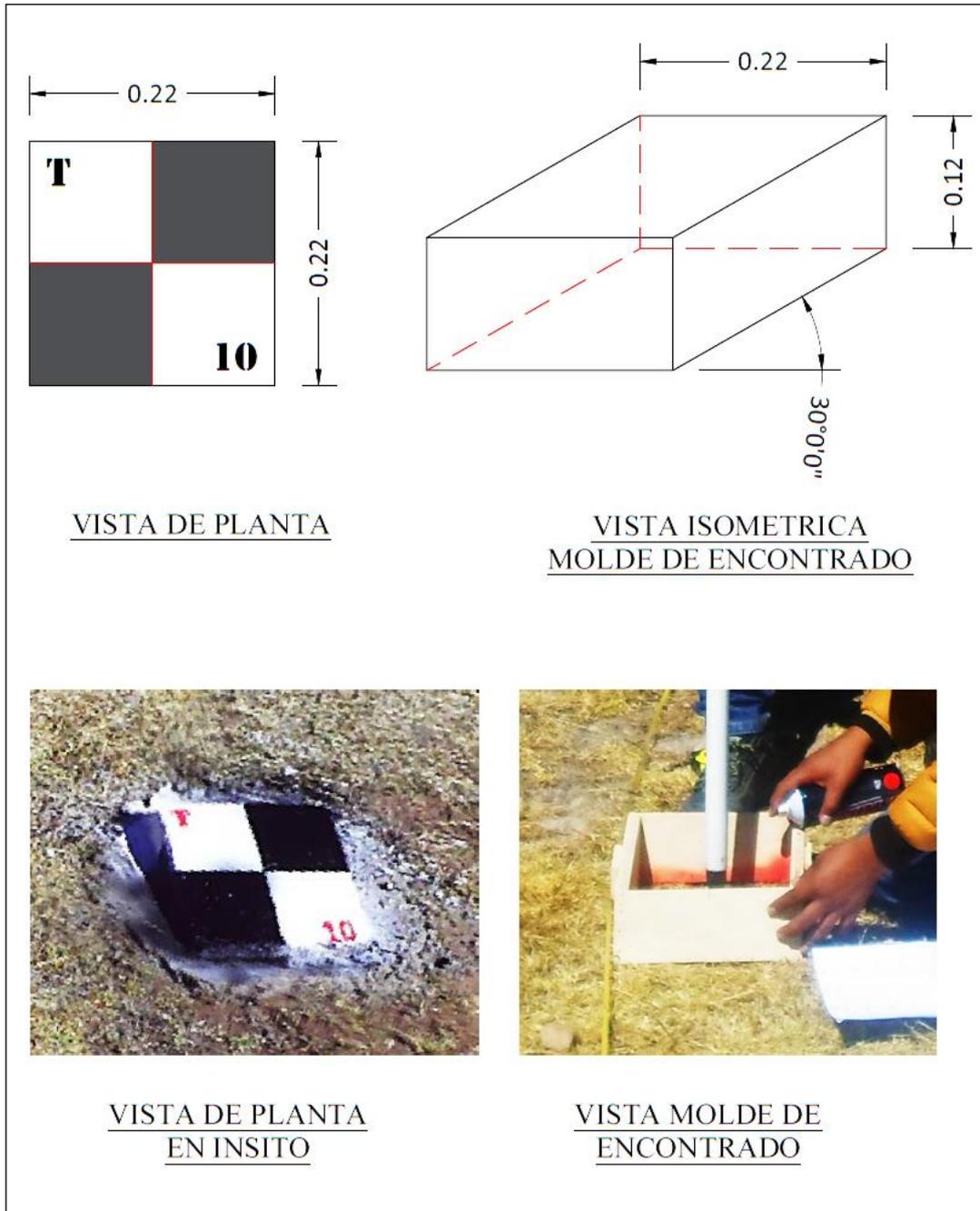


Figura B.2. Molde de encofrado para la cuadrícula.
Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO C

Poligonal de apoyo y nivelación

Tabla C.1. Cálculo de la nivelación de la poligonal

| | | | | |
|---------------------|------------|----------------------|----------|-------------------|
| Fecha: | 18/07/2017 | Cota Partida: | 3843.294 | E. Cierre: |
| Observación: | | Cota Llegada: | 3843.293 | 0.001 |

| Estación | V. (+) |  | V. (-) | Cota | Descripción |
|----------|--------|---|--------|----------|-------------|
| UNA-2G | 0.077 | 3843.371 | | 3843.294 | BM |
| | 0.172 | 3839.818 | 3.725 | 3839.646 | cambio |
| | 0.158 | 3836.231 | 3.745 | 3836.073 | cambio |
| | 0.443 | 3833.027 | 3.647 | 3832.584 | cambio |
| | 0.222 | 3829.745 | 3.504 | 3829.523 | cambio |
| | 0.139 | 3826.350 | 3.534 | 3826.211 | cambio |
| UNA - 3 | 3.414 | 3825.997 | 3.767 | 3822.583 | BM |
| | 1.690 | 3827.258 | 0.429 | 3825.568 | cambio |
| UNA - 1 | 2.213 | 3827.503 | 1.968 | 3825.290 | BM |
| | 3.054 | 3830.499 | 0.058 | 3827.445 | cambio |
| | 3.310 | 3833.565 | 0.244 | 3830.255 | cambio |
| | 3.268 | 3836.600 | 0.233 | 3833.332 | cambio |
| | 3.537 | 3839.833 | 0.304 | 3836.296 | cambio |
| | 3.709 | 3843.370 | 0.172 | 3839.661 | cambio |
| UNA-2G | | | 0.077 | 3843.293 | BM |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla C.2. Resumen de coordenadas y cotas de la poligonal de apoyo

| Coordenadas Topográficas De La Poligonal (WGS-84 Zona 19 Sur) | | | | | |
|---|---------|-------------|--------------|----------|-----------------|
| Nº | PUNTO | ESTE | NORTE | COTA | DESCRIP. |
| 2 | UNA -1 | 391740.7320 | 8246528.3120 | 3825.290 | Monumento de C° |
| 1 | UNA-2G | 391826.9592 | 8246451.1359 | 3843.294 | Monumento de C° |
| 3 | UNA - 3 | 391810.7220 | 8246552.1180 | 3822.583 | Monumento de C° |
| 4 | ESCANER | 391796.3080 | 8246515.4920 | 3826.930 | Monumento de C° |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla C.3. Resumen coordenadas transformadas de UTM a topográficas

| PUNTO | COORDENADAS UTM - WGS84 - PUNO | | | FACTORES DE CONVERSION | | | | DIRECCION - AZ | | | COORDENADAS TOPOGRAFICAS - WGS84 | | |
|--------|--------------------------------|--------------|-----------|------------------------|--------------|---------------|--------------|----------------|----|-------|----------------------------------|--------------|-----------|
| | ESTE - UTM | NORTE - UTM | ELEVACION | DIST. PROJ. XY | FAC ESCALA K | Dist. Elip XY | Dist Topo XY | G | M | S | ESTE | NORTE | ELEVACION |
| PNO2 | 389775.6983 | 8248372.2977 | 3842.229 | | | | | | | | 389775.6983 | 8248372.2977 | 3842.229 |
| UNA-1G | 391740.8029 | 8246528.2494 | 3817.6842 | 2694.838 | 0.999747573 | 2695.518 | 2697.137 | 133 | 10 | 47.03 | 391742.4798 | 8246526.6759 | 3817.684 |
| UNA-2G | 391826.9592 | 8246451.1359 | 3843.2940 | 2810.433 | 0.999747457 | 2811.143 | 2812.837 | 133 | 7 | 27.12 | 391828.7140 | 8246449.4925 | 3843.294 |

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO D

Levantamiento topográfico de la cuadrícula con estación total y nivel

Para la toma de cotas se hizo doble nivelación de la cuadrícula de los puntos de T-01 al T-18 ordenadamente.

Tabla D.1. *Primera Nivelación de la cuadrícula de los puntos T-01 al T-18*

Fecha: 18/07/2017 **Cota Partida:** 3826.918

Obs.

| Estación | PV | Punto | V. (+) |  | V. (-) | Cota | Descripción |
|----------|----|-------|--------|---|--------|----------|-------------|
| ESC. | | | 3.632 | 3830.550 | | 3826.918 | BM |
| | | T-01 | | | 3.350 | 3827.200 | concreto |
| | | T-10 | | | 3.330 | 3827.220 | concreto |
| | | T-02 | | | 2.901 | 3827.649 | concreto |
| | | T-11 | | | 2.912 | 3827.638 | concreto |
| | | T-03 | | | 2.428 | 3828.122 | concreto |
| | | T-12 | | | 2.430 | 3828.120 | concreto |
| | | T-04 | | | 1.878 | 3828.672 | concreto |
| | | T-13 | | | 1.864 | 3828.686 | concreto |
| | | T-05 | | | 1.305 | 3829.245 | concreto |
| | | T-14 | | | 1.292 | 3829.258 | concreto |
| | | T-06 | | | 0.667 | 3829.883 | concreto |
| | | T-15 | | | 0.703 | 3829.847 | concreto |
| | PC | | 2.838 | 3832.714 | 0.674 | 3829.876 | clavo |
| | | T-07 | | | 2.057 | 3830.657 | concreto |
| | | T-16 | | | 2.118 | 3830.596 | concreto |
| | | T-08 | | | 1.354 | 3831.360 | concreto |
| | | T-17 | | | 1.394 | 3831.320 | concreto |
| | | T-09 | | | 1.015 | 3831.699 | concreto |
| | | T-18 | | | 1.008 | 3831.706 | concreto |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.2. Segunda Nivelación de la cuadrícula de los puntos T-01 al T-18

Fecha: 18/07/2017 **Cota Partida:** 3826.918

Obs.:

| Estación | PV | Punto | V. (+) |  | V. (-) | Cota | Descripción |
|----------|----|-------|--------|---|--------|----------|-------------|
| ESC | | | 3.798 | 3830.716 | | 3826.918 | BM |
| | | T-01 | | | 3.518 | 3827.198 | concreto |
| | | T-10 | | | 3.498 | 3827.218 | concreto |
| | | T-02 | | | 3.068 | 3827.648 | concreto |
| | | T-11 | | | 3.077 | 3827.639 | concreto |
| | | T-03 | | | 2.595 | 3828.121 | concreto |
| | | T-12 | | | 2.597 | 3828.119 | concreto |
| | | T-04 | | | 2.045 | 3828.671 | concreto |
| | | T-13 | | | 2.032 | 3828.684 | concreto |
| | | T-05 | | | 1.472 | 3829.244 | concreto |
| | | T-14 | | | 1.458 | 3829.258 | concreto |
| | | T-06 | | | 0.832 | 3829.884 | concreto |
| | | T-15 | | | 0.870 | 3829.846 | concreto |
| | PC | | 2.522 | 3832.681 | 0.557 | 3830.159 | clavo |
| | | T-07 | | | 2.023 | 3830.658 | concreto |
| | | T-16 | | | 2.086 | 3830.595 | concreto |
| | | T-08 | | | 1.320 | 3831.361 | concreto |
| | | T-17 | | | 1.360 | 3831.321 | concreto |
| | | T-09 | | | 0.982 | 3831.699 | concreto |
| | | T-18 | | | 0.976 | 3831.705 | concreto |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.3. *Coordenadas tomadas en campo con estación total de la cuadrícula T-01 al T-18*

| Coordenadas tomadas en campo con estación total de la cuadrícula | | | | | |
|---|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------------|
| N° | Este | Norte | Cota | Punto | Descripción |
| 1 | 391797.6990 | 8246513.7320 | 3827.319 | T-01 | Concreto |
| 2 | 391797.6990 | 8246513.7320 | 3827.319 | | |
| 3 | 391798.2940 | 8246510.8210 | 3827.713 | T-02 | Concreto |
| 4 | 391798.2940 | 8246510.8210 | 3827.713 | | |
| 5 | 391798.8990 | 8246507.8590 | 3828.170 | T-03 | Concreto |
| 6 | 391798.8990 | 8246507.8590 | 3828.170 | | |
| 7 | 391799.4920 | 8246504.9700 | 3828.698 | T-04 | Concreto |
| 8 | 391799.4920 | 8246504.9700 | 3828.698 | | |
| 9 | 391800.1000 | 8246502.0010 | 3829.317 | T-05 | Concreto |
| 10 | 391800.1000 | 8246502.0010 | 3829.316 | | |
| 11 | 391800.7040 | 8246499.0520 | 3829.953 | T-06 | Concreto |
| 12 | 391800.7040 | 8246499.0520 | 3829.953 | | |
| 13 | 391801.2940 | 8246496.1700 | 3830.669 | T-07 | Concreto |
| 14 | 391801.2940 | 8246496.1700 | 3830.669 | | |
| 15 | 391801.8990 | 8246493.2050 | 3831.394 | T-08 | Concreto |
| 16 | 391801.8990 | 8246493.2050 | 3831.394 | | |
| 17 | 391801.8990 | 8246493.2060 | 3831.392 | | |
| 18 | 391802.2000 | 8246491.7360 | 3831.646 | T-09 | Concreto |
| 19 | 391802.2000 | 8246491.7350 | 3831.646 | | |
| 20 | 391802.2000 | 8246491.7360 | 3831.646 | | |
| 21 | 391802.2000 | 8246491.7350 | 3831.645 | | |
| 22 | 391795.7380 | 8246513.3530 | 3827.329 | T-10 | Concreto |
| 23 | 391795.7380 | 8246513.3530 | 3827.329 | | |
| 24 | 391795.7380 | 8246513.3540 | 3827.389 | | |
| 25 | 391795.7380 | 8246513.3540 | 3827.389 | | |
| 26 | 391796.3360 | 8246510.4280 | 3827.769 | T-11 | Concreto |
| 27 | 391796.3360 | 8246510.4280 | 3827.769 | | |
| 28 | 391796.3360 | 8246510.4240 | 3827.668 | | |
| 29 | 391796.3360 | 8246510.4240 | 3827.668 | | |
| 30 | 391796.3360 | 8246510.4250 | 3827.667 | | |
| 31 | 391796.9400 | 8246507.4710 | 3828.163 | T-12 | Concreto |
| 32 | 391796.9400 | 8246507.4710 | 3828.163 | | |
| 33 | 391796.9400 | 8246507.4700 | 3828.146 | | |

| | | | | | |
|----|-------------|--------------|----------|------|----------|
| 34 | 391796.9400 | 8246507.4700 | 3828.146 | | |
| 35 | 391796.9400 | 8246507.4700 | 3828.145 | | |
| 36 | 391797.5460 | 8246504.5100 | 3828.750 | T-13 | Concreto |
| 37 | 391797.5460 | 8246504.5100 | 3828.750 | | |
| 38 | 391797.5470 | 8246504.5110 | 3828.714 | | |
| 39 | 391797.5470 | 8246504.5110 | 3828.714 | | |
| 40 | 391797.5470 | 8246504.5110 | 3828.713 | | |
| 41 | 391798.1390 | 8246501.5870 | 3829.381 | T-14 | Concreto |
| 42 | 391798.1390 | 8246501.5870 | 3829.380 | | |
| 43 | 391798.1390 | 8246501.5880 | 3829.265 | | |
| 44 | 391798.1390 | 8246501.5880 | 3829.265 | | |
| 45 | 391798.7350 | 8246498.6820 | 3829.925 | T-15 | Concreto |
| 46 | 391798.7350 | 8246498.6820 | 3829.925 | | |
| 47 | 391798.7350 | 8246498.6820 | 3829.924 | | |
| 48 | 391799.3410 | 8246495.7130 | 3830.546 | T-16 | Concreto |
| 49 | 391799.3410 | 8246495.7130 | 3830.546 | | |
| 50 | 391799.3420 | 8246495.7130 | 3830.546 | | |
| 51 | 391799.9410 | 8246492.7800 | 3831.354 | T-17 | Concreto |
| 52 | 391799.9410 | 8246492.7800 | 3831.354 | | |
| 53 | 391799.9410 | 8246492.7800 | 3831.354 | | |
| 54 | 391800.2300 | 8246491.3450 | 3831.645 | T-18 | Concreto |
| 55 | 391800.2300 | 8246491.3450 | 3831.645 | | |
| 56 | 391800.2300 | 8246491.3450 | 3831.646 | | |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.4. Resumen de coordenadas y cotas de la cuadrícula T-01 al T-18 promediados

| Coordenadas Reales De Estación Total | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------------|--------------|----------|-------------|
| N° | Punto | Este | Norte | Cota | Descripción |
| 1 | T-01 | 391797.6990 | 8246513.7320 | 3827.199 | Concreto |
| 2 | T-02 | 391798.2940 | 8246510.8210 | 3827.649 | Concreto |
| 3 | T-03 | 391798.8990 | 8246507.8590 | 3828.122 | Concreto |
| 4 | T-04 | 391799.4920 | 8246504.9700 | 3828.672 | Concreto |
| 5 | T-05 | 391800.1000 | 8246502.0010 | 3829.245 | Concreto |
| 6 | T-06 | 391800.7040 | 8246499.0520 | 3829.884 | Concreto |
| 7 | T-07 | 391801.2940 | 8246496.1700 | 3830.658 | Concreto |
| 8 | T-08 | 391801.8990 | 8246493.2050 | 3831.361 | Concreto |
| 9 | T-09 | 391802.2000 | 8246491.7360 | 3831.699 | Concreto |
| 10 | T-10 | 391795.7380 | 8246513.3540 | 3827.219 | Concreto |
| 11 | T-11 | 391796.3360 | 8246510.4260 | 3827.639 | Concreto |
| 12 | T-12 | 391796.9400 | 8246507.4700 | 3828.120 | Concreto |
| 13 | T-13 | 391797.5460 | 8246504.5100 | 3828.685 | Concreto |
| 14 | T-14 | 391798.1390 | 8246501.5870 | 3829.258 | Concreto |
| 15 | T-15 | 391798.7350 | 8246498.6820 | 3829.847 | Concreto |
| 16 | T-16 | 391799.3410 | 8246495.7130 | 3830.596 | Concreto |
| 17 | T-17 | 391799.9410 | 8246492.7800 | 3831.321 | Concreto |
| 18 | T-18 | 391800.2330 | 8246491.3450 | 3831.706 | Concreto |

Fuente: Elaboración Propia.

Datos obtenidos de la separación de la cuadrícula con estación total
(datos de analisis).

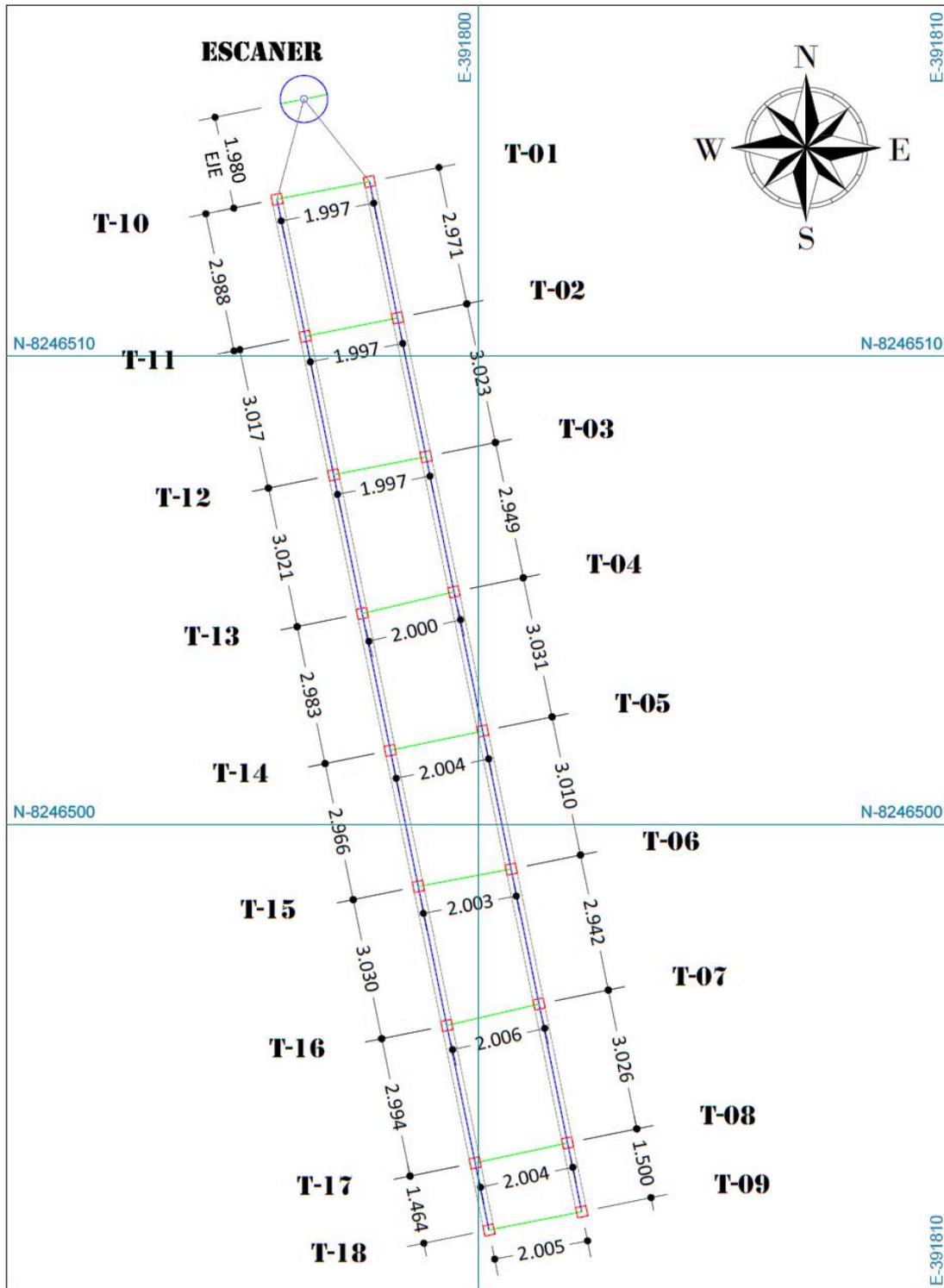


Figura D.1. Datos de la separación de la cuadrícula con estación total.
Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO E

Levantamiento con escáner láser en las tres diferentes resoluciones

Tabla E.1. Coordenadas y cotas de la resolución alta de 1/1

| Coordenadas de la resolución alta de 1/1 | | | | | |
|--|-------|-------------|--------------|----------|-------------|
| N° | Punto | Este | Norte | Cota | Descripción |
| 1 | T-01 | 391797.6980 | 8246513.7310 | 3827.199 | Concreto |
| 2 | T-02 | 391798.2940 | 8246510.8220 | 3827.647 | Concreto |
| 3 | T-03 | 391798.9010 | 8246507.8600 | 3828.124 | Concreto |
| 4 | T-04 | 391799.4900 | 8246504.9680 | 3828.672 | Concreto |
| 5 | T-05 | 391800.1030 | 8246502.0020 | 3829.243 | Concreto |
| 6 | T-06 | 391800.7070 | 8246499.0500 | 3829.883 | Concreto |
| 7 | T-07 | 391801.2890 | 8246496.1670 | 3830.661 | Concreto |
| 8 | T-08 | 391801.9030 | 8246493.2010 | 3831.358 | Concreto |
| 9 | T-09 | 391802.2050 | 8246491.7290 | 3831.695 | Concreto |
| 10 | T-10 | 391795.7380 | 8246513.3510 | 3827.220 | Concreto |
| 11 | T-11 | 391796.3380 | 8246510.4270 | 3827.637 | Concreto |
| 12 | T-12 | 391796.9430 | 8246507.4710 | 3828.122 | Concreto |
| 13 | T-13 | 391797.5420 | 8246504.5120 | 3828.682 | Concreto |
| 14 | T-14 | 391798.1370 | 8246501.5850 | 3829.256 | Concreto |
| 15 | T-15 | 391798.7370 | 8246498.6800 | 3829.849 | Concreto |
| 16 | T-16 | 391799.3450 | 8246495.7170 | 3830.593 | Concreto |
| 17 | T-17 | 391799.9370 | 8246492.7750 | 3831.318 | Concreto |
| 18 | T-18 | 391800.2390 | 8246491.3370 | 3831.709 | Concreto |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla E.2. Coordenadas y cotas de la resolución media de 1/8

| Coordenadas de la resolución media de 1/8 | | | | | |
|---|-------|-------------|--------------|----------|-------------|
| N° | Punto | Este | Norte | Cota | Descripción |
| 1 | T-01 | 391797.6990 | 8246513.7290 | 3827.204 | Concreto |
| 2 | T-02 | 391798.2940 | 8246510.8180 | 3827.654 | Concreto |
| 3 | T-03 | 391798.8970 | 8246507.8590 | 3828.124 | Concreto |
| 4 | T-04 | 391799.4850 | 8246504.9780 | 3828.670 | Concreto |
| 5 | T-05 | 391800.0930 | 8246501.9970 | 3829.242 | Concreto |
| 6 | T-06 | 391800.7120 | 8246499.0630 | 3829.887 | Concreto |
| 7 | T-07 | 391801.2890 | 8246496.1620 | 3830.655 | Concreto |
| 8 | T-08 | 391801.8880 | 8246493.2110 | 3831.321 | Concreto |
| 10 | T-10 | 391795.7400 | 8246513.3520 | 3827.224 | Concreto |
| 11 | T-11 | 391796.3390 | 8246510.4230 | 3827.647 | Concreto |
| 12 | T-12 | 391796.9380 | 8246507.4590 | 3828.125 | Concreto |
| 13 | T-13 | 391797.5360 | 8246504.5100 | 3828.691 | Concreto |
| 14 | T-14 | 391798.1470 | 8246501.5980 | 3829.250 | Concreto |
| 15 | T-15 | 391798.7420 | 8246498.6920 | 3829.854 | Concreto |
| 16 | T-16 | 391799.3510 | 8246495.7220 | 3830.574 | Concreto |
| 17 | T-17 | 391799.9380 | 8246492.7700 | 3831.289 | Concreto |
| 18 | T-18 | 391800.2640 | 8246491.3680 | 3831.681 | Concreto |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla E.3. *Coordenadas y cotas de la resolución baja de 1/20*

| Coordenadas de la resolución baja de 1/20 | | | | | |
|---|-------|-------------|--------------|----------|-------------|
| N° | Punto | Este | Norte | Cota | Descripción |
| 1 | T-01 | 391797.7040 | 8246513.7320 | 3827.207 | Concreto |
| 2 | T-02 | 391798.3020 | 8246510.8240 | 3827.655 | Concreto |
| 3 | T-03 | 391798.8870 | 8246507.8660 | 3828.122 | Concreto |
| 4 | T-04 | 391799.5260 | 8246504.9900 | 3828.635 | Concreto |
| 5 | T-05 | 391800.0830 | 8246501.9600 | 3829.197 | Concreto |
| 6 | T-06 | 391800.7190 | 8246498.9910 | 3829.879 | Concreto |
| 7 | T-07 | 391801.2790 | 8246496.2070 | 3830.604 | Concreto |
| 8 | --- | --- | --- | --- | Concreto |
| 9 | --- | --- | --- | --- | Concreto |
| 10 | T-10 | 391795.7470 | 8246513.3530 | 3827.230 | Concreto |
| 11 | T-11 | 391796.3210 | 8246510.4160 | 3827.648 | Concreto |
| 12 | T-12 | 391796.9230 | 8246507.4640 | 3828.102 | Concreto |
| 13 | T-13 | 391797.5400 | 8246504.4880 | 3828.695 | Concreto |
| 14 | T-14 | 391798.1100 | 8246501.5670 | 3829.270 | Concreto |
| 15 | T-15 | 391798.7550 | 8246498.7400 | 3829.805 | Concreto |
| 16 | T-16 | 391799.3720 | 8246495.7800 | 3830.537 | Concreto |
| 17 | --- | --- | --- | --- | Concreto |
| 18 | --- | --- | --- | --- | Concreto |

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO F

**Levantamiento topográfico con estación total y levantamiento con
escáner láser para prueba de exactitud del Modelo Digital de Terreno**

Tabla F.1. Coordenadas y cotas de posiciones del escáner láser

| Coordenadas De Posiciones Del Escáner Láser | | | | | |
|--|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------------|
| N° | Punto | Este | Norte | Cota | Descripción |
| 1 | R2 | 391720.0400 | 8246480.3220 | 3826.931 | Concreto |
| 2 | R3 | 391776.0220 | 8246492.8000 | 3830.947 | Concreto |
| 3 | R1 | 391750.5910 | 8246471.7790 | 3830.155 | Concreto |
| 4 | R4 | 391841.5570 | 8246524.5330 | 3827.908 | Concreto |
| 5 | R6 | 391806.5570 | 8246583.3260 | 3819.018 | Concreto |
| 6 | R7 | 391736.0600 | 8246551.3560 | 3822.595 | Concreto |
| 7 | UNA - 03 | 391810.7220 | 8246552.1180 | 3822.583 | Concreto |
| 8 | ESCÁNER | 391796.3080 | 8246515.4920 | 3826.930 | Concreto |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla F.2. Coordenadas y cotas de levantamiento topográfico con estación total

| N° | Punto | Este | Norte | Cota | Descripción |
|----|-------|-------------|--------------|----------|-------------------|
| 1 | A-1 | 391697.2760 | 8246482.3070 | 3824.887 | Moldes de Metal |
| 2 | A-2 | 391724.8010 | 8246477.8610 | 3827.521 | Moldes de Metal |
| 3 | A-3 | 391737.2750 | 8246480.2590 | 3828.654 | Moldes de Metal |
| 4 | A-4 | 391745.7090 | 8246473.5370 | 3829.611 | Moldes de Metal |
| 5 | A-5 | 391762.5010 | 8246456.0390 | 3833.291 | Moldes de Metal |
| 6 | A-6 | 391727.5860 | 8246497.0680 | 3826.490 | Moldes de Metal |
| 7 | A-7 | 391743.3180 | 8246493.1050 | 3828.226 | Moldes de Metal |
| 8 | A-8 | 391760.5120 | 8246477.8090 | 3830.570 | Moldes de Metal |
| 9 | A-9 | 391780.6140 | 8246499.5010 | 3829.919 | Moldes de Metal |
| 10 | A-10 | 391786.6970 | 8246505.0130 | 3828.930 | Moldes de Metal |
| 11 | A-11 | 391791.0000 | 8246496.5440 | 3830.495 | Moldes de Metal |
| 12 | A-12 | 391812.5820 | 8246497.1340 | 3831.390 | Moldes de Metal |
| 13 | A-13 | 391810.9150 | 8246506.0760 | 3829.053 | Moldes de Metal |
| 14 | A-14 | 391796.3080 | 8246515.4920 | 3826.930 | Moldes de Metal |
| 15 | A-16 | 391842.7060 | 8246513.0310 | 3829.834 | Moldes de Metal |
| 16 | A-17 | 391849.1670 | 8246520.9510 | 3828.655 | Moldes de Metal |
| 17 | A-18 | 391849.6910 | 8246543.4620 | 3824.154 | Moldes de Metal |
| 18 | A-19 | 391838.7270 | 8246540.0880 | 3824.337 | Moldes de Metal |
| 19 | A-20 | 391827.5120 | 8246544.8900 | 3824.120 | Moldes de Metal |
| 20 | A-21 | 391807.6330 | 8246541.7140 | 3822.714 | Moldes de Metal |
| 21 | A-23 | 391784.7380 | 8246528.9870 | 3826.006 | Moldes de Metal |
| 22 | A-24 | 391817.2910 | 8246587.1070 | 3818.987 | Moldes de Metal |
| 23 | A-25 | 391807.8670 | 8246598.0780 | 3818.963 | Moldes de Metal |
| 24 | A-26 | 391793.1820 | 8246586.6610 | 3818.997 | Moldes de Metal |
| 25 | A-27 | 391726.9250 | 8246553.8630 | 3822.272 | Moldes de Metal |
| 26 | T-01 | 391797.6990 | 8246513.7320 | 3827.199 | Monumentos de C° |
| 27 | T-02 | 391798.2940 | 8246510.8210 | 3827.649 | Monumentos de C° |
| 28 | T-03 | 391798.8990 | 8246507.8590 | 3828.122 | Monumentos de C° |
| 29 | T-04 | 391799.4920 | 8246504.9700 | 3828.672 | Monumentos de C° |
| 30 | T-05 | 391800.1000 | 8246502.0010 | 3829.245 | Monumentos de C° |
| 31 | T-06 | 391800.7040 | 8246499.0520 | 3829.884 | Monumentos de C° |
| 32 | T-07 | 391801.2940 | 8246496.1700 | 3830.658 | Monumentos de C° |
| 33 | T-08 | 391801.8990 | 8246493.2050 | 3831.361 | Monumentos de C° |
| 34 | T-10 | 391795.7380 | 8246513.3540 | 3827.219 | Monumentos de C° |
| 35 | T-11 | 391796.3360 | 8246510.4260 | 3827.639 | Monumentos de C° |
| 36 | T-12 | 391796.9400 | 8246507.4700 | 3828.120 | Monumentos de C° |
| 37 | T-13 | 391797.5460 | 8246504.5100 | 3828.685 | Monumentos de C° |
| 38 | T-14 | 391798.1390 | 8246501.5870 | 3829.258 | Monumentos de C° |
| 39 | T-15 | 391798.7350 | 8246498.6820 | 3829.847 | Monumentos de C° |
| 40 | T-16 | 391799.3410 | 8246495.7130 | 3830.596 | Monumentos de C° |
| 41 | T-17 | 391799.9410 | 8246492.7800 | 3831.321 | Monumentos de C° |
| 42 | T-18 | 391800.2330 | 8246491.3450 | 3831.706 | Monumentos de C° |
| 43 | C-1 | 391731.1040 | 8246495.7400 | 3826.944 | Hito De concreto |
| 44 | C-2 | 391750.2530 | 8246505.2260 | 3827.713 | Hito De concreto |
| 45 | C-3 | 391739.7090 | 8246559.9050 | 3822.291 | Hito De concreto |
| 46 | C-4 | 391718.1500 | 8246517.0910 | 3824.712 | Muro |
| 47 | P-3 | 391774.1560 | 8246506.6640 | 3828.610 | Piedra |
| 48 | POSTE | 391697.1020 | 8246524.8570 | 3823.835 | Poste de concreto |

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla F.3. Coordenadas y cotas tomadas de la nube puntos – MDT

| N° | Punto | Este | Norte | Cota | Descripción |
|----|-------|-------------|--------------|----------|-------------------|
| 1 | A-1 | 391697.3190 | 8246482.2240 | 3824.892 | Moldes de Metal |
| 2 | A-2 | 391724.8030 | 8246477.8920 | 3827.522 | Moldes de Metal |
| 3 | A-3 | 391737.2630 | 8246480.1740 | 3828.651 | Moldes de Metal |
| 4 | A-4 | 391745.6860 | 8246473.5000 | 3829.616 | Moldes de Metal |
| 5 | A-5 | 391762.5670 | 8246456.0840 | 3833.285 | Moldes de Metal |
| 6 | A-6 | 391727.4800 | 8246497.0660 | 3826.479 | Moldes de Metal |
| 7 | A-7 | 391743.2670 | 8246493.0250 | 3828.194 | Moldes de Metal |
| 8 | A-8 | 391760.4720 | 8246477.7970 | 3830.550 | Moldes de Metal |
| 9 | A-9 | 391780.6230 | 8246499.4930 | 3829.917 | Moldes de Metal |
| 10 | A-10 | 391786.7190 | 8246504.9530 | 3828.934 | Moldes de Metal |
| 11 | A-11 | 391791.0640 | 8246496.4760 | 3830.536 | Moldes de Metal |
| 12 | A-12 | 391812.6870 | 8246497.2050 | 3831.362 | Moldes de Metal |
| 13 | A-13 | 391811.0000 | 8246506.1240 | 3829.085 | Moldes de Metal |
| 14 | A-14 | 391796.4090 | 8246515.4680 | 3826.914 | Moldes de Metal |
| 15 | A-16 | 391842.7180 | 8246512.9620 | 3829.847 | Moldes de Metal |
| 16 | A-17 | 391849.1820 | 8246520.9480 | 3828.664 | Moldes de Metal |
| 17 | A-18 | 391849.6860 | 8246543.5000 | 3824.156 | Moldes de Metal |
| 18 | A-19 | 391838.7060 | 8246540.0720 | 3824.328 | Moldes de Metal |
| 19 | A-20 | 391827.5210 | 8246544.8500 | 3824.107 | Moldes de Metal |
| 20 | A-21 | 391807.6350 | 8246541.7170 | 3822.694 | Moldes de Metal |
| 21 | A-23 | 391784.6710 | 8246528.9960 | 3826.019 | Moldes de Metal |
| 22 | A-24 | 391817.2390 | 8246587.2440 | 3818.983 | Moldes de Metal |
| 23 | A-25 | 391807.7820 | 8246598.0420 | 3818.947 | Moldes de Metal |
| 24 | A-26 | 391793.1350 | 8246586.5870 | 3818.989 | Moldes de Metal |
| 25 | A-27 | 391726.9320 | 8246553.8970 | 3822.281 | Moldes de Metal |
| 26 | T-01 | 391797.6990 | 8246513.7290 | 3827.204 | Monumentos de C° |
| 27 | T-02 | 391798.2940 | 8246510.8180 | 3827.654 | Monumentos de C° |
| 28 | T-03 | 391798.8970 | 8246507.8590 | 3828.124 | Monumentos de C° |
| 29 | T-04 | 391799.4850 | 8246504.9780 | 3828.670 | Monumentos de C° |
| 30 | T-05 | 391800.0930 | 8246501.9970 | 3829.242 | Monumentos de C° |
| 31 | T-06 | 391800.7120 | 8246499.0630 | 3829.887 | Monumentos de C° |
| 32 | T-07 | 391801.2890 | 8246496.1620 | 3830.655 | Monumentos de C° |
| 33 | T-08 | 391801.8880 | 8246493.2110 | 3831.321 | Monumentos de C° |
| 34 | T-10 | 391795.7400 | 8246513.3520 | 3827.224 | Monumentos de C° |
| 35 | T-11 | 391796.3390 | 8246510.4230 | 3827.647 | Monumentos de C° |
| 36 | T-12 | 391796.9380 | 8246507.4590 | 3828.125 | Monumentos de C° |
| 37 | T-13 | 391797.5360 | 8246504.5100 | 3828.691 | Monumentos de C° |
| 38 | T-14 | 391798.1470 | 8246501.5980 | 3829.250 | Monumentos de C° |
| 39 | T-15 | 391798.7420 | 8246498.6920 | 3829.854 | Monumentos de C° |
| 40 | T-16 | 391799.3510 | 8246495.7220 | 3830.574 | Monumentos de C° |
| 41 | T-17 | 391799.9380 | 8246492.7700 | 3831.289 | Monumentos de C° |
| 42 | T-18 | 391800.2640 | 8246491.3680 | 3831.681 | Monumentos de C° |
| 43 | C-1 | 391731.0360 | 8246495.7180 | 3826.937 | Hito De concreto |
| 44 | C-2 | 391750.3350 | 8246505.2740 | 3827.680 | Hito De concreto |
| 45 | C-3 | 391739.7530 | 8246559.9120 | 3822.294 | Hito De concreto |
| 46 | C-4 | 391718.0660 | 8246517.0130 | 3824.753 | Muro |
| 47 | P-3 | 391774.1740 | 8246506.6920 | 3828.583 | Piedra |
| 48 | POSTE | 391697.1960 | 8246524.7580 | 3823.876 | Poste de concreto |

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO G

Planos de modelo digital de terreno (MDT)

- LT - ET - 01: MODELO DIGITAL DE TERRENO GENERADO CON ESTACION TOTAL
- LT - EL – 02:MODELO DIGITAL DE TERRENO GENERADO CON ESCANER LASER
- UP - 03: UBICACION DE LOS PUNTOS