Estudio del error de la componente altimétrica (z) de un modelo digital de terreno generado con tecnología Lídar terrestre con base a un levantamiento GPS

Erik Peña & Francisco Buitrago
Septiembre de 2015.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería
Ingeniería catastral y geodesia
Proyecto de grado

Contenido

Capítulo I. Introducción 10
Definición del problema 11
Justificación 13
Objetivos 14
Objetivos General 14
Objetivos Específicos 14
Hipótesis 14
Área de estudio 15
Alcance y limitaciones 16
Capitulo II. Marco teórico 17
Antecedentes 17
LÍDAR 18
Escaneado laser 19
Escáner Faro Focus 3D 22
Levantamiento mediante técnicas satelitales 24
Materiales 26
Nivelación topográfica – nivelación geométrica 30
Nivel topográfico 34
Modelo Digita le Terreno 35
Métodos geoestadísticos Kriging 36
Capítulo III: Metodología 40
Preparación e Inducción 40
Captura De Datos 44
Datos LÍDAR 44
Datos GPS 46
Nivelación de Precisión 51
Datos de Topografía (Poligonal Cerrada) 52

Procesamiento De Datos 54
Procesamiento Datos GPS 54
Procesamiento Datos LÍDAR 85
Procesamiento Datos Nivelación 96
Procesamiento Datos Topográficos 97
Determinación de puntos base en MDT vs. Levantamiento GPS 99
Implementación método geoestadístico Kriging y elaboración de MDT_{KU} 104
Capítulo IV: Análisis y resultados 129
Determinación de error en Z 129
Comparación del modelo digital de terreno LÍDAR y Kriging (MDTk) con puntos de levantamiento topográfico 135
Comparación MDT con MDT_K 136
Determinación de escalas óptimas según la resolución 064/1994 IGAC 139
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones 141
CITAS REFERENCIAS Y REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 147

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Ubicación Zona de Estudio 15
Ilustración 2. Escaneado Panorámico (Mecinca) 20
Ilustración 3. Escáner FARO-FOCUS3D (FARO, s.f.) 23
Ilustración 4. Esfera Individual y juego de esferas de LÍDAR terrestre FARO-FOCUS3D (Mecinca) (laserscanning-europe, s.f.) 24
. Ilustración 5. Trípode nivelante (TopografiaMonterrey, 2013) 27
Ilustración 6. Receptor GPS TOPCON GR-5 (TopografiaMonterrey, 2013) 28
Ilustración 7. Base nivelante receptor (TopografiaMonterrey, 2013) 29
Ilustración 8. Controladora del dispositivo GPS (TopografiaMonterrey, 2013) 30
Ilustración 9.Variables a medir en campo nivelación indirecta (xatakaciencia, 2014) 31
Ilustración 10. Variables a medir en campo nivelación directa (xatakaciencia, 2014) 31
Ilustración 11. Nivel topográfico y mira estadimétrica (Alfatopografia, 2014) 34
Ilustración 12. Comparación entre modelos matemáticos, geoide y topografía (xatakaciencia, 2014) 36
Ilustración 13 Sesión de introducción al funcionamiento del dispositivo LÍDAR Faro Focus 3D 40
Ilustración 14 Sesión de captura de datos LÍDAR en la zona de estudio 41
Ilustración 15 Configuración de proyecto de captura usando Faro Focus 3D 42
Ilustración 16 Vista previa de escena capturada por Faro Focus 3D 42
Ilustración 17 Flujograma para el desarrollo del trabajo 44
Ilustración 18 Esquema de posicionamiento del dispositivo y sus esferas 45
Ilustración 19 Esquema del cambio de esferas para capturar varias escenas 46
Ilustración 20. Determinación de tiempos de recepción según IGAC 47
Ilustración 21. Captura de datos GPS en campo 49
Ilustración 22. Captura de Datos Nivelación 52
Ilustración 23. Captura Datos Topografía 53
Ilustración 24. Calendario GPS Descarga Efemérides Precisas 55
Ilustración 25. Ruta Descargar Rinex (1) 56
Ilustración 26. Archivos Estaciones Magna Eco Observables y Navegables 57
Ilustración 27. Descompresión IGAC 57

Ilustración 28. Ruta Coordenadas SIRGAS 58
Ilustración 29. Archivo .crd Coordenadas Estaciones (SIRGAS.ORG) 58
Ilustración 30. Conversión Crudos a RINEX 61
Ilustración 31. Calculo centro de fase Dispositivos HIPER PLUS Y TOPCONGR-5 62
Ilustración 32. Alturas a centro de fase receptor. (Leica Geo Office) 63
Ilustración 33. RINEX Punto K1 con Altura a centro de Fase HIPER PLUS 64
Ilustración 34. RINEX Punto K1 con Altura a centro de Fase GR-5 65
Ilustración 35. Proyecto LGO Parámetros y Sistema de Coordenadas 66
Ilustración 36. Importación Datos RINEX 66
Ilustración 37. Importación Efemérides Precisas 67
Ilustración 38. Coordenadas Fijas Puntos de Control LGO 67
Ilustración 39. Bases y Rover's del Levantamiento 68
Ilustración 40. Parámetros de Procesamiento 68
Ilustración 41. Procesamiento de puntos y solución de ambigüedad 69
Ilustración 42. Vista de Bases y Rogers 69
Ilustración 43. Puntos Ajustados 70
Ilustración 44. Coordenadas Ajustadas y Exportación de Reporte 70
Ilustración 45. Parámetros Procesamiento puntos E4 E5 y E6 71
Ilustración 46. Procesamiento Punto E4 71
Ilustración 47. Análisis Punto E5 72
Ilustración 48. Exclusión de satélites (Análisis Procesamiento) 72
Ilustración 49. Grafica PDOP (Position Dilution Of Presition) 73
Ilustración 50. Exclusión de Satélites (LGO) 74
Ilustración 51. Ambigüedad no solucionada 74
Ilustración 52. Diferencia Triple Residuales punto E6 con estación BOGA 75
Ilustración 53. Grafica PDOP Punto E6 con estación BOGA 75
Ilustración 54. Exclusión Tiempos Satélites Punto E6 con estación BOGA y solución de Ambigüedad 76
Ilustración 55. Coordenadas Línea Base BOGA- E6 (Reporte Leica) 76
Ilustración 56. Parámetros Procesamiento Topcon Tools 77
Ilustración 57. Importación Datos Topcon Tools 78

Ilustración 58. Especialización Puntos Topcon Tools 78
Ilustración 59. Conversión de coordenadas Puntos de Control. 79
Ilustración 60. Ajuste y Coordenadas Topcon Tools 80
Ilustración 61. Generación Reportes de Coordenadas y Resultado 80
Ilustración 62. GPS + Post Processing 81
Ilustración 63. Cambio Mascara de Elevación (Topcon Tools) 81
Ilustración 64. Ventana de Satélites Recepcionados (Topcon Tools) 82
Ilustración 65. Des habilitación de Tiempos de Recepción de Satélites 82
Ilustración 66. Vectores Aprobados 83
Ilustración 67. Ajuste de Red y Coordenadas E13 (Topcon Tools) 83
Ilustración 68 Reporte de resultados del amarre automático de esferas entre las cuatro escenas 86
Ilustración 69 Georreferenciación de la nube de puntos usando Real Works 87
Ilustración 70 Reporte de error interno de referenciación arrojado por Real Works 88
Ilustración 71 Proceso de remuestreo de la nube de puntos usando Real Works 89
Ilustración 72 Captura de pantalla de clasificación manual usando software INPHO 90
Ilustración 73 Vista superior de la nube de puntos clasificada (Todos los puntos) 91
Ilustración 74 Vista superior de la nube de puntos clasificada (Puntos de piso) 92
Ilustración 75. Zoom Zona Estudio Datos LÍDAR (FugroViewer) 93
Ilustración 76 Parámetros para generar el DTM 93
Ilustración 77 Primer DTM obtenido y delimitación del área útil. 94
Ilustración 78 DTM definitivo 95
Ilustración 79 Circuito NP6-E1 96
Ilustración 80 Altura Ortométrica NP6-E1 96
Ilustración 81. Grilla 50 cm Sobre MDT 100
Ilustración 82. Punto E1 101
Ilustración 83. Punto de Grilla más cercano a E2 102
Ilustración 84. . Punto de Grilla más cercano a E13 102
Ilustración 85. Punto de Grilla más cercano a K4 103
Ilustración 86 Datos Puntos Kriging en R 106
Ilustración 87 Estadísticas Puntos Kriging 107

Ilustración 88 Histograma y grafica QQ-Plot Variable Z 108
Ilustración 89 Resultados Test Normalidad Shapiro-Wilk 108
Ilustración 90 Análisis de tendencias de la variable Z 109
Ilustración 91 Regresión Lineal Orden 1 111
Ilustración 92 Regresión Lineal Orden 2 111
Ilustración 93 Regresión Lineal Orden 3 111
Ilustración 94 Regresión Lineal Orden 3 Depurada 112
Ilustración 95 AIC Entre Modelos 113
Ilustración 96 Tendencia Residuales 113
Ilustración 97 Regresión Lineal Residuales 114
Ilustración 98 Semivariogramas datos normales y de regresión 115
Ilustración 99 Prueba de Anisotropía 115
Ilustración 100 Semivariograma Experimental 116
Ilustración 101 Semivariogramas Experimentales Clásicos Datos Originales Gaussiano, Exponencial, Esférico y Efecto Agujero 117
Ilustración 102 Métodos de Ajustes datos Originales 118
Ilustración 103 Distancias Datos Originales por Validación Cruzada 120
Ilustración 104 Tipo de Kriging y Orden de Remoción de Residuales 121
Ilustración 105 Tendencia de los datos 121
Ilustración 106 Definición del parámetro de isotropía para la interpolación 122
Ilustración 107 Validación de la predicción de alturas usando Kriging 123
Ilustración 108 Resumen metodológico de interpolación 124
Ilustración 109 Mapa de error estándar en la predicción 124
Ilustración 110 Visualización de interpolación usando Kriging universal de segundo orden 125
Ilustración 111 Comparación Kriging ordinario vs Kriging universal 126
Ilustración 112 DTM predicho acotado 127
Ilustración 113 Distribución de error en el DTM predicho acotado 127
Ilustración 114. Punto E12 con altura contra la altura del Ground más cercano 133
Ilustración 115. Punto K7 con altura contra la altura del Ground más cercano 134
Ilustración 116. Punto K9 con altura contra la altura del Ground más cercano 134

Ilustración 117 Estadísticas de la diferencia entre DTM LÍDAR y DTM Kriging 137
Ilustración 118 Distribución espacial de diferencia en alturas DTM LÍDAR y DTM Kriging 138
Ilustración 119 Errores incrementado en zonas Kriging y afectación por parte del hombre141
Ilustración 120 Punto K2 e interferencia de recepción por vegetación 143
Ilustración 121 Error entre 0m y -0.60m para la resta de DTM's 143
Ilustración 122 Alta densidad de puntos LÍDAR y puntos Kriging (interpolación de N2 es óptima) 144

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipo de Escáner por Forma de Medición (Mecinca) 21
Tabla 2. Errores FARO- FOCUS^{3D} 23
Tabla 3. Métodos de nivelación directa (xatakaciencia, 2014) 31
Tabla 4. Cartera Campo Día GPS 345 49
Tabla 5. Cartera Campo Día GPS 346 50
Tabla 6. Coordenadas Estaciones MAGNA-ECO 59
Tabla 7 Determinación de centro de fase HIPER 63
Tabla 8 Determinación de centro de fase TOPCON GR-5 64
Tabla 9. Coordenadas Posición Esferas 84
Tabla 10. Coordenadas Puntos de Nivelación 84
Tabla 11. Coordenadas Puntos Kriging 85
Tabla 12. . Coordenadas Esferas de Georreferenciación LÍDAR 87
Tabla 13. Nivelación Geométrica 96
Tabla 14. Cartera Puntos Topográficos (Coordenadas Esferas) 97
Tabla 15 Cotas Esferas Estación Total 98
Tabla 16.Distancia entre Puntos GPS y Grilla 103
Tabla 17. Puntos Kriging con Altura GPS 105
Tabla 18 Comparación Alturas GPS Vs. MDT Lídar 130
Tabla 19. Comparación Alturas GPS Vs. LAS 131
Tabla 20 Comparación de error de alturas entre información LÍDAR y DTM tomando como referencia la información altimétrica GPS 132
Tabla 21. Error altura GEOCOL2004 DTM Vs Nivelación Geométrica 135
Tabla 22. Error altura GEOCOL2004 KRIGING Vs Nivelación Geométrica 136
Tabla 23 Comparación de entre errores de DTM LÍDAR y DTM Kriging 139
Tabla 24 Determinación de la escala máxima según res 064/94 IGAC 140
Tabla 25 Escalas máximas permitidas segun resolución 064/94 IGAC 145

Capítulo I. Introducción

El presente proyecto de grado se interesa en estudiar la precisión de un DTM generado a partir de tecnología Escáner Laser Terrestre o LÍDAR terrestre y su ajuste mediante la toma de puntos con antenas satelitales o levantamiento GPS. La implementación de tecnología Laser Terrestre en Colombia no ha sido estudiada a gran escala, su uso principal se basa en los Modelos Digitales del Terreno (MDT), los cuales son muy utilizados a nivel mundial para diferentes fines, de tales modelos se pueden realizar estudios relacionados con la Ingeniería Catastral y Geodesia. Entre los más importantes resalta la clasificación de coberturas, creación de mapas de relieve, parámetros del terreno, corrimientos del terreno, geomorfología y geografía física entre otros.; ya sea que estos sean utilizados para áreas como Sistemas de Información Geográfica (SIG), estudios de gestión de riesgo, entre otros.

La implementación de nuevas tecnologías dentro del país hace que estas tiendan a evolucionar y por ende los profesionales deben estar a la par con dichos avances. La tecnología LÍDAR terrestre posee el problema de desfase en la variable Z (altura elipsoidal), por lo que se aplicara una corrección por medio de puntos de control capturados con técnicas satelitales y así ajustar por métodos geoestadísticos de interpolación la altura elipsoidal o variable Z.

Los procesos a seguir para la implementación se basan en el estudio de las tecnologías mencionadas y acoplarlas para obtener un resultado en su aplicación y/o funcionamiento del levantamiento LÍDAR, para esto se tendrán datos propios y cálculos exactos del post proceso.

Definición del problema

El uso de la tecnología LÍDAR ha avanzado en gran proporción por la variedad de aplicaciones que permite; estos instrumentos tienen mayor facilidad en la adquisición de datos con resultados que superan los esperados. Una de las características principales de los datos que se obtienen a partir de esta tecnología es una nube de puntos; la cual se debe procesar-clasificar o re-clasificar ya sea por algoritmos o clasificación manual supervisada. Dentro de las principales aplicaciones se pueden encontrar los proyectos urbanísticos, remoción en masa, excavaciones, cartografía, levantamientos de terreno, modelo digitales de elevación y de terreno (MDE y MDT), entre otros, este último siendo el de interés a desarrollar en este trabajo.

En la actualidad la experiencia de las empresas y de los estudios que se han realizado con la tecnología ha proporcionado avances y mejoras significativas en cuanto a la rapidez de captura y pos-proceso de datos, durante el desarrollo de estos proyectos se evidencian errores en las coordenadas las cuales tienen un rango de error según el equipo o instrumento que se use, normalmente los errores que se están obteniendo superan estos rangos y se debe a distintos factores como calibración, transformación, sincronización, superficies y coberturas complejas, posicionamiento, orientación, alineación o empalme, errores estocásticos y humanos, entre otros. Todos estos errores influyen directamente en la precisión de las coordenadas de los puntos, por lo cual es importante determinar el error e intentar disminuirlo en la medida de lo posible (puesto que es imposible eliminarlo).

Según especificaciones del mercado de dispositivos LÍDAR se tienen rangos de errores de precisión muy pequeños, pero estas especificaciones se sacan de una muestra estadística con una fiabilidad del 68%, y no se habla ni de 90% ni 95%, es normal encontrar que la precisión disminuye mediante aumenta el ángulo de escaneo (Gómez, Delgado). El desfase o diferencia se

puede obtener de la comparación con la medidas mediante puntos de control por lo cual demostrara que el MDT a realizar presenta error en la coordenada Z que es la altura elipsoidal asociada al elipsoide WGS84, esta está dada por el GPS interno o mediante puntos de control en el caso del LÍDAR terrestre.

Otros casos en los cuales se han presentado errores en altimetría de datos tomados con tecnología LÍDAR en modelos digitales de terreno; tienen discrepancias en error altimétrico de 40 cm. En el proyecto del ministerio de fomento del gobierno de España para generación de coberturas LÍDAR entre MDT's (PNOA, 2012), el proyecto tomo varias zonas en las cuales se presentan algunas con más de 80 0 90 cm de error. Otro proyecto realizado es el estudio para la estimación de la velocidad del flujo del agua para hallar parámetros que infieren en su cálculo a partir de un MDT en el cual se esperaba una alta precisión, y la máxima que se puedo obtener fue de 15 cm en altimetría (Colmenares, 2013); existen errores más grandes que abarcan de 15 a 100 cm (Colina, 2000), errores de 0.1, 0.15, 0.5 o 1.0 m que se dan por errores sistemáticos o estocásticos(MASS, HANDS-GEAR) y otras que datan de 13 cm (A. Serra, Institut Cartografic de Catalunya), estas precisiones altimétricas están dadas por la altitud, el ángulo de barrido, el escaneo del espejo y su orientación, por lo cual teniendo claro que el error existe se deben desarrollar procesos que permitan mejorar la precisión altimétrica de los datos. El propósito de este proyecto es implementar el método geoestadístico Kriging y levantamiento por método satelitale diferencial para tal fin.

Los métodos de ajuste en la precisión de altimetría permite que la elaboración de Modelos Digitales de Terreno sean más exactos, en los cuales la pendiente y rugosidad tiene características importantes para incendios forestales, la geomorfología de la zona, levantamiento

longitudinal de vías, obras hidráulicas y uno de los más importantes el cálculo de volúmenes de terracería, entre otros para así mejorar sus resultados, aplicaciones y soluciones.

Puesto que la tecnología LÍDAR terrestre funciona con el mismo principio del LÍDAR aerotransportado se pretende realizar el estudio comprobando el error con el LÍDAR terrestre propiedad de la universidad y aplicar el método Kriging para determinar si existe disminución del error, dado que ayudaría a que esta tecnología avance en precisión, calidad, manejo de datos y facilidad de acceso.

Justificación

Este proyecto tiene como objeto encontrar una forma de ajustar los datos obtenidos en campo con LÍDAR terrestre, mediante el uso de Técnicas satelitales de posicionamiento, específicamente Diferencial absoluto, el cual servirá como base para plantear puntos de control, de tal forma que permita por medio del método geoestadístico Kriging reducir el error obtenido en la coordenada Z o altura elipsoidal (siendo esta la primera altura medida para la generación de un MDT y sobre la cual se realizara el estudio).

El desarrollo de este proyecto tiene como finalidad verificar si el proceso podrá ajustar y mejorar la calidad de los datos LÍDAR en la coordenada Z, y usarlos teniendo la certeza de que los datos son más precisos y acordes a la realidad. Para esto se debe contemplar los errores anteriormente mencionados y procurar realizar todas las etapas del proceso de forma adecuada.

Actualmente se considera que la tecnología LÍDAR está en auge y que su uso está creciendo exponencialmente debido a la facilidad de manejo de los datos obtenidos por parte de las empresas privadas y públicas ya que las aplicaciones son de gran variedad.

Los resultados que se van a obtener serán de interés para todas las instituciones y personas que estén usando la tecnología LÍDAR y que estén realizando actividades relacionadas con los modelos digitales de terreno, por ende es primordial que la universidad promueva este tipo de proyectos y estudios relacionados directamente con el pregrado de Ingeniería Catastral y Geodesia.

Objetivos

Objetivos General

Proponer una metodología para ajustar la componente altimétrica de un MDT obtenido a partir de tecnología LÍDAR terrestre en base a un levantamiento GPS.

Objetivos Específicos

• Generar un modelo digital de terreno con el dispositivo LÍDAR terrestre FARO-FOCUS 3D.

• Establecer el error de la coordenada Z o altura elipsoidal de un modelo digital de terreno MDT realizado con LÍDAR terrestre (FARO-FOCUS 3D).

• Obtener un modelo digital de terreno generado a partir de la aplicación del método geoestadístico Kriging, en base a un levantamiento GPS absoluto que evidencie si existe disminución en el error de Z.

Hipótesis

Se plantea la hipótesis en la cual se ajuste la altura elipsoidal de un modelo digital de terreno generado a partir de LÍDAR terrestre, mediante el uso de técnicas satelitales de levantamiento e interpolación Kriging. Dado que los datos obtenidos mediante LÍDAR son una nube de puntos

muy amplia se pretende tener puntos de control mediante el levantamiento por técnicas satelitales; los puntos GPS y LÍDAR coinciden en las coordenadas X y Y, luego de encontrar estos puntos en común se corregirá Z y se iniciara a interpolar y extrapolar por medio del método geoestadístico para predecir la correcta medición de la coordenada Z.

Área de estudio

La realización del proyecto se ejecutara sobre el lote B de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Sede Vivero, el cual se encuentra entre la Avenida Circunvalar y el Instituto Roosevelt aledaño a la sede Vivero de la Universidad, la zona cuenta con una amplia mascara para obtener los datos correspondientes con la mayor facilidad.



Ilustración 1. Ubicación Zona de Estudio[1]

[1] (GOOGLE,2013) Universidad Distrital Macarena, cerca de Independencia, Bogotá, Bogotá, Colombia. Imágenes ©2013 DigitalGlobe, Datos de mapa ©2013 Google. “Escala Indeterminada”, Erik Peña, Francisco Buitrago, “Google Maps”. (http://goo.gl/maps/Vd6To)(19 de Octubre de 2013).

Alcance y limitaciones

El alcance del proyecto estará relacionado con la población a la cual se dirige la investigación, al ser una investigación académica de pregrado principalmente se dirige a las instituciones y empresas que quieran iniciar o estén llevando a cabo actividades con tecnología LÍDAR, las cuales deben tener claro las ventajas y desventajas de implementar proyectos en los cuales intervienen los modelos digitales de terreno. También será de interés para la universidad Distrital Francisco José de Caldas, específicamente los proyectos curriculares de Ingeniería Catastral y Geodesia y de Ingeniería Topográfica ya que es temática de interés las innovaciones que se generaron con esta tecnología.

Las limitaciones que se tendrán para ejecutar el proyecto se basan principalmente en relación del modelo digital que se va obtener con el dispositivo LÍDAR terrestre o escáner laser terrestre y en el levantamiento diferencial absoluto, una causal podría ser el mal tiempo y con esto se hace referencia a condiciones climáticas que dificulten la captura de datos ya sea con el dispositivo LÍDAR, con los GPS y con el Nivel, los cuales van afectar la calidad de la información obtenida. Los resultados que se van a obtener se deben aplicar en condiciones similares en las cuales se va desarrollar el proyecto, es decir se debe contemplar que la zona de estudio tenga características adecuadas y que en las diferentes etapas del post proceso se realicen las correcciones pertinentes.

Capitulo II. Marco teórico

Antecedentes

La tecnología LÍDAR en Colombia ha marcado un nuevo camino en la construcción de modelos digitales de terreno entre otros estudios; existen empresas que toman y procesan datos LÍDAR en el país, entre ellas se encuentran GEOCAM fundada en 2007 con estudios característicos en geomática enfocada en productos generados a partir de datos LÍDAR, otra de las más importantes es FAL INGENIEROS S.A.S la cual realiza estudios geoespaciales, fundada en 1980 tiene una alianza con GEODIGITAL INTERNATIOANAL INC. Empresa estadounidense la cual se caracteriza por su amplio desempeño con datos LÍDAR en distintos estudios como redes eléctricas, poliductos, medio ambiente, forestal entre otros. Actualmente se encuentran otras empresas que manejan este tipo de datos, la obtención de esta tecnología marca nuevos parámetros en la obtención de datos con mayor practicidad aunque su uso es relativamente nuevo dentro del país.

Es necesario implementar esta tecnología y estudiar sus aplicaciones, para poder llegar a ese punto y proyectar el alcance de la gran cantidad de información brindada por un levantamiento con dispositivo LÍDAR, es indispensable investigar y crear proyectos que involucren a pequeña, mediana y grande escala todas las temáticas que comprende trabajar con tal tecnología, por esto se debe contemplar los pros y contras que resalten para así poder identificar los problemas, y de esta misma forma buscar una solución eficaz para su evolución al modelar o establecer cuál es la forma adecuada de trabajar y desarrollar actividades al implementar dicha tecnología.

En la actualidad los proyectos que se ejecutan con uso de LÍDAR están causando gran impacto debido a las ventajas que brinda con respecto a las técnicas tradicionales; se destaca la

rapidez de obtención de datos y su rentabilidad, por lo que ha hecho que esta tecnología se imponga con más fuerza y genere más interés por parte de los usuarios. Esta ha tenido inconvenientes debido a los problemas de precisión en la altura ortométrica (altura obtenida a partir de la altura elipsoidal la cual es objeto de estudio del siguiente proyecto) o componente Z de un DTM generado a partir de la nube de puntos que esta tecnología ofrece posterior a la toma de datos en campo, dado que para determinar la altura ortométrica es necesario precisar la altura elipsoidal se estudiara esta para determinar el error desde el inicio. En efecto la Ingeniería Catastral y Geodesia tiene un papel fundamental en desarrollar actividades con LÍDAR, ya que sus productos están relacionados con áreas de la carrera, entre las aplicaciones más a fin están la cartografía de alta precisión, estudio de suelos, sistemas de información geográfica (SIG), entre otras, dicho esto se tiene una relación directa en temáticas de Catastro, Geomática y Geodesia.

LÍDAR

Acrónimo de Light Detection and Ranging, es un sistema de recolección de datos es 3D, es una tecnología denominada sensor activo debido a que este cuenta con un sensor que a su vez es transmisor y receptor. El láser normalmente trabaja en una longitud de onda de 532 a 1550 nm.

Tipos

• LÍDAR aéreo: el sensor es transportado en una plataforma aérea, con una altura entre 400 y 2500 m desde la superficie, con precisiones muy exactas en las 3 variables, son usadas para capturar áreas amplias. Aquellos que son de baja altitud se utiliza normalmente para estudios de vías de comunicación e infraestructuras con altitud de vuelo es mucho menor (de 50 m a 800 m sobre la superficie) estos ofrecen mayores precisiones al igual que mayor cantidad de puntos.

• LÍDAR móvil: El sistema es transportado vehículo, en este el láser gira 360° en todo el transcurso del vehículo. Este tipo de escaneo presenta la mayor precisión con respecto a los otros con densidad de puntos muy elevada posibles de 4000 puntos por metro cuadrado

• LÍDAR terrestre: Es un sistema estático el cual se encuentra sobre un trípode, el cual se utiliza para un área neta de interés, su precisión es muy alta y su cantidad de puntos varía con la cantidad de área a escanear.

Escaneado laser

Método mediante el cual una superficie es plasmada o escaneada usando tecnología láser, la toma de datos se da en el entorno y sus objetos en tiempo real, Los datos obtenidos son utilizados para tener reconstrucciones digitales bien sean bidimensionales o tridimensionales.

El láser escáner o LÍDAR terrestre (TLS; acrónimo de Terrestrial Laser Scanning) se basa en el mismo principio que el LÍDAR aerotransportado (ALS). Esto es, el barrido de la zona a levantar se realizada mediante un láser, sólo que en este caso el barrido se realiza desde un equipo estacionado sobre la superficie.

El caso más común es que el equipo se estacione en un punto fijo, lo que simplifica bastante el sensor ya que no es necesario disponer de un sistema inercial. Lo único que se precisa es el propio escáner y un instrumento de referencia que permita obtener coordenadas absolutas, generalmente un GPS (aunque se puede prescindir de éste y trabajar en coordenadas relativas).

“Esta técnica presenta múltiples aplicaciones en diversos campos de la ciencia y la tecnología; desde el procesamiento de la materia, conservación del patrimonio cultural, hasta la industria del entretenimiento; pasando, obviamente, por la generación de modelos digitales del terreno (Delacourt et al. 2007). En este campo, la técnica de láser escáner se ha empleado en

diversos trabajos como análisis de evolución geomorfológica de escarpes (Abellán et al. 2010) y estudios de desplazamientos en movimientos de ladera (Teza et al. 2008).” (Jiménez-Perálvarez).

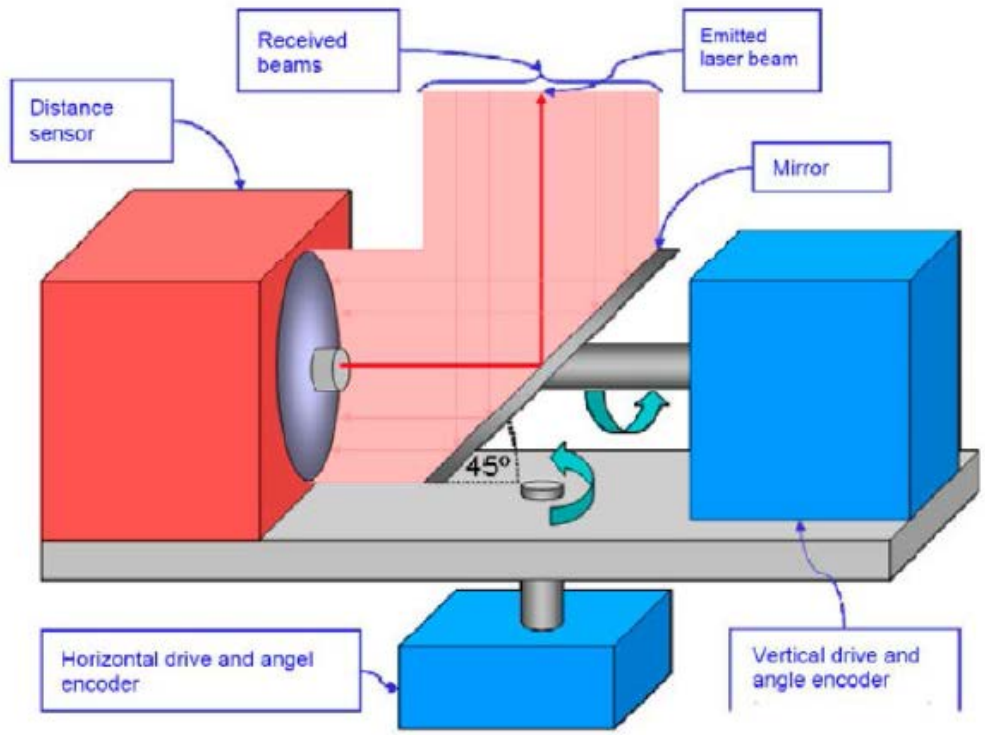
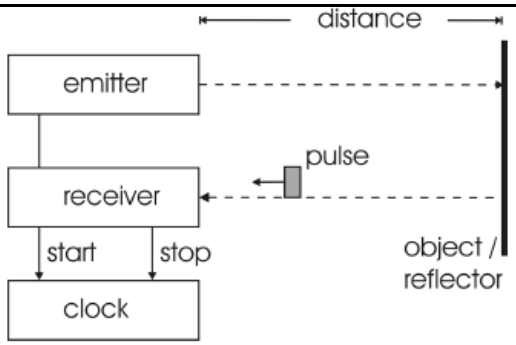
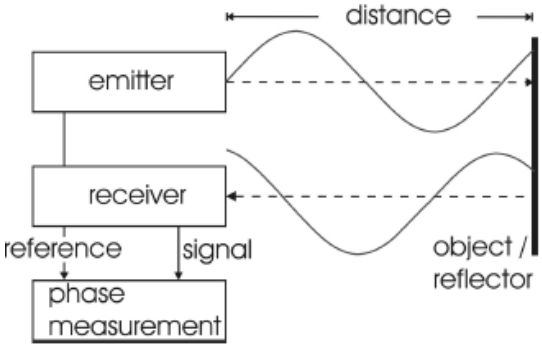


Ilustración 2. Escaneado Panorámico (Mecinca)

Lo que permite diferenciar a los escáner como tal es su forma de medir la distancia a cada punto, en efecto se puede hacer por tiempo de vuelo que tiene un rango más largo pero operación más lenta; o por medición de fase que es de un rango más corto pero más rápidos y precisos en su operación.

Tabla 1. Tipo de Escáner por Forma de Medición (Mecinca)

TIEMPO DE VUELO	**CAMBIO DE FASE**
	
$\Delta t = \frac{2 \cdot \Delta s}{c} = \frac{2 \cdot 0.001\,\mathrm{m}}{3 \cdot 10^8\,\mathrm{m/s}} = 6.7 \cdot 10^{-12}\mathrm{s} = 6.7\,\mathrm{ps}.$ $s = \frac{c}{2} \cdot \Delta t$	$s = \frac{1}{2}\left(N \cdot \lambda + \lambda \frac{\Delta\phi}{2\pi}\right)$ $\Delta t = \frac{\Delta\phi}{2\pi f}.$ $\lambda = \frac{c}{f}.$
El espacio recorrido es función de la velocidad de la luz y el tiempo transcurrido en el viaje, dividido entre dos, ya que la señal va al punto y regresa al instrumento Aquí se realiza el calculo para 0.001m , es decir 1 mm Y tomara 6.7 pico segundos,. Se puede observar que en esta modalidad el tiempo es muy critico.	Lambda, la longitud de onda de la señal de medición, regresa con retraso DELTA FASE, que es convertido en Distancia, de acuerdo a la formula indicada: N, es el factor de Ambigüedad, es decir el numero entero de longitudes de onda que viajan, mas la parte final DELTA FASE. Se construyen en forma tal, que envían varias longitudes de onda al mismo tiempo, y un procesador digital las separa y las calcula en forma paralela.

Escáner Faro Focus 3D

Este escáner se caracteriza por tener su medición en cambio de fase, este es panorámico por lo que permite obtención total de puntos de la superficie. Este permite una obtención de 976.000 puntos las cuales se representan en imágenes tridimensionales de geometrías y entornos complejos; entre cosas que se detallan del escáner se tiene, su eficiencia en gran alcance que es de 120 m (aunque entre menor es la distancia a los puntos de toma mejor es el retorno y por lo tanto su precisión); unas características que se tienen en cuenta en cuanto el productos son:

- Unidad de medición de distancia
- Intervalo de univocidad: 153.49 m (503.58 pies).
- Rango de Focus3D 120(1): 0.6 m a 120 m en interior o exterior con poca luz ambiental e incidencia normal a una superficie reflectora del 90 %.
- Rango de Focus3D 20: 0.6 m a 20 m en una incidencia normal en una superficie reflectora mate mayor que el 10 %.
- Velocidad de medición: 122,000/244,000/488,000/976,000 puntos/s.
- Error de la medición de la distancia (2): ±2 mm a 10 m y 25 m, cada una a un coeficiente de reflexión del 90 % y 10 %.

Tabla 2. Errores FARO- FOCUS^{3D}

Error de medición*(3)*	**A 10 m**	**A 25 m**
a 90 % de ref.	0.6 mm	0.95 mm
a 10 % de ref.	1.2 mm	2.20 mm

Campo de visión vertical: 305°

Campo de visión horizontal: 360°



Ilustración 3. Escáner FARO-FOCUS3D (FARO, s.f.)

(1) Depende de la luz ambiental, que puede ser una fuente de error. La luz ambiental brillante (por ejemplo, la luz del sol) puede disminuir el rango real del escáner a distancias menores. En condiciones de poca luz ambiental, el rango puede ser mayor a 120 m para la incidencia normal en superficies altamente reflectoras.

(2) El error de medición de distancia se define como el error máximo en la distancia que mide el escáner desde el punto de origen hasta un punto en un objetivo plano.

(3) El error de medición se define como una desviación estándar de valores sobre el plano óptimo (FARO, s.f.)

Sistemas De Coordenadas Utilizadas

Mediante esferas de control, el haz del escáner choca contra ellas, y mediante varios puntos el programa de registro determina el centro de la esfera que se debe encontrar sobre el punto de coordenadas conocidas por lo que estas deben estar en una base nivelantes.



Ilustración 4. Esfera Individual y juego de esferas de LÍDAR terrestre FARO-FOCUS3D (Mecinca) (laserscanning-europe, s.f.)

Pasos Fundamentales Para Un Levantamiento Con LÍDAR Terrestre

- ✓ Esquema del área a escanear para determinar los lugares de escaneo.
- ✓ Determinar los objetos de referencia: esfera, puntos de control, entre otros.
- ✓ Realizar escaneo con la seguridad pertinente.
- ✓ Descargar y filtrar cada escaneo.
- ✓ Geo referenciar.

Levantamiento mediante técnicas satelitales

Los sistemas GPS o sistemas de posicionamiento global consisten en una red de satélites que orbitan alrededor de la tierra a distancias específicas, los cuales transmiten señales a dispositivos

en tierra. *Estas señales llevan un código de tiempo y un punto de datos geográficos que permite al usuario identificar su posición exacta, la velocidad y el tiempo en cualquier parte del planeta.* (Sercoinsc).

Los levantamientos mediante técnicas satelitales han desplazado las actividades como levantamientos topográficos y geodésicos, dado por las incorporaciones de estos instrumentos tecnológicos más avanzados; los procesos de captura, almacenamiento, cálculo y transmisión de los datos de campo presentan una mayor facilidad en su representación gráfica. Por ende estos procesos generan una mayor precisión y rapidez en los datos obtenidos.

Para clasificar los métodos de posicionamiento se dan diferentes criterios por lo que pueden dividir en diferenciales o relativos, el levantamiento Relativo o Diferencial, consta de al menos dos equipos que recibirán simultáneamente información, estas se pueden realizar por código o por fase. La distancias entre coordenadas que se encuentran entre los receptores se dan en las tomas de punto y recepcionamiento de estos, son puntos alternos y establecidos en toda la zona de estudio a este método se le denomina Diferencial; la ventaja de este método radica en que los puntos dados por el recepcionamiento tienen un procesamiento relativamente sencillo por los errores de posicionamiento se reducen según el número de satélites que se encuentran recepcionando las antenas de los GPS, a estos se les puede ajustar la gráfica PDOP para eliminar los detalles que no sirven del levantamiento.

Los errores naturales y los causados por el usuario son detectados en su gran mayoría, por lo que su disminución es más fácil de precisar; aunque estos sean muy pequeños es preciso realizar las correcciones pertinentes y así obtener un nivel de precisión más alto.

Para la realización de este método es necesario el uso de dos (2) receptores operando simultáneamente; en este proceso hay un receptor quieto denominado “base” por lo cual este es estático y supervisa la toma de datos y sus correspondientes errores para que el segundo receptor denominado “rover” el cual captura los datos en distintos puntos de la zona de estudio recepcionando los datos de estos. Las correcciones se realizan sobre los puntos obtenidos en el “rover” para ajustar los puntos correctamente.

Se puede tener levantamientos estático o estático rápido, el levantamiento estático sirve para determinar las coordenadas X, Y y Z directamente o ΔXX, ΔYY, ΔZZ si el posicionamiento es diferencial, a partir de un receptor el cual toma observaciones realizadas en un periodo de tiempo, también existen levantamientos cinemáticos en el cual el posicionamiento se da en fase continua que requiere periodos cortos para obtener los datos en cada punto posicionado.

Materiales

Trípode: es un aparato que se compone de tres partes el cual permite estabilizar un objeto específico, evita movimientos propios del objeto. Para el caso del desarrollo del proyecto se usaran dos sujetos al préstamo que disponga la universidad.



. Ilustración 5. Trípode nivelante (TopografiaMonterrey, 2013)

GPS Topcon GR-5: "*El nuevo receptor GR-5 es el siguiente paso en el continuo desarrollo de la última tecnología de receptores más avanzada disponible. La construcción desde el enorme éxito del primer receptor del mundo con tecnología RTK G3, el Topcon GR-3, el nuevo GR-5 proporciona los últimos avances tecnológicos con el mismo rendimiento de gran alcance*"[2]. Contiene las herramientas necesarias para poder llevar acabo con el desarrollo del proyecto en cuanto al levantamiento GPS que se realizara en campo.

Especificaciones:

- 216 Canales
- Constelaciones: GPS - Glonass - Galileo
- Preparado para todas las nuevas señales a integrarse
- RTK a 100 Hz

[2] www.geosistemas.com

- Radio interna Integrada
- Modem interno para comunicación RTK vía Celular GSM
- Máxima resistencia a golpes y caídas
- 32 GB de memoria interna
- Avanzada Antena GNSS



Ilustración 6. Receptor GPS TOPCON GR-5 (TopografiaMonterrey, 2013)

Base nivelante: Es el soporte del Topcon GR-5 y se encuentra conformado por placa base, tornillos Calantes, nivel esférico y el botón aliforme. Tiene una influencia muy importante en la precisión de la medición, ya que de esta depende la resistencia a la torsión.

Placa base: La placa base se caracteriza por tener en su centro un orificio roscado que permite fijar al instrumento sobre el trípode, se encuentra unida a tornillos Calantes por medio de una placa plástica.

Tornillos Calantes: son utilizados para poner vertical el eje de rotación regulando el nivel de alidada.

Nivel esférico: también se le conoce como “ojo de pollo” el cual permite tener un control sobre la horizontalidad de la placa base, lo cual determina si existe desplazamiento del instrumento o GPS sobre el trípode, se realiza en un mismo plano horizontal y es de gran importancia ya que permite centrar el instrumento sobre un punto determinado; su funcionamiento está ligado a la posición de las patas de trípode.

Botón aliforme o cerrojo giratorio: Es un botón que fija o libera la base nivelante del instrumento, mientras se está realizando el trabajo siempre debe estar en posición fija para no tener problemas como daños físicos del instrumento o desnivelación de este mismo.



Ilustración 7. Base nivelante receptor (TopografiaMonterrey, 2013)

Controlador: Es un dispositivo de fácil manejo el cual permite realizar configuraciones sobre el levantamiento GPS, desde crear una carpeta para tener organización en la información que se va a recepcionar hasta establecer mascara de elevación y tiempo de medición o recepción de coordenadas de un punto, entre otras.

- Controlador de campo Topcon serie FC
- Pantalla de toque full color

- Interface gráfica de Windows
- Operación inalámbrica por conexión vía bluetooth

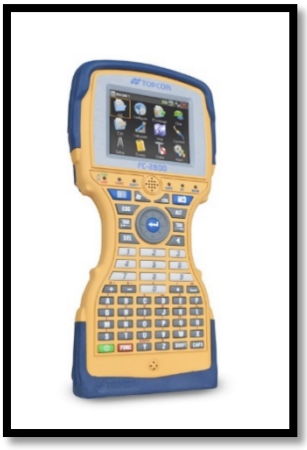


Ilustración 8. Controladora del dispositivo GPS (TopografiaMonterrey, 2013)

Nivelación topográfica – nivelación geométrica

Un levantamiento topográfico son las operaciones conjuntas que se ejecutan sobre un terreno, este permite trazar las característica específicas de un este, su relieve, pendientes, entre otros. Sus objetivos son la obtención de la posición de puntos sobre el terreno, tanto sus características planimetrías como las altimétricas, los cuales se pueden dar en cualquier tipo de zona, para una posterior elaboración de planos, perfiles, curvas de nivel y redes de nivelación.

Métodos de nivelación:

Nivelación indirecta: se compone del cálculo de las diferencias de altura a partir de las pendientes y distancias horizontales medidas.

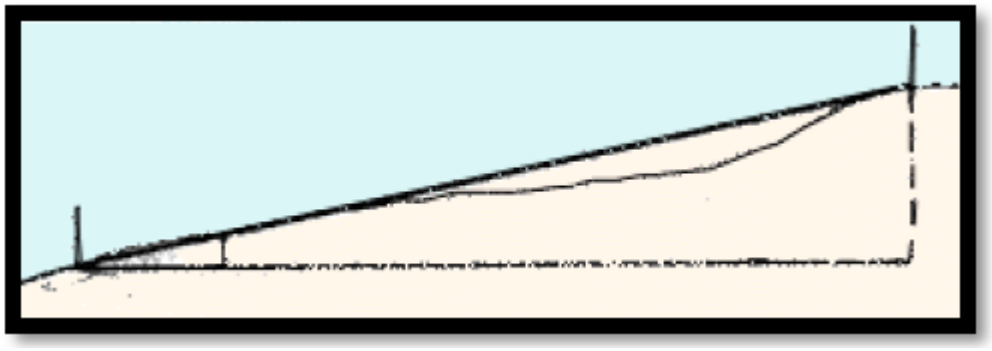


Ilustración 9.Variables a medir en campo nivelación indirecta (xatakaciencia, 2014)

Nivelación directa: es el método más usado, se conforma de mediciones directas de las diferencias de alturas.

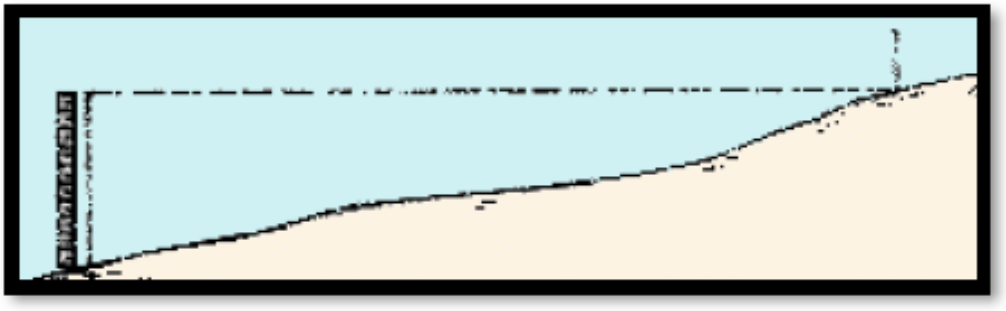


Ilustración 10. Variables a medir en campo nivelación directa (xatakaciencia, 2014)

Métodos de nivelación directa:

Tabla 3. Métodos de nivelación directa (xatakaciencia, 2014)

Métodos de nivelación directa			
Tipo	**Método**	**Aplicabilidad**	**comentarios**
Nivelación diferencial	Poligonal abierta	Extensión de tierra larga y estrecha	Verificar el error de cierra
Nivelación diferencial	Poligonal cerrada	Perímetro de la parcela de tierra y línea de base para la proyección radial	Verificar el error de cierre. Combinar con el método radial
Nivelación diferencial	Cuadrículas	Parcela de tierra con poca vegetación	Cuadrados de 10 a 20 m y de 30 a 50 m

Nivelación diferencial	Radial	Parcela grande con visibilidad	Combinar con poligonal cerrada
Nivelación del perfil longitudinal	Poligonal abierta	Niveles con visor y sin visor	Verificar el error de cierra
Nivelación de corte transversal	Radial	Nivel con visor y buena visibilidad	
Curvas de nivel	Directo	Realización de mapas de áreas pequeñas con niveles con y sin visor y miras de plancheta	lento y preciso, Proceder de abajo hacia arriba
Curvas de nivel	Cuadrículas	parcelas pequeñas con poca vegetación, Especialmente si ya se ha hecho el levantamiento del perímetro, Mapas a pequeña y mediana escala	El terreno, la escala y la precisión dependen del intervalo entre las curvas de nivel. Proceder de abajo hacia arriba. Adecuado para el uso de la plancheta
Curvas de nivel	Radial	Mapas de grandes áreas a pequeñas y mediana escala	Rápido y algo impreciso, Proceder de abajo hacia arriba, Adecuado para el uso de la plancheta
Curvas de nivel	Secciones transversales	Levantamiento preliminar de extensiones de tierra largas y estrechas	Rápido y algo impreciso, Proceder de abajo hacia arriba, Adecuado para el uso de la plancheta

Nivelación geométrica (diferencial):

Este método es el más preciso y determina directamente la diferencia de cotas entre dos puntos con la obtención de un plano horizontal.

La nivelación geométrica simple: Es la que se efectúa instalando el nivel en un punto situado entre otros dos cuyo desnivel se quiere determinar. Para llevar a cabo el procedimiento podemos usar los siguientes métodos:

• Método del punto medio: el aparato se estaciona en un punto equidistante entre los dos cuyo desnivel se desea conocer, estableciéndose lecturas de miras en ambos puntos.

• Método del punto extremo: para calcular el desnivel entre dos puntos, el aparato se estaciona en un punto y la mira en otro.

• Método de estaciones equidistantes: el aparato se sitúa entre los puntos cuyos desniveles deseamos conocer, haciendo dos estaciones en puntos cuyas distancias al primero y al segundo son iguales.

• Método de estaciones exteriores: el nivel se sitúa en dos estaciones exteriores a la alineación de los puntos cuyo desnivel se desea conocer.

La nivelación geométrica compuesta: Es la que se efectúa cuando hay necesidad de hacer varias nivelaciones simples producto a que los puntos se encuentran a mucha distancia o existen muchos accidentes naturales en el terreno y no se puede determinar con solo una armada de equipo.

Elementos importantes:

Puntos de nivel primario: Son los correspondientes a los puntos de control.

Puntos de nivel secundarios: son aquellos puntos que sirven de apoyo para poder enlazar dos puntos de control, sobre dicho punto de cambio se coloca la mira para efectuar las lecturas correspondientes.

Vista atrás: es la lectura de la mira correspondiente al punto de cota conocida.

Vista adelante: es la lectura de la mira correspondiente al punto de cota conocida orientada hacia donde continuara la nivelación.

Herramientas básicas de una nivelación geométrica:

- Nivel topográfico
- Mira
- Trípode
- Base nivelante
- Cinta métrica (Para medir la altura instrumental)

Nivel topográfico

El nivel topográfico es un instrumento que tiene como objetivo obtener mediciones de desniveles o diferencias en alturas que existen entre diferentes puntos, por lo cual se debe hacer el traslado de cotas de un punto conocido a otro desconocido. También se le conoce a este instrumento como nivel óptico o equialtímetrico.



Ilustración 11. Nivel topográfico y mira estadimétrica (Alfatopografia, 2014)

Características:

- Para realizar su función es que se quiera realizar, por ende esta se encuentra entre 1.5 cm- 1.7 cm por kilómetro de terreno nivelado o medido.

Modelo Digita le Terreno

Los modelos digitales de terreno se han desarrollado con el fin de abordar las nuevas tecnologías, según la definición de Doyle (1978-1981) en un "*Conjunto de datos numéricos que describen la distribución espacial de una característica del territorio"*. Estos datos van a ser de tipo digital en la cual se plasman las variables en una distribución espacial. Se cree que el origen del termino *digital terrain model* tiene lugar en el Laboratorio de Fotogrametría del Instituto de Tecnología de Massachusetts hacia los años 50, en un trabajo de Laflame y Miller (1958) por lo que se establecen los primeros usos de los MDT en una representación estadística de la superficie continua del terreno. En los cuales también se ve establecido el aspecto de georreferenciación pero está en términos menores.

Una de las características primordiales de usar tecnología LÍDAR para obtener un modelo digital de terreno es que esta información puede visualizarse y procesarse en aplicaciones informáticas, es decir los sistemas de información geográfica SIG los cuales facilitan resolver problemas y toma de decisiones.

Las aplicaciones de los modelos digitales de terreno tienen un campo de acción muy amplio, dentro de las cuales resalta la elevación de cualquier punto, la pendiente, los desniveles, las áreas factibles de inundación, volúmenes de tierra, cuencas, sub-cuencas entre otras, de esta forma se convierte en fuente de información de gran utilidad en estudios de medio ambiente, hidrológicos, de energía, zonas de riesgo infraestructura y agricultura.

El punto de partida de los modelos digitales de terreno y de elevación con escáner terrestre son los sistemas de laser aerotransportado LÍDAR, por lo cual tienen los mismos principios, estos hacen referencia a una matriz de datos de elevación a partir de coordenadas de puntos clasificados obtenidos en campo, los cuales representan una realidad espacial que se materializa por medio de un modelo elipsoidal.

Para lo cual se debe tener claro que las alturas de un mismo punto tienen diferente distancia o valor, la cual depende directamente de la medición a la cual haga referencia; de tal forma que si la medición es referida al elipsoide será h (altura elipsoidal) o referida al geoide H (altura ortométrica-ondulación del geoide).

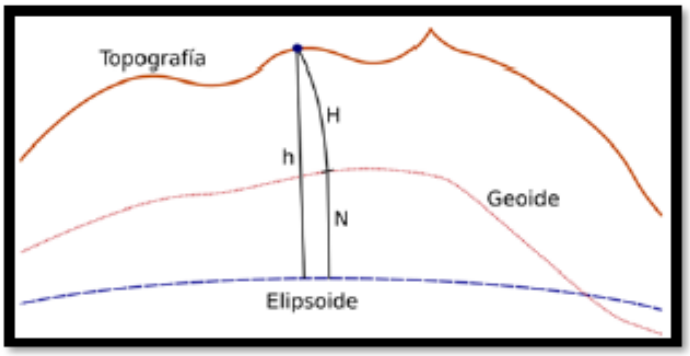


Ilustración 12. Comparación entre modelos matemáticos, geoide y topografía (xatakaciencia, 2014)

Métodos geoestadísticos Kriging

Se basa en la estimación de puntos, que utiliza un modelo de variograma para obtener la información de datos; por lo cual se calcula pesos que se darán a cada punto de referencia, usado para la valoración. Esta técnica de interpolación está basada en que la variación espacial tiene un patrón de continuidad. El Kriging al ser una predicción se puede entender como lineal o por inferencia, parte de la definición de que los puntos próximos en el espacio son más cercanos que los distantes, por lo que se podría deducir una fuerte correlación en el espacio.

"Kriging se basa en la suposición de que el parámetro que se está interpolado puede ser tratada como una variable regionalizada. Una variable regionalizada es intermedio entre una variable verdaderamente aleatoria y una variable completamente determinista en que varía de manera continua de un lugar a los próximos y por lo tanto los puntos que están cerca unos de otros tienen un cierto grado de correlación espacial, pero los puntos que son ampliamente separados son estadísticamente independientes" (Davis, 1986). Kriging es un conjunto de rutinas de regresión lineal que minimizan varianza de estimación de un modelo de covarianza predefinido."[3]

En base a la información que se tiene se puede concluir que el método geoestadístico Kriging es un predictor espacial que resulta indispensable para solucionar problemas relacionados con la ubicación de la coordenada Z cuando no hubo medición.

Kriging Ordinario

Suponga que se hacen mediciones de la variable de interés Z en los puntos xi, i = 1, 2, ... n,de la región de estudio, es decir se tienen realizaciones de las variables Z(x1), ...,Z(xn), y se desea predecir Z(xo), en el punto x0 donde no hubo medición. En esta circunstancia, el método Kriging ordinario propone que el valor de la variable puede predecirse como una combinación lineal de las *n* variables aleatorias así:

$$Z*(x_0) = \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2)$$

$$Z*(x_0) = \sum_{i=0}^{n} \lambda_i Z(x_i)$$

[3] (ems-i)

En donde los λ_i representan los pesos o ponderaciones de los valores originales. Dichos pesos se calculan en función de la distancia entre los puntos muestreados y el punto donde se va a hacer la correspondiente predicción. La suma de los pesos debe ser igual a uno para que la esperanza del predictor sea igual a la esperanza de la variable. Esto ´último se conoce como el requisito de insesgamiento. Estadísticamente la propiedad de insesgamiento se expresa a través de:

$$E\big(Z^*(x_0)\big) = E\big(Z(x_0)\big)$$

Asumiendo que el proceso es estacionario de media m (desconocida) y utilizando las propiedades del valor esperado, se demuestra que la suma de las ponderaciones debe ser igual a uno:

$$E = \left(\sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i) \right) = m$$

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i E\big(Z(x_i)\big) = m$$

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i m = m$$

$$m \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = m \rightarrow \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1$$

Se dice que $Z^*(x_0)$ es el mejor predictor, lineal en este caso, porque los pesos se obtienen de tal manera que minimicen la varianza del error de predicción, es decir que minimicen la expresión:

$$V\left(Z^*(x_0) - Z(x_0)\right)$$

Esta última es la característica distintiva de los métodos Kriging, ya que existen otros métodos de interpolación como el de las distancias inversas o el poligonal, que no garantizan varianza mínima de predicción. La estimación de los presos se obtiene minimizando

$$V[Z^*(x_0) - Z(x_0)]$$

Sujeto a

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1$$

Se tiene que

$$V[Z^*(x_0) - Z(x_0)] = V[Z^*(x_0)] - 2cov[Z^*(x_0), Z(x_0)] + V[Z(x_0)]$$

Desagregando las componentes de la ecuación anterior se obtiene lo siguiente:

$$V[Z^*(X_0)] = V\left[\sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i)\right]$$

$$= \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \lambda_i \lambda_j COV[Z(x_i), Z\left(x_j\right)]$$

En adelante se usara la siguiente notación:

$$COV\left[Z^*(x_i), Z\left(x_j\right)\right] = C_{ij} \text{ y } V[Z(x_0)] = \sigma^2$$

Capítulo III: Metodología

Preparación e Inducción

La zona cuenta con una amplia extensión de terreno, esta cuenta con terreno desnudo, árboles a parte del camino que conecta la Plazoleta media torta con la sede Vivero de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, el cual es de cemento, la zona cuenta con una vegetación baja con excepciones como lo son los árboles. El área cuenta con una pendiente pronunciada por lo que esto ayudara a la finalidad del estudio, puesto que la zona es bastante amplia se pudo establecer una intervisibilidad entre los puntos para la realización de la captura de todos los datos, permitió que se pudieran ver las esferas con gran facilidad y que a la vez abarcaran una gran extensión de área.



Ilustración 13 Sesión de introducción al funcionamiento del dispositivo LÍDAR Faro Focus 3D



Ilustración 14 Sesión de captura de datos LÍDAR en la zona de estudio

Los elementos necesarios para la captura de datos en cuanto a conceptos, se recibieron en materias de la carrera como lo fueron Topografía e Geodesia satelital lo cual hizo que dicha captura fuera más fácil. La inducción para la toma de datos LÍDAR se realizó en una zona aledaña a la de estudio por lo cual se permitió maniobrar el equipo antes de la captura de los datos del estudio, La esferas son ubicadas estratégicamente para que puedan empalmar las escenas, el escáner se coloca en posición que pueda radiar toda la escena, para finalizar se toman varias escenas un ejemplo de estas se encuentra n las ilustraciones 13 ,14 y 15.

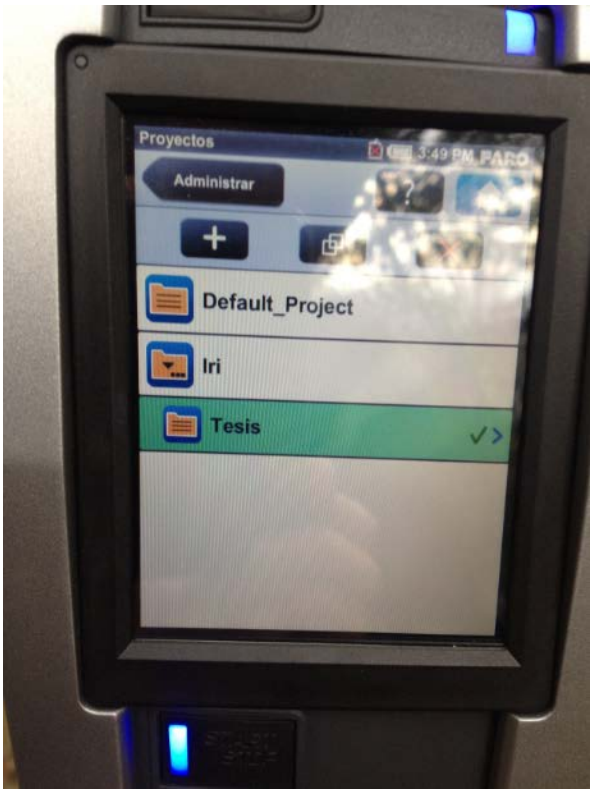


Ilustración 15 Configuración de proyecto de captura usando Faro Focus 3D



Ilustración 16 Vista previa de escena capturada por Faro Focus 3D

Los datos de la nivelación y la poligonal se capturaron usando nivel de precisión y estación total con el propósito de obtener las coordenadas y las cotas con las cuales se compararían los resultados.

Para la recepción de los datos GPS se documenta de los manuales de los equipos GR-5 y de los HIPER los cuales indican como iniciar la recepción, cuales son los parámetros adecuados para el correcto recepcionamiento y las características del área en la cual se tomaran para que sea un buen recepcionamiento. Como se mencionó antes gracias a los conocimientos previos de topografía y geodesia satelital se sabe cómo procesar en los softwares para así solucionar ambigüedades y obtener las coordenadas más precisas.

Por estudios anteriores se reconoce que para la captura de los datos GPS no hay necesidad de utilizar una base puesto que las bases MAGNA ECO (bases utilizadas por MAGNA SIRGAS para determinar cualquier punto sobre el elipsoide) se encuentran a menos de 30 km de distancia en este caso son las estaciones BOGA Y BOGT, el cálculo de estas se hace con dichas bases, efemérides precisas las cuales ayudan a ubicar la posición de los satélites y así determinar una correcta geometría en la determinación de las coordenadas del punto, se ajustaran las coordenadas de los puntos GPS MAGNA ECO y se ajustaran los puntos.

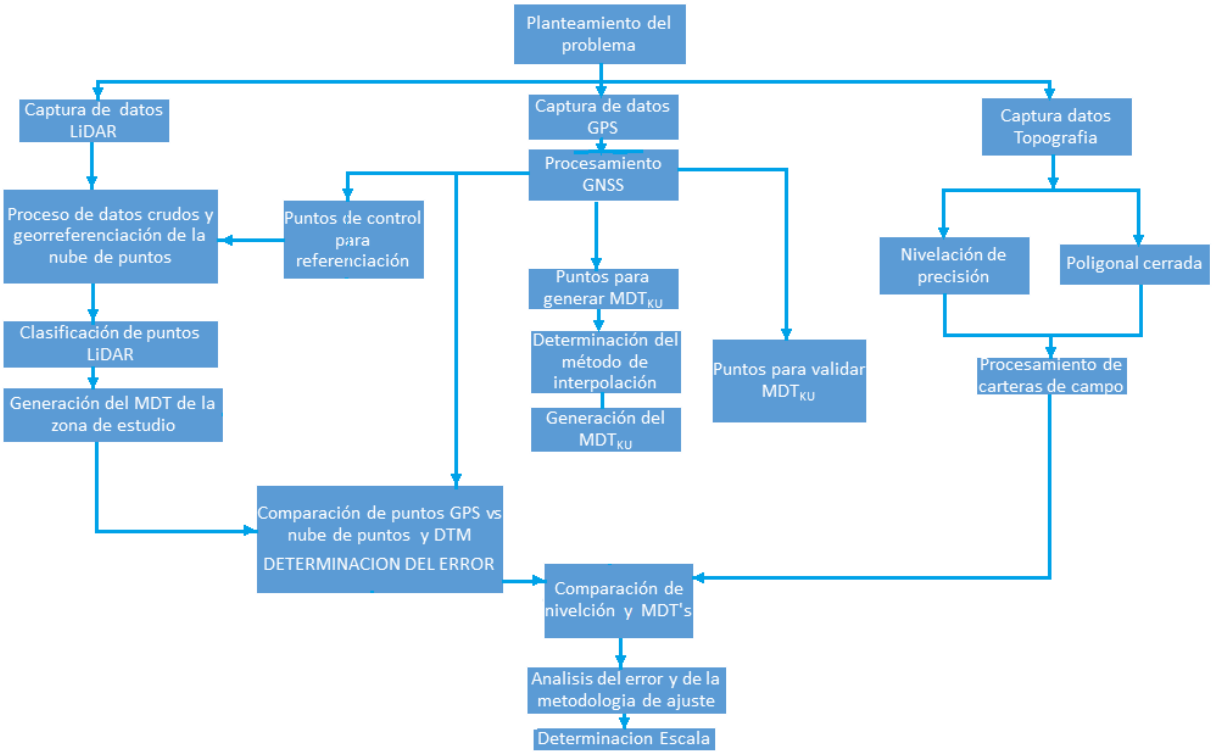


Ilustración 17 Flujograma para el desarrollo del trabajo

Captura De Datos

Datos LÍDAR

El funcionamiento de las esferas del dispositivo LÍDAR está ligado con la distancia que se encuentre al laser terrestre, en totalidad el dispositivo cuenta con seis (6) esferas las cuales van a estar distribuidas alrededor del dispositivo para que pueda escanear en un rango de 360° horizontalmente, con un ángulo vertical de cobertura de 305°; la siguiente grafica representa la captura de datos en un área cualquiera.

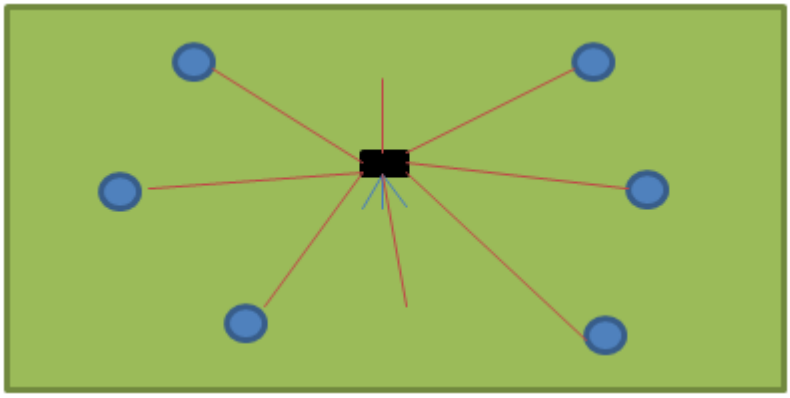


Ilustración 18 Esquema de posicionamiento del dispositivo y sus esferas

En la Ilustración 18 se aprecia que a cada costado del LÍDAR terrestre se encuentran tres (3) esferas y esto se debe a que para realizar el empalme, se deben desplazar tres (3) de estas al costado hacia el cual se va a efectuar el siguiente escaneo como se muestra en la Ilustración 19; en punteado y color claro se observan las posiciones anteriores en las cuales se encontraban las esferas y el LÍDAR terrestre, dado que el levantamiento se desplaza hacia la derecha las esferas también lo realizan por lo que de esta manera se realiza el nuevo escaneo en toda el área, la posición de las otras tres (3) esferas permanece intacta para que al realizar el empalme, los puntos que se tengan en común en el levantamiento coincidan.

La nube de puntos que se toma en campo queda georreferenciado con coordenadas absolutas estipuladas por la posición del LÍDAR terrestre, esto significa que el genera un cero absoluto (0,0,0) en su centro para determinar coordenadas a la nube de puntos, las esferas se colocaran en puntos con coordenadas conocidas para así cuando se procesen los datos se les asignara coordenadas verdaderas y este se las asigne a todos los puntos de la nube, por lo que quedaran georreferenciados adecuadamente para la comparación con los puntos base de GPS; puesto que la captura de datos abarca un área bastante amplia se va a presentar un rango de captura de datos con menos precisión en los puntos más alejados del LÍDAR.

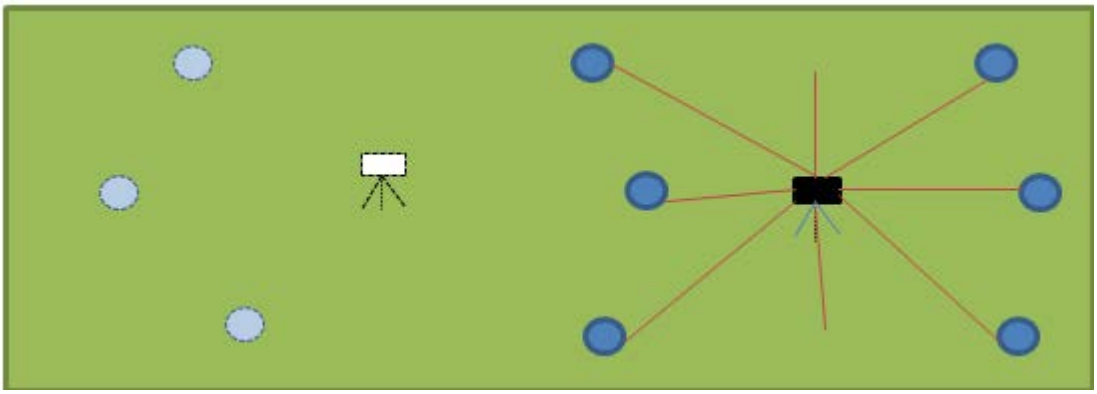


Ilustración 19 Esquema del cambio de esferas para capturar varias escenas

El proceso de escaneo se realizó cuatro veces para abarcar el área total, en los cuales se tuvo en cuenta que deben estar incluidos los puntos GPS que sirvan de base y control.

La ubicación de las esferas dentro de la nube de puntos se realizó haciendo uso del software Real Works, de la casa Trimble. De la misma manera fue usando dicho software para la georreferenciación de la nube de puntos así como el remuestreo de información (para propósitos de mejorar el manejo y portabilidad de la información se optó por dejar una densidad de 20 puntos cada metro cuadrado) y su posterior transformación al formato estándar LAS.

Datos GPS

La captura de los datos se realizó utilizando tres (3) dispositivos TOPCON GR-5 y un (1) dispositivo HIPER, equipos suministrados por el laboratorio de topografía de la UDFJC. En total se realizaron cuarenta y cuatro (44) lecturas de puntos distribuidos en el área de estudio, la lectura de cada punto fue en promedio de cincuenta (50) minutos de recepción, tiempo determinado luego de consultar la página del IGAC como se aprecia en la Ilustración 20. Dado que el área de estudio se encuentra a una distancia menor a treinta (30) kilómetros de las estaciones continuas MAGNA ECO del IGAC se optó por no hacer recepción del punto base dentro del área de estudio.

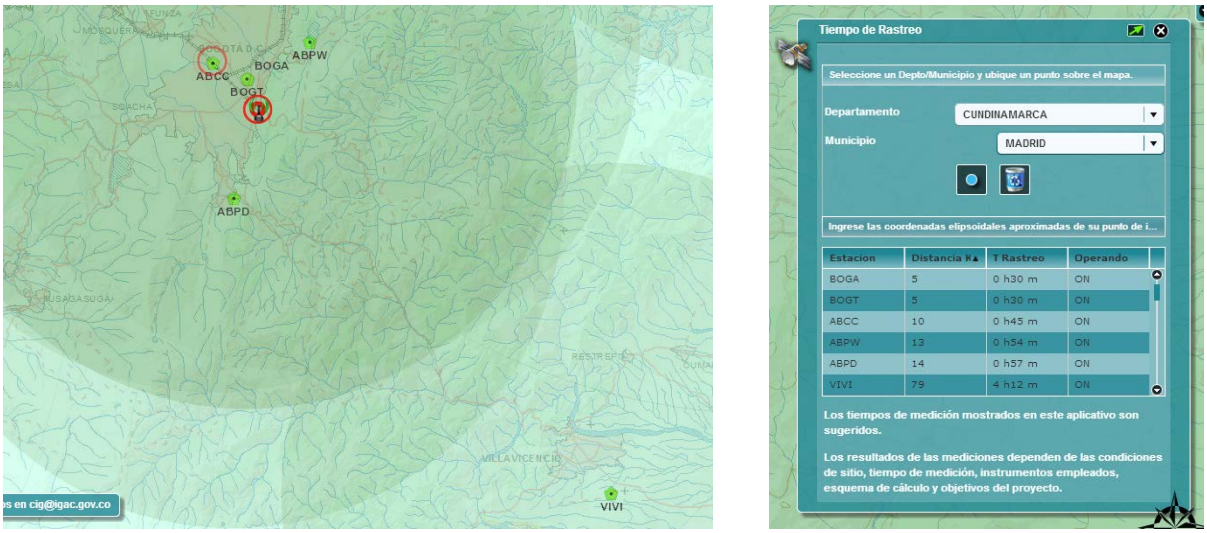


Ilustración 20. Determinación de tiempos de recepción según IGAC

Los puntos recepcionados se distribuyeron según su uso de la siguiente manera:

- Quince (15) Puntos para posicionamiento de esferas y empalme entre escenas de LÍDAR.
- Veintidós (22) puntos para elaboración de DTM_K (Modelo Digital de Terreno generado por Kriging)
- Siete (7) puntos para realizar control de calidad al DTM_K.

Los parámetros establecidos para el recepcionamiento de los datos fueron los siguientes:

- Mascara de elevación de 15°.
- Recepcionamiento de épocas cada cinco (5) segundos.
- Altura instrumental inclinada (posteriormente ajustadas a centro de fase).

La metodología con la cual se realizó el recepcionamiento de cada punto se describe a continuación:

1. Se determina una zona que en lo posible no presentara obstrucción en la recepción de la señal, es decir que se evitan aquellas zonas en las cuales la señal se vea obstruida por

presencia de árboles o tejados. Asimismo también se intentó realizar la captura en zonas con cambios significativos de pendiente.

2. Se arma el trípode en el punto de manera que se garantice la estabilidad del equipo al armarse.
3. Se procede a instalar y nivelar la base nivelante en la cual se armara el receptor.
4. Se instala el receptor con su respectiva antena sobre la base.
5. Se enciende el receptor y se inicia la recepción de datos durante un tiempo promedio de cincuenta (50) minutos.
6. Finalizado el tiempo de recepción, esta se detiene la recepción y se procede a realizar la lectura de un nuevo punto.

Este procedimiento se realiza hasta cumplir la recepción de los cuarenta y cuatro (44) puntos, dentro de los cuales los quince (15) primeros fueron recepcionados en el mismo lugar donde se ubicaron inicialmente las esferas del dispositivo LÍDAR; eso hizo que algunas zonas en las cuales se realizó la lectura presentara obstrucción de la señal por vegetación densa. Los veintinueve (29) puntos restantes se ubicaron en zonas específicas donde se garantizara la no obstrucción de la señal; sin embargo con el fin de realizar un muestreo de puntos distribuidos de manera que se cubriera toda el área de interés, hubo algunas recepciones que no cumplieron esta condición.



Ilustración 21. Captura de datos GPS en campo

Las carteras obtenidas en campo son las siguientes:

Tabla 4. Cartera Campo Día GPS 345

DIA 345

Punto	**Hora Inicio**	**Hora Fin**	**Altura Inclinada (m)**	**Equipo**
E13	12:30	1:20	1,4854	Topcon GR-5 (2)
E15	12:31	1:21	1,2544	Topcon GR-5 (4)
E14	12:35	1:30	1,345	Híper Lite
E11	12:51	1:50	1,6414	Topcon GR-5 (3)
E8	1:35	2:24	1,345	Híper Lite
E10	1:37	2:23	1,5774	Topcon GR-5 (4)
E9	1:49	2:40	1,5234	Topcon GR-5 (2)
E7	1:58	2:48	1,5204	Topcon GR-5 (3)
E6	2:27	3:10	1,345	Híper Lite
E5	2:45	3:32	1,456	Topcon GR-5 (2)
E4	2:59	3:45	1,2734	Topcon GR-5 (3)
E3	3:19	4:06	1,295	Híper Lite
E2	3:43	4:29	1,6364	Topcon GR-5 (2)
E1	3:52	4:36	1,5294	Topcon GR-5 (3)

N1	4:10	4:58	1,507	Híper Lite
N2	4:35	5:20	1,6154	Topcon GR-5 (2)
K19	4:42	5:26	1,6464	Topcon GR-5 (3)

Tabla 5. Cartera Campo Día GPS 346

DIA 346

Punto	**Hora Inicio**	**Hora Fin**	**Altura Inclinada (m)**	**Equipo**
K1	9:09	9:55	1,498	Híper Lite
K2	9:11	9:57	1,6344	Topcon GR-5 (2)
K3	9:12	10:05	1,4514	Topcon GR-5 (3)
K4	10:01	11:00	1,345	Híper Lite
K16	10:15	11:05	1,1674	Topcon GR-5 (3)
N7	10:16	11:12	1,5544	Topcon GR-5 (4)
E12	10:23	11:21	1,4314	Topcon GR-5 (2)
K5	11:06	11:56	1,345	Híper Lite
K6	11:10	12:01	1,1594	Topcon GR-5 (3)
K7	11:21	12:06	1,4554	Topcon GR-5 (4)
K8	11:29	12:09	1,2194	Topcon GR-5 (2)
K9	12:00	12:52	1,345	Híper Lite
K10	12:05	12:53	1,1584	Topcon GR-5 (3)
K11	12:11	1:04	1,5644	Topcon GR-5 (4)
K12	12:16	1:11	1,2914	Topcon GR-5 (2)
K13	12:54	1:50	1,359	Híper Lite
K14	12:56	1:55	1,3004	Topcon GR-5 (3)
K15	1:09	2:10	1,7504	Topcon GR-5 (4)
N6	1:23	2:15	1,3044	Topcon GR-5 (2)
K17	1:54	2:55	1,345	Híper Lite
K18	1:59	2:47	1,4284	Topcon GR-5 (3)
N3	2:13	3:02	1,4424	Topcon GR-5 (4)
N4	2:24	3:10	1,4534	Topcon GR-5 (2)
K22	2:45	3:28	1,345	Híper Lite
K20	2:51	3:40	1,2574	Topcon GR-5 (3)
K21	3:05	3:51	1,3964	Topcon GR-5 (4)
N5	3:14	3:58	1,6954	Topcon GR-5 (2)

Nivelación de Precisión

Para la captura de los datos de nivelación se consideró iniciar la medición por el punto NP6-E1 ubicado en la plazoleta la media torta, el cual posee una altura determinada geométricamente por la Universidad Distrital Francisco José de caldas, la cual corresponde a 2673,894 msnm, con este procedimiento se buscó obtener las cotas de los puntos en los cuales se ubicaron las esferas del dispositivo LÍDAR, adicionalmente se tomaron las alturas siete (7) puntos extras que serían utilizados para realizar la comparación de precisión de los puntos

El nivel de precisión fue ubicado en el principio de la zona de estudio, donde se procedió a iniciar las mediciones; tomando como inicial el NP6-E1 de la siguiente manera se realizado la medición en dirección de donde se posicionaron las esferas para determinar su altura ortométrica. Puesto que el nivel digital no permite girar su vista verticalmente se realizaron una serie de cambios para recorrer toda la zona y obtener las cotas deseadas.

El procedimiento para la captura de los datos fue el siguiente.

1. Se arma el nivel en la parte inicial del área de estudio, colocando el trípode, la base nivelante y el nivel; el cual se nivela.
2. Determinación del punto inicial y su correspondiente altura ortométrica, el cual fue el NP6-E1.
3. Posicionamiento de la mira topográfica en la base del NP y posteriormente lectura del punto.
4. Para recubrir mayor área la mira se encontraba en posición donde la lectura más baja fuera tomada y facilitara el siguiente cambio.

5. Se cambiaba de posición del Nivel, la cual permitiera mayor distancia entre lecturas, luego se nivelaba el trípode; por último se procedía a realizar las lecturas adelante y atrás para recubrir toda la zona y tomar la alturas correspondientes a todas las esferas y puntos de comparación o control.
6. Se repite el proceso hasta cubrir toda el área y obtener las alturas deseadas.



Ilustración 22. Captura de Datos Nivelación

Datos de Topografía (Poligonal Cerrada)

Además de la información requerida para el trabajo se optó también por tomar datos de topografía con una estación digital, para determinar las coordenadas donde se encontraban las esferas para cualquier inconveniente. Para esto se utilizó una estación total PENTAX la cual se proporcionó por la UDFJC.

La captura de los datos de la poligonal se realizó de la siguiente manera:

1. Ubicación de la estación en un punto conocido el cual es NP6-E1, donde están las coordenadas establecidas por la UDFJC; y se nivela la estación.
2. Se calculan 0º0’0’’hacia un punto conocido para así poder realizar los cálculos pertinentes e iniciar la radiación, en este caso son los puntos CRUZ y CN03; se nivela el prisma sobre la placa CN03 y se realiza la medición.
3. Se coloca la estación en el nuevo delta (Δ) que es el punto CN03, se nivela la estación en su correspondiente trípode, se hace una medición al delta (Δ) anterior (NP6-E1) y se procede a radiar los puntos de las esferas que en este caso son E1, E2 y E3.
4. Se encentra un nuevo delta para proseguir con la radiación de los puntos.
5. El procedimiento se repite hasta medir la totalidad de los puntos.
6. En el último delta (Δ) se mide el punto de inicio en este caso el NP6-E1 para cerrar la poligonal y poder hacer los cálculos.



Ilustración 23. Captura Datos Topografía

Procesamiento De Datos

Procesamiento Datos GPS

Efemérides Precisas

Los puntos tomados en la zona de estudio fueron un total de cuarenta y cuatro puntos (44), los cuales se capturaron en un periodo de (2) días correspondientes a los días once (11) y doce (12) de diciembre de 2014 equivalentes a los días 345 y 346 del calendario GPS. A continuación se explicaran todos los pasos de cómo se procesaron los puntos tomados en campo para esto se descargaron demos de los software Leica Geo Office (LGO) y Topcon Tools puesto que no se pudieron conseguir las licencias pertinentes; tales demos nos permiten procesar cinco (5) puntos en cada proyecto realizado por lo que se mostrara el procesamiento de un conjunto de datos y de los que presentaron algún tipo de inconvenientes en su procesamiento.

Para el procesamiento de los datos se necesitan otros datos que ayudan a que los cálculos de estos sean precisos, a continuación se dará la explicación de cada uno de los puntos.

Se tiene que descargar las efemérides precisas las cuales son las que permiten determinar la posición exacta donde se encuentra el satélite en el momento de pasar por la máscara de elevación de la zona que esta recepcionado el dispositivo GPS; estas se pueden descargar de distinta partes en este caso serán descargadas de la página del Calendario GPS[4] como lo refleja la Ilustración 24 , en las cuales se buscara el día correspondiente y de descargaran los archivos con extensión .sp3 que equivale a las Efemérides precisas calculadas por SIRGAS, estas son calculadas con exactitud aproximadamente a las tres (3) semanas de la toma de datos.

[4] http://rvdi.com/freebies/gpscalendar.html

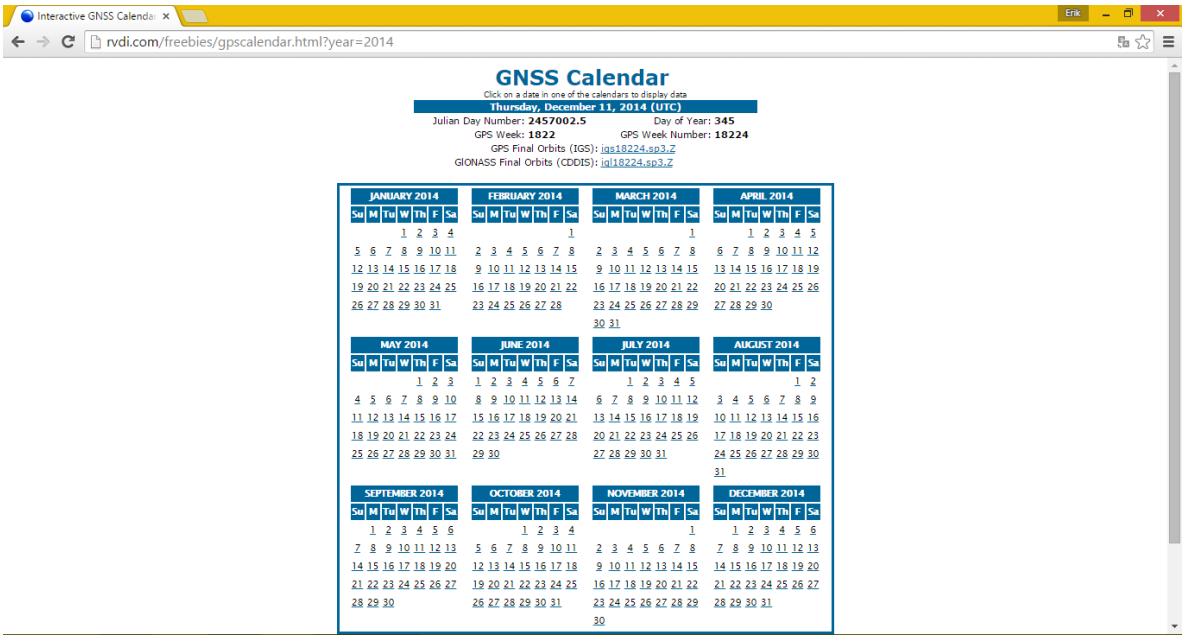


Ilustración 24. Calendario GPS Descarga Efemérides Precisas

Los archivos correspondientes a las efemérides precisas de los días GPS 345 y 346 correspondientes a 11 y 12 de Diciembre de 2014 son:

- igs18224.sp3
- igs18225.sp3

RINEX Red MAGNA-ECO

Se deben descargar los datos de las estaciones continuas del IGAC más cercanas, como anteriormente se había explicado en la Ilustración 20. Determinación de tiempos de recepción según IGAC, se observa que las estaciones MAGNA ECO más cercanas por lo cual se podrá realizar el cálculo de los puntos son BOGT y BOGA; estos datos se descargan en la página del IGAC, específicamente en el módulo Mapas de Colombia\Mapa de Red MAGNA-ECO

(descarga Rinex)[5], en la pantalla a su parte derecha aparecerá la opción de descarga de rinex de la estación que se desee en este caso serán BOGA y BOGT como se observa en la ilustración.

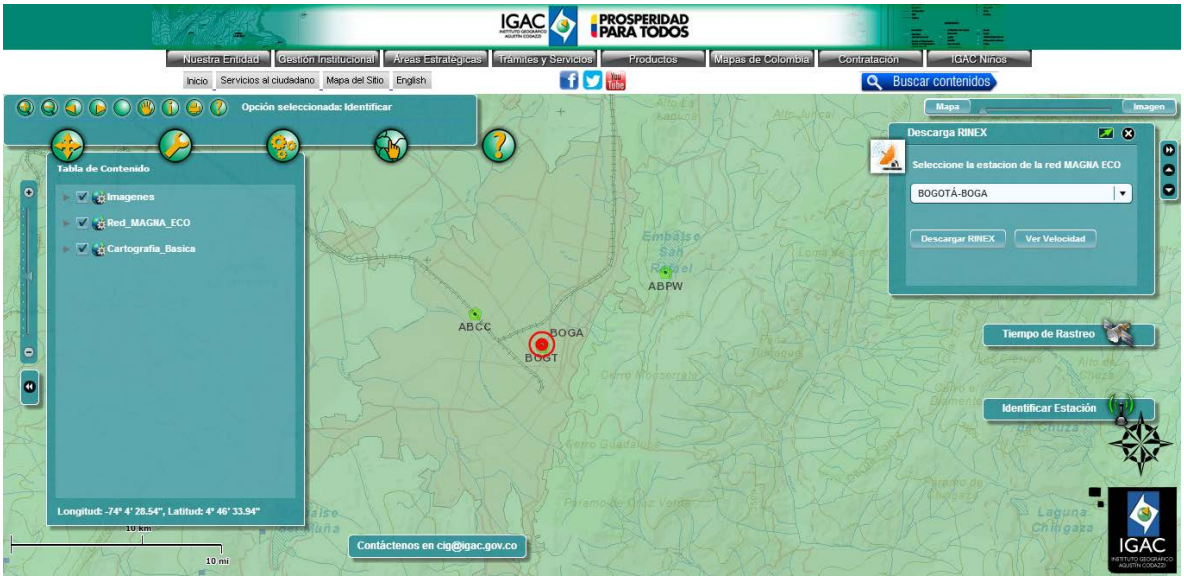


Ilustración 25. Ruta Descargar Rinex (1)

Se da clic en Descargar Rinex, se tiene que registrar en la página lo cual les dará acceso a la página de descarga, se encuentra la fecha correspondiente para el proceso solo se van a descargar los archivos que terminan en .xxO y en .xxN dado que los archivos .xxG no son de interés puesto que se procesan los datos sin satélites GLONNAS ya que es otra constelación de satélites.

Los archivos correspondientes a las fechas y a las estaciones son los siguientes, donde los cuatro primeros dígitos corresponden al nombre de la estación, los tres siguientes al día GPS y el último es la sesión que es asignado por el dispositivo que recepcionar:

[5] http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapaId=17

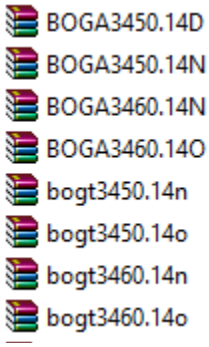


Ilustración 26. Archivos Estaciones Magna Eco Observables y Navegables

El archivo BOGA3450.14D tiene una extensión que no corresponde, esta debería ser .14O, esto se debe a que el IGAC la comprimió en otra clase de archivo y le falta información por lo cual se debe extraer de la forma en que el instituto lo informa; y se realizan los siguientes pasos:

1. Descomprimir el archivo normalmente.
2. Abrir Una Pantalla MS-DOS y buscar su ubicación.
3. A continuación escribir crx2rnx.exe BOGA3450.14D y oprima enter.
4. El resultado obtenido es BOGA3450.14O, el archivo RINEX.

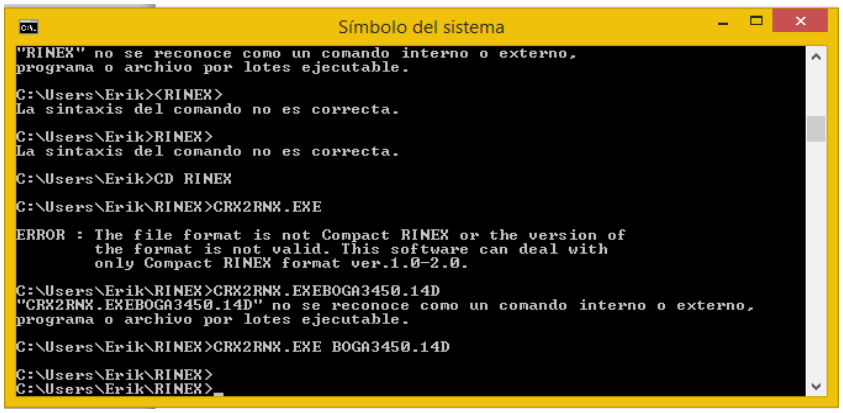


Ilustración 27. Descompresión IGAC

Coordenadas Fijas Estaciones Sirgas

En los procesos de más adelante se necesitara fijar las coordenadas de los puntos base BOGA y BOGT, estas coordenadas son calculadas por SIRGAS por lo que están ajustadas y permiten que los datos se pueden medir con mayor exactitud. Para esto se va a la página de SIRGAS[6] y a la pestaña Red SIRGAS-CON\Coordenadas y se da click en Coordenadas Semanales de las estaciones SIRGAS-CON y se abre el archivo .crd más cercano a la fecha que este habilitado

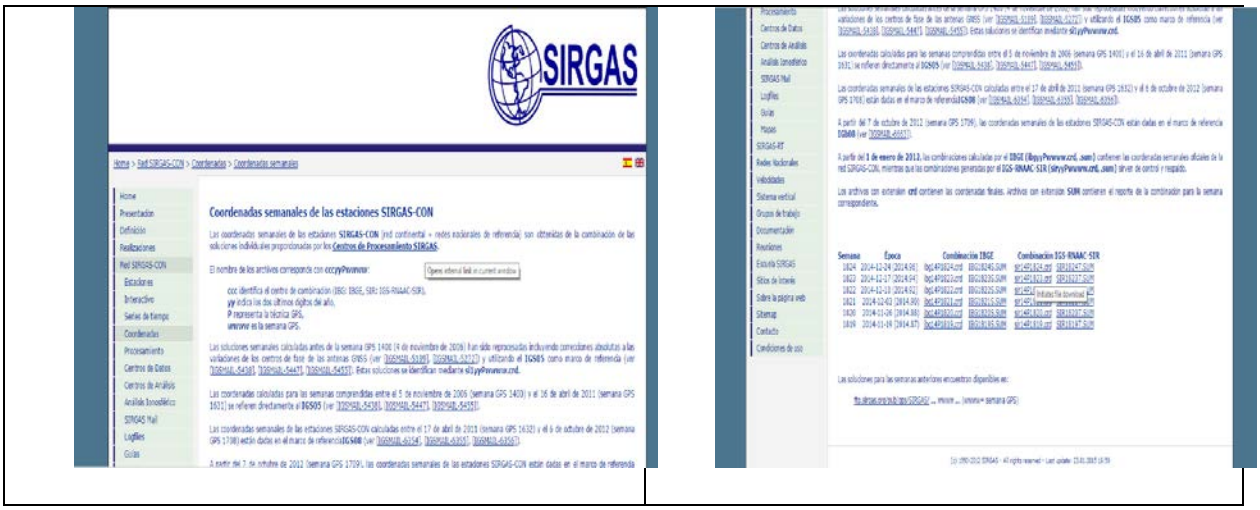


Ilustración 28. Ruta Coordenadas SIRGAS

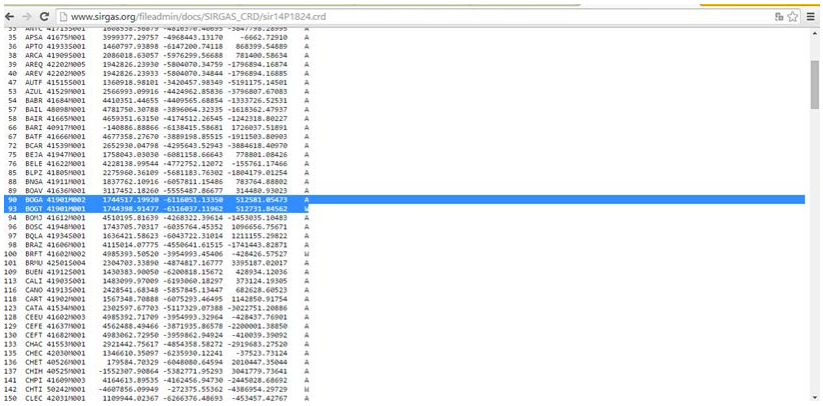


Ilustración 29. Archivo .crd Coordenadas Estaciones (SIRGAS.ORG)

6

En el siguiente cuadro se encuentran las coordenadas con su respectiva conversión:

Tabla 6. Coordenadas Estaciones MAGNA-ECO

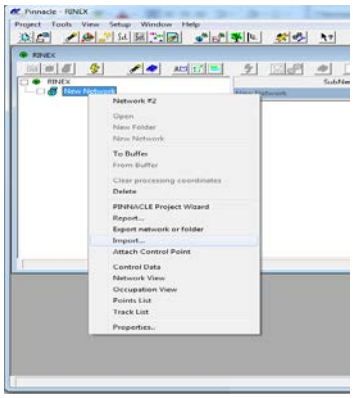
Estación	**Coordenadas Geocéntricas**		
	X	Y	Z
BOGA	1744517,198	-6116051,133	512581,053
BOGT	1744398,913	-6116037,117	512731,844

Estación	**Coordenadas Geodésicas**		
	LATITUD	LONGITUD	ALTURA ELIP(m).
BOGA	4º38'19,25549" N	74º4'47,81804" W	2609,904
BOGT	4º38'24,26730" N	74º4'51,38241" W	2576,329

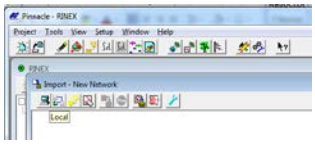
Exportación Archivos Crudos a RINEX

Los datos capturados por los receptores Topcon GR-5 e Híper Plus, vienen en archivo nativo de los equipos por lo que viene de la casa Topcon y su proceso para convertirlos a archivos rinex se realizara desde el software Pinacle, el procedimiento es el siguiente:

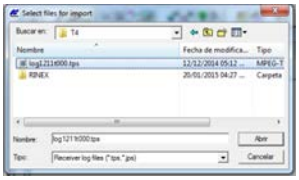
1. Importar el archivo crudo.



2. Boton de Importacion



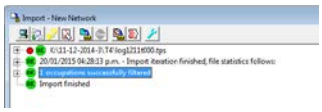
3. Seleccionar Archivo Crudo



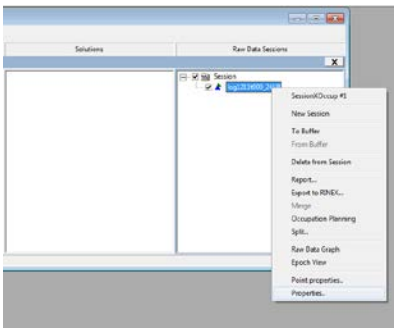
4. Correr el archivo



5. Archivos Bien Procesados



6. Propiedades del Archivo



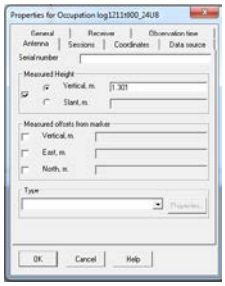
7. Nombre del Archivo Rinex



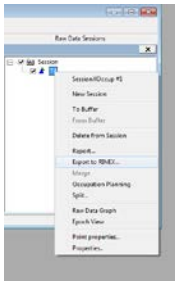
8. Revisar Tiempo de rececpion.



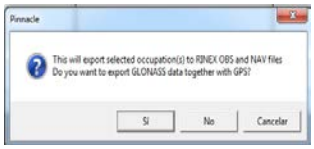
9. Ingresar Altura Inclinada



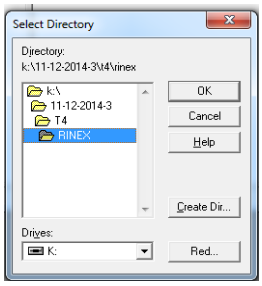
10. Exportar Rinex



11.Exportar Glonass



12. Carpeta Destino



13. Archivos Rinex



14. Archivo Observable con altura Inclinada

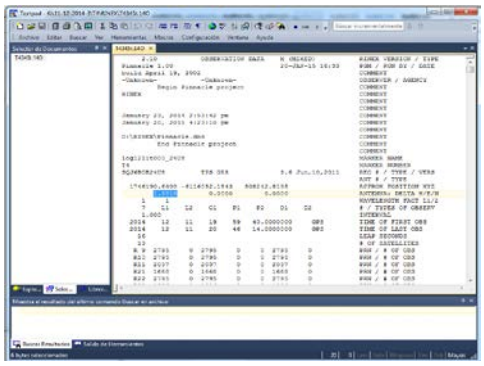


Ilustración 30. Conversión Crudos a RINEX

Transformación alturas inclinadas a centro de fase

Los archivos rinex en específico los archivos .xxO tienen la altura del dispositivo hasta el punto que se va a medir bien sea estaca, mojón u cualquier otro; en general cualquier levantamiento se realiza con altura inclinada lo que indica que fue tomada a la pestaña al lado del receptor hasta la base del punto a medir. La finalidad de especificar cual tipo de altura se tiene en el levantamiento es porque el software al tener este tipo de altura se realiza un cálculo interno que permite ajustar las alturas al centro de fase dependiendo de la antena que se esté utilizando en el dispositivo.

Las alturas de los puntos tomados en campo son convertidas a alturas a centro de fase por lo cual no se tendrá que especificar el tipo de antena utilizada en el levantamiento, el procedimiento llevado a cabo para esto fue el siguiente:

1. Los datos para calcular la altura a centro de fase se determinan por las siguientes ilustraciones.

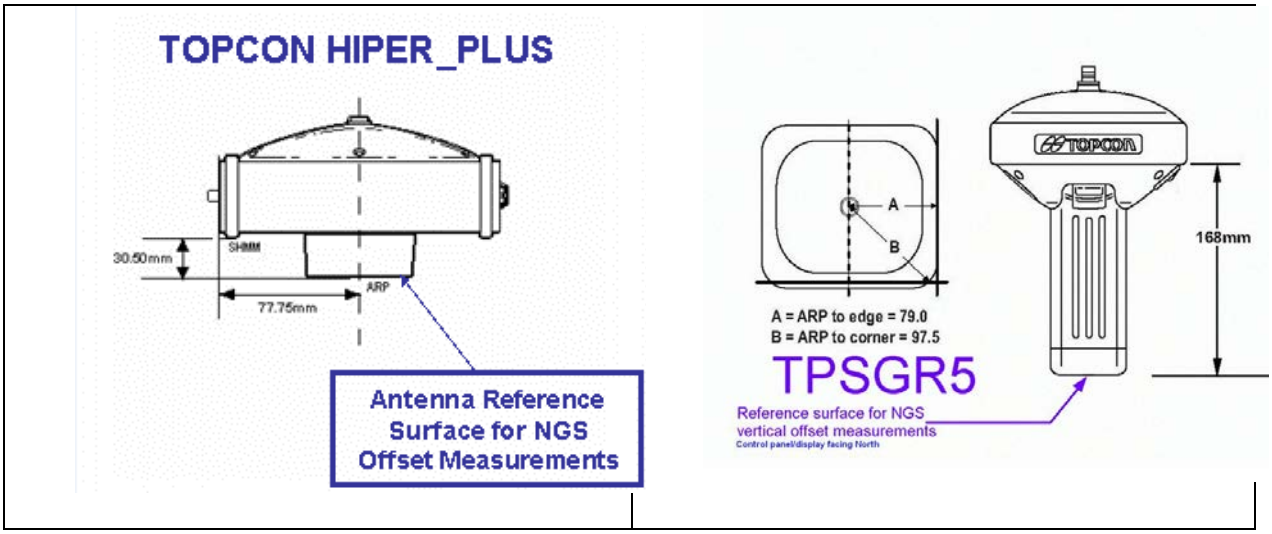


Ilustración 31. Calculo centro de fase Dispositivos HIPER PLUS Y TOPCONGR-5

2. Para el cálculo de la altura a centro de fase de las alturas del HIPER, se tuvo la altura inclinada desde la pestaña de abajo del lado del receptor y medida hasta el punto en el suelo.

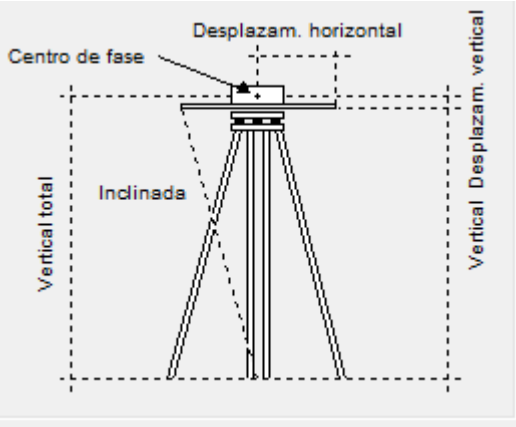


Ilustración 32. Alturas a centro de fase receptor. (Leica Geo Office)

- (AI)= Altura Inclinada
- a = Distancia del centro de fase a la pestaña del receptor.
- $b = \sqrt{(AI)^2 - a^2}$

Tabla 7 Determinación de centro de fase HIPER

Altura inclinada	a	B	Altura corrección a centro Fase	Altura Centro de fase
1,498	0,07775	1,495980928	0,0305	1,465480928

Cuando se obtiene b, se debe restar el valor de *0,0305* que como lo indica la Ilustración 31. Calculo centro de fase Dispositivos HIPER PLUS Y TOPCONGR-5 Es el valor que en vertical llega al centro de fase.

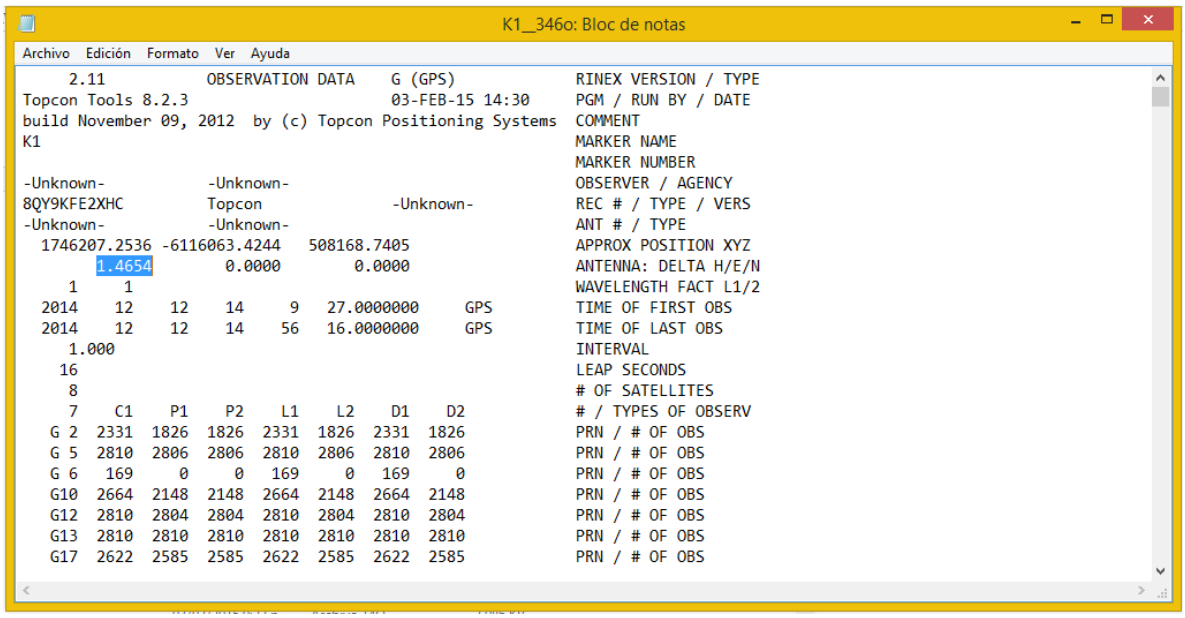


Ilustración 33. RINEX Punto K1 con Altura a centro de Fase HIPER PLUS

3. Al igual que el cálculo del HIPER la altura inclinada del GR-5 se toma desde su pestaña baja del lado del receptor hacia el punto en el suelo.

    - (AI)= Altura Inclinada
    - A = Distancia del centro de fase a la pestaña del receptor.
    - $B = \sqrt{(AI)^2 - a^2}$

Tabla 8 Determinación de centro de fase TOPCON GR-5

Altura Inclinada	A	B	Altura corrección a centro Fase	Altura Centro de fase
1,6954	0,0975	1,6927	0,168	1,5247

Cuando se obtiene B, se debe restar el valor de *0,168* que como lo indica la Ilustración 31. Calculo centro de fase Dispositivos HIPER PLUS Y TOPCONGR-5 Es el valor que en vertical llega al centro de fase.

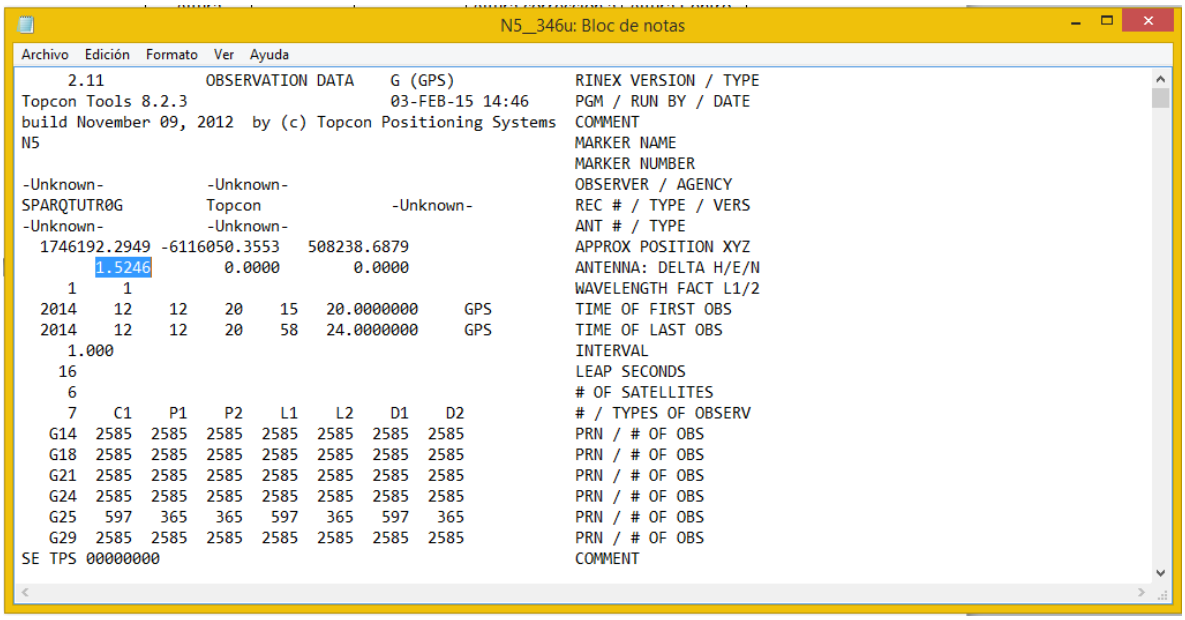


Ilustración 34. RINEX Punto K1 con Altura a centro de Fase GR-5

Procesamiento Puntos

Los puntos se procesaron en dos software distintos, dado que es posible que alguno genere conflicto o no lea algunos archivos y el otro si, por este motivo se va a plantear un procesamiento de cada software, en caso de que no funcione el Leica Geo Office se tendrá Topcon Tools para procesar, hasta que se encuentren las coordenadas correspondientes. El proceso será explícito en su totalidad abarcando los problemas presentados y aquellos que no tuvieron inconvenientes.

Se genera un proyecto nuevo el cual llamamos Dia_345_E1_E2_E3, que son las posiciones donde estarán las esferas del LÍDAR terrestre; el proyecto se dará con una precisión de 0.05 m en vertical y horizontal, se manejara en sistema de coordenadas MAGNA BOGOTA.

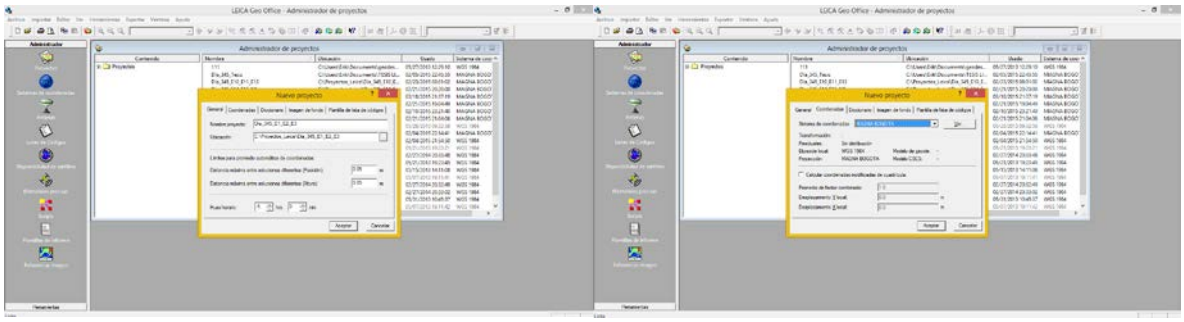


Ilustración 35. Proyecto LGO Parámetros y Sistema de Coordenadas

Luego de generar el proyecto con los parámetros indicados, se importaron los datos crudos que son los Rinex de los cuales se importan los archivos Navegables y Observables, tanto de las estaciones continuas como de los puntos tomados en campo; los cuales corresponden a Bases y Rover's para post-proceso.

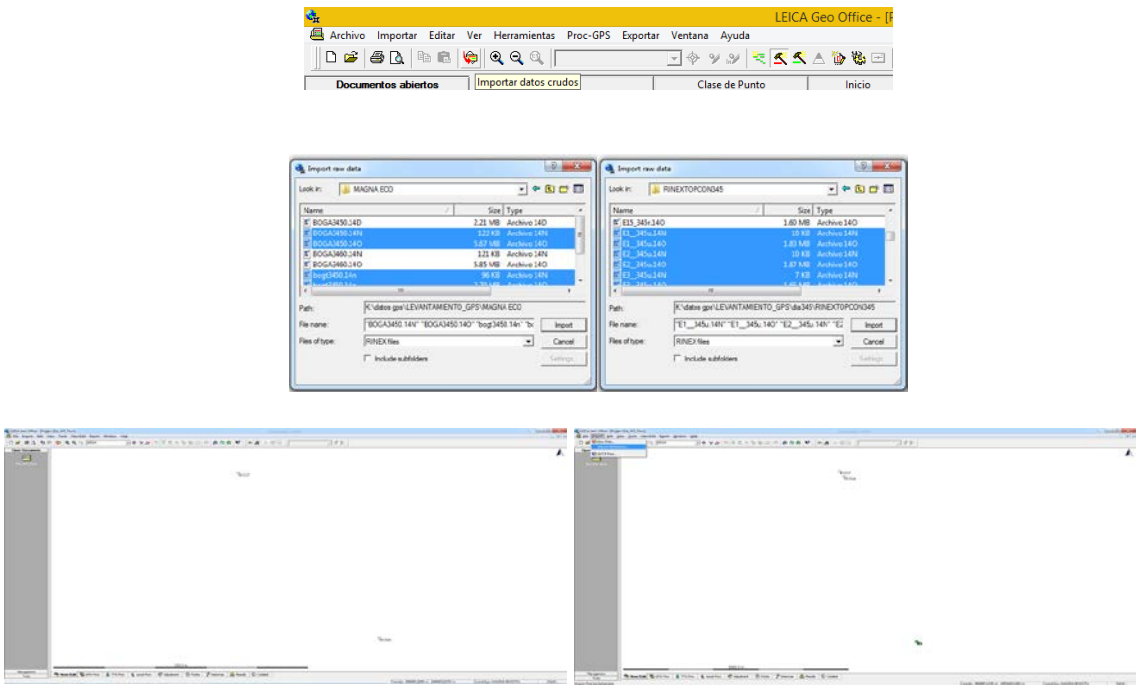


Ilustración 36. Importación Datos RINEX

Ahora se importan las efemérides precisas para que el cálculo de las coordenadas de los puntos sea preciso, se importan las del día 345.

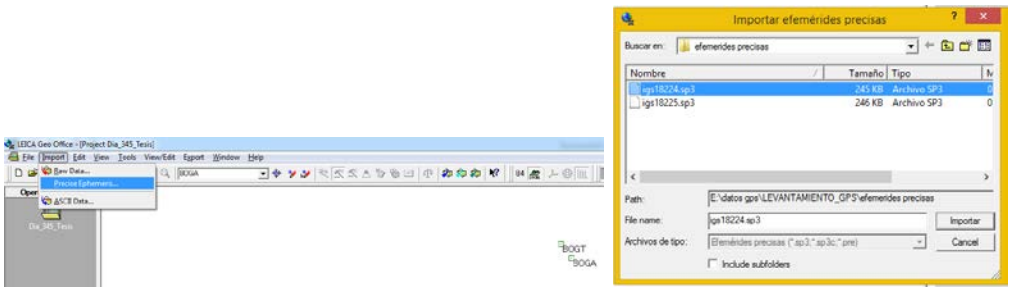


Ilustración 37. Importación Efemérides Precisas

Los puntos base BOGA y BOGT se tienen que fijar en posición vertical y horizontal lo que indica que son de control, por lo que se tienen que reemplazar sus coordenadas por las entregadas por SIRGAS; el programa recibe las coordenadas en geocéntricas o geodésicas, en este caso se pondrán las geocéntricas que son las originales que ofrece la página, y el símbolo del punto pasa a ser un triángulo verde.

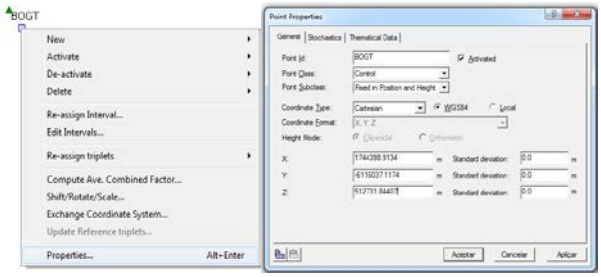
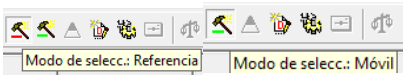


Ilustración 38. Coordenadas Fijas Puntos de Control LGO

Se deben poner los tipo de puntos que son, si son referencia o base y movil o rover; los puntos base para todo el procesamiento son los de las estaciones MAGNA-ECO BOGA y BOGT, y los demas puntos seran los moviles a los que se encontraran las coordenadas. Seguidamente se ajustan los parametros de procesamiento de los datos.



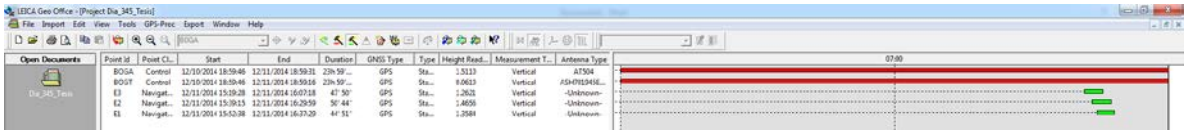


Ilustración 39. Bases y Rover's del Levantamiento

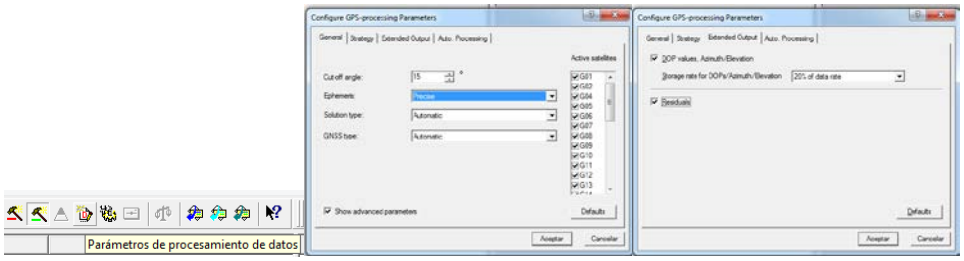
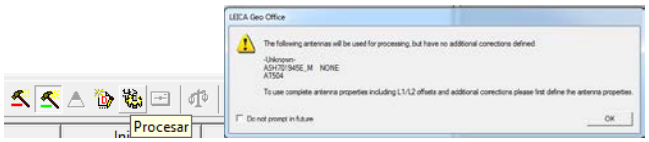


Ilustración 40. Parámetros de Procesamiento

Teniendo los parámetros, los datos y demás listos se puede procesar la información, dado que estos puntos estaban en una zona donde no se presentaba ninguno obstáculo con la recepción y tuvieron un tiempo adecuado para recepcionar al ser procesados se solucionó su ambigüedad totalmente, donde esta ambigüedad del entero son el número de ondas que tienen que llegar al receptor, puesto que este solo calcula la fracción de onda que le llega. Cuando esta ambigüedad es solucionada indica que el punto está calculado. El software pide que la antenas de los receptores sean especificadas pero dado que las alturas fueron calculadas a centro de fase no hay necesidad de esto y se puede proceder al procesamiento.



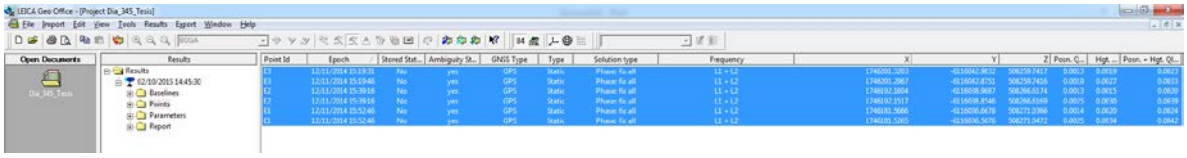


Ilustración 41. Procesamiento de puntos y solución de ambigüedad

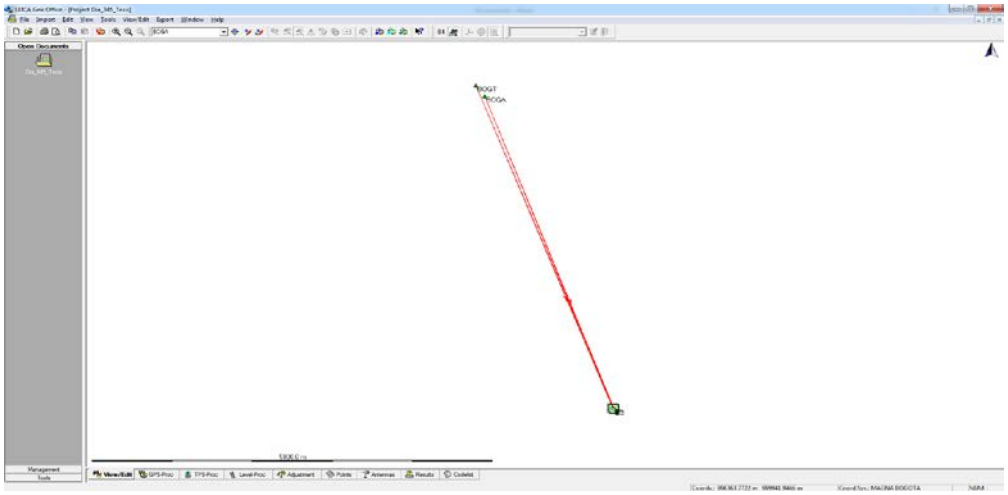


Ilustración 42. Vista de Bases y Rogers

Cuando los puntos han solucionado la ambigüedad, se tienen las coordenadas de los puntos y se puede proceder a ajustar la red dado que esta se ajusta a doble determinación ya que tiene dos (2) bases.

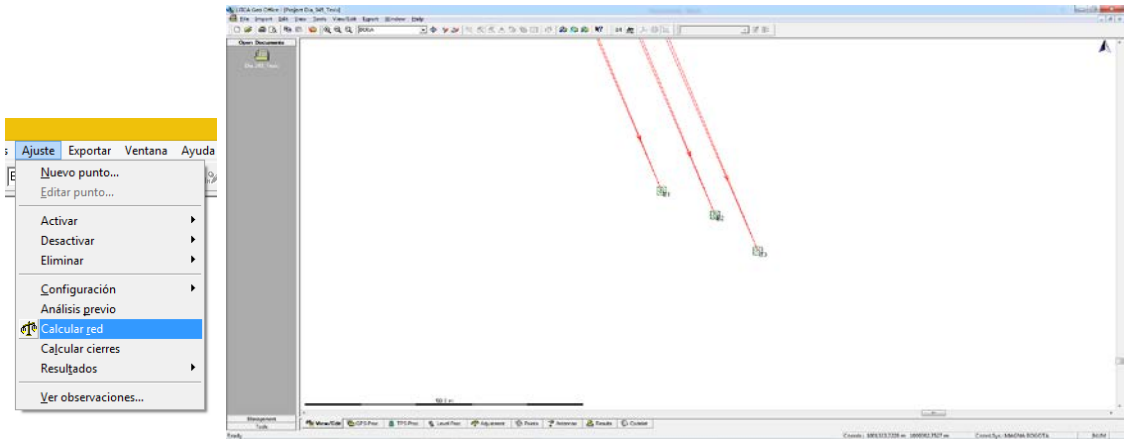


Ilustración 43. Puntos Ajustados

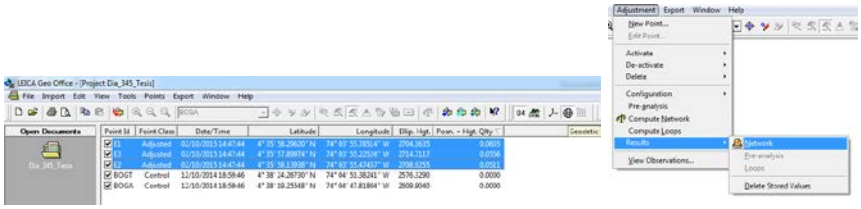


Ilustración 44. Coordenadas Ajustadas y Exportación de Reporte

El mismo procedimiento se realiza para los demás puntos, aquellos que no se puedan procesar en Leica Geo Office se procesaran en Topcon Tools; procesamiento que será expuesto más adelante. Los siguientes puntos a procesar son los E4, E5 y E6; estos tendrán los mismos parámetros de procesamiento, en cuanto a precisión, mascara de elevación, efemérides precisas, bases MAGNA-ECO, etc.

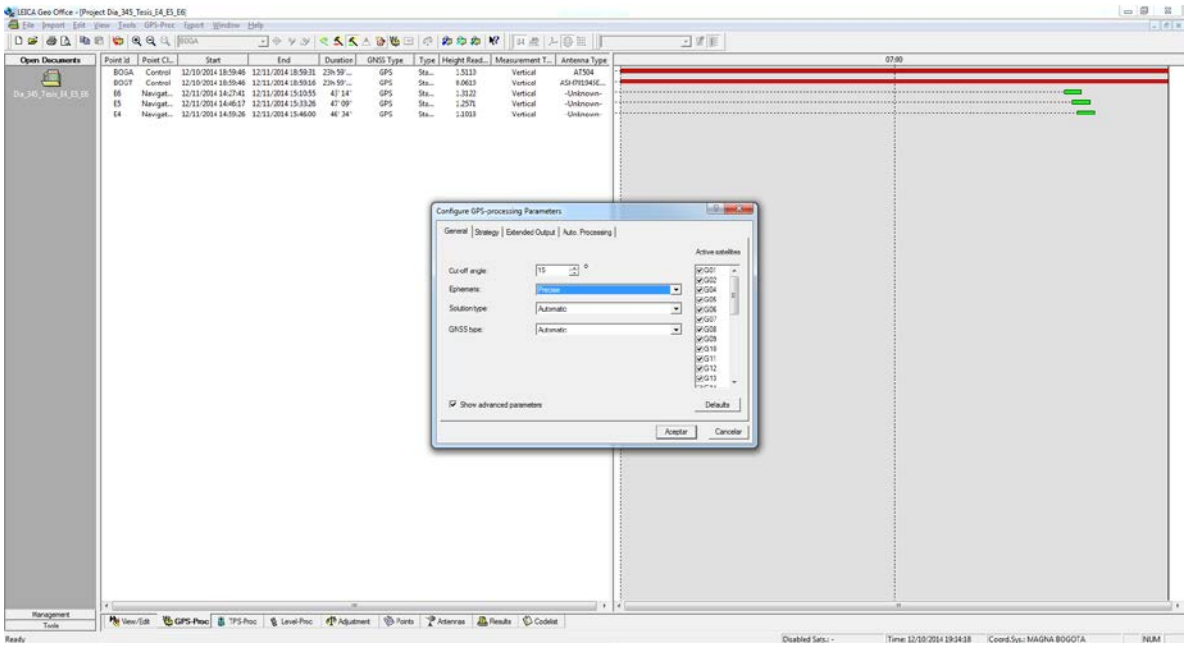


Ilustración 45. Parámetros Procesamiento puntos E4 E5 y E6

La ambigüedad fue solucionada sin ningún ajuste para E4, los otros dos (2) puntos no se procesaron por lo cual se procede a revisarlos; puesto que tiene los dos vectores que corresponden al punto con las dos (2) estaciones MAGNA-ECO se puede realizar ajuste en red y calcular las coordenadas.

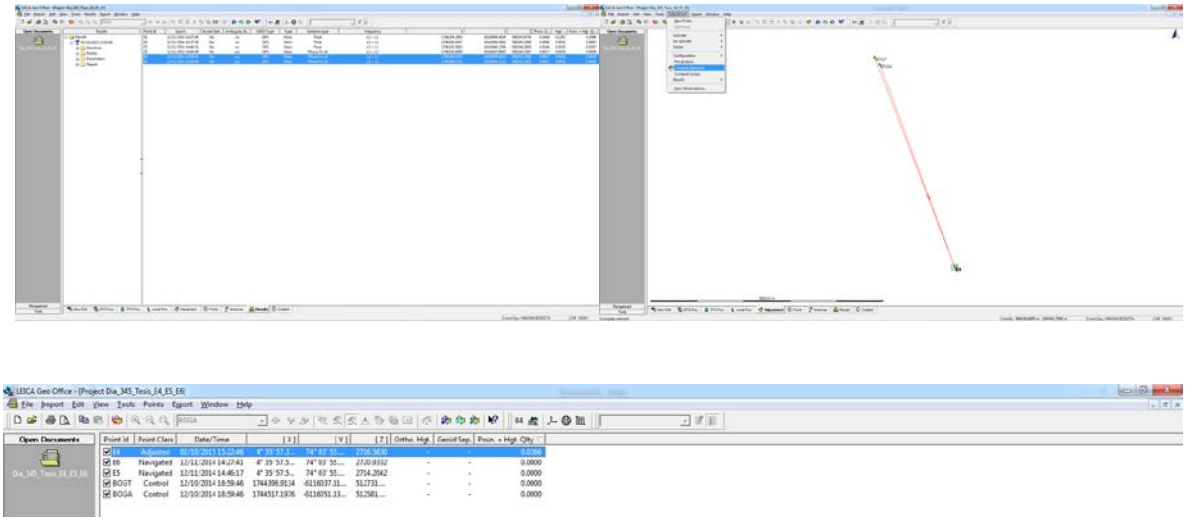


Ilustración 46. Procesamiento Punto E4

Como se observa los otros dos puntos no se pueden procesar de tal forma así que se entra a analizarlo, como lo indica la Ilustración 47. en esta se observa el tripe diferencia que hay en los satélites y su tiempo de recepcionamiento, esta diferencia escoge el mejor comportamiento de los satélites y lo compara contra los demás satélites que estuvieron presentes en el recepcionamiento.

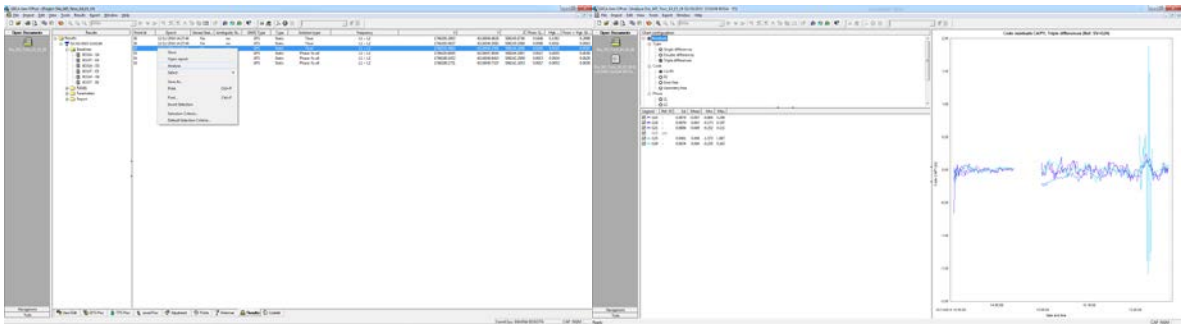


Ilustración 47. Análisis Punto E5

Como lo muestra la ilustración aquellos satélites que más presentan fallos en el recepcionamiento son los satélites G14 y G25, los demás satélites presentan un comportamiento uniforme, aunque hay una franja de tiempo en la cual ningún satélite recepción.

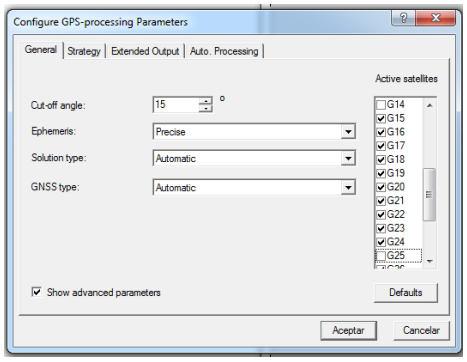


Ilustración 48. Exclusión de satélites (Análisis Procesamiento)

La ambigüedad no se soluciona por lo cual pasamos a analizar la gráfica PDOP (Position Dilution Of Presition) esta grafica ayuda a observar la geometría de los satélites, ya que cuando la gráfica esta encima de cuatro (4) la geometría de los satélites no es buena por lo cual el cálculo

de las coordenadas del punto varia y encontrar la solución de la ambigüedad del entero se hace más difícil. La Ilustración 49. Grafica PDOP (Position Dilution Of Presition) que la posición de los satélites no favorece al cálculo de las coordenadas, la última forma de ayudar al cálculo de las coordenadas es excluyendo el tiempo de recepcionamiento de los satélites como se muestra en la Ilustración 50. Exclusión de Satélites (LGO). Para ajustar la gráfica y solucionar la ambigüedad, se puede seguir haciendo edición de tiempos, sacar satélites del ajuste o modificar los parámetros de procesamiento para calcular las coordenadas pero en este caso se utilizara el software Topcon Tools en caso de que este calcule las coordenadas en su procesamiento.

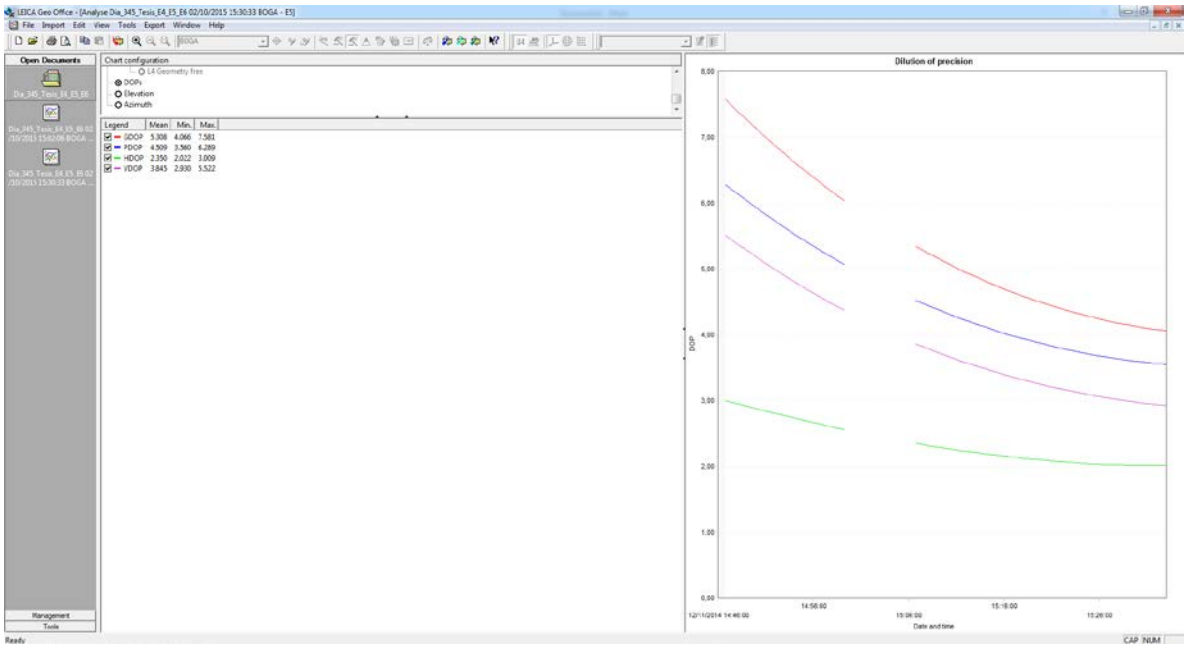


Ilustración 49. Grafica PDOP (Position Dilution Of Presition)

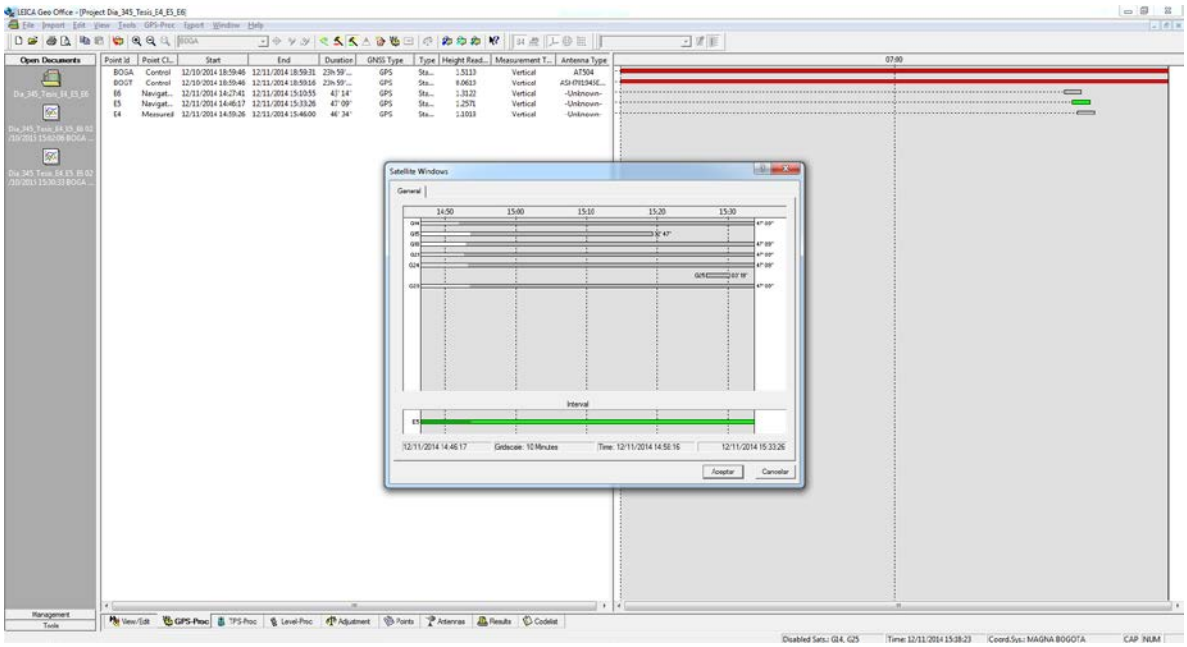


Ilustración 50. Exclusión de Satélites (LGO)

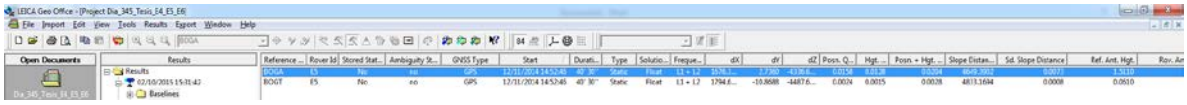


Ilustración 51. Ambigüedad no solucionada

Al punto E6 se le realiza el mismo procedimiento para observar si este soluciona la ambigüedad y arroja las coordenadas del punto en cuestión.

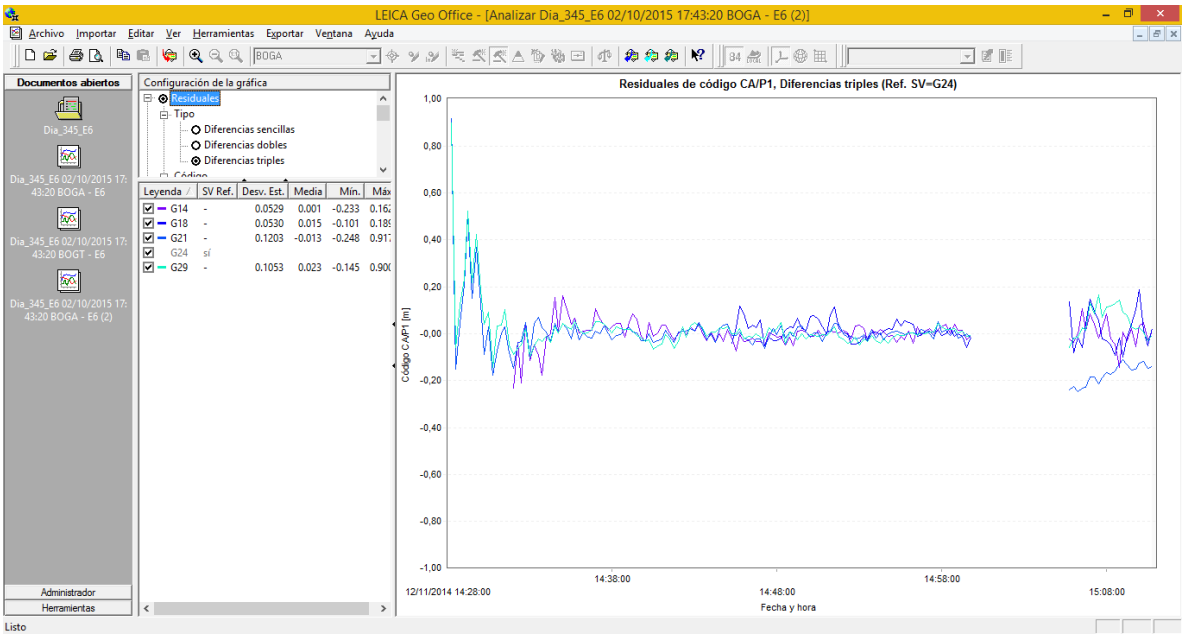


Ilustración 52. Diferencia Triple Residuales punto E6 con estación BOGA

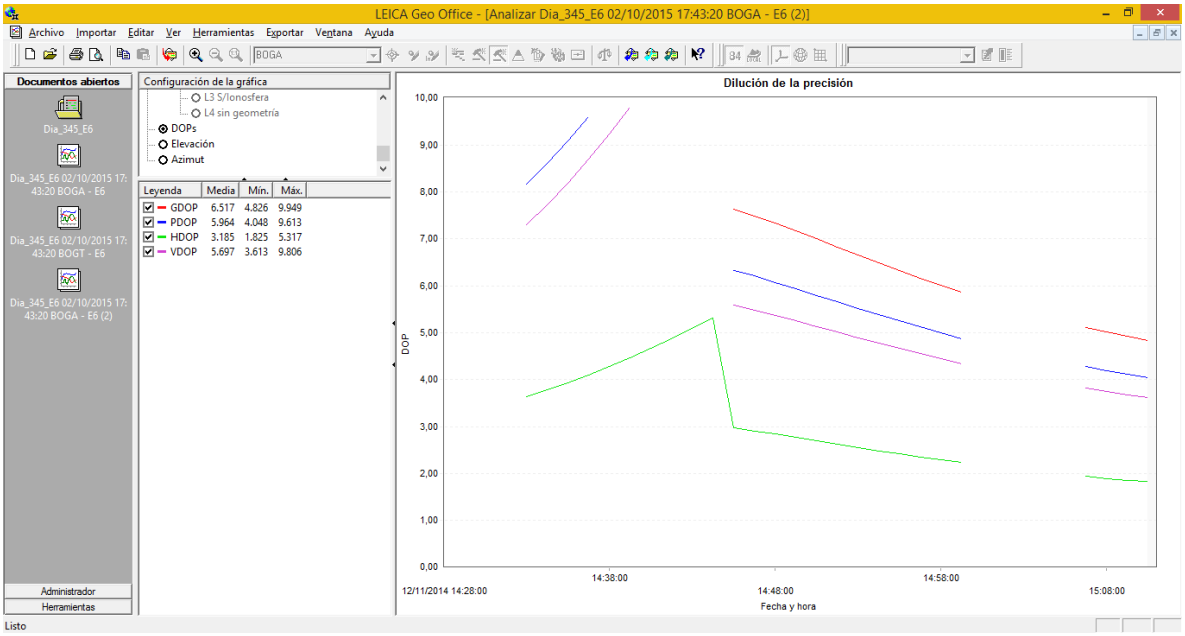


Ilustración 53. Grafica PDOP Punto E6 con estación BOGA

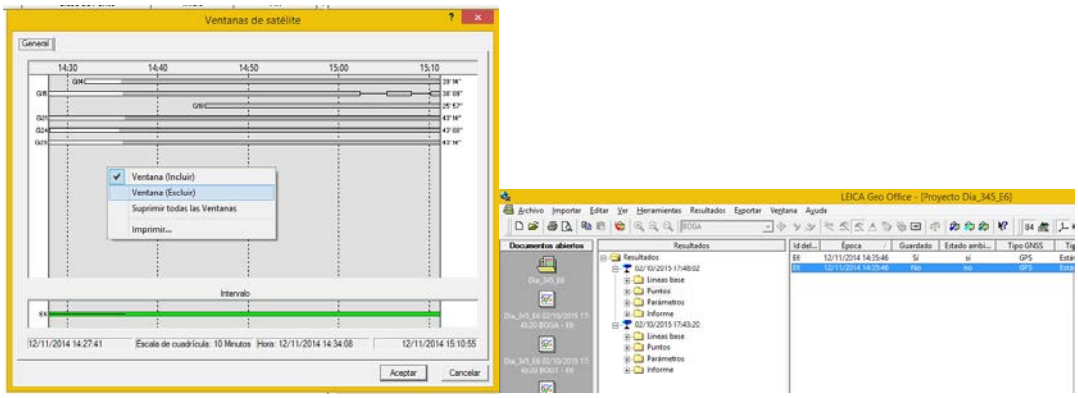


Ilustración 54. Exclusión Tiempos Satélites Punto E6 con estación BOGA y solución de Ambigüedad

El punto solo soluciones una ambigüedad lo que indica que las coordenadas ofrecidas por el vector BOGA-E6 son correctas, lo más conveniente sería que tuviera doble determinación pero dado que el punto no es ajustable se dejan tales coordenadas, este procedimiento se realiza hasta obtener todas las coordenadas de los puntos, aquellos que presente inconvenientes se procesan en Topcon Tools.

Leica Geosystems

Resultados - Línea base
BOGA - E6

Coordenadas finales

	Referencia:BOGA	Móvil:E6
Coordenadas:		
Latitud:	4° 38' 19.25548" N	4° 35' 57.42199" N
Longitud:	74° 04' 47.81804" W	74° 03' 55.30782" W
Alt Elip.:	2609.9040 m	2718.6278 m
Tipo de solución:	Fase	
Tipo GNSS:	GPS	
Frecuencia:	L1 y L2	
Ambigüedad:	SI	
Calidad:	Desv. Est. Lat: 0.0008 m	Desv. Est. Lon: 0.0023 m Desv. Est. Alt.: 0.0057 m
	Q Posic.: 0.0024 m	Desv. Est. geom.: 0.0011 m

Ilustración 55. Coordenadas Línea Base BOGA- E6 (Reporte Leica)

Al igual que en el software LGO se dará la explicación de cómo se procesan los datos en el software Topcon Tools, al igual que los parámetros de procesamiento, rangos de error y demás. Primero se crea un nuevo trabajo, se establece el sistema de coordenadas y los rangos de error para el procesamiento de los datos.

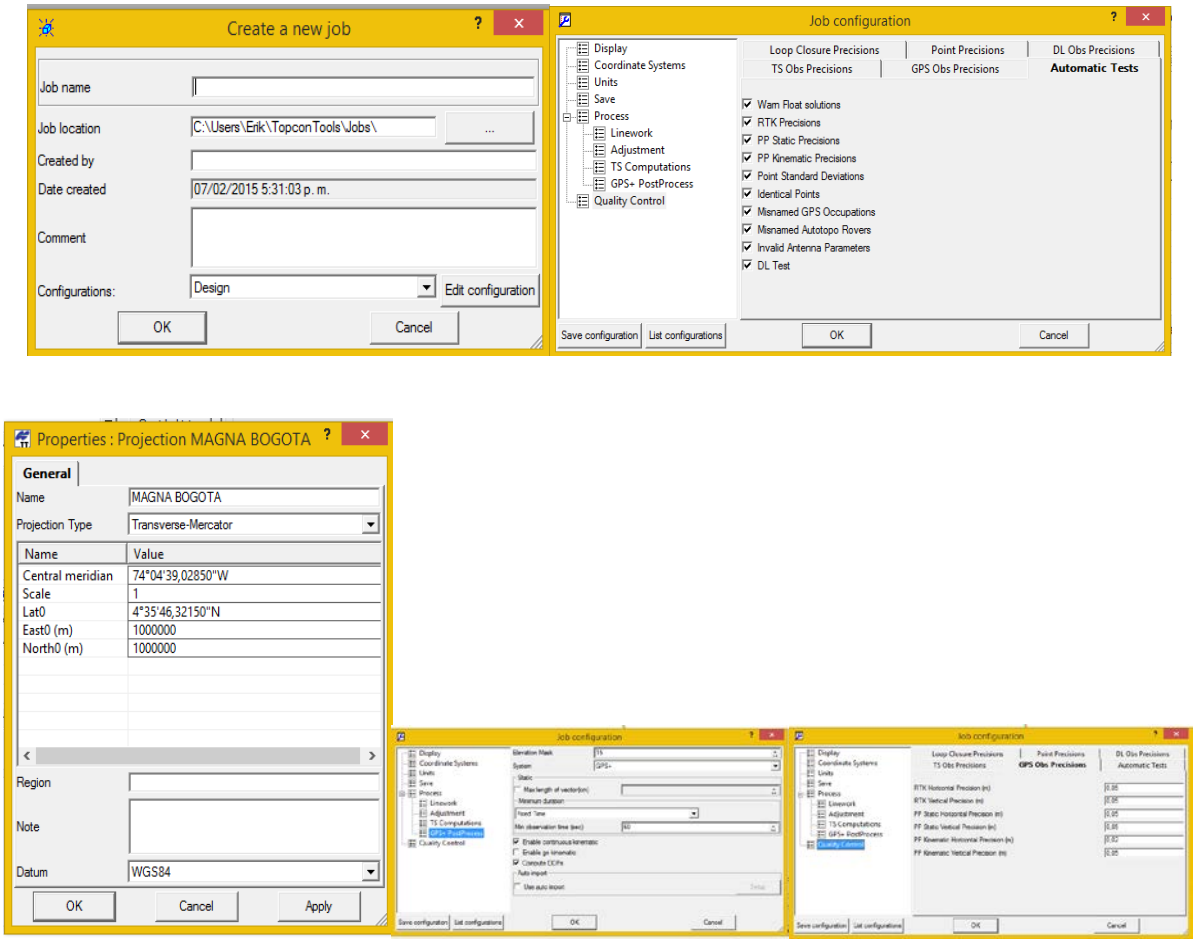


Ilustración 56. Parámetros Procesamiento Topcon Tools

Luego de establecer los parámetros de procesamiento se procede a importar los puntos, las estaciones MAGNA-ECO y las efemérides precisas para los cálculos correspondientes.

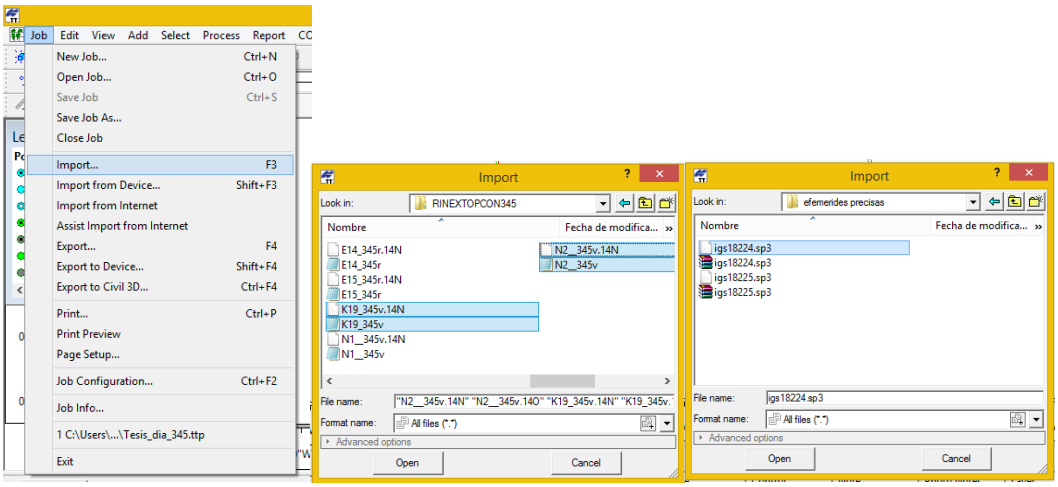


Ilustración 57. Importación Datos Topcon Tools

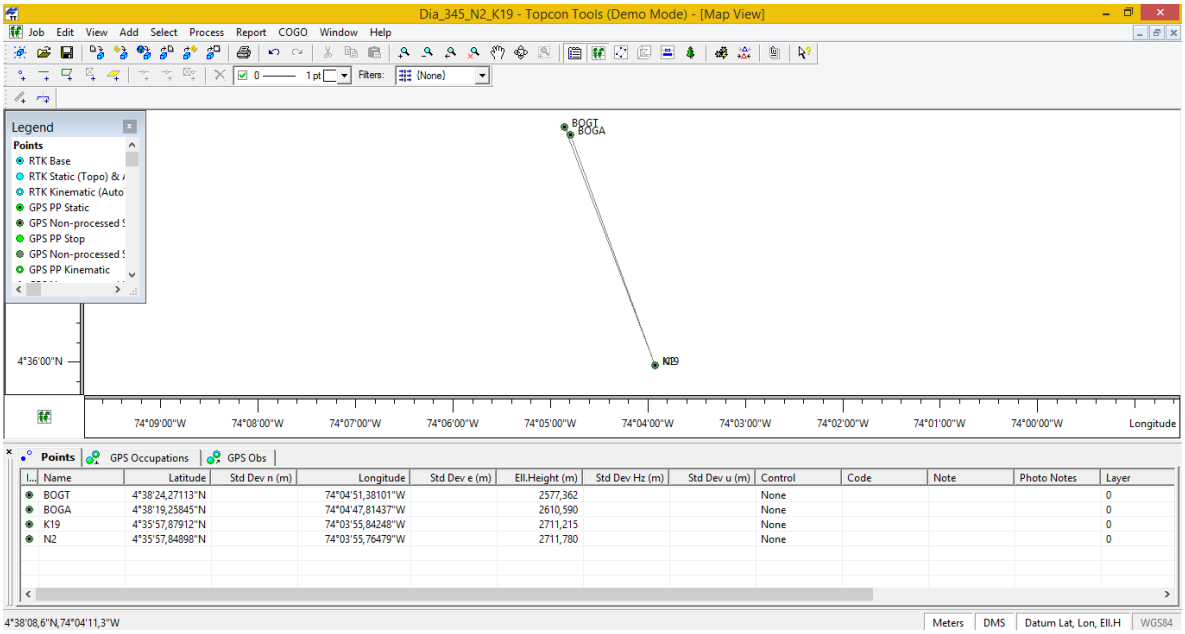
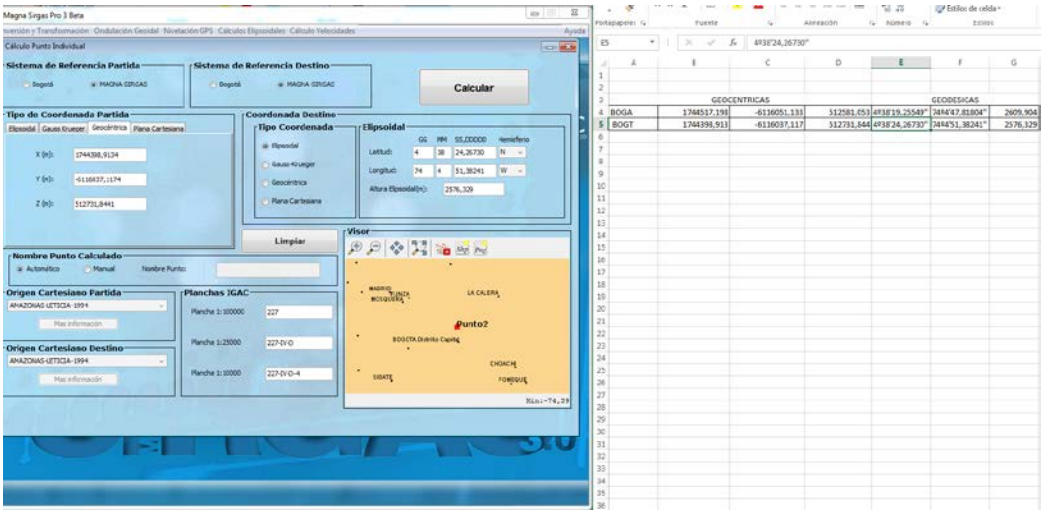
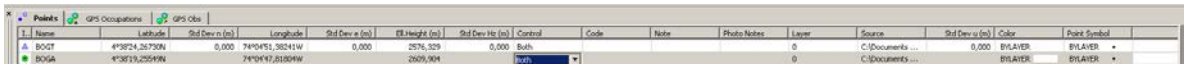


Ilustración 58. Especialización Puntos Topcon Tools

Ahora que están los puntos, se dejan fijas las bases MAGNA-ECO, y se ajustan sus coordenadas al igual que se hizo con las de LGO, con las entregadas por SIRGAS, el software solo recibe Geodésicas por lo que se hace la conversión, y el símbolo de las bases pasa a ser de control fijados en vertical y horizontal por lo cual no se movieron, y se da pauta al post-proceso.





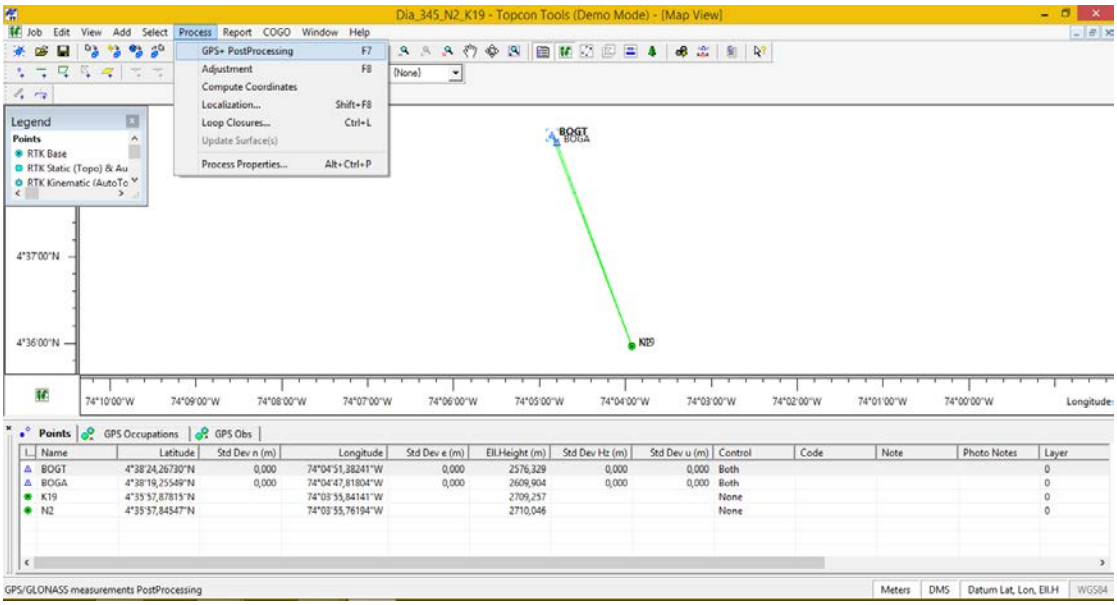


Ilustración 59. Conversión de coordenadas Puntos de Control.

Cuando están los vectores hacia los puntos aceptados por el software, se procede a realizar el ajuste en la red y posteriormente generar los reportes de las coordenadas que se calcularon con lo indica la siguiente ilustración.

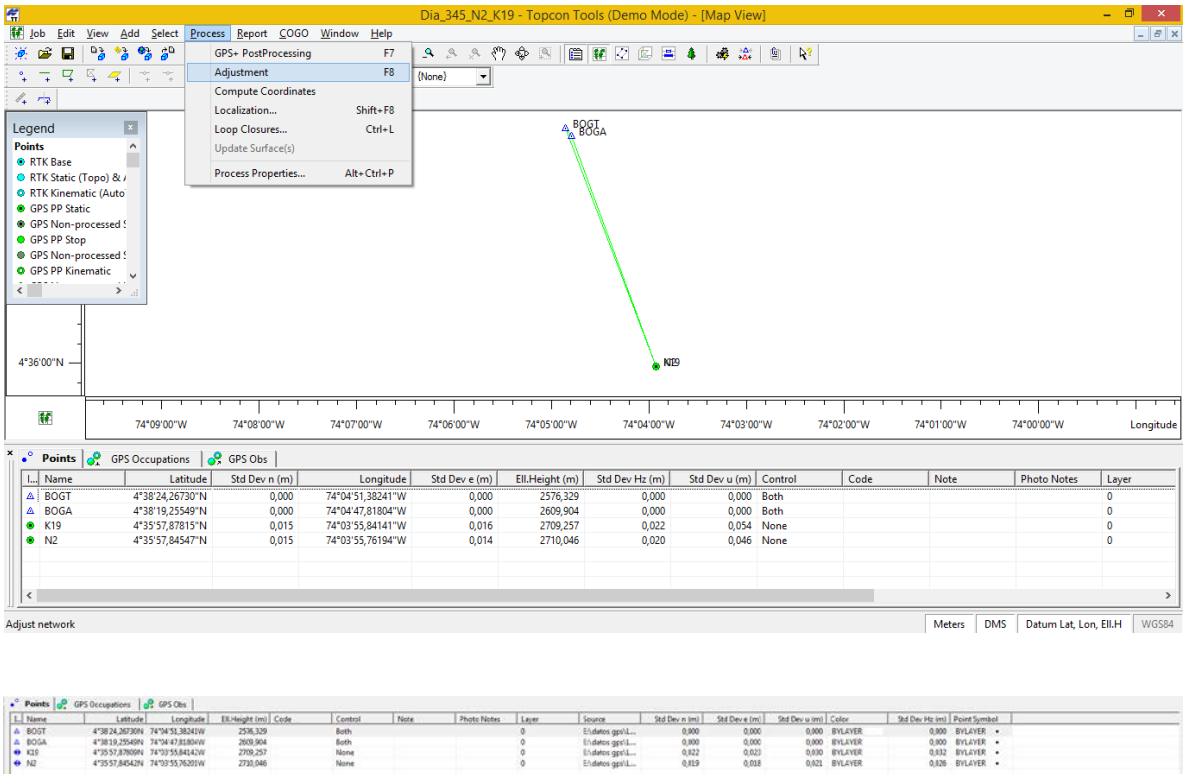


Ilustración 60. Ajuste y Coordenadas Topcon Tools

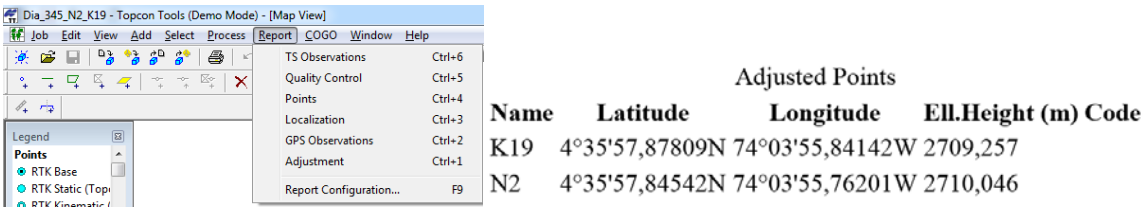


Ilustración 61. Generación Reportes de Coordenadas y Resultado

Cuando la recepción de los puntos tiene más problema en cuestión, como que solo un vector de las dos (2) bases obtenga las coordenadas procesadas, o que ninguno entre en los rangos de error estipulados para los puntos se realizan ediciones como en el LGO como se muestra a continuación:

Se cargaron los datos correspondientes a los puntos E10, E11 y E13 los cuales se procesaran en Topcon Tools, y se da un procesamiento previo sin fijar los puntos base para observar la recepción de los puntos a hallar, esto se muestra en la Ilustración 62. GPS + Post Processing. El

punto E10 no sirve en su totalidad por lo cual el programa no lo procesa y se saca del proyecto, en cuanto a los otros dos (2) no decepcionaron correctamente los datos y se realizaran correcciones para hallar las coordenadas y el punto se determine con los parámetros de procesamiento pertinente.

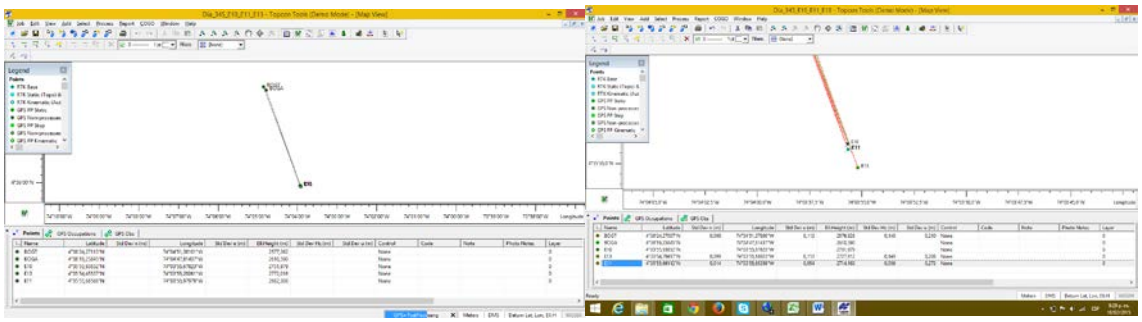


Ilustración 62. GPS + Post Processing

Se cambia la máscara de elevación de los receptores a 30º lo cual permite que un vector de punto E13 cumpla con los parámetros de precisión.

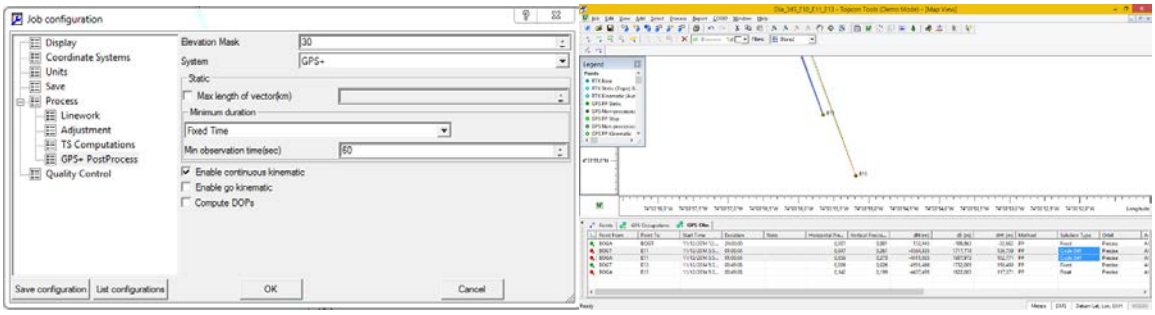


Ilustración 63. Cambio Mascara de Elevación (Topcon Tools)

Al obtener este vector se procede a mirar la recepción del dispositivo y sus satélites correspondientes, con la finalidad de ajustar los tiempos y continuidad de estos, al realizar esto se puede determinar cuáles pueden tener problemas y posteriormente excluirlos del procesamiento.

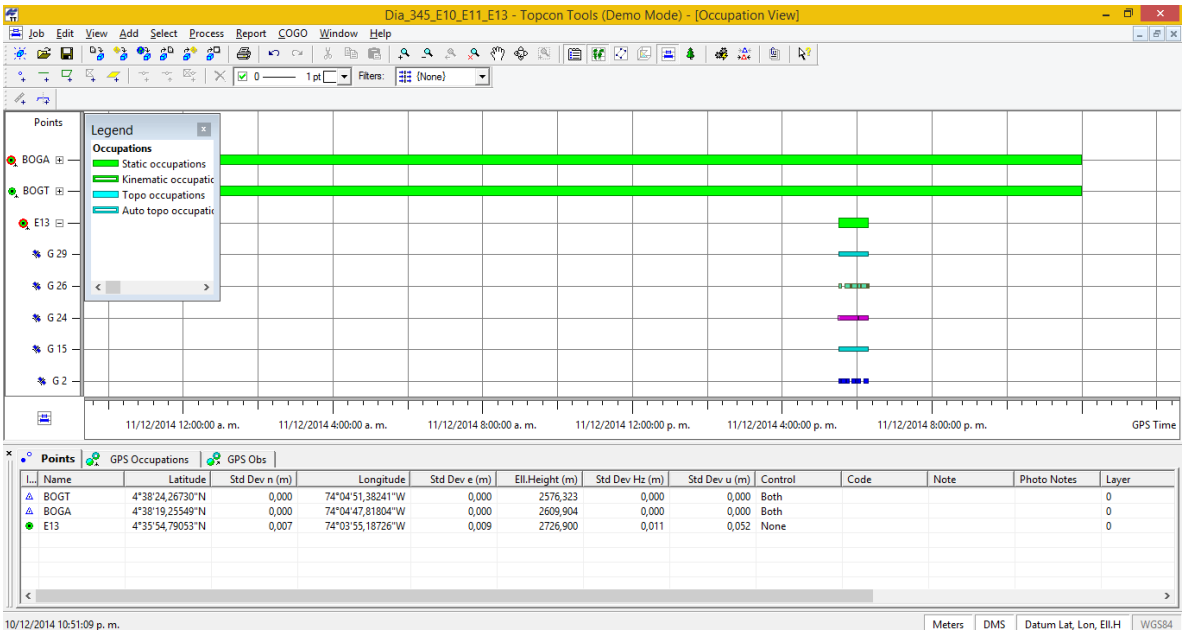


Ilustración 64. Ventana de Satélites Recepcionados (Topcon Tools)

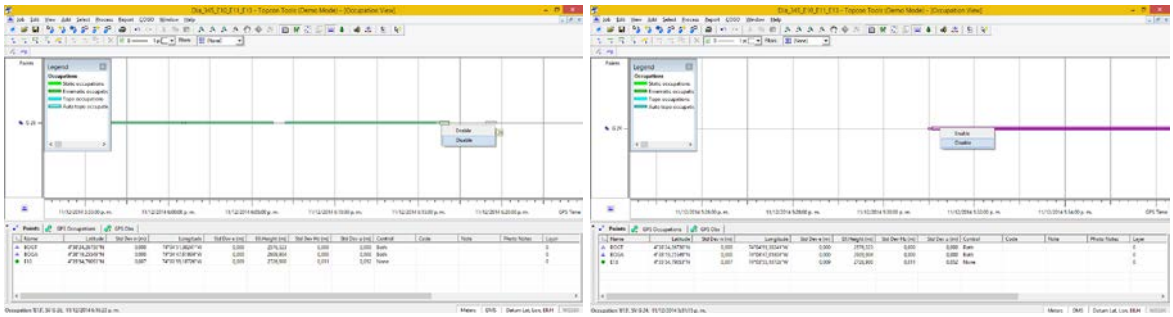


Ilustración 65. Des habilitación de Tiempos de Recepción de Satélites

Después de realizar esto los vectores de procesamiento son aceptados por el software con los parámetros exigidos, y se procede a ajustar el punto, y finalmente obtener las coordenadas del punto.

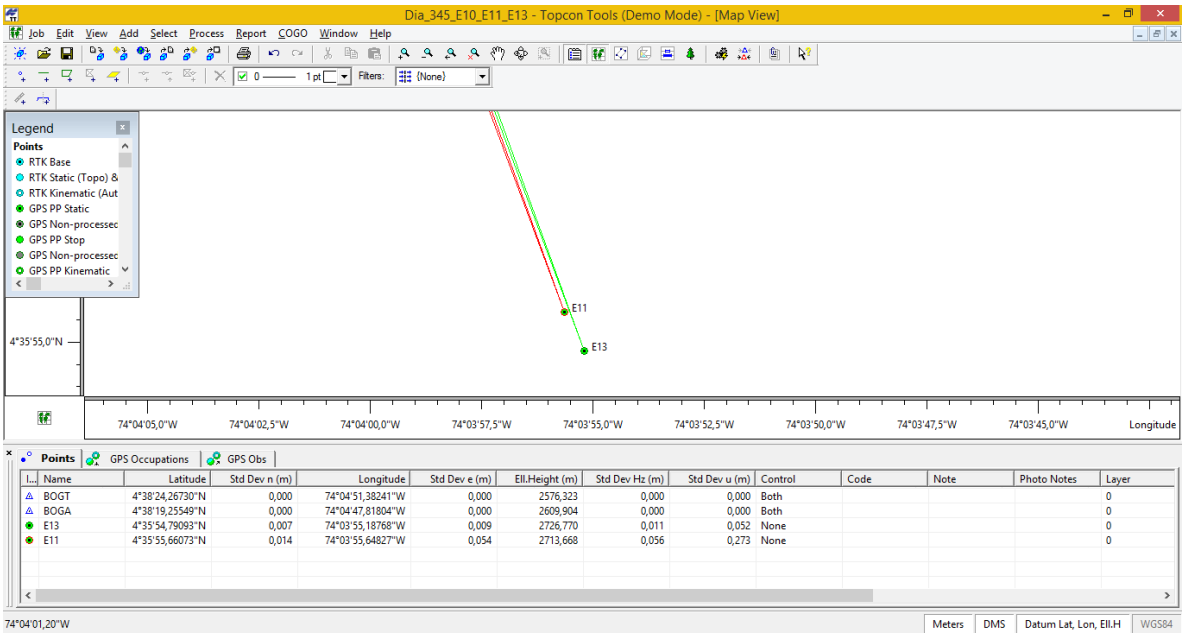


Ilustración 66. Vectores Aprobados

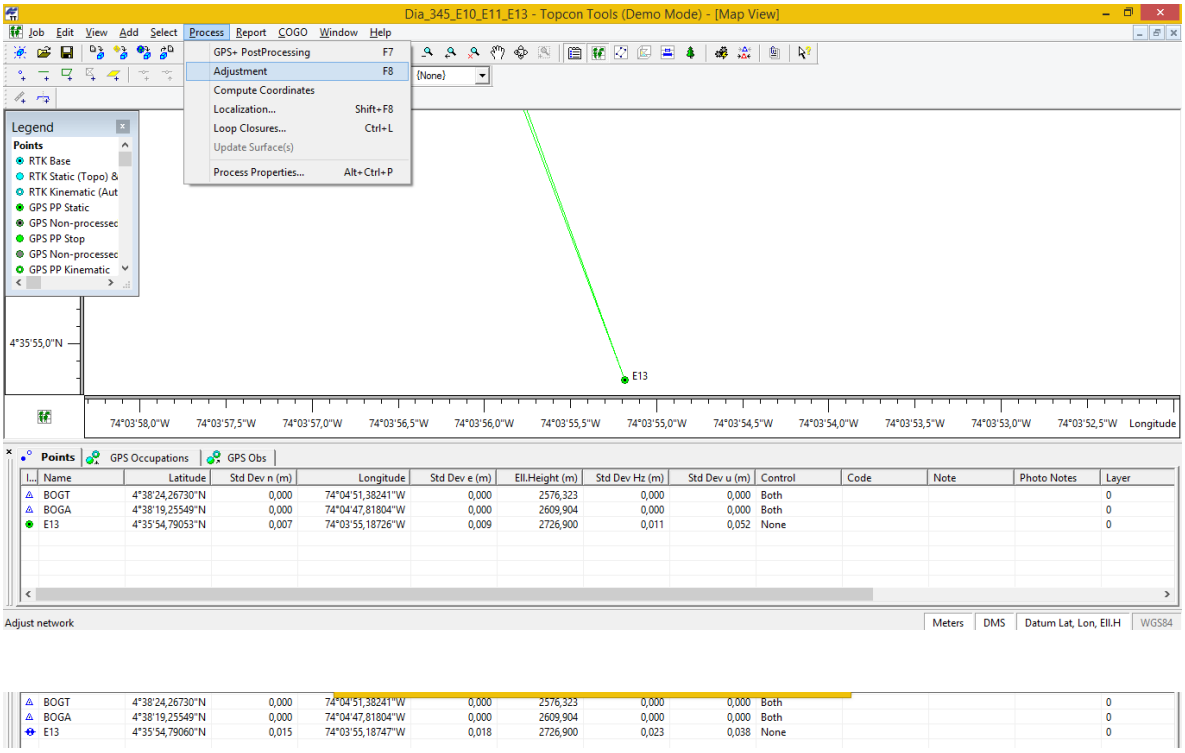


Ilustración 67. Ajuste de Red y Coordenadas E13 (Topcon Tools)

Para todos los puntos en general se realizaron los procedimientos anteriormente explicados para obtener todas coordenadas necesarias; a continuación se muestran las coordenadas

obtenidas, los puntos E8 y E10 no decepcionaron datos suficientes para procesarlos. Posiblemente por su ubicación y objetos como árboles que interrumpían la recepción de la señal; los puntos E11 y E15 no solucionaron ambigüedad por lo cual sus coordenadas no son verídicas. Para las coordenadas de estos puntos se utilizaran aquellas tomadas con la estación total para generar el MDT.

Tabla 9. Coordenadas Posición Esferas

	COORDENADAS			
PUNTO	**LATITUD**	**LONGITUD**	**ALTURA ELIPSOIDAL (m)**	**OBSERVACION**
E1	4°35'58.29620"N	74°03'55.78514"W	2704,1635	
E2	4°35'58.13938"N	74°03'55.47457"W	2708,9255	
E3	4°35'57.89974"N	74°03'55.22524"W	2714,7117	
E4	4°35'57.32383"N	74°03'55.66438"W	2716,5630	
E5	4°35'57,38798"N	74°03'55,50913"W	2715,9780	
E6	4°35'57.42199"N	74°03'55.30782"W	2718,8278	
E7	4°35'56.52213"N	74°03'55.93375"W	2713,6553	
E8	4°35'56,78773N	74°03'55,45270W	2725,8560	Sin Recepción
E9	4°35'56,55711"N	74°03'55,39161"W	2723,448	
E10	4°35'55,93832N	74°03'55,67823W	2731,9790	Sin Recepción
E11	4°35'55,64655"N	74°03'55,56591"W	2726,9680	No Fija Ambigüedad
E12	4°35'55.74737"N	74°03'55.24242"W	2729,3338	
E13	4°35'54,79060"N	74°03'55,18747"W	2726,9000	
E14	4°35'54,75904"N	74°03'55,02885"W	2728,2260	No Fija Ambigüedad
E15	4°35'54,83780"N	74°03'55,00497"W	2731,7550	No Fija Ambigüedad

Tabla 10. Coordenadas Puntos de Nivelación

	COORDENADAS			
PUNTO	**LATITUD**	**LONGITUD**	**ALTURA ELIPSOIDAL (m)**	**OBSERVACION**
N1	4°35'57,76522"N	74°03'55,45470"W	2712,7590	
N2	4°35'57,84542"N	74°03'55,76201"W	2710,0460	

N3	4°35' 57.80341"N	74°03'55.41860"W	2712,8148	
N4	4°35'57.77823"N	74°03'55.29976"W	2715,0642	
N5	4°35'56.99949"N	74°03'55.62448"W	2718,4727	
N6	4°35'56.95359"N	74°03'55.46858"W	2719,3926	
N7	4°35'55,56207"N	74°03'55,30352"W	2729,0840	No Fija Ambigüedad

Tabla 11. Coordenadas Puntos Kriging

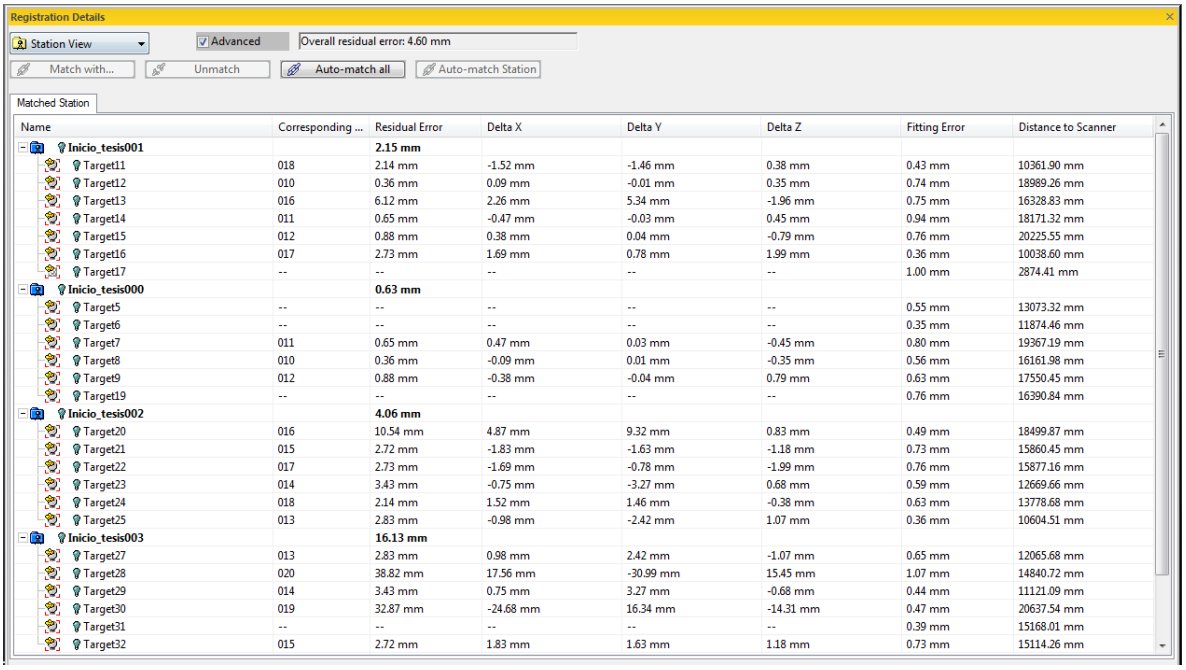
	COORDENADAS			
PUNTO	**LATITUD**	**LONGITUD**	**ALTURA ELIPSOIDAL (m)**	**OBSERVACION**
K1	4°35'54.85495"N	74°03'55.20943"W	2726,6630	
K2	4°35'55,14612"N	74°03'55,13780"W	2727,5450	
K3	4°35'55,18852"N	74°03'55,34354"W	2725,5870	
K4	4°35'55,99008"N	74°03'55,59769"W	2723,5480	No Fija Ambigüedad
K5	4°35'56,37804"N	74°03'55,47110"W	2722,6800	
K6	4°35'56,06072"N	74°03'55,47871"W	2722,3090	
K7	4°35'56.30415"N	74°03'55.80090"W	2715,9020	
K8	4°35'56.31187"N	74°03'56.04757"W	2712,9927	
K9	4°35'56.93112"N	74°03'55.30614"W	2723,6545	
K10	4°35'56.62559"N	74°03' 56.19349"W	2710,1160	
K11	4°35'57,10736"N	74°03'55,61965"W	2718,4530	
K12	4°35'56,74744"N	74°03'55,48842"W	2719,0070	
K13	4°35'57.19909"N	74°03'55.47802"W	2718,4480	
K14	4°35'56.68987"N	74°03'55.46738"W	2720,0744	
K15	4°35'56,75489"N	74°03'55,53655"W	2722,4010	No Fija Ambigüedad
K16	4°35'55,46441"N	74°03'55,50847"W	2723,88	
K17	4°35'57,47526"N	74°03'55,47346"W	2716,231	
K18	4°35'57.52547"N	74°03'55.53901"W	2713,9820	
K19	4°35'57,87809"N	74°03'55,84142"W	2709,2570	
K20	4°35'57.67378"N	74°03'55.73802"W	2712,7496	
K21	4°35'57.38713"N	74°03'55.51499"W	2716,0125	
K22	4°35'57.67371"N	74°03'55.39782"W	2714,7971	

Procesamiento Datos LÍDAR

Los datos capturados por el sensor se procesaron haciendo uso del software Real Works de la casa Trimble. Dicho procesamiento consta de la determinación automática

de las esferas dentro de la nube de puntos, el amarre entre escenas usando las esferas, la georreferenciación de la nube, el remuestreo de la nube de puntos y la exportación de los datos a formato LAS.

Durante la fase de amarre automático de escenas usando las esferas el máximo error residual fue de 16.13 mm como se muestra en la Ilustración 68. Existe la posibilidad en algunos muestreos de realizar una identificación y amarre manual de targets, sin embargo para el presente proyecto no fue necesario.



Name	Corresponding ...	Residual Error	Delta X	Delta Y	Delta Z	Fitting Error	Distance to Scanner
Inicio_tesis001		**2.15 mm**					
Target11	018	2.14 mm	-1.52 mm	-1.46 mm	0.38 mm	0.43 mm	10361.90 mm
Target12	010	0.36 mm	0.09 mm	-0.01 mm	0.35 mm	0.74 mm	18989.26 mm
Target13	016	6.12 mm	2.26 mm	5.34 mm	-1.96 mm	0.75 mm	16328.83 mm
Target14	011	0.65 mm	-0.47 mm	-0.03 mm	0.45 mm	0.94 mm	18171.32 mm
Target15	012	0.88 mm	0.38 mm	0.04 mm	-0.79 mm	0.76 mm	20225.55 mm
Target16	017	2.73 mm	1.69 mm	0.78 mm	1.99 mm	0.36 mm	10038.60 mm
Target17	--	--	--	--	--	1.00 mm	2874.41 mm
Inicio_tesis000		**0.63 mm**					
Target5	--	--	--	--	--	0.55 mm	13073.32 mm
Target6	--	--	--	--	--	0.35 mm	11874.46 mm
Target7	011	0.65 mm	0.47 mm	0.03 mm	-0.45 mm	0.80 mm	19367.19 mm
Target8	010	0.36 mm	-0.09 mm	0.01 mm	-0.35 mm	0.56 mm	16161.98 mm
Target9	012	0.88 mm	-0.38 mm	-0.04 mm	0.79 mm	0.63 mm	17550.45 mm
Target19	--	--	--	--	--	0.76 mm	16390.84 mm
Inicio_tesis002		**4.06 mm**					
Target20	016	10.54 mm	4.87 mm	9.32 mm	0.83 mm	0.49 mm	18499.87 mm
Target21	015	2.72 mm	-1.83 mm	-1.63 mm	-1.18 mm	0.73 mm	15860.45 mm
Target22	017	2.73 mm	-1.69 mm	-0.78 mm	-1.99 mm	0.76 mm	15877.16 mm
Target23	014	3.43 mm	-0.75 mm	-3.27 mm	0.68 mm	0.59 mm	12669.66 mm
Target24	018	2.14 mm	1.52 mm	1.46 mm	-0.38 mm	0.63 mm	13778.68 mm
Target25	013	2.83 mm	-0.98 mm	-2.42 mm	1.07 mm	0.36 mm	10604.51 mm
Inicio_tesis003		**16.13 mm**					
Target27	013	2.83 mm	0.98 mm	2.42 mm	-1.07 mm	0.65 mm	12065.68 mm
Target28	020	38.82 mm	17.56 mm	-30.99 mm	15.45 mm	1.07 mm	14840.72 mm
Target29	014	3.43 mm	0.75 mm	3.27 mm	-0.68 mm	0.44 mm	11121.09 mm
Target30	019	32.87 mm	-24.68 mm	16.34 mm	-14.31 mm	0.47 mm	20637.54 mm
Target31	--	--	--	--	--	0.39 mm	15168.01 mm
Target32	015	2.72 mm	1.83 mm	1.63 mm	1.18 mm	0.73 mm	15114.26 mm

Ilustración 68 Reporte de resultados del amarre automático de esferas entre las cuatro escenas

Para la georreferenciación de la nube de puntos se utilizaron las coordenadas conocidas de 3 esferas cabe notar que estas fueron con altura elipsoidal más la altura de la estera al piso sus coordenadas se encuentran en la siguiente tabla. Estas esferas fueron las esferas 1, 4 y 6. La Ilustración 68 muestra que el error promedio en este proceso fue de 34.69 mm. Esto indica que los demás puntos tomados con GPS para la georreferenciación no son necesarios en esta y se utilizaron en el modelo generado a partir de Kriging.

Tabla 12. . Coordenadas Esferas de Georreferenciación LÍDAR

COORDENADAS					
PUNTO	**LATITUD**	**LONGITUD**	**ALTURA ELIPSOIDAL (m)**	**ALTURA ESFERA (m)**	**ALTURA ELIPSOIDAL MAS ESFERA (m)**
E1	4°35'58,29620"N	74°03'55,78514"W	2704,1635	1,192	2705,3555
E4	4°35'57,32383"N	74°03'55,66438"W	2716,5630	0,768	2717,3310
E6	4°35'57,42199"N	74°03'55,30782"W	2718,8278	1,186	2720,0138

Georreferenciación de la nube de puntos

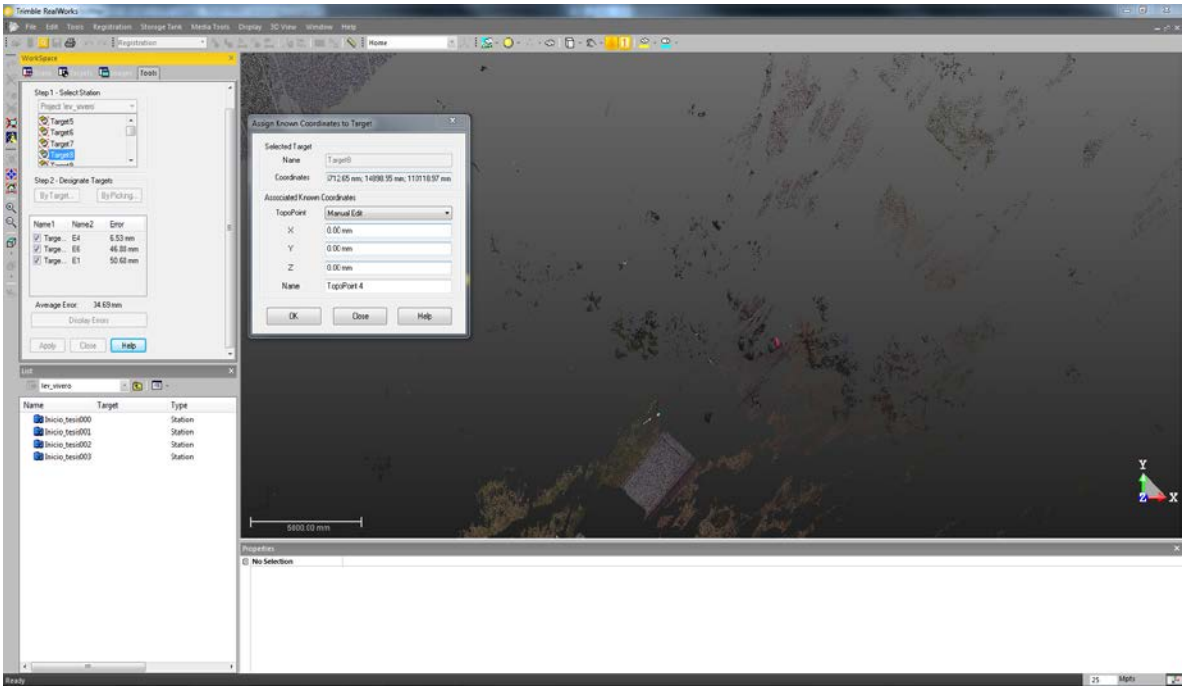


Ilustración 69 Georreferenciación de la nube de puntos usando Real Works

La Ilustración 69 muestra el proceso por el cual se le asignan coordenadas a 3 esferas, dichas esferas fueron las 4, 6 y1.

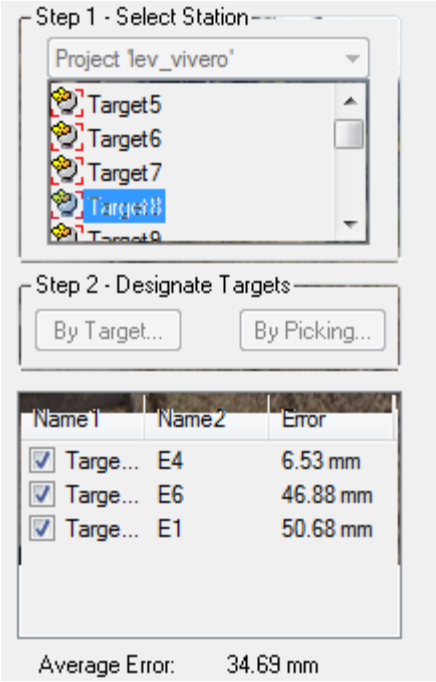


Ilustración 70 Reporte de error interno de referenciación arrojado por Real Works

Al final del proceso se observa que el error interno para la georreferenciación es de 34.69mm.

Remuestreo de la nube

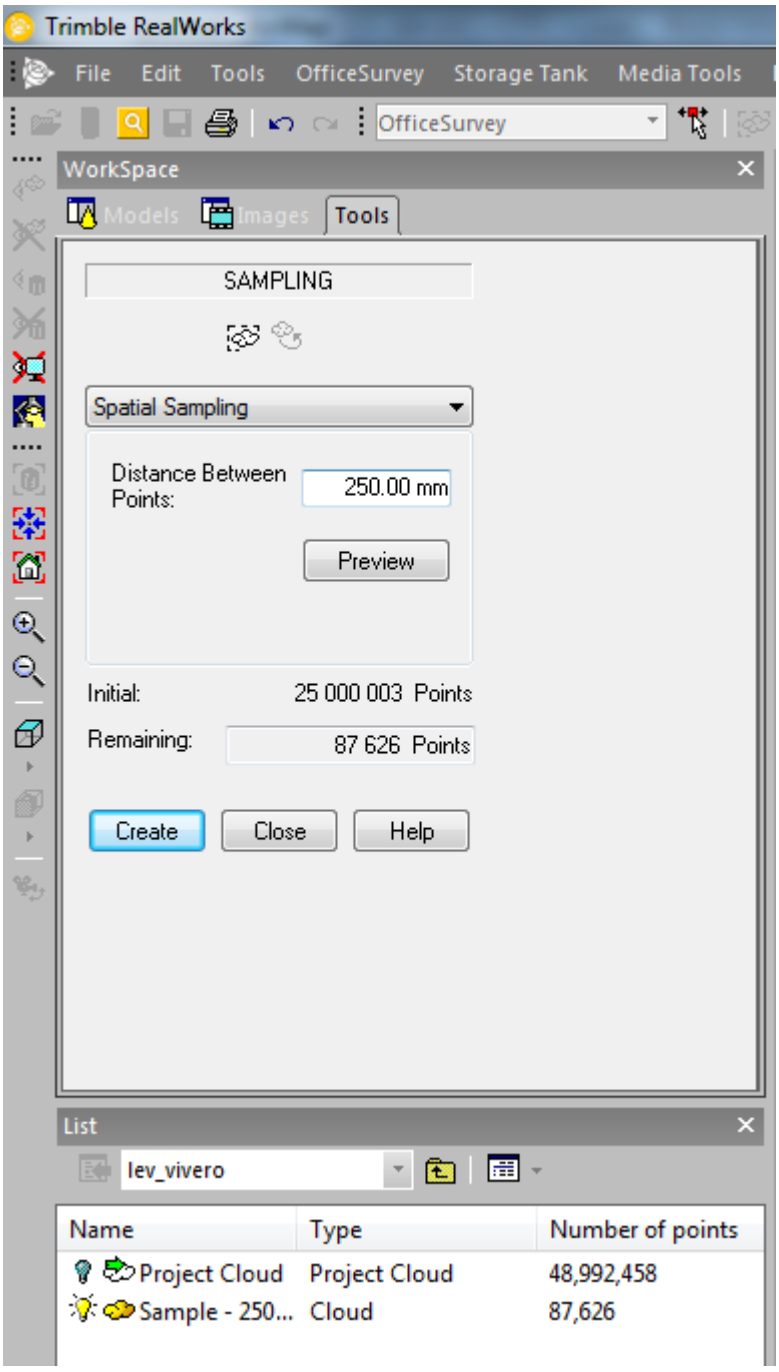


Ilustración 71 Proceso de remuestreo de la nube de puntos usando Real Works

El proceso siguiente es reducir un poco la cantidad de puntos a manejar, esto debido a que el total de puntos para la toma fue de 48’992.458, una cantidad muy difícil de manipular.

El remuestreo se hizo dejando una distancia promedio entre puntos de 25cm, al final la nube se redujo a 87.626 puntos en total. Esta nube es la que se dispuso para exportar a formato LAS.

Clasificación manual

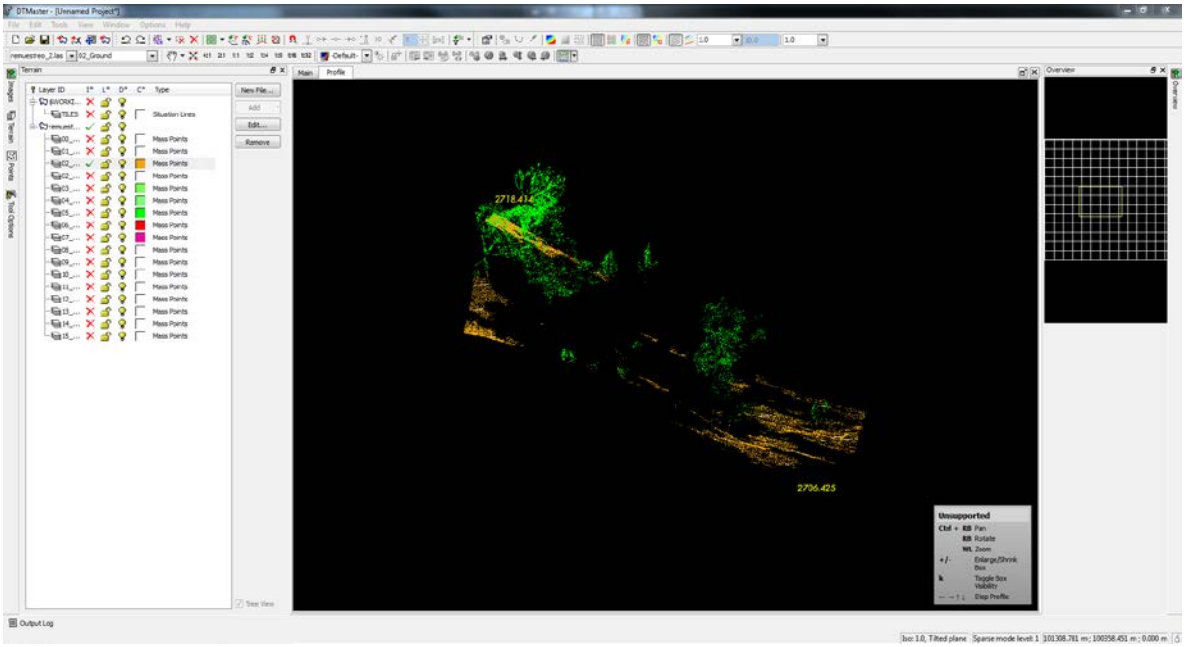


Ilustración 72 Captura de pantalla de clasificación manual usando software INPHO

Una vez que se cuenta con la información en el formato LÍDAR LAS se ha procedido a efectuar una clasificación automática haciendo uso de la extensión TerraScan del software MicroStation. La clasificación manual se realizó haciendo uso del software DTMaster, perteneciente a la suite Application Master de la casa Trimble. A partir de allí ha sido posible obtener los puntos de piso, los cuales son necesarios para generar el primer modelo digital de terreno, el cual se ha dejado con una resolución espacial de 50 cm.

La Ilustración 73 permite ver el resultado de la clasificación entre piso y no piso desde una vista superior. La Ilustración 74 muestra el resultado de la clasificación de puntos de piso desde una vista superior. Estos puntos serán los utilizados al momento de generar del modelo digital de terreno.

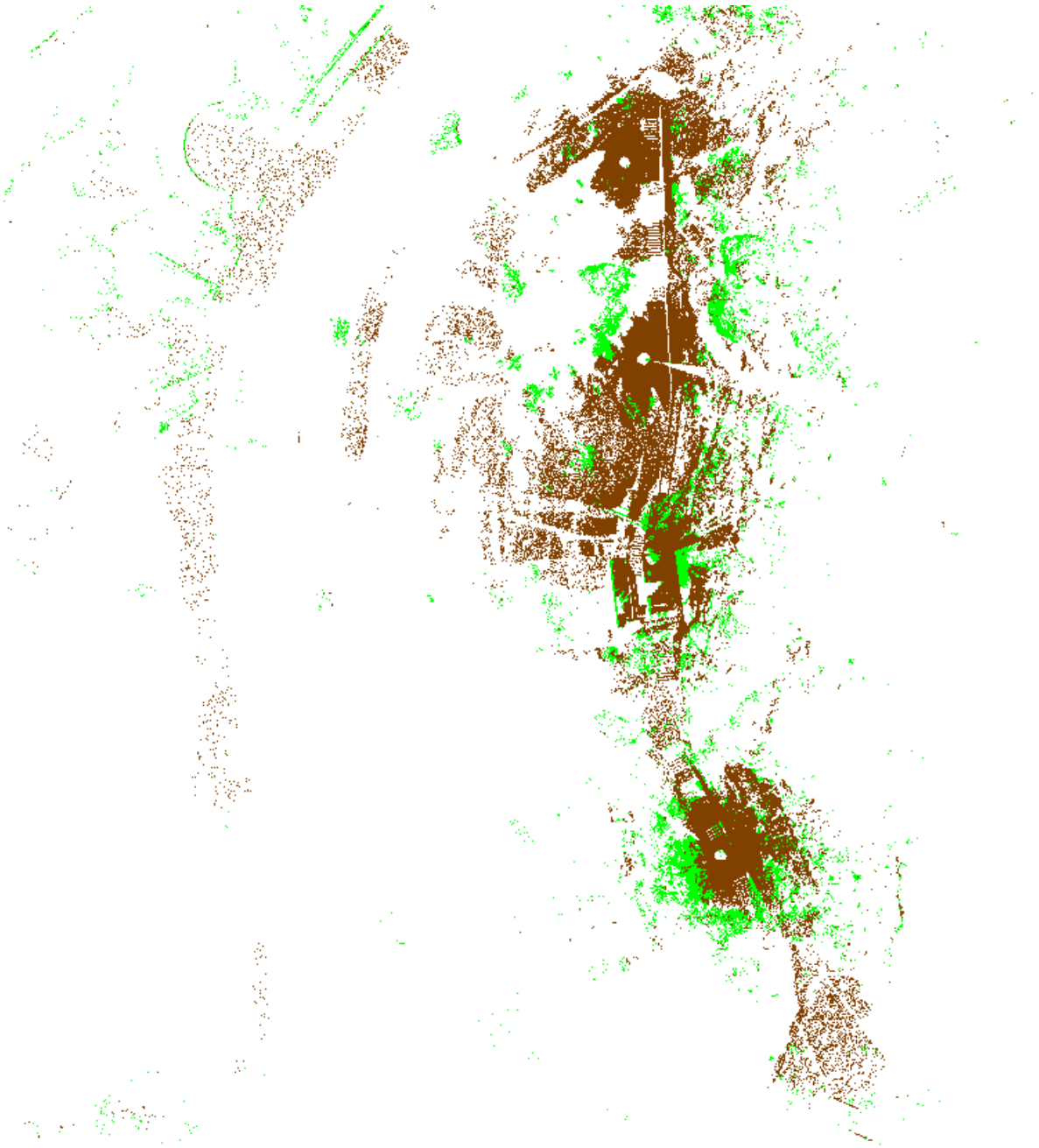


Ilustración 73 Vista superior de la nube de puntos clasificada (Todos los puntos)



Ilustración 74 Vista superior de la nube de puntos clasificada (Puntos de piso)

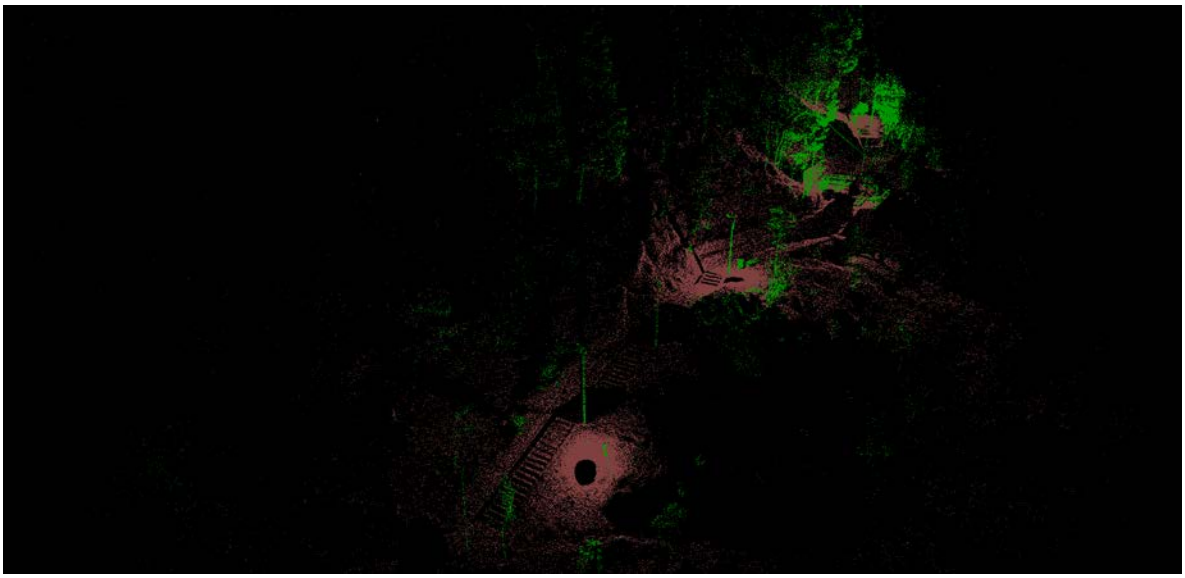


Ilustración 75. Zoom Zona Estudio Datos LÍDAR (FugroViewer)

Ya clasificada la información de terreno se procedió a generar un modelo digital de terreno, para esto se usó la aplicación DTMToolkit de la suite Inpho de la casa Trimble. Los parámetros para realizar el DTM se muestran en la Ilustración 76, la resolución espacial definida es de 0.5m.

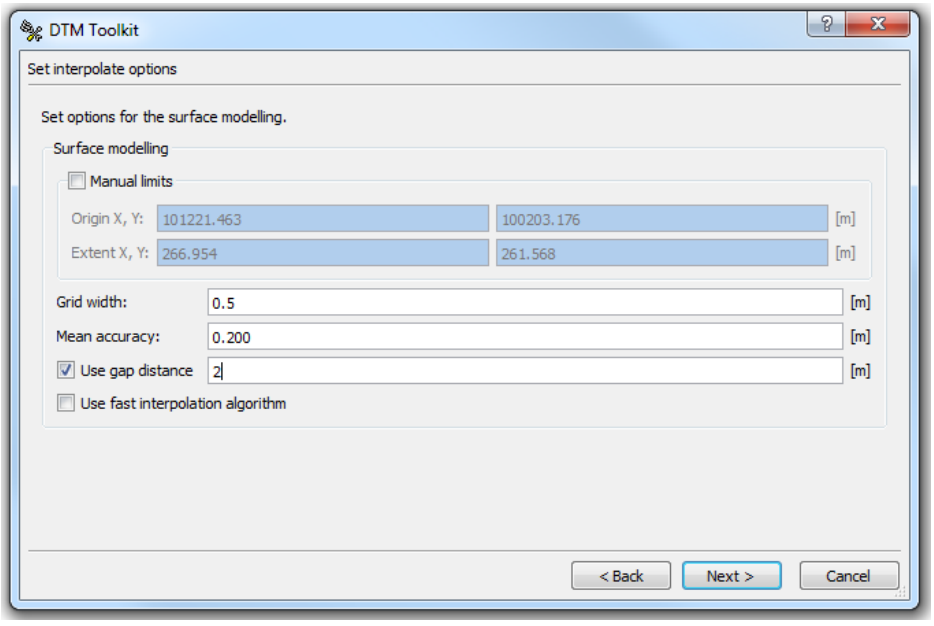


Ilustración 76 Parámetros para generar el DTM

El producto obtenido fue un archivo Tif de 32 bits, básicamente es un archivo raster con información de alturas en cada pixel. La Ilustración 77 muestra el primer DTM obtenido, sobre el cual se procedió a trazar un área límite del proyecto teniendo en cuenta las zonas en las cuales se presenta una densidad de puntos aceptable.

El DTM resultante después de efectuado el corte se muestra en la Ilustración 78

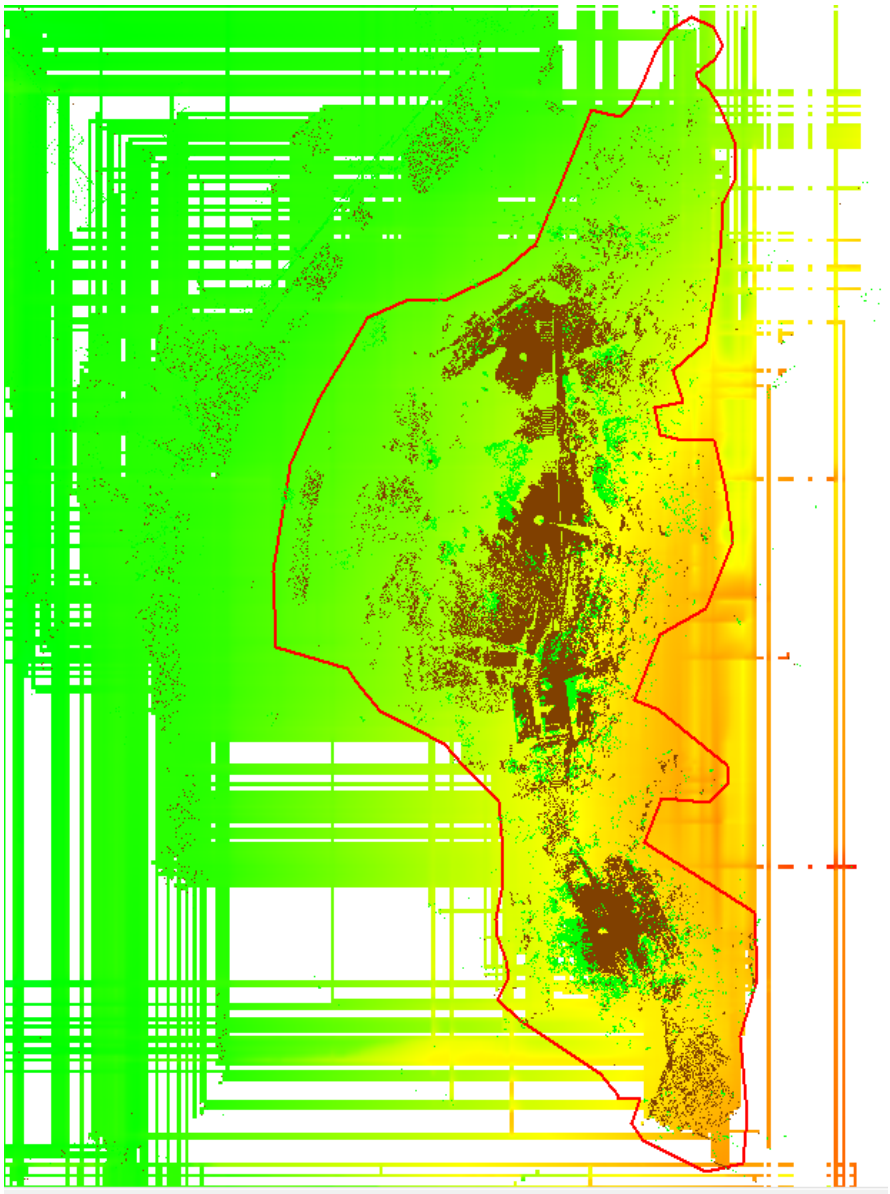


Ilustración 77 Primer DTM obtenido y delimitación del área útil.

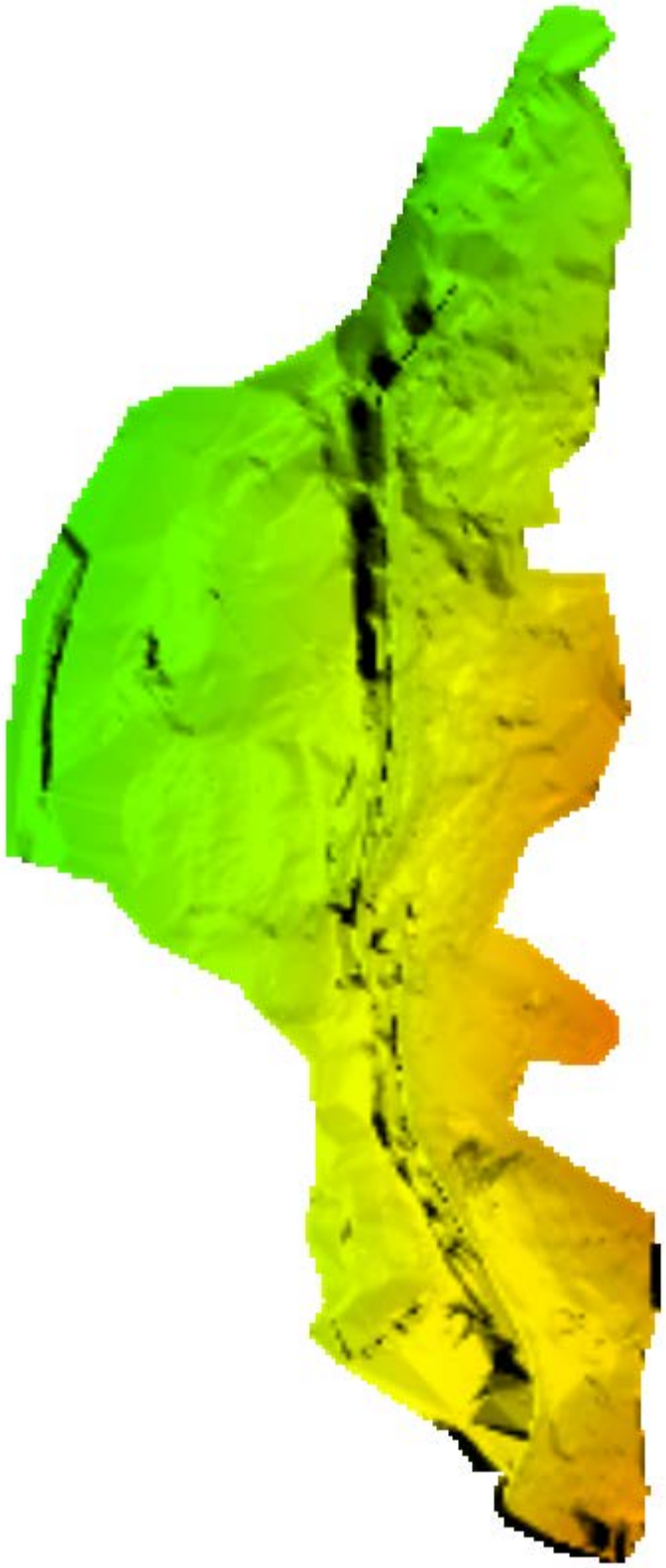


Ilustración 78 DTM definitivo

Procesamiento Datos Nivelación

Para la determinación de la cota del punto NP6-E1 se realizó un circuito GEOCOL, establecido con los mismos puntos que se usaron para elevar la cota de los puntos GPS como lo muestra la Ilustración 79.

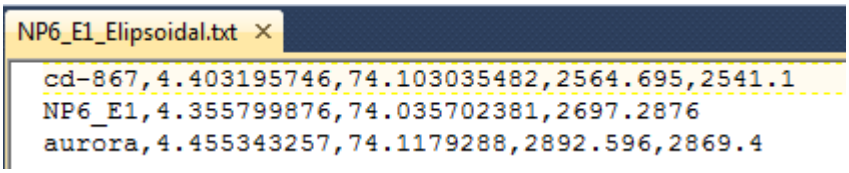


Ilustración 79 Circuito NP6-E1

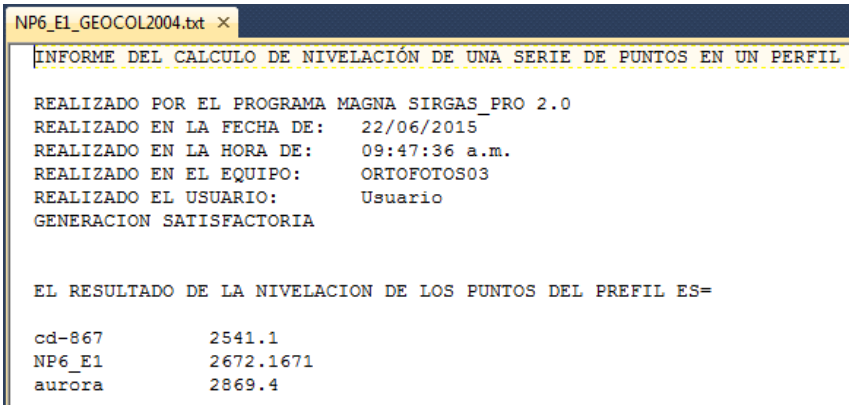


Ilustración 80 Altura Ortométrica NP6-E1

Tabla 13. Nivelación Geométrica

BM	Hilo sup (m)	Hilo Inf (m)	V(+) (m)	Alt. Ins (m)	Hilo sup (m)	Hilo Inf (m)	V(-) (m)	Hilo sup (m)	Hilo Inf (m)	V(I) (m)	Cotas (m)
NP6-E1	2,929	2,853	2,891	2675,058							2672,167
C#1	3,286	3,077	3,182	2676,816	1,595	1,252	1,424				2673,634
C#2	4,272	4,198	4,235	2680,607	0,472	0,416	0,444				2676,372
C#3	2,022	2,002	2,013	2682,430	0,200	0,180	0,190				2680,417
E1								3,572	3,466	3,519	2685,949
C#4	4,197	4,059	4,128	2686,387	0,181	0,162	0,171				2682,259
E2								2,559	2,486	2,522	2683,865
N2								1,640	1,451	1,595	2684,792
C#5	3,846	3,787	3,816	2689,978	0,242	0,208	0,225				2686,162
N1								2,342	2,286	2,314	2687,664

N3								2,384	2,307	2,346	2687,632
N4								0,230	0,142	0,186	2689,792
E3								0,408	0,268	0,338	2689,640
C#6	3,947	3,869	3,906	2693,678	0,231	0,180	0,206				2689,772
E4								2,215	2,161	2,188	2691,490
E5								2,801	2,737	2,770	2690,908
N5/C#7	1,321	1,296	1,308	2694,551	0,465	0,405	0,435				2693,243
E6								0,862	0,720	0,791	2693,760
N6								0,893	0,831	0,862	2693,689
E8/C#8	1,379	1,281	1,330	2693,180	2,785	2,617	2,701				2691,850
E7								4,728	4,608	4,668	2688,512
C#9	4,963	4,882	4,922	2698,007	0,169	0,020	0,095				2693,085
E10								1,624	1,494	1,559	2696,448
E11								0,175	0,053	0,114	2697,893
C#10	4,216	4,075	4,145	2701,916	0,320	0,152	0,236				2697,771
E9								3,722	3,460	3,591	2698,325
C#11	2,76	2,656	2,708	2704,106	0,550	0,487	0,518				2701,398
E15								2,730	2,660	2,695	2701,411
E14								1,729	1,699	1,714	2702,392
E13/C#12	2,961	2,765	2,864	2704,706	2,382	2,198	2,264				2701,842
E12								0,558	0,500	0,529	2704,177

Procesamiento Datos Topográficos

El procedimiento al igual que el anterior fue diligenciar la cartera pertinente, para esta se utilizaron las alturas de la nivelación y se dejaron en sistema MAGNA- Bogotá; estas se muestran a continuación:

Tabla 14. Cartera Puntos Topográficos (Coordenadas Esferas)

DELTA	**PTO**	**A H**			**DH**	**AZ**	**PROYECCIONES**		**COORDENADAS**	
		G	**M**	**S**			**N-S**	**E-W**	**NORTE(m)**	**ESTE(m)**
NPE6									100355,861	101299,381
	Cruz	338	6	38	0,000	59,523				
	CN03	81	24	45	51,640	81,413	7,71087	51,061063	100363,572	101350,442
CN03										
	NPE6	0	0	0	51,647	261,413	-7,7119	-51,06798	100355,860	101299,374
	D1	303	12	10	21,619	204,615	-19,654	-9,004816	100343,917	101341,437
D1									100343,917	101341,437
	CN03	0	0	0	21,620	24,615	19,6553	9,0052321	100363,573	101350,442
	D2	148	15	18	21,101	172,870	-20,938	2,6189766	100322,980	101344,056

	E1	323	48	56	21,257	348,431	20,8251	-4,263107	100364,743	101337,174
	E2	353	36	48	16,913	18,229	16,0642	5,2905429	100359,982	101346,728
	E3	31	53	19	15,607	56,504	8,6132	13,015041	100352,531	101354,452
	E4	158	59	13	9,140	183,602	-9,1219	-0,574259	100334,796	101340,863
	E5	124	50	20	8,280	149,454	-7,1309	4,2081233	100336,787	101345,645
	E6	95	43	12	12,037	120,335	-6,0794	10,388951	100337,838	101351,826
D2									100322,980	101344,056
	D1	0	0	0	21,102	352,870	20,9388	-2,619101	100343,918	101341,437
	E7	229	27	37	17,231	222,331	-12,738	-11,60347	100310,241	101332,453
	E8	199	47	3	12,252	192,654	-11,954	-2,684052	100311,025	101341,372
	E9	164	14	30	13,024	157,112	-11,999	5,0654491	100310,981	101349,122
	D3	186	28	0	22,112	179,337	-22,111	0,2558855	100300,869	101344,312
D3									100300,869	101344,312
	D2	0	0	0	22,113	359,337	22,1115	-0,255897	100322,981	101344,056
	E10	194	34	55	16,680	193,919	-16,19	-4,012341	100284,679	101340,300
	E11	181	46	34	17,370	181,113	-17,367	-0,337417	100283,502	101343,975
	E12	147	47	15	17,320	147,124	-14,546	9,4015764	100286,323	101353,714
	D4	170	56	22	31,000	170,276	-30,555	5,2357625	100270,314	101349,548
	D5	183	9	30	15,548	182,495	-15,533	-0,676914	100285,336	101343,635
D4									100270,314	101349,548
	D3	0	0	0	31,000	350,276	30,5547	-5,235763	100300,869	101344,312
	E13	165	50	34	14,590	156,119	-13,341	5,9065533	100256,974	101355,454
	E14	150	59	48	18,150	141,273	-14,159	11,354814	100256,155	101360,903
	E15	134	45	47	13,770	125,039	-7,9059	11,274284	100262,409	101360,822
D5									100285,336	101343,635
	D3	0	0	0	15,544	362,495	15,5293	0,6767399	100300,865	101344,312
	D4	156	3	11	16,455	158,548	-15,315	6,0178604	100270,021	101349,653
	NPE6	325	23	26	83,260	327,886	70,5204	-44,26168	100355,856	101299,374

Tabla 15 Cotas Esferas Estación Total

ESFERA	**Nº**	**Cota estaca (m)**	**h(trípode) (m)**	**r(correg)**	**Cota ESFERA (m)**
1	E1	2680,636	1,128	0,064	2681,828
2	E2	2685,531	1,136	0,064	2686,731
3	E3	2691,374	1,147	0,064	2692,585
4	E4	2693,1	0,704	0,064	2693,868
5	E5	2692,647	1,1	0,064	2693,811
6	E6	2695,602	1,122	0,064	2696,788
7	E7	2690,254	1,15	0,064	2691,468
8	E8	2693,793	1,11	0,064	2694,967

9	E9	2700,193	1,215	0,064	2701,472
10	E10	2698,196	1,104	0,064	2699,364
11	E11	2699,763	1,19	0,064	2701,017
12	E12	2705,999	x	x	X
13	E13	2703,449	1,185	0,064	2704,698
14	E14	2704,324	1,236	0,064	2705,624
15	E15	2704,457	1,249	0,064	2705,770

Las coordenadas del punto E12 no pudieron ser tomadas puesto que la estaca fue removida de su lugar y no se encontró el lugar donde se encontraba.

Determinación de puntos base en MDT vs. Levantamiento GPS

El DTM generado a partir de los puntos Ground (suelo) de la clasificación de los datos LÍDAR, se obtuvo de una interpolación la cual entrega una superficie con una grilla cada cincuenta (50) centímetros entre cada punto como se observa en la Ilustración 81, esta grilla se encuentra en el sistema de coordenadas MAGNA Ciudad Bogotá la cual tiene origen 100.000 – 100.000; la grilla de puntos es una representación numérica del DTM en el caso correspondiente se obtuvieron 20,451 puntos.

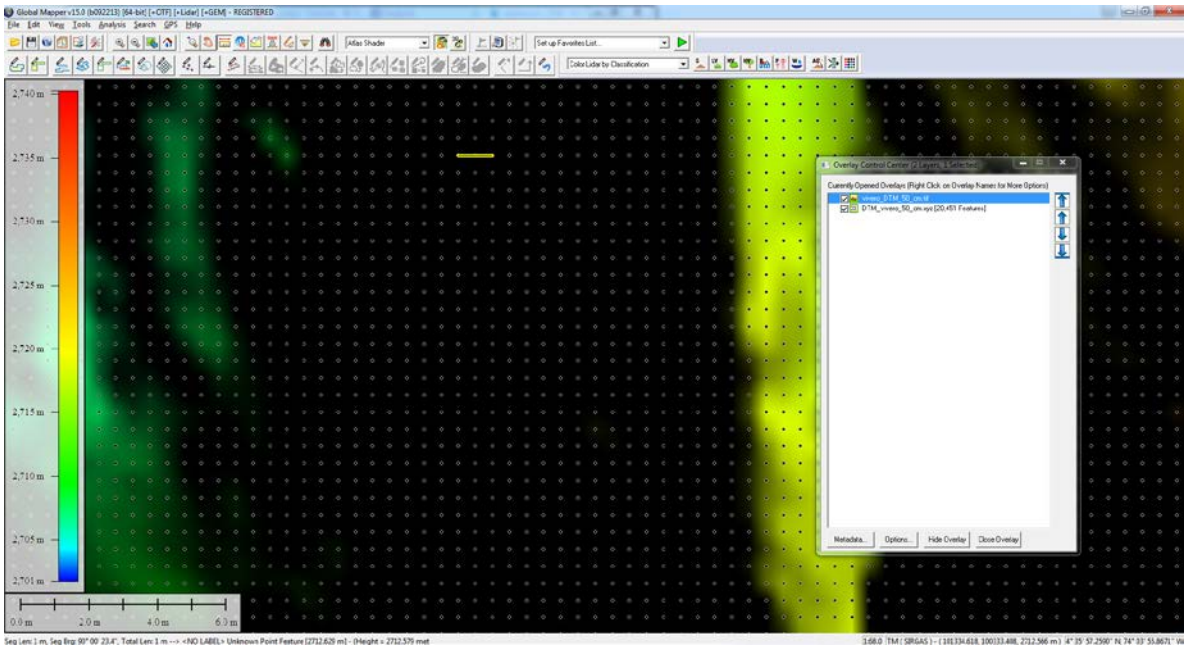


Ilustración 81. Grilla 50 cm Sobre MDT

Dado que la grilla se generó automáticamente por el software esta no tuvo un origen fijado, por lo cual el MDT no tiene coordenadas cerradas y tampoco coincidió exactamente con los puntos tomados por GPS a menos de que estos cacen exactamente en un punto de la grilla. El error más grande que se puede encontrar en planimetría al comparar los puntos de la grilla con los capturados con GPS es igual a $e = \frac{\sqrt{(0.5\ m)^2+(0.5\ m)^2}}{2}$ ya que es lo más lejano que estará un punto GPS de encontrarse con uno de la grilla, en caso de que el punto GPS a comparar fuera totalmente equidistante a dos o más puntos de la grilla, se compararía con cualquiera de ellos de manera aleatoria. El punto E1 quedo descartado puesto que no entra dentro del MDT y en ninguno de los escaneos LÍDAR se pudo capturar datos sobre la región como lo demuestra la Ilustración 82.

Para los demás puntos se realizara la observación de cuál es el más cercano en el software Global Mapper para determinar sus coordenadas y dejarlos en un nuevo documento en el cual

solo tendrán alturas los puntos tomados con el GPS; en la parte inferior derecha se observan las coordenadas del punto.

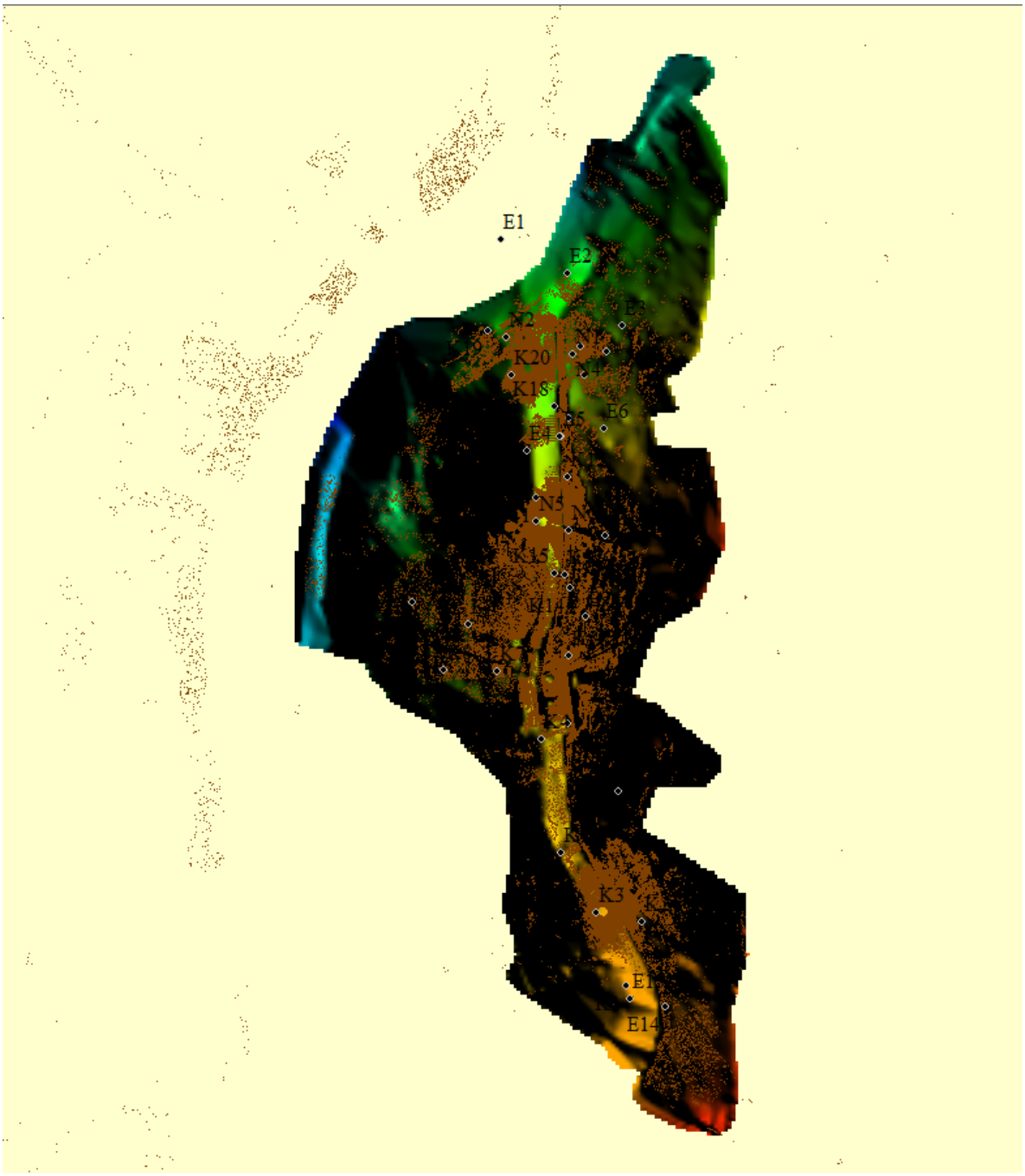


Ilustración 82. Punto E1

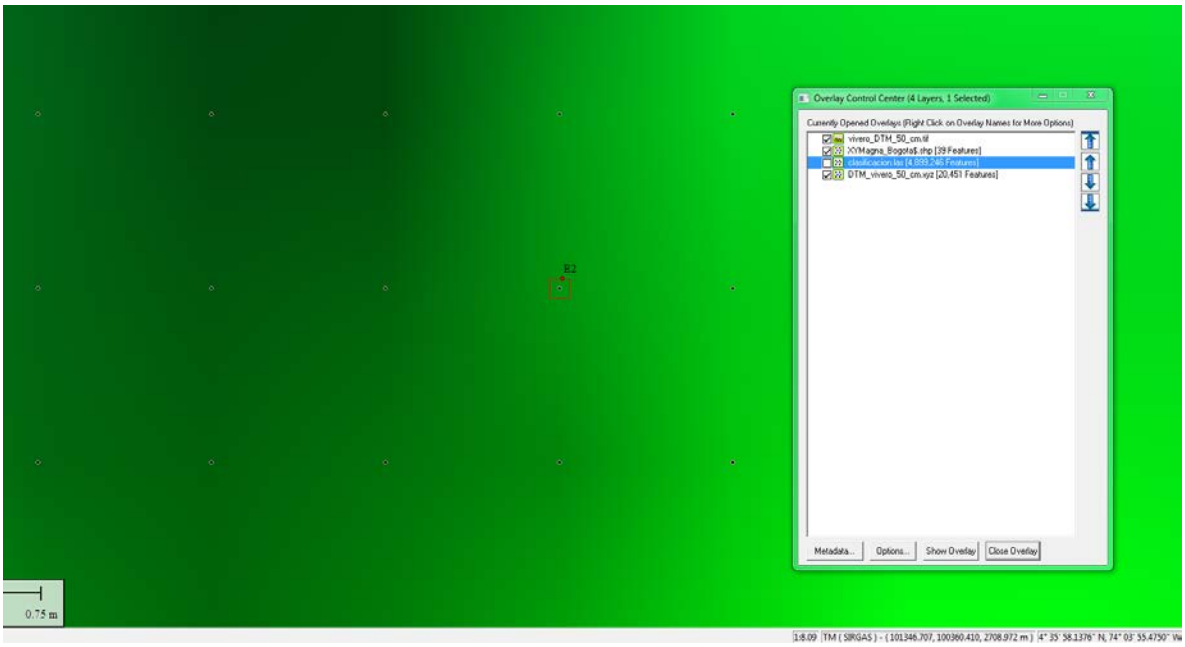


Ilustración 83. Punto de Grilla más cercano a E2

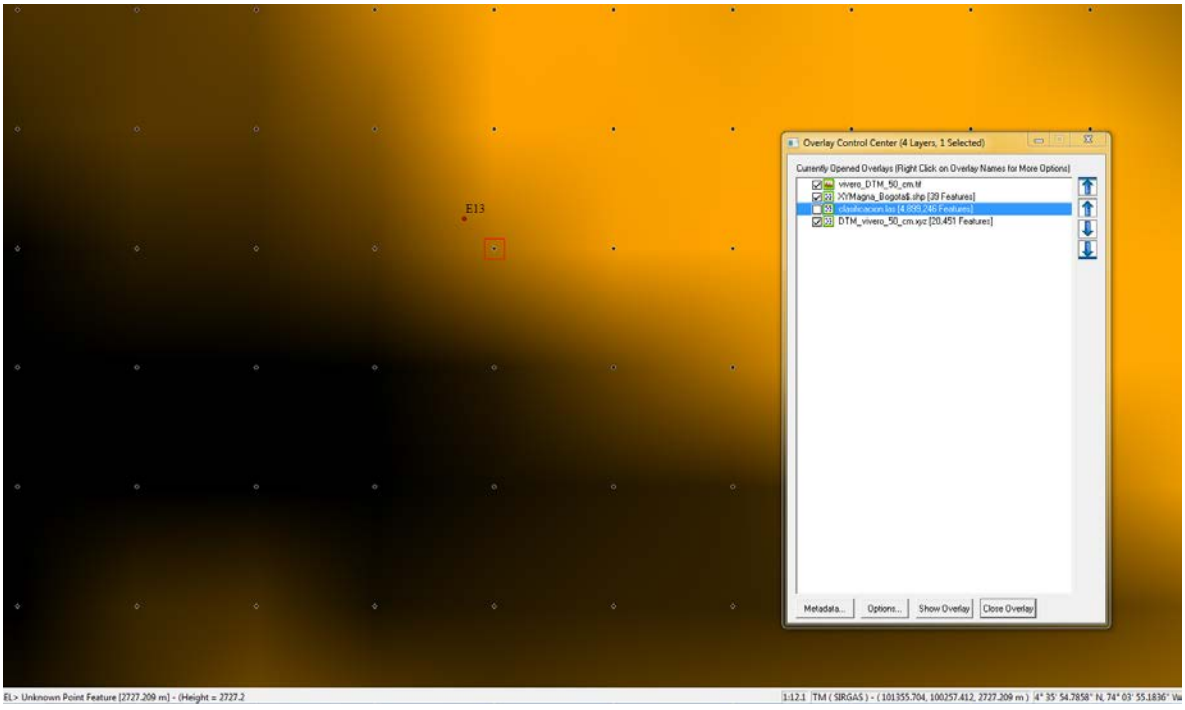


Ilustración 84. . Punto de Grilla más cercano a E13

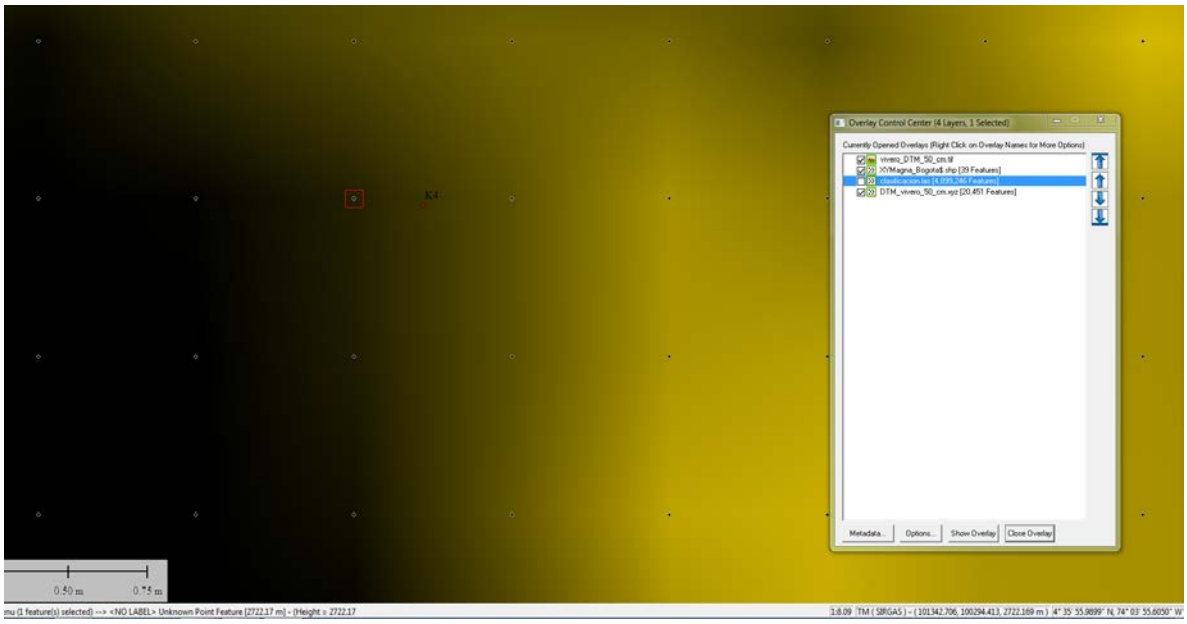


Ilustración 85. Punto de Grilla más cercano a K4

Tabla 16.Distancia entre Puntos GPS y Grilla

PUNTO	ESTE GPS (m)	NORTE GPS (m)	ESTE GRILLA (m)	NORTE GRILLA (m)	DISTANCIA (m)
E12	101353.884	100286.935	101353.708	100286.91	0.1777667
E13	101355.582	100257.534	101355.708	100257.41	0.17678235
E2	101346.717	100360.439	101346.708	100360.41	0.03036445
E3	101354.406	100353.076	101354.208	100352.91	0.25837957
E4	101340.867	100335.377	101340.708	100335.41	0.16238842
E5	101345.654	100337.349	101345.708	100337.41	0.08146779
E6	101351.861	100338.395	101351.708	100338.41	0.15373354
E7	101332.564	100310.741	101332.708	100310.91	0.22202928
E9	101349.281	100311.817	101349.208	100311.91	0.11822859
K1	101354.904	100259.512	101354.708	100259.41	0.22095248
K10	101324.554	100313.919	101324.708	100313.91	0.15426276
K11	101342.247	100328.726	101342.208	100328.91	0.18808775
K12	101346.295	100317.666	101346.208	100317.91	0.25904633
K13	101346.614	100331.545	101346.708	100331.41	0.16450228
K14	101346.944	100315.897	101346.708	100315.91	0.23635778
K16	101345.681	100278.239	101345.708	100278.41	0.17311846
K17	101346.754	100340.031	101346.708	100339.91	0.12944883
K18	101344.732	100341.574	101344.708	100341.41	0.16574679
K19	101335.406	100352.409	101335.208	100352.41	0.19800253

K2	101357.112	100268.459	101357.208	100268.41	0.10778219
K20	101338.595	100346.131	101338.708	100345.91	0.24821362
K21	101345.473	100337.323	101345.208	100337.41	0.27891576
K22	101349.085	100346.13	101349.208	100345.91	0.2520496
K3	101350.768	100269.762	101350.708	100269.91	0.15969972
K5	101346.83	100306.314	101346.708	100306.41	0.15524175
K6	101346.597	100296.563	101346.708	100296.41	0.18902381
K7	101336.661	100304.043	101336.708	100303.91	0.14106027
K8	101329.055	100304.279	101329.208	100304.41	0.20141996
K9	101351.915	100323.311	101351.708	100323.41	0.22945588
N1	101347.331	100348.942	101347.208	100348.91	0.12709445
N2	101337.855	100351.405	101337.708	100351.41	0.14708501
N3	101348.444	100350.115	101348.208	100349.91	0.31260358
N4	101352.109	100349.342	101352.208	100349.41	0.12010412
N5	101342.099	100325.411	101342.208	100325.41	0.10900459
N6	101346.906	100324.001	101346.708	100323.91	0.21791053

En la grilla que se generó a partir del MDT se buscaron los puntos a los cuales correspondían las coordenadas anteriores y se reemplazó la coordenada Z, para generar el modelo a partir de Kriging.

Implementación método geoestadístico Kriging y elaboración de MDT$_{KU}$

La elaboración del primer modelo Kriging se hizo usando el software ArcGIS 10.1, los parámetros de entrada fueron veintiséis (26) puntos de los cuales se obtuvieron coordenadas XYZ haciendo posicionamiento GPS, la finalidad de estos puntos era obtener las alturas elipsoidales para así reemplazarlas en los puntos más cercanos a estos en la grilla, y de esta manera implementar el método geoestadístico. Estos puntos se encuentran en la Tabla 17 (Como se vio en el capítulo ***Procesamiento Datos GPS*** se removieron 3 puntos debido que su posicionamiento no fijó ambigüedad).

Tabla 17. Puntos Kriging con Altura GPS

X	Y	Z (m)	Z_GPS (m)	Punto
101353.708	100286.91	2729.553	2729.3338	**E12**
101355.708	100257.41	2727.209	2726.9	**E13**
101346.708	100360.41	2708.972	2708.9255	**E2**
101354.208	100352.91	2714.723	2714.7117	**E3**
101340.708	100335.41	2716.206	2716.563	**E4**
101351.708	100338.41	2718.966	2718.8278	**E6**
101354.708	100259.41	2726.929	2726.663	**K1**
101324.708	100313.91	2710.195	2710.116	**K10**
101342.208	100328.91	2718.438	2718.453	**K11**
101346.208	100317.91	2718.901	2719.007	**K12**
101346.708	100331.41	2716.215	2718.448	**K13**
101346.708	100315.91	2718.487	2720.0744	**K14**
101345.708	100278.41	2723.644	2724.213	**K16**
101346.708	100339.91	2719.585	2716.61	**K17**
101344.708	100341.41	2714.119	2713.982	**K18**
101335.208	100352.41	2709.24	2709.257	**K19**
101357.208	100268.41	2727.303	2727.545	**K2**
101338.708	100345.91	2712.801	2712.7496	**K20**
101345.208	100337.41	2715.781	2716.0125	**K21**
101349.208	100345.91	2723.524	2714.7971	**K22**
101350.708	100269.91	2725.406	2725.587	**K3**
101346.708	100306.41	2722.781	2722.68	**K5**
101346.708	100296.41	2722.175	2722.309	**K6**
101336.708	100303.91	2715.913	2715.902	**K7**
101329.208	100304.41	2712.956	2712.9927	**K8**
101351.708	100323.41	2723.479	2723.6545	**K9**

Primero se realizó un análisis exploratorio de datos en los cuales se observó las características de los datos con los cuales se realizó el Kriging, el primero fue el convencional cuyo propósito es determinar la normalidad de los datos o si se tenía que realizar alguna transformación para su comportamiento. Este proceso se puede demostrar solo con el test de normalidad *Shapiro-Wilk*, aunque se adentró en más características para el análisis como lo fueron el histograma, la kurtosis y la isotropía; para esto se hizo uso del software R el cual tiene usos estadísticos.

En la Ilustración 86 se observan los datos de los puntos en posicionamiento con sus características primarias, y en la Ilustración 87 se muestran las estadísticas de la variable de estudio que es la altura GPS, los datos son normales si cumplen algunas características como lo son que las variaciones sean menor que el 5% del rango, tales variaciones corresponden a *media-mediana* y *desviación estándar–desviación mediana.* También que los coeficientes de variación sean *relativamente homogéneos*, que presenten simetría y que su kurtosis sea aproximada a 3.

Editor de datos

	X	Y	Z_GPS
1	101353.7	100286.9	2729.334
2	101355.7	100257.4	2726.9
3	101346.7	100360.4	2708.925
4	101354.2	100352.9	2714.712
5	101340.7	100335.4	2716.563
6	101351.7	100338.4	2718.828
7	101354.7	100259.4	2726.663
8	101324.7	100313.9	2710.116
9	101342.2	100328.9	2718.453
10	101346.2	100317.9	2719.007
11	101346.7	100331.4	2718.448
12	101346.7	100315.9	2720.074
13	101345.7	100278.4	2724.213
14	101346.7	100339.9	2716.61
15	101344.7	100341.4	2713.982
16	101335.2	100352.4	2709.257
17	101357.2	100268.4	2727.545
18	101338.7	100345.9	2712.75
19	101345.2	100337.4	2716.012
20	101349.2	100345.9	2714.797
21	101350.7	100269.9	2725.587
22	101346.7	100306.4	2722.68
23	101346.7	100296.4	2722.309
24	101336.7	100303.9	2715.902
25	101329.2	100304.4	2712.993
26	101351.7	100323.4	2723.655
27			

```
       X                Y             Z_GPS
Min.   :101325   Min.   :100257   Min.   :2709
1st Qu.:101343   1st Qu.:100298   1st Qu.:2715
Median :101347   Median :100321   Median :2718
Mean   :101346   Mean   :100316   Mean   :2719
3rd Qu.:101351   3rd Qu.:100340   3rd Qu.:2723
Max.   :101357   Max.   :100360   Max.   :2729
```

Ilustración 86 Datos Puntos Kriging en R

	X	Y	Z_GPS
Mínimo	101324.71	100257.41	2708.93
Máximo	101357.21	100360.41	2729.33
Promedio	101345.71	100315.89	2718.70
Mediana	101346.71	100320.66	2718.45
Desviacion estándar	7.89	30.67	5.86
Desviacion mediana	4.75	20.00	4.35
Asimetría	-0.87	-0.49	0.11
Kurtosis	3.34	1.96	1.88
Coef. Var. Promedio(%)	0.01	0.03	0.22
Coef. Var. Mediana(%)	0.00	0.02	0.16

Ilustración 87 Estadísticas Puntos Kriging

$$Rango = 2729.33 - 2708.93 = 20.4$$

$$\%5\ Rango = 1.02$$

$$Promedio - Mediana = 0.25$$

$$0.25 < 1.02$$

$$Desv.Est - Desv.Med = 1.51$$

Para que los coeficientes demuestren que los datos son relativamente homogéneos estos se deben encontrar entre 0 y 0.15, para el caso en particular son 0.22 y 0.16 por lo que se determina que no definen una homogeneidad relativa pues que si fuera más alto que 0.3 seria relativamente heterogéneos y no presentarían normalidad. La simetría de los datos se da cuando es igual a cero, para los datos se encuentra en 0.11 lo que indica es relativamente simétrica dado que este rango se encuentra entre -0.5< simetría <0.5, cuando se sale de este rango puede presentar datos asimétricos a la derecha o a la izquierda; la kurtosis es menor que 3 por lo que es platicúrtica e indica que los datos pueden tener una mezcla de poblaciones.

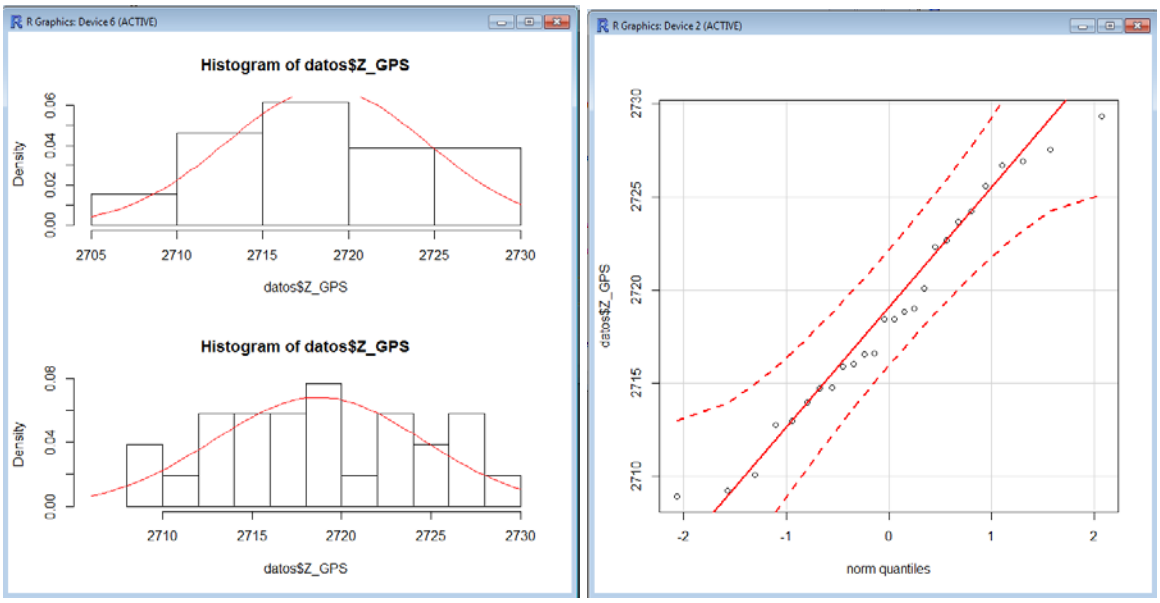


Ilustración 88 Histograma y grafica QQ-Plot Variable Z

Se implementó el test de *Shapiro-Wilk* para determinar si los datos tienen un comportamiento normal, este estipula dos hipótesis en la cual H_0 o hipótesis nula indica que hay normalidad en los datos si es aceptada; con un 95% de intervalo de confianza en el cual el p-valor tiene que ser menor al nivel de confianza que en este caso fue de 0.05 por lo que la muestra sigue una distribución normal, en R el código para implementar este test es *shapiro.test(datos$Z_GPS)* lo cual arroja los datos observados en Ilustración 89 que demuestran que los datos son normales.

```
        Shapiro-Wilk normality test

data:  datos$Z_GPS
W = 0.9652, p-value = 0.504
```

Ilustración 89 Resultados Test Normalidad Shapiro-Wilk

La Ilustración 88 muestra el histograma con distintos intervalos presentando una distribución normal, con pequeñas diferencias, pero estas son aclaradas en la gráfica QQ-Plot la cual determina la normalidad dado que los puntos son muy próximos a la línea definida por esta y no posee datos atípicos.

Acto seguido se procedió a realizar un análisis de tendencias, el resultado de puede observar en la Ilustración 90, el comportamiento que presentan los datos demostró que hay una tendencia en el eje Y, dado que mientras aumenta Y la altura disminuye, mientras que el eje X no presenta tendencia ya que los valores de la altura aumentan ni disminuyen en función de Y.

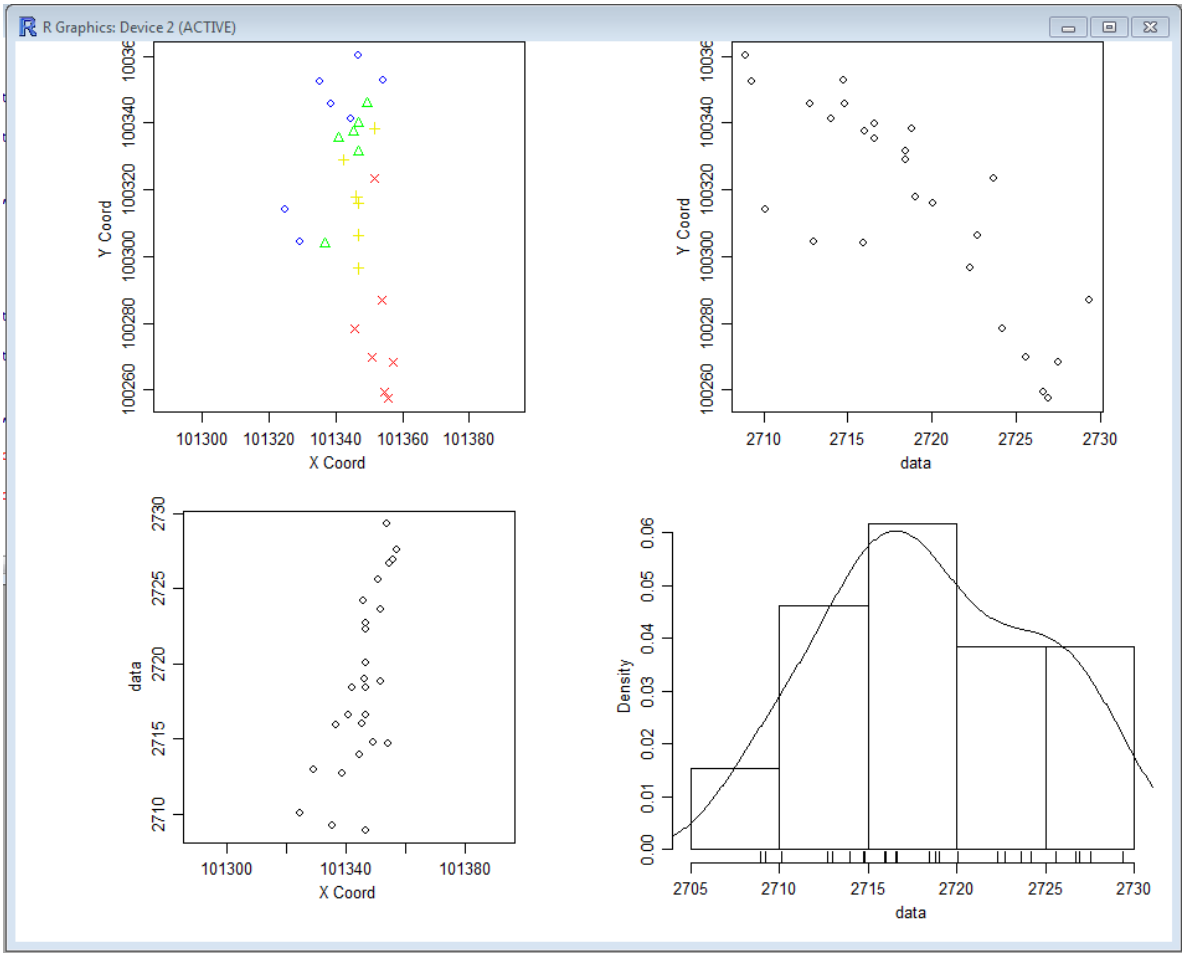


Ilustración 90 Análisis de tendencias de la variable Z

Para realizar un adecuado procesamiento de los datos se necesitó que estos no presenten tendencia por lo cual significa que presentan estacionariedad y así sea una variable regionalizada ($Z_{(xi)}$), para eso se realizó una regresión lineal que permitió eliminar la tendencia.

A los datos se les realizaron tres (3) regresiones lineales con distinto orden, del uno al tres para determinar cuál era más óptimo, observando sus residuales, su p-valor y su desviación; a partir de que se hizo con los residuales (si fueron removidos o modelados) se realizaró un Kriging Ordinario u Simple o Kriging Universal respectivamente . Esto se realizó en R mediante las siguientes líneas en el script.

```
mod<-lm(Z_GPS~X+Y,datos)
mod1<-lm(Z_GPS~X+Y+I(X*Y)+I(X*X)+I(Y*Y),datos)
mod2<-
lm(Z_GPS~X+Y+I(X*Y)+I(X*X)+I(Y*Y)+I((X*X)*Y)+I((Y*Y)*X)+I(X*X*X)+I(Y*Y*Y),datos)
```

Como se observa cada modelo tiene su propio orden entregado los datos a observar y determinar qué modelo presentó los mejores resultados, para que los modelos demostraran que hay tendencia en los datos se observaron si los coeficientes eran significativos, si el modelo sirve y si la bondad del ajuste o R^2 tiene relevancia.

Los resultados que arrojaron los modelos fueron los siguientes:

```
> summary(mod)

Call:
lm(formula = Z_GPS ~ X + Y, data = datos)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-4.5932 -1.1331  0.2745  0.9582  4.0404

Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -2.240e+04  6.346e+03  -3.530  0.00179 **
X            3.714e-01  5.662e-02   6.560 1.08e-06 ***
Y           -1.248e-01  1.457e-02  -8.568 1.30e-08 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.124 on 23 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8793,    Adjusted R-squared:  0.8688
F-statistic: 83.75 on 2 and 23 DF,  p-value: 2.76e-11
```

Ilustración 91 Regresión Lineal Orden 1

```
> summary(mod1)

Call:
lm(formula = Z_GPS ~ X + Y + I(X * Y) + I(X * X) + I(Y * Y),
    data = datos)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-4.5932 -1.1331  0.2745  0.9582  4.0404

Coefficients: (3 not defined because of singularities)
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -2.240e+04  6.346e+03  -3.530  0.00179 **
X            3.714e-01  5.662e-02   6.560 1.08e-06 ***
Y           -1.248e-01  1.457e-02  -8.568 1.30e-08 ***
I(X * Y)            NA         NA      NA       NA
I(X * X)            NA         NA      NA       NA
I(Y * Y)            NA         NA      NA       NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.124 on 23 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8793,    Adjusted R-squared:  0.8688
F-statistic: 83.75 on 2 and 23 DF,  p-value: 2.76e-11
```

Ilustración 92 Regresión Lineal Orden 2

```
> summary(mod2)

Call:
lm(formula = Z_GPS ~ X + Y + I(X * Y) + I(X * X) + I(Y * Y) +
    I((X * X) * Y) + I((Y * Y) * X) + I(X * X * X) + I(Y * Y *
    Y), data = datos)

Residuals:
     Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.88425 -0.99310 -0.09479  0.82669  2.35973

Coefficients: (6 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -1.409e+07  2.394e+06  -5.885 6.37e-06 ***
X             4.774e-01  4.037e-02  11.826 5.26e-11 ***
Y             2.101e+02  3.577e+01   5.872 6.57e-06 ***
I(X * Y)             NA         NA      NA       NA
I(X * X)             NA         NA      NA       NA
I(Y * Y)             NA         NA      NA       NA
I((X * X) * Y)       NA         NA      NA       NA
I((Y * Y) * X)       NA         NA      NA       NA
I(X * X * X)         NA         NA      NA       NA
I(Y * Y * Y)  -6.963e-09  1.185e-09  -5.876 6.52e-06 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.355 on 22 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.953,     Adjusted R-squared:  0.9466
F-statistic: 148.7 on 3 and 22 DF,  p-value: 9.33e-15
```

Ilustración 93 Regresión Lineal Orden 3

Los resultados que arrojaron los modelos indican que los coeficientes que se pueden determinar en los modelos son significativos dado que su p-valor es menor a 0.05 que es el nivel de significancia establecido, en los modelos de orden 2 y 3 se encuentran coeficientes que no se definieron por su singularidad, la regresión de orden 2 es igual a la de orden 1 dado la singularidad de los coeficientes de orden 2 por esto no se comparó este para determinar cuál es mejor. La regresión de orden 3 presento coeficientes con singularidad por lo que se genera una nueva regresión sin estos; a continuación se observa la línea de código con sus resultados:

*mod3<-lm(Z_GPS~X+Y+I(Y*Y*Y),datos)*

```
> summary(mod3)

Call:
lm(formula = Z_GPS ~ X + Y + I(Y * Y * Y), data = datos)

Residuals:
     Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.88425 -0.99310 -0.09479  0.82669  2.35973

Coefficients:
               Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -1.409e+07  2.394e+06  -5.885 6.37e-06 ***
X             4.774e-01  4.037e-02  11.826 5.26e-11 ***
Y             2.101e+02  3.577e+01   5.872 6.57e-06 ***
I(Y * Y * Y) -6.963e-09  1.185e-09  -5.876 6.52e-06 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.355 on 22 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.953,     Adjusted R-squared:  0.9466
F-statistic: 148.7 on 3 and 22 DF,  p-value: 9.33e-15
```

Ilustración 94 Regresión Lineal Orden 3 Depurada

En las regresiones de orden 1 y 3 los coeficientes son significativos, los dos modelos sirven dado que el p-valor de las estadísticas está por debajo de 0.05 y el ajuste de R^2 entre más cercano a 1 es mejor lo que indicaría que la regresión lineal de orden 3 sería mejor para el manejo de residuales; igualmente se realizó una comparación entre los dos modelos para ver cuál ofrecía un mejor resultado, este se realizó con el AIC o Criterio de Información de Akaike el cual indica

una trade-off entre la bondad de ajuste del modelo y la complejidad de este; lo que arrojo la siguiente información indicando que el modelo de orden 3 es el mejor para manejo de residuales.

```
> AIC(mod,mod3)
     df      AIC
mod   4 117.7576
mod3  5  95.2228
```

Ilustración 95 AIC Entre Modelos

El AIC menor en este caso *mod3* demuestra que hay una menor varianza en este por lo cual fue tomado para el análisis de los residuales, consiguientemente se guardaron los residuales dentro de los datos en R, en la Ilustración 96 se observa que ya no hay tendencia en los datos sin perder la normalidad relativa.

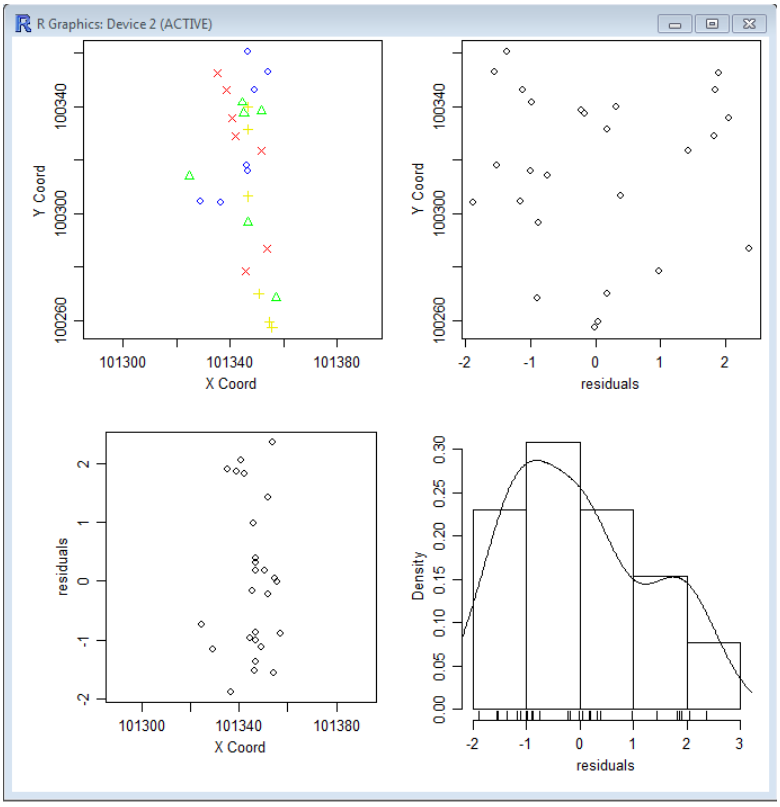


Ilustración 96 Tendencia Residuales

El modelo de regresión lineal obtenido mediante los residuales se encuentra en la Ilustración 97 demostrando que no hay tendencia dado que los coeficientes no son significativos, el p-valor de las estadísticas es 1 y el R^2 no es relevante puesto que no define que tan explicatorio es el modelo.

*modR3<-lm(res~X+Y+I(Y*Y*Y),datos)*

```
> summary(modR3)

Call:
lm(formula = res ~ X + Y + I(Y * Y * Y), data = datos)

Residuals:
     Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.88425 -0.99310 -0.09479  0.82669  2.35973

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -3.939e-10  2.394e+06       0        1
X             1.605e-17  4.037e-02       0        1
Y             5.865e-15  3.577e+01       0        1
I(Y * Y * Y) -1.942e-25  1.185e-09       0        1

Residual standard error: 1.355 on 22 degrees of freedom
Multiple R-squared:  4.152e-32, Adjusted R-squared:  -0.1364
F-statistic: 3.045e-31 on 3 and 22 DF,  p-value: 1
```

Ilustración 97 Regresión Lineal Residuales

Teniendo que el mejor modelo de regresión es el de orden tres se procedió a determinar el modelo se semivariograma, el cual caracterizara la estructura de dependencia espacial de los datos, en la siguiente ilustración se observa el semivariograma de los datos normales y el semivariograma de los datos con la regresión lineal de elección, en la cual se observa que la tendencia no está presente lo que se obtuvo con el siguiente comando

*varclasres<-variog(geodatos,trend=~X+Y+I(Y*Y*Y)).*

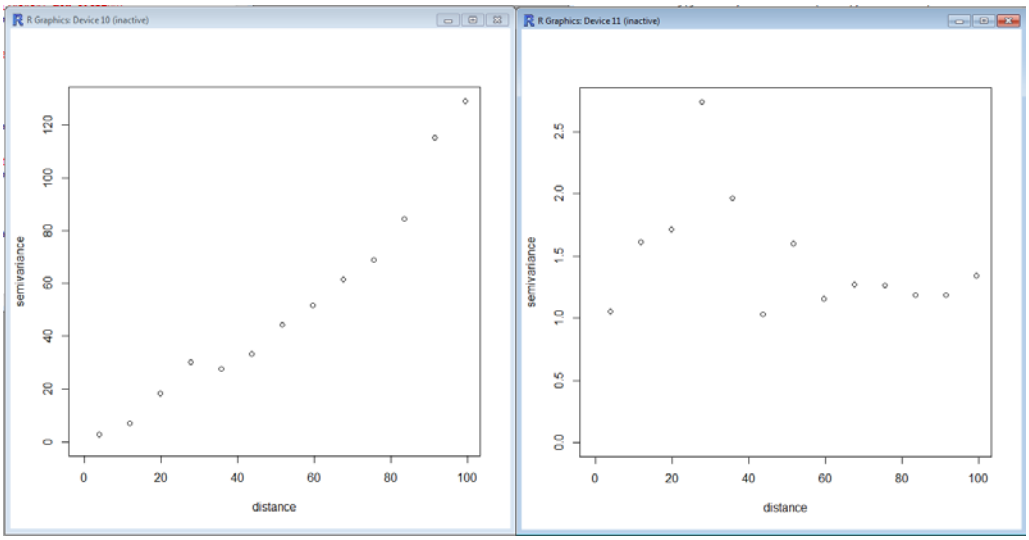


Ilustración 98 Semivariogramas datos normales y de regresión

Luego se determinó si existía anisotropía en los datos lo que arrojo los resultados indicados en la Ilustración 99, este demuestra que hay que no se debe realizar transformación de coordenadas.

coordinates(datos)<-~X+Y

aniso<-estimateAnisotropy(datos,"Z_GPS")

aniso

```
> aniso
$ratio
[1] 1.080763

$direction
[1] 66.71313

$Q
           Q11       Q22       Q12
[1,] 0.5717017 0.5138597 -0.030555

$doRotation
[1] FALSE
```

Ilustración 99 Prueba de Anisotropía

Dado que los datos presentaban isotropía se procedió a determinar cuál sería el semivariograma que más se ajustaba en forma a este, mediante el ajuste de sentimiento se determina cual es el más funcional, el mejor modelo se obtiene a partir de la mitad de la distancia máxima de los datos o distancias semejantes a estas, y se determina por estimación. Para cada grupo de datos se realizó comparación con cuatro (4) modelos de semivariogramas que demuestren cual se ajusta más a los datos, estos se ajustan según los parámetros ilustrados en cada imagen correspondientes a Nugget o pepita, Range o rango y Sill o meseta.

Para los datos originales que son las alturas Z_GPS el mejor comportamiento se demuestra en la distribución a una distancia máxima de 50, como lo indica la Ilustración 100, sobre este mismo se representaran los semivariogramas que más se ajustan a la representación de los datos, estos se especifican con sus respectivos valores primero se encuentra el semivariograma gaussiano, luego el exponencial, el esférico y finalmente el efecto agujero.

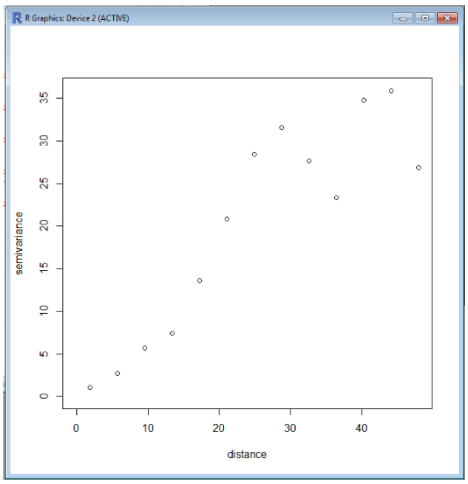


Ilustración 100 Semivariograma Experimental

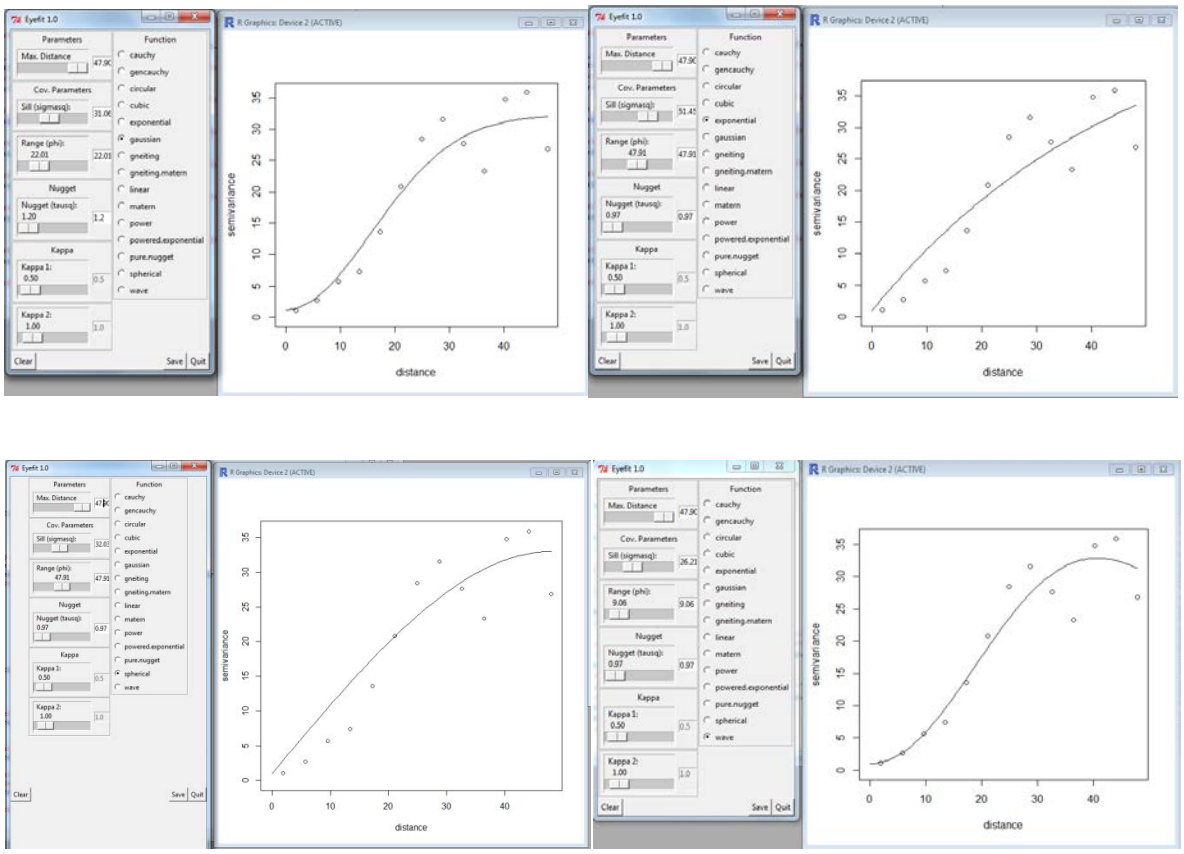


Ilustración 101 Semivariogramas Experimentales Clásicos Datos Originales Gaussiano, Exponencial, Esférico y Efecto Agujero

Después de obtener los modelos se procedió a aplicar los métodos de ajuste para semivariogramas, estos se aplicaron sobre los cuatro (4) modelos para determinar cuál sería el mejor por medio de validación cruzada, esto se hizo para cada conjunto de datos por lo que se tendrá un total de 16 modelos. Los métodos de ajuste corresponden a mínimos cuadrados ordinarios (MCO), mínimos cuadrados ponderados (MCP), máxima verosimilitud (ML) y máxima verosimilitud restringida (MLRE) como se muestra a continuación se utilizaron cuatro (4) scripts, a los cuales se les asignaban los valores correspondientes que salieron por el ajuste de sentimiento y así determinar el mejor de todos los modelos de semivariograma para los datos; los dos primeros manejan los datos del semivariograma mientras los otros manejan directamente la base de datos en los dos primeros se cambia el v*arclasdis.*.

mco.dat<-variofit(varclasdis,ini=c(σ^2,a),nug= C_0,cov.model="modelo",wei="equal") // MCO

mcp.dat<-variofit(varclasdis,ini=c(σ^2,a),nug=C_0,cov.model="modelo)//MCP

MLRE.dat<-likfit(geodatos,ini=c(σ^2,a),nug= C_0,cov.model="model",lik.met="RML")//MLRE

ML.dat<-likfit(geodatos,ini=c(σ^2,a),nug= C_0,,cov.model="model")//ML

Los 16 modelos obtenidos para los datos originales son los siguientes:

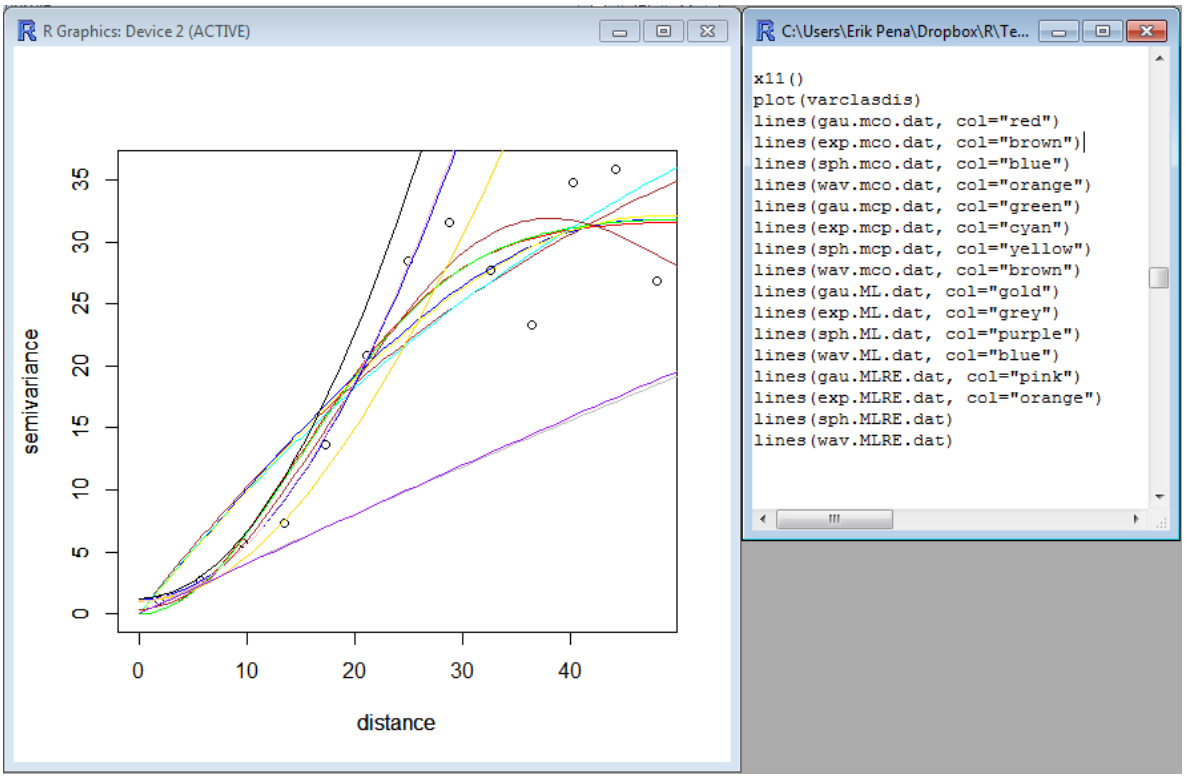


Ilustración 102 Métodos de Ajustes datos Originales

Después de obtener los ajustes se realizó una validación cruzada, método por el cual se saca un valor conocido de la muestra y con los restantes se predice el valor de este, consecuentemente

se realizó una prueba de error, esta consiste en distancias de errores denotada por la siguiente formula:

$$d = \sqrt{(ME)^2 + (RMSE)^2 + (ASE - MSE)^2 + (RMSSE - 1)^2}$$

Donde

$ME = \frac{\sum ei}{n}$

$RMSE = \sqrt{\frac{\sum ei^2}{n}}$

$ASE = = \sqrt{\frac{\sum \sigma^2}{n}}$

$MSE = \sqrt{\frac{\sum ei/\sigma}{n}}$

$RMSSE = \sqrt{\frac{\sum [ei/\sigma]^2}{n}}$

La validación cruzada se realizó con el siguiente script dependiendo el tipo de dato y el método de ajuste que se utilizara, por ultimo mostrando las distancias obtenidas por los ajustes de validación se tiene que:

vc.gau.mco.dat/res<-xvalid(geodatos,model=modelo.metodoajuste.dat/res)

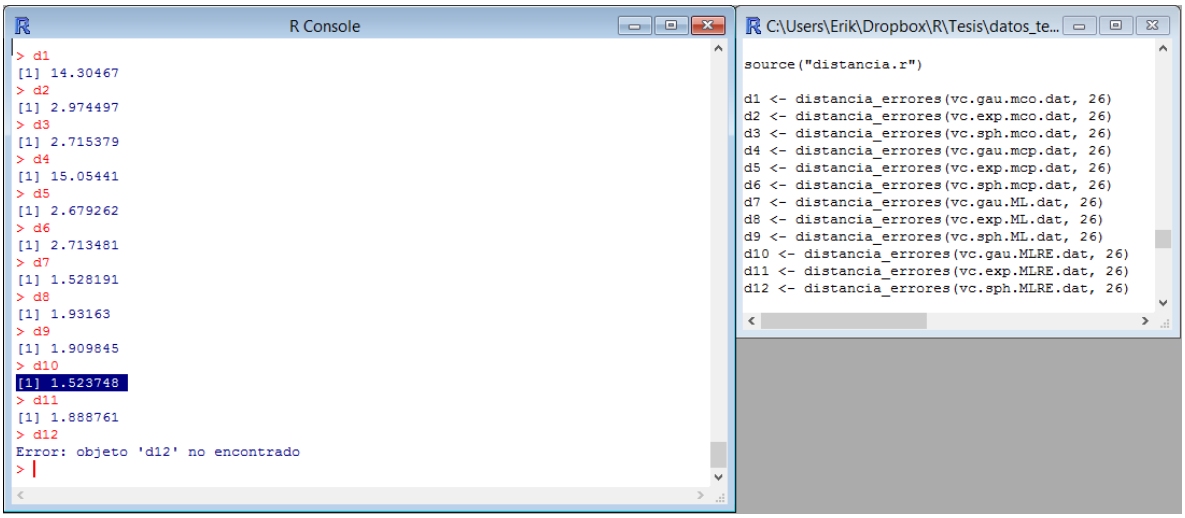


Ilustración 103 Distancias Datos Originales por Validación Cruzada

Cuando existe el error de “no encontrado” es debido a que el modelo de ajuste no se pudo realizar.

Por último se obtiene que los modelos que más se ajustan para el Kriging es el modelo Gaussiano por lo cual fue utilizado en la interpolación Kriging, los residuales fueron removidos y se determinó que sería mediante un polinomio de orden tres; por este motivo se utilizó la regresión lineal y fue determinada de orden tres como se mostrara en el proceso que se realizó en ArcGis; los datos no tienen ninguna transformación puesto que presentan un comportamiento normal, pero si presentan tendencia como lo muestra la Ilustración 105 por lo que esta será removida con los residuales.

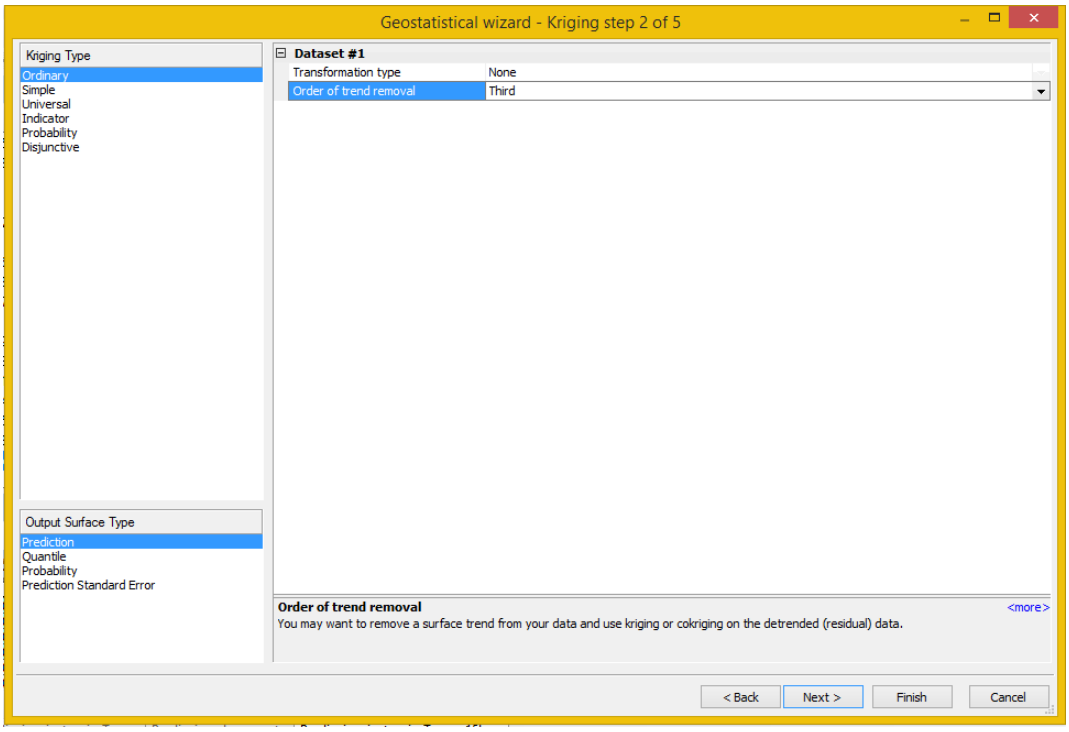


Ilustración 104 Tipo de Kriging y Orden de Remoción de Residuales

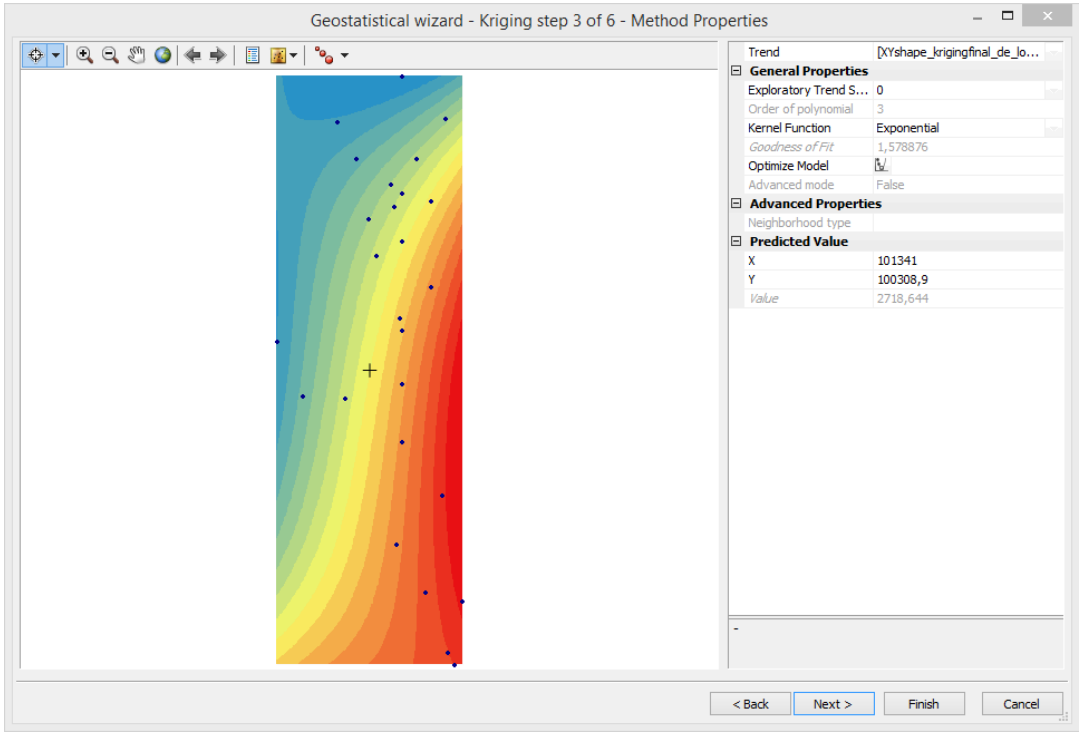


Ilustración 105 Tendencia de los datos

Los datos no presentan anisotropía como se demostró con el test realizado en R por los cual no se cambia la opción, aunque cabe notar que la funcionalidad de esta es en forzar un modelo anisotropico a que presente isotropía obligando a una elipse de tendencia a volverse un circulo. El modelo más acertado como se demostró antes es el Gaussiano por esta razón es el escogido.

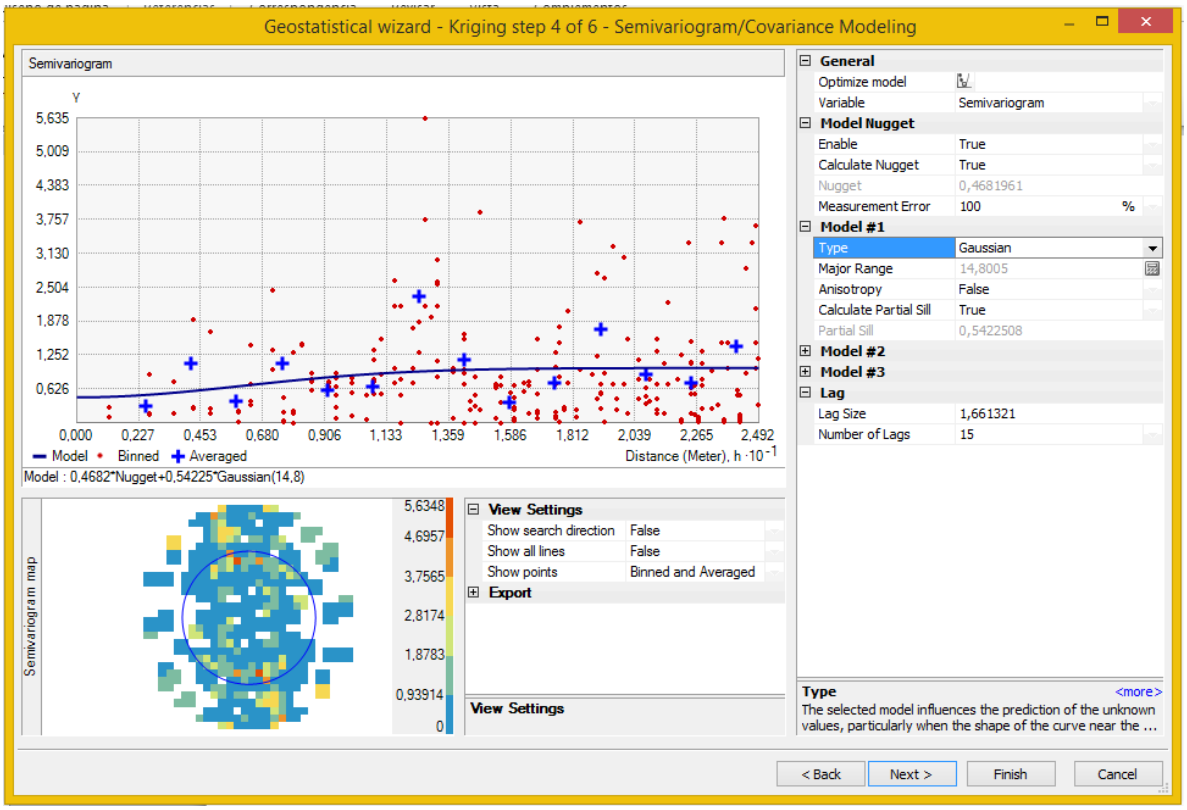


Ilustración 106 Definición del parámetro de isotropía para la interpolación

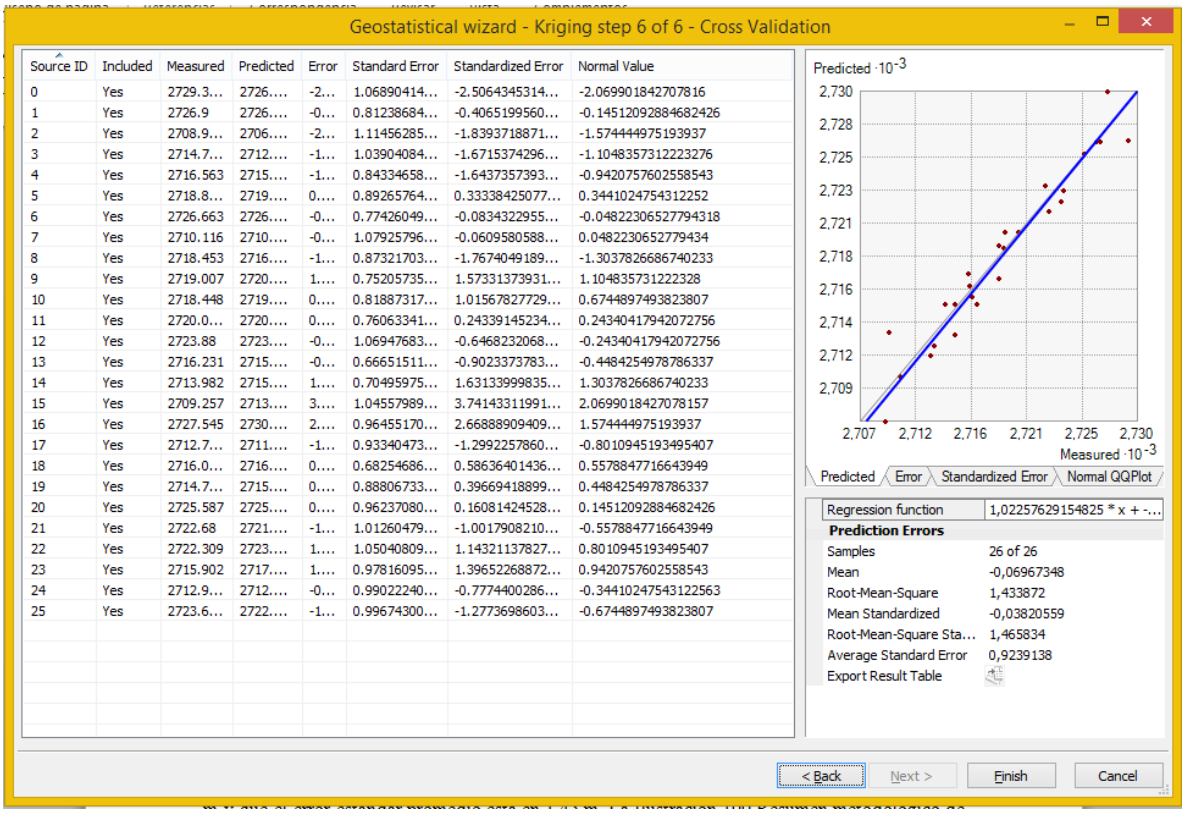


Ilustración 107 Validación de la predicción de alturas usando Kriging

En la Ilustración 107 se puede observar que el error medio cuadrático para la predicción es el 1,46 m y que el error estándar promedio está en 0,92 m. La Ilustración 108 Resumen metodológico de interpolación permite observar el resumen del procedimiento empleado para la interpolación efectuada.

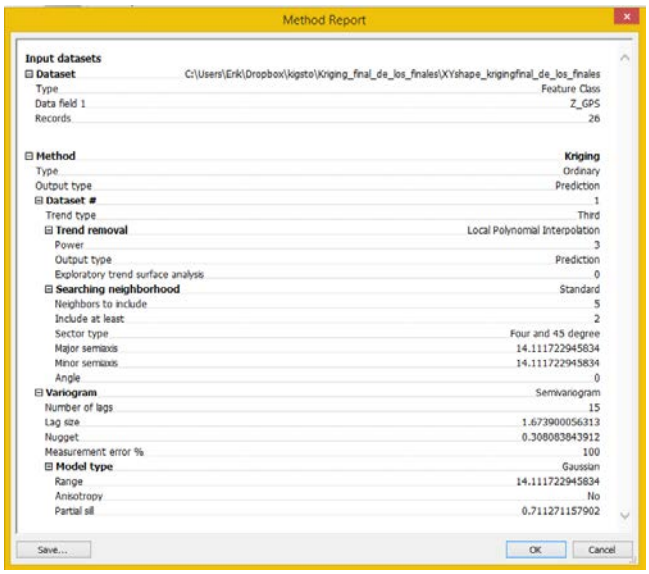


Ilustración 108 Resumen metodológico de interpolación

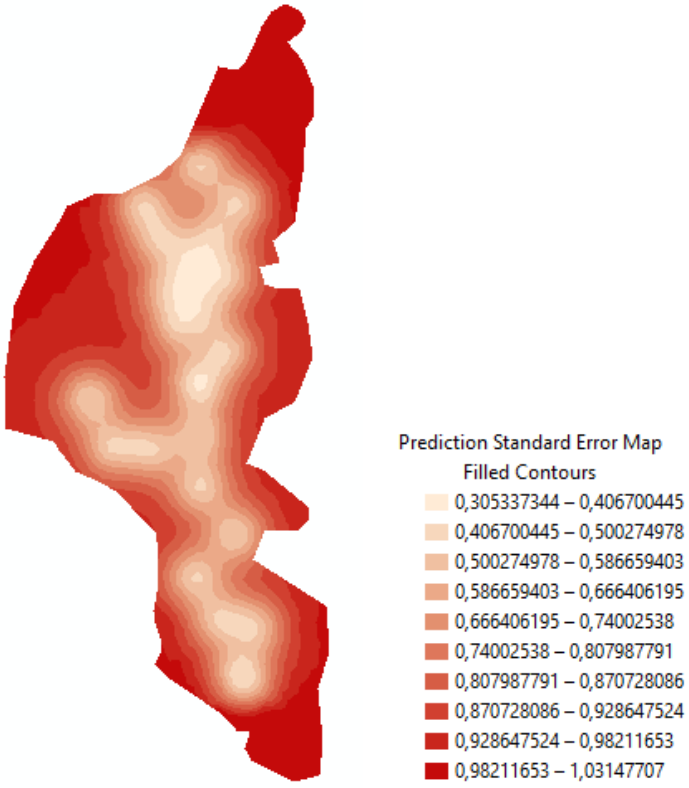


Ilustración 109 Mapa de error estándar en la predicción

La Ilustración 109 muestra la distribución del error estándar en la predicción de las alturas en el área de interés. Como se puede observar, el error estándar aumenta de forma considerable en las zonas extrapoladas; esto hace tomar en consideración la opción de utilizar un método de interpolación Kriging Universal donde los residuales no son removidos, sino por el contrario son ajustados y modelados. El resultado de dicho proceso se puede ver en la Ilustración 110; de inmediato se descarta esta opción, decisión que además se respalda por los estadísticos de error arrojados que se pueden apreciar en la Ilustración 111 ya que el error medio cuadrático y el error estándar son mucho mayores en la interpolación por Kriging universal.

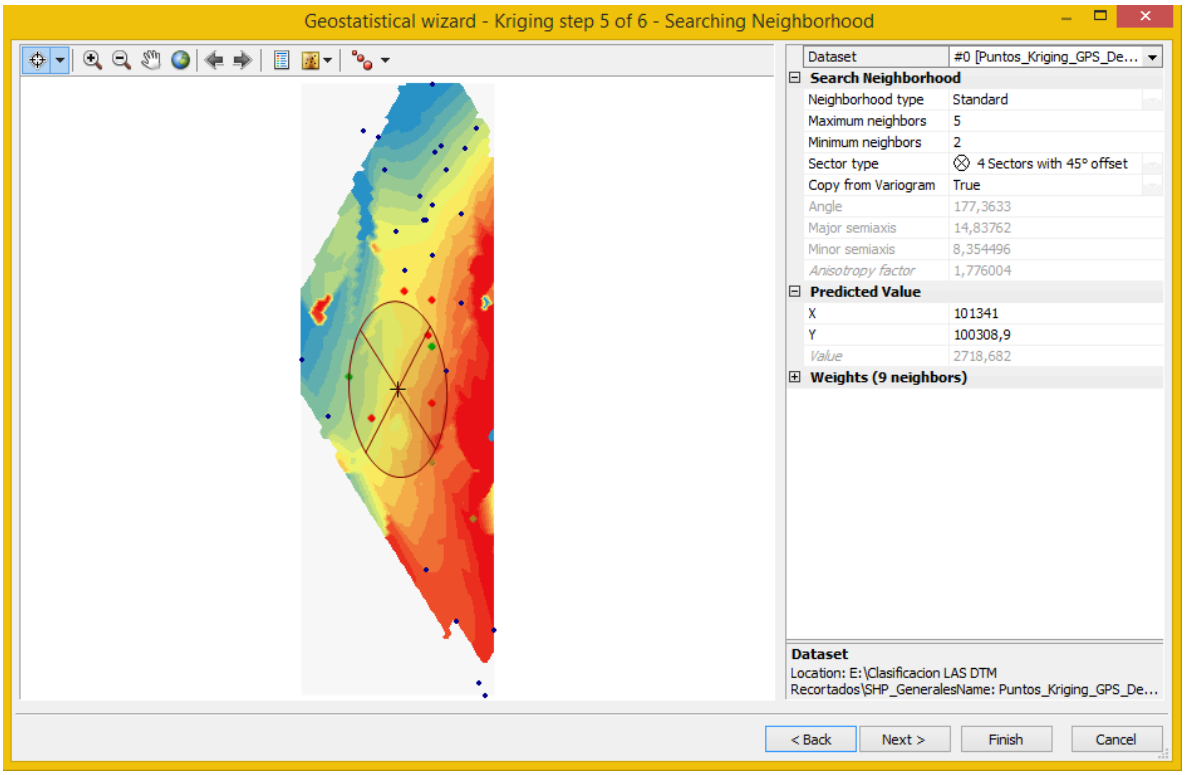


Ilustración 110 Visualización de interpolación usando Kriging universal de segundo orden

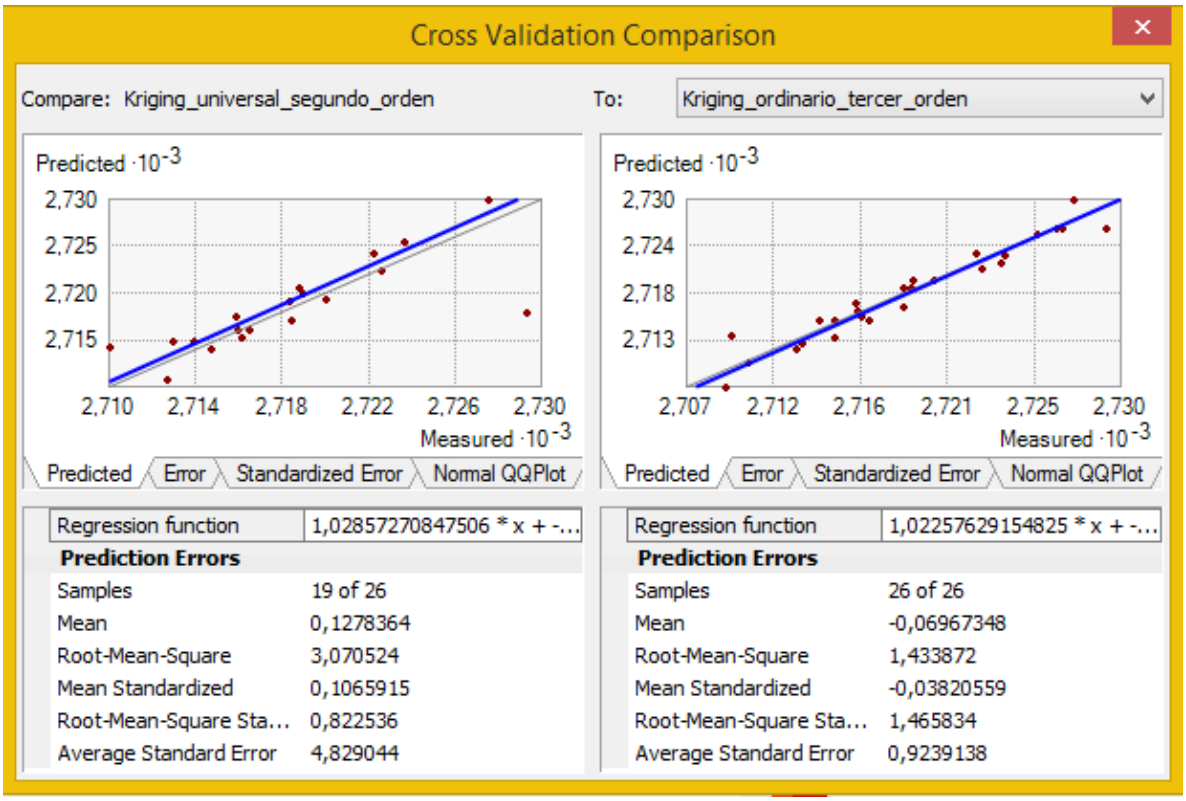


Ilustración 111 Comparación Kriging ordinario vs Kriging universal

Observando el comportamiento del error en las zonas extrapoladas se decidió hacer un corte en el área de estudio para acotar aquellas zonas donde la distribución del error es menor, tal corte se realizó excluyendo las zonas extrapoladas y acordonando los puntos de Kriging que presentan un comportamiento óptimo. El resultado de dicho corte arroja un nuevo modelo digital de terreno sobre el cual se hizo la comparación en Z entre el DTM obtenido a partir de información LÍDAR y el DTM obtenido por predicción usando Kriging. Dicho DTM se puede observar en la Ilustración 112.

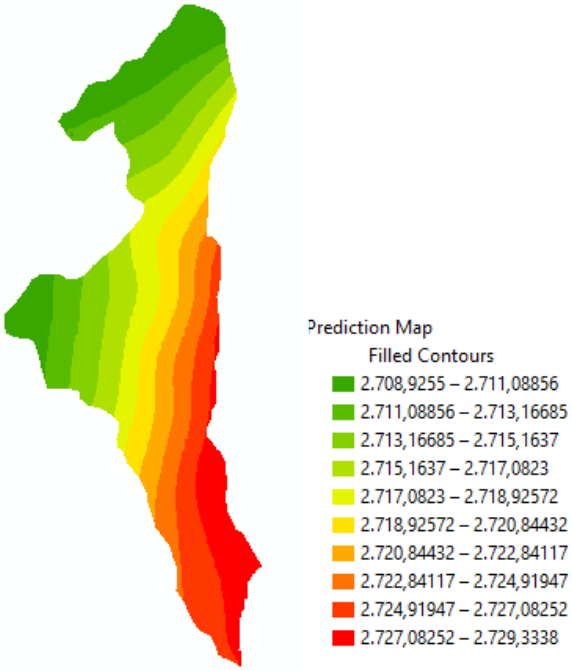


Ilustración 112 DTM predicho acotado

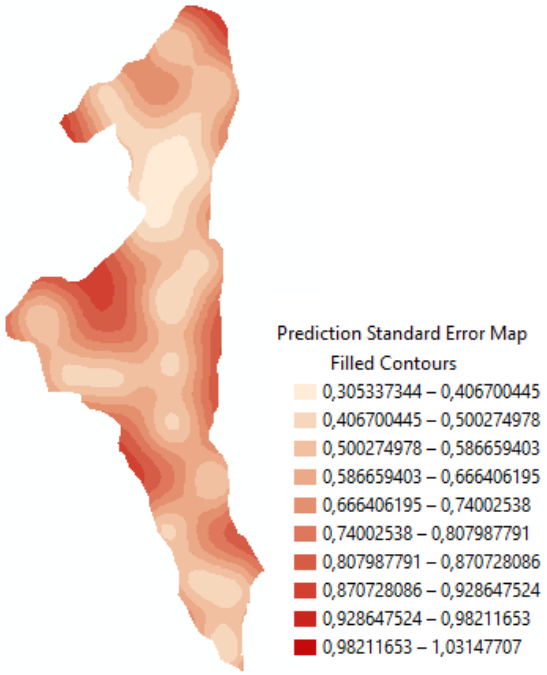


Ilustración 113 Distribución de error en el DTM predicho acotado

Luego de terminado el proceso de interpolación usando Kriging, se procedió a realizar la validación del modelo obtenido. Para esto se compararon las alturas del modelo de Kriging contra las alturas obtenidas del DTM resultante de los datos LÍDAR.

Capítulo IV: Análisis y resultados

Para los análisis se tuvo en cuenta los procesos realizados anteriormente, de los cuales se tienen las coordenadas de los puntos, los MDT's, la topografía, la alturas Niveladas como las generadas por GEOCOL2004. En el análisis no se tuvo en cuenta la planimetría de los datos puesto que la variable estudiada es la Z que corresponde a la altura de cualquiera de los datos procesados, en primera instancia se compararon los datos sin ningún proceso más para determinar el error que sería la comparación MDT generado con los puntos LÍDAR (grilla) y los Coordenadas obtenidas con GPS, del mismo modo las coordenadas entre los puntos LAS y los GPS, luego se compararon contra un método de altura más preciso como lo es la nivelación geométrica y finalmente se compararon los modelos digitales, el generado con los puntos LÍDAR y el que se generó a partir del método geoestadístico Kriging.

Determinación de error en Z[7]

Para la determinación del error en Z o altura se tuvo en cuenta los puntos más cercanos donde coinciden las coordenadas X e Y en el MDT, el sistema en que se manejaron los datos fue MAGNA CIUDAD BOGOTA. Dado que el MDT se generó con una grilla de 50 cm se esperó que no hubiese una variación significativa entre punto y punto; por esto el punto más cercano en la grilla al punto GPS será el objeto de comparación. Ya que la nube de puntos fue georreferenciada solo con tres esferas, los demás puntos obtenidos con GPS para georreferenciación, también servirán para la comparación y determinación del error. En la Tabla 16.Distancia entre Puntos GPS y Grilla se encuentran las coordenadas en la cuales hay menor variación en distancia en relación a lo que se dijo son los puntos donde se comparara la altura

[7] La determinación de los errores va estar contemplada según la norma NTC 5205, la cual establece de 20 puntos mínimos en el área de estudio para obtener el error medio cuadrático; las pruebas se harán con un 95% de confianza según lo especifica la norma.

con un total de veintinueve (29) para determinación del error en la coordenada Z, dado que la nube de puntos fue georreferenciada con las coordenadas elipsoidales la comparación se realizara entre estas alturas grilla MDT vs Altura GPS.

Tabla 18 Comparación Alturas GPS Vs. MDT Lídar

PUNTO	ESTE GPS (m)	NORTE GPS (m)	ALTURA ELIPSOIDAL (m)	ESTE GRILLA (m)	NORTE GRILLA (m)	ALTURA GRILLA ELIPSOIDAL (m)	DISTANCIA (m)	ERROR (m)
E12	101353,884	100286,935	2729,3338	101353,708	100286,910	2729,553	0,1777667	0,2192
E13	101355,582	100257,534	2726,9	101355,708	100257,410	2727,209	0,17678235	0,309
E2	101346,717	100360,439	2708,9255	101346,708	100360,410	2708,972	0,03036445	0,0465
E3	101354,406	100353,076	2714,7117	101354,208	100352,910	2714,723	0,25837957	0,0113
E4	101340,867	100335,377	2716,563	101340,708	100335,410	2716,206	0,16238842	0,357
E5	101345,654	100337,349	2715,978	101345,708	100337,410	2715,931	0,08146779	0,047
E6	101351,861	100338,395	2718,8278	101351,708	100338,410	2718,966	0,15373354	-0,1382
E7	101332,564	100310,741	2713,6553	101332,708	100310,910	2713,649	0,22202928	0,0063
E9	101349,281	100311,817	2723,448	101349,208	100311,910	2723,524	0,11822859	-0,076
K1	101354,904	100259,512	2726,663	101354,708	100259,410	2726,929	0,22095248	-0,266
K10	101324,554	100313,919	2710,116	101324,708	100313,910	2710,195	0,15426276	-0,079
K11	101342,247	100328,726	2718,453	101342,208	100328,910	2718,438	0,18808775	0,015
K12	101346,295	100317,666	2719,007	101346,208	100317,910	2718,901	0,25904633	0,106
K13	101346,614	100331,545	2718,448	101346,708	100331,410	2718,487	0,16450228	-0,039
K14	101346,944	100315,897	2720,0744	101346,708	100315,910	2719,585	0,23635778	0,4894
K16	101345,681	100278,239	2723,88	101345,708	100278,410	2723,644	0,17311846	0,236
K17	101346,754	100340,031	2716,231	101346,708	100339,910	2716,215	0,12944883	0,016
K18	101344,732	100341,574	2713,982	101344,708	100341,410	2714,119	0,16574679	-0,137
K19	101335,406	100352,409	2709,257	101335,208	100352,410	2709,24	0,19800253	0,017
K2	101357,112	100268,459	2727,545	101357,208	100268,410	2727,303	0,10778219	0,242
K20	101338,595	100346,131	2712,7496	101338,708	100345,910	2712,801	0,24821362	-0,0514
K21	101345,473	100337,323	2716,0125	101345,208	100337,410	2715,781	0,27891576	0,2315
K22	101349,085	100346,13	2714,7971	101349,208	100345,910	2714,937	0,2520496	-0,1399
K3	101350,768	100269,762	2725,587	101350,708	100269,910	2725,406	0,15969972	0,181
K5	101346,83	100306,314	2722,68	101346,708	100306,410	2722,781	0,15524175	-0,101
K6	101346,597	100296,563	2722,309	101346,708	100296,410	2722,175	0,18902381	0,134
K7	101336,661	100304,043	2715,902	101336,708	100303,910	2715,913	0,14106027	-0,011
K8	101329,055	100304,279	2712,9927	101329,208	100304,410	2712,956	0,20141996	0,0367
K9	101351,915	100323,311	2723,6545	101351,708	100323,410	2723,479	0,22945588	0,1755

Ya que los puntos de la grilla del DTM vienen generados a partir de los puntos LÍDAR clasificados como piso, se realizó la comparación entre los puntos de piso (ground) más cercanos a estos y las coordenadas de los GPS para así determinar el error desde la captura LAS como se muestra en la Tabla 19 con un total de treinta (30) puntos.

Tabla 19. Comparación Alturas GPS Vs. LAS

PUNTO	ESTE GPS (m)	NORTE GPS (m)	ALTURA ELIPSOIDAL (m)	ESTE LAS (m)	NORTE LAS (m)	ALTURA LAS ELIPSOIDAL (m)	DISTANCIA (m)	ERROR (m)
E1	101337.14	100365.257	2704.1635	101339.773	100365.737	2705.705	2.67639478	1.5415
E12	101353.884	100286.935	2729.3338	101355.189	100285.114	2730.347	2.24032721	1.0132
E13	101355.582	100257.534	2726.9	101355.816	100257.410	2727.378	0.26482447	0.478
E2	101346.717	100360.439	2708.9255	101346.695	100360.387	2708.958	0.05646238	0.0325
E3	101354.406	100353.076	2714.7117	101354.794	100353.040	2714.906	0.38966652	0.1943
E4	101340.867	100335.377	2716.563	101341.31	100335.813	2716.65	0.62156657	-0.087
E5	101345.654	100337.349	2715.978	101345.66	100337.347	2715.968	0.00632456	0.01
E6	101351.861	100338.395	2718.8278	101351.779	100338.787	2718.754	0.40048471	0.0738
E7	101332.564	100310.741	2713.6553	101332.574	100310.755	2713.63	0.01720465	0.0253
E9	101349.281	100311.817	2723,448	101349.234	100311.813	2723.514	0.04716991	-0.066
K1	101354.904	100259.512	2726.663	101356.338	100259.789	2726.852	1.46050847	-0.189
K10	101324.554	100313.919	2710.116	101324.595	100313.922	2710.147	0.04110961	-0.031
K11	101342.247	100328.726	2718.453	101342.248	100328.726	2718.452	0.001	0.001
K12	101346.295	100317.666	2719.007	101346.339	100317.618	2718.991	0.06511528	0.016
K13	101346.614	100331.545	2718.448	101346.613	100331.539	2718.511	0.00608276	-0.063
K14	101346.944	100315.897	2720.0744	101346.769	100315.923	2719.928	0.17692089	0.1464
K16	101345.681	100278.239	2723.88	101345.627	100278.216	2723.86	0.05869412	0.02
K17	101346.754	100340.031	2716.231	101346.569	100340.144	2716.14	0.216781	0.091
K18	101344.732	100341.574	2713.982	101345.266	100341.315	2714.145	0.59349558	-0.163
K19	101335.406	100352.409	2709.257	101335.367	100352.425	2709.329	0.04215448	-0.072
K2	101357.112	100268.459	2727.545	101357.139	100268.450	2727.297	0.0284605	0.248
K20	101338.595	100346.131	2712.7496	101338.585	100346.000	2712.712	0.13138112	0.0376
K21	101345.473	100337.323	2716.0125	101345.204	100337.320	2715.874	0.26901673	0.1385
K22	101349.085	100346.13	2714.7971	101349.114	100346.139	2714.873	0.03036445	-0.0759
K3	101350.768	100269.762	2725.587	101350.77	100269.763	2725.421	0.00223607	0.166
K5	101346.83	100306.314	2722.68	101346.829	100306.320	2722.833	0.00608276	-0.153
K6	101346.597	100296.563	2722.309	101346.63	100296.568	2722.178	0.03337664	0.131
K7	101336.661	100304.043	2715.902	101336.687	100304.026	2715.86	0.03106445	0.042
K8	101329.055	100304.279	2712.9927	101329.069	100304.291	2713.003	0.01843909	-0.0103

K9	101351.915	100323.311	2723.6545	101351.922	100325.357	2723.579	2.04601197	0.0755

Tabla 20 Comparación de error de alturas entre información LÍDAR y DTM tomando como referencia la información altimétrica GPS

PUNTO	DTM (m)	LÍDAR (m)	COMPARACION ERRORES (m)
E12	0.2192	1.0132	0.7940
E13	0.309	0.478	0.1690
E2	0.0465	0.0325	-0.0140
E3	0.0113	0.1943	0.1830
E4	0.357	0.087	-0.2700
E5	0.047	0.01	-0.0370
E6	0.1382	0.0738	-0.0644
E7	0.0063	0.0253	0.0190
E9	0.668	0.066	-0.6020
K1	0.266	0.189	-0.0770
K10	0.079	0.031	-0.0480
K11	0.015	0.001	-0.0140
K12	0.106	0.016	-0.0900
K13	0.039	0.063	0.0240
K14	0.4894	0.1464	-0.3430
K16	0.569	0.02	-0.5490
K17	0.395	0.091	-0.3040
K18	0.137	0.163	0.0260
K19	0.017	0.072	0.0550
K2	0.242	0.248	0.0060
K20	0.0514	0.0376	-0.0138
K21	0.2315	0.1385	-0.0930
K22	0.1399	0.0759	-0.0640
K3	0.181	0.166	-0.0150
K5	0.101	0.153	0.0520
K6	0.134	0.131	-0.0030
K7	0.011	0.042	0.0310
K8	0.0367	0.0103	-0.0264
K9	0.1755	0.0755	-0.1000

Las tres anteriores tablas muestran que al contrastar la información altimétrica de los datos LÍDAR y del DTM contra los datos capturados por GPS, es mayor el error presente en el Modelo

Digital de Terreno. Este resulta puede ser un error inherente al proceso de triangulación del software en cual se procesa dicho modelo.

En las siguientes ilustraciones se presentan algunas de las situaciones de los puntos que presentan las diferencias más significativas al igual que puntos que presentan un desfase muy pequeño casi no significativo, en la Ilustración 114 se muestra un punto con una diferencia bastante notable posiblemente debida a su separación del punto ground, en la siguiente ilustración se observa un punto que concuerda acertadamente con el terreno y por último se observa en la Ilustración 116 un punto tiene desfase en la altura no importando que estén en una posición muy cercana.

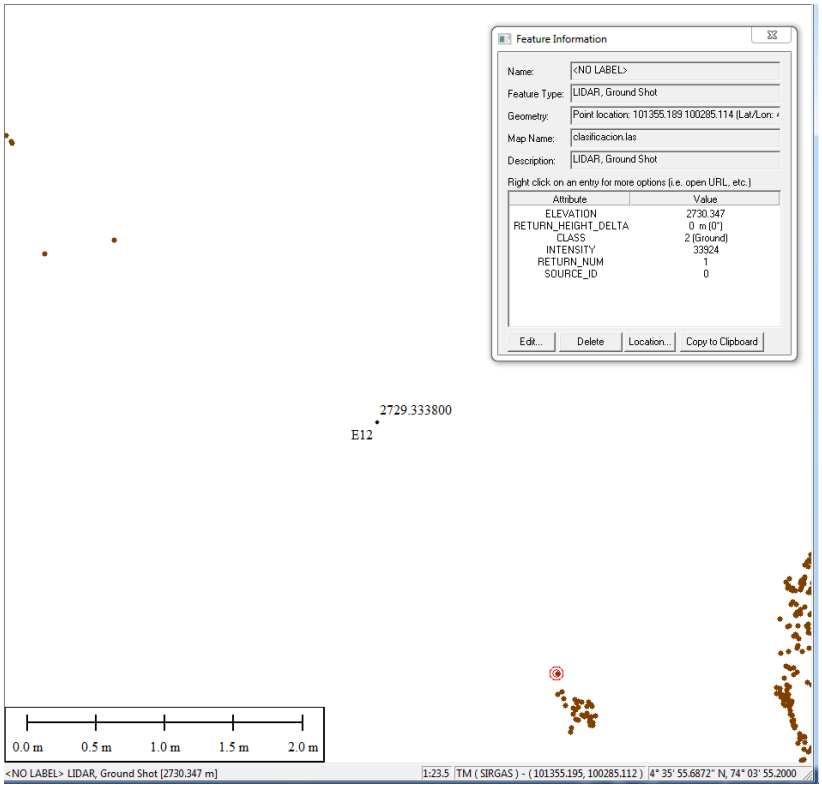


Ilustración 114. Punto E12 con altura contra la altura del Ground más cercano

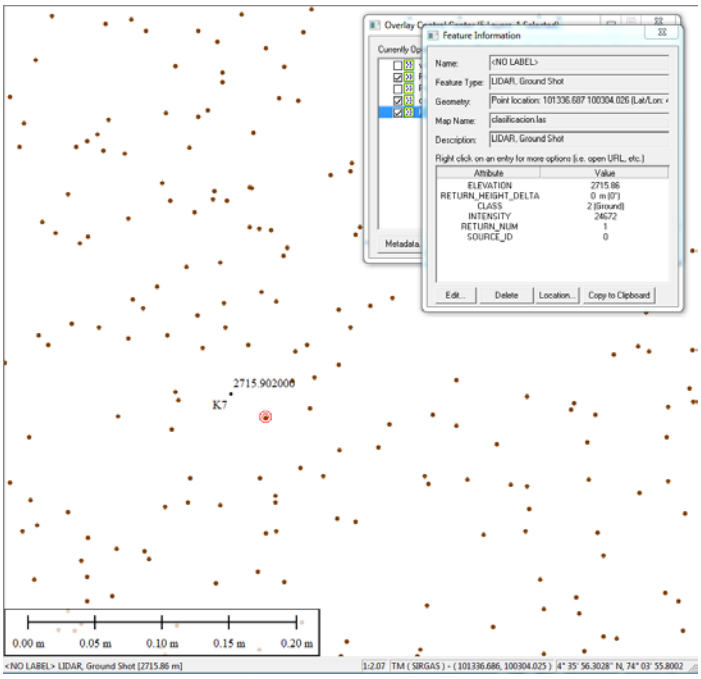


Ilustración 115. Punto K7 con altura contra la altura del Ground más cercano

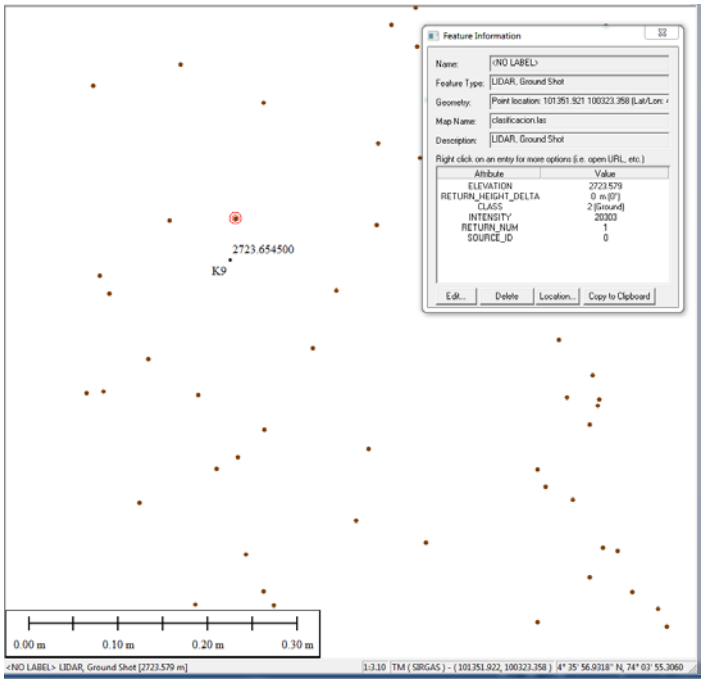


Ilustración 116. Punto K9 con altura contra la altura del Ground más cercano

Los puntos tienen diferencias notables por lo que el error existe

Comparación del modelo digital de terreno LÍDAR y Kriging (MDTk) con puntos de levantamiento topográfico

Ya que la nivelación geométrica es un método más acertado en cuanto a altura ya que parte de un punto con cota conocida para medir las demás alturas en un espacio muy corto este permite una precisión más alta aunque está sujeto a error de tipo climático o de tipo humano, para esta comparación se utilizaron los puntos de nivelación que fueron denominados “N”, también servirán algunos de los puntos de las esferas puesto que fueron nivelados y no fueron utilizados en la georreferenciación de la nube de puntos LÍDAR. El punto N7 no entró en la comparación puesto que no fijo ambigüedad por lo que la comparación no serviría de nada, al igual que salen los tres (3) puntos con los cuales se georreferenció la nube; ya que se tiene la cota de los puntos E8, E10, E11 y E14 dado que se nivelaron sus estacas y se tiene las coordenadas Este y Norte obtenidas con la estación digital; se hizo uso de estas para la comparación lo que dio un total de dieciséis (16) puntos para el MDT Lídar y once (11) para el MDT Kriging para determinar qué modelo es más fiable y tiene menos error en comparación a la nivelación. Con los puntos más cercanos de la grilla se generó un circuito GEOCOL2004 con el cual se obtuvo las alturas ortométrica de comparación igual que se hizo con los puntos GPS, para el circuito se usó la altura elipsoidal del DTM.

Tabla 21. Error altura GEOCOL2004 DTM Vs Nivelación Geométrica

PUNTO	ESTE GRILLA (m)	NORTE GRILLA (m)	ALTURA ORTOMETRICA GEOCOL(2004) (m)	ALTURA ORTOMETRICA NIVELACION GEOMETRICA (m)	ERROR (m)	Obs
E10	101340.208	100284.910	2696.8518	2696.4481	-0.4037	Sin info Lídar
E11	101343.708	100283.910	2697.9147	2697.8931	0.0784	Info las
E12	101353.708	100286.910	2704.4355	2704.177	-0.2585	Sin info Lídar
E13	101355.708	100257.410	2702.0953	2701.842	-0.2533	Poca info

						Las
E2	101346.708	100360.410	2683.8108	2683.8651	0.0543	
E3	101354.208	100352.910	2689.5657	2689.6401	0.0744	
E5	101345.708	100337.410	2690.7928	2690.9081	0.1153	
E7	101332.708	100310.910	2688.5300	2688.512	-0.0179	
E8	101341.208	100310.910	2691.7992	2691.850	-0.0508	Info Lídar
E9	101349.208	100311.910	2698.3973	2698.325	0.0723	
N1	101347.208	100348.910	2687.6292	2687.664	-0.0348	
N2	101337.708	100351.410	2684.9150	2684.7921	-0.1229	
N3	101348.208	100349.910	2687.5823	2687.6321	0.0498	
N4	101352.208	100349.410	2689.7545	2689.7921	0.0376	
N5	101342.208	100325.410	2693.2077	2693.2431	0.0354	
N6	101346.708	100323.910	2693.6735	2693.689	0.0155	

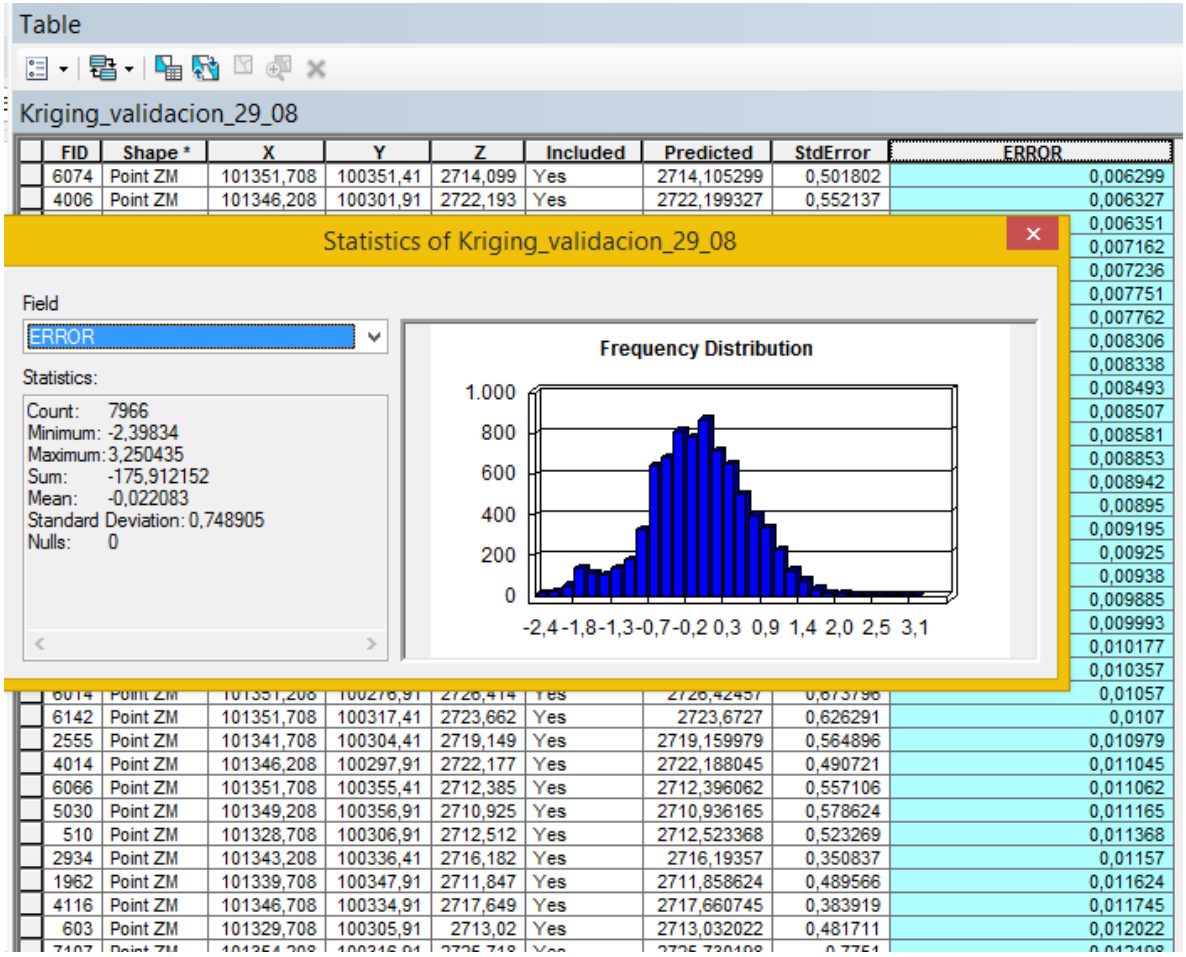
Tabla 22. Error altura GEOCOL2004 KRIGING Vs Nivelación Geométrica

PUNTO	ESTE GRILLA (m)	NORTE GRILLA (m)	ALTURA ORTOMETRICA KRIGING GEOCOL(2004) (m)	ALTURA ORTOMETRICA NIVELACION GEOMETRICA (m)	ERROR GRILLA (m)
N6	101346,71	100323,91	2694,9048	2693,689	1,2158
N5	101342,21	100325,41	2692,8666	2693,2431	-0,3765
N4	101352,21	100349,41	2689,8403	2689,7921	0,0482
N3	101348,21	100349,91	2688,0897	2687,6321	0,4576
N2	101337,71	100351,41	2685,1593	2684,7921	0,3672
N1	101347,21	100348,91	2688,0724	2687,664	0,4084
E9	101349,21	100311,91	2697,6868	2698,325	-0,6382
E8	101341,21	100310,91	2692,9412	2691,8501	1,0911
E7	101332,71	100310,91	2688,9186	2688,5121	0,4065
E5	101345,71	100337,41	2691,2795	2690,9081	0,3714
E11	101343,71	100283,91	2697,6709	2697,8931	-0,22221

Comparación MDT con MDT$_K$

La creación del MDT generado con Kriging se realizó con el fin de demostrar si este método de interpolación disminuye el error existente en la coordenada Z de un MDT generado a partir de

datos LÍDAR Terrestre, para esto se compararon las alturas conocidas contra las alturas predichas mediante el método de interpolación. Acto seguido se validó el Kriging comparando la diferencia que existe entre las alturas de los dos modelos trabajados.



FID	Shape *	X	Y	Z	Included	Predicted	StdError	ERROR
6074	Point ZM	101351,708	100351,41	2714,099	Yes	2714,105299	0,501802	0,006299
4006	Point ZM	101346,208	100301,91	2722,193	Yes	2722,199327	0,552137	0,006327
								0,006351
								0,007162
								0,007236
								0,007751
								0,007762
								0,008306
								0,008338
								0,008493
								0,008507
								0,008581
								0,008853
								0,008942
								0,00895
								0,009195
								0,00925
								0,00938
								0,009885
								0,009993
								0,010177
								0,010357
								0,01057
6142	Point ZM	101351,708	100317,41	2723,662	Yes	2723,6727	0,626291	0,0107
2555	Point ZM	101341,708	100304,41	2719,149	Yes	2719,159979	0,564896	0,010979
4014	Point ZM	101346,208	100297,91	2722,177	Yes	2722,188045	0,490721	0,011045
6066	Point ZM	101351,708	100355,41	2712,385	Yes	2712,396062	0,557106	0,011062
5030	Point ZM	101349,208	100356,91	2710,925	Yes	2710,936165	0,578624	0,011165
510	Point ZM	101328,708	100306,91	2712,512	Yes	2712,523368	0,523269	0,011368
2934	Point ZM	101343,208	100336,41	2716,182	Yes	2716,19357	0,350837	0,01157
1962	Point ZM	101339,708	100347,91	2711,847	Yes	2711,858624	0,489566	0,011624
4116	Point ZM	101346,708	100334,91	2717,649	Yes	2717,660745	0,383919	0,011745
603	Point ZM	101329,708	100305,91	2713,02	Yes	2713,032022	0,481711	0,012022

Ilustración 117 Estadísticas de la diferencia entre DTM LÍDAR y DTM Kriging

En la Ilustración 117 se aprecia que la media de los errores es -0,02 cm con una desviación de 0,74 cm. La distribución espacial de dichos errores se ve en la Ilustración 118

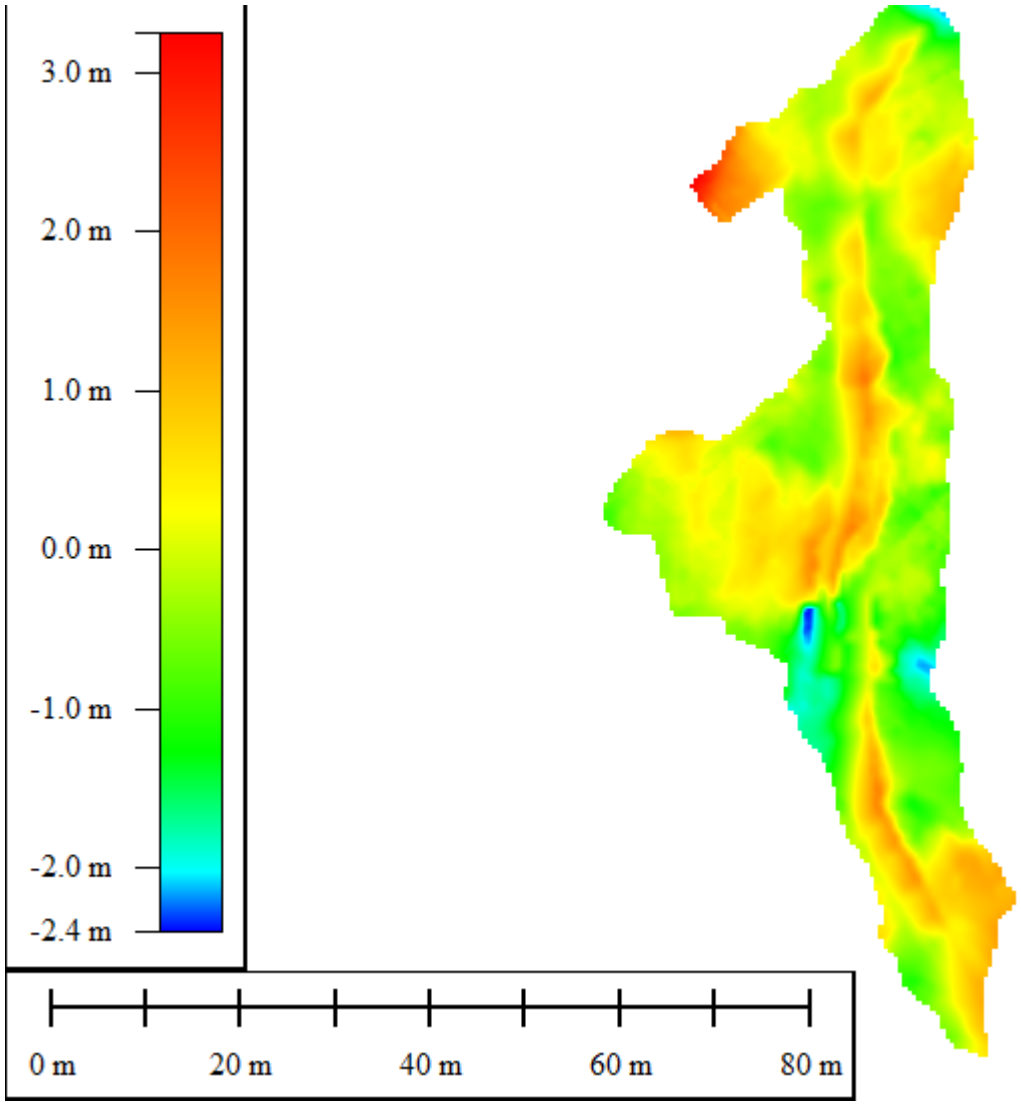


Ilustración 118 Distribución espacial de diferencia en alturas DTM LÍDAR y DTM Kriging

Llama la atención el comportamiento de la zona central en la que las diferencias superan valores de 1,7 m. En general también es necesario notar que el error muestra un patrón de comportamiento que va a lo largo del área de estudio de sur a norte. Esto se debe principalmente a los cambios bruscos en el terreno generados por la intervención de la mano humana en la zona, debido a que es en este sector donde se encuentran las escaleras, garitas de celadores, jarillones, y obras civiles en general.

Tabla 23 Comparación de entre errores de DTM LÍDAR y DTM Kriging

PUNTO	ERROR DTML (m)	ERROR DTMk (m)	DIFERENCIA ENTRE ERRORES (m)
E11	0.0216	0.2222	0.20
E5	0.1153	0.3714	0.26
E7	0.018	0.4065	0.39
E8	0.0508	1.0911	1.04
E9	0.0723	0.6382	0.57
N1	0.0348	0.4084	0.37
N2	0.1229	0.3672	0.24
N3	0.0498	0.4576	0.41
N4	0.0376	0.0482	0.01
N5	0.0354	0.3765	0.34
N6	0.0155	1.2158	1.20

La Tabla 23 permite observar que en todos los casos de la muestra, el error contra la nivelación es mayor en el MDT generado usando Kriging que en el MDT generado usando la información LÍDAR, lo que lleva a pensar que el método geoestadístico propuesto no funciona.

Determinación de escalas óptimas según la resolución 064/1994 IGAC

Una vez que se realizó la comparación contra la información altimétrica resultante de los posicionamientos GPS se procedió calcular el Error Medio Cuadrático (RMS) para cada la nube de puntos LÍDAR, para el DTM_L y para el DTM_K. El propósito de este cálculo es determinar hasta que escala es posible trabajar con dichos insumos partiendo de la normatividad dictada por el IGAC en la resolución 064 de 1994. Según dicha resolución para la precisón final en altimetría "*El error medio cuadrático correspondiente es el 0,3 mm*Em"*(IGAC, 1994).

El cálculo del Error Medio Cuadrático para la nube de puntos y para el DTM LÍDAR, se hizo tomando la altura GPS como valor conocido; en el caso de la determinación del Error Medio Cuadrático del DTM interpolado con Kriging se realizó la comparación contra el Modelo generado a partir de LÍDAR.

Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 24 Determinación de la escala máxima según res 064/94 IGAC

	Puntos validados	**ECM**	**ESCALA MAXIMA RES 064/94 IGAC**
DTM LÍDAR	29	0,061956284	206,520946
Puntos LÍDAR	28	0,011152581	37,17527082
Kriging	7966	0,56134562	1871,152067

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

Se demostró que existe diferencia de alturas entre el DTM y los datos LÍDAR. Esto se concluyó al realizar las siguientes comparaciones: DTM vs GPS y LÍDAR vs GPS. La mayor acumulación de error se encontraba en las alturas del modelo digital de terreno lo que se debe a la interpolación en zonas sin densidad alta de puntos LÍDAR esto se observa en la Tabla 20.

Por otro lado el error de Kriging y DTM se incrementa en las zonas en las que existe una fuerte intervención de obras antrópicas, para este caso particular se presentaba en escaleras, garitas, jarillones, muros, etc. El error también es considerable en las zonas donde no existe mucha información Kriging específicamente el costado NW.

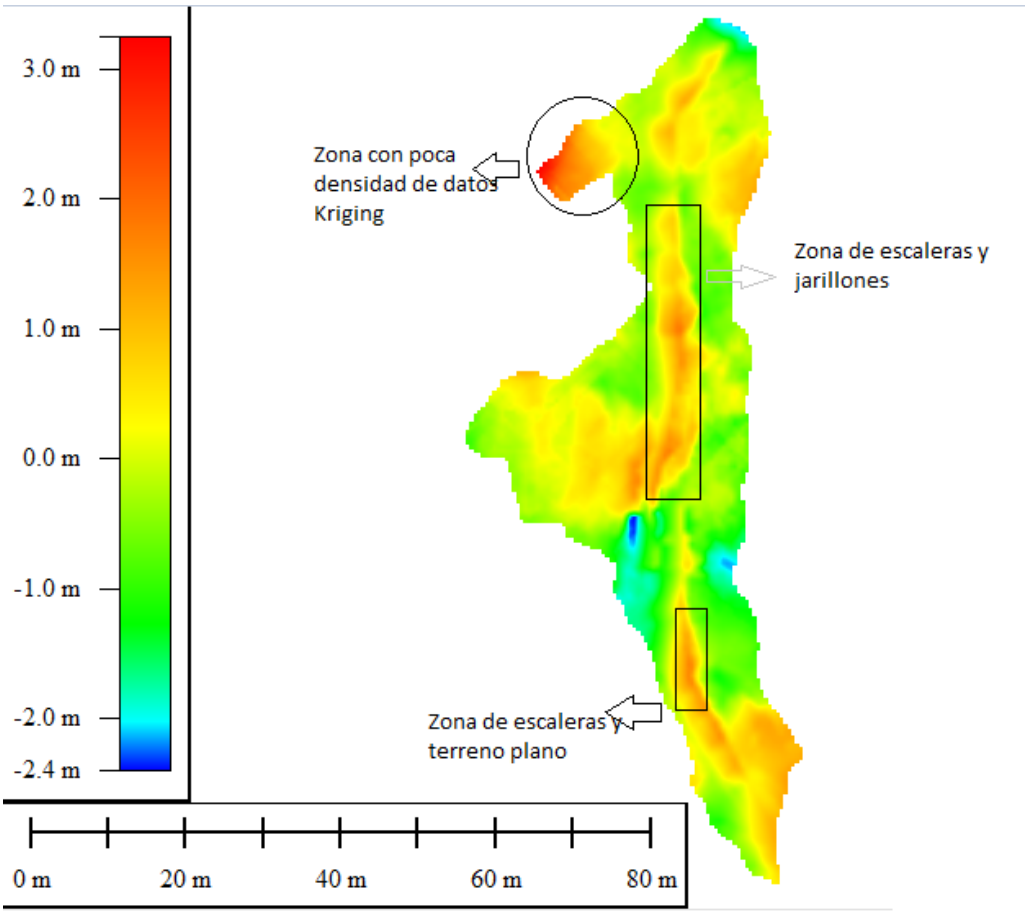


Ilustración 119 Errores incrementado en zonas Kriging y afectación por parte del hombre

Se observa que la mayoría del error está en un rango entre -1m y 1m. Las zonas en la que el error se incrementa es en lugares donde la intervención de obras antrópicas ha modificado de forma brusca el terreno; también aumenta en las zonas donde Kriging realiza extrapolación de información.

A medida que un punto de LÍDAR se aleja de los puntos capturados por GPS la comparación de alturas se hace inválida (Ver punto E12, E13). Sin embargo la interpolación realizada por el DTM parece mitigar considerablemente dicho error, esto debido a que se busca un valor de altura medio entre los puntos que lo rodean.

Los errores presentados en E12 y E13 son justificados principalmente por la falta de información en las zonas donde fueron realizadas las lecturas GPS. En el caso de E12 no hay ningún punto de piso, mientras que en E13 la información LÍDAR es tan limitada que no ofrece garantía de que los puntos presentes sean suelo y no otra cobertura (Ilustración 114 y Tabla 18 Puntos E12 y E13).

El error presente en K2 se debe a la densidad de la cobertura vegetal presente en la zona, esto sin duda ha significado una fuerte interferencia en la recepción de la señal GPS, por lo cual no fue posible fijar ambigüedad por doble determinación en este punto; este factor implica necesariamente perdida de precisión en el ajuste y posicionamiento de estos puntos (ilustración 119, Tabla 18 y Tabla 19)

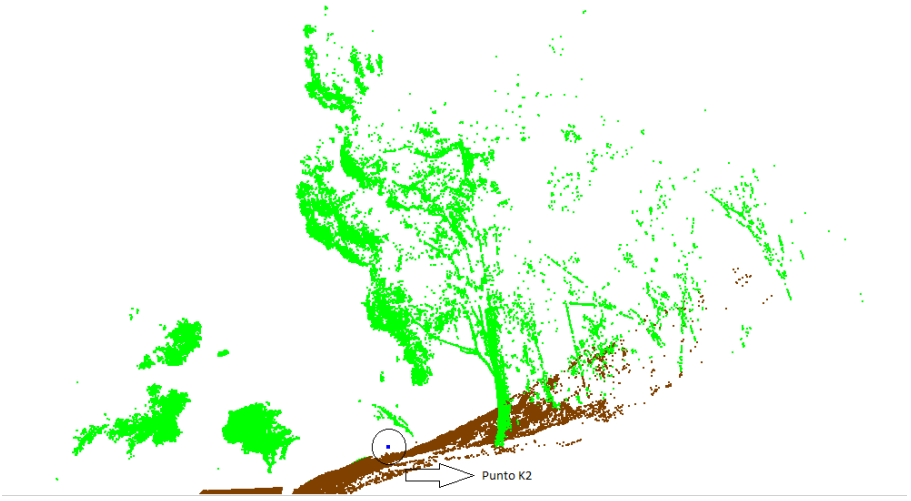


Ilustración 120 Punto K2 e interferencia de recepción por vegetación

Kriging aplicado de manera global no ofreció resultados óptimos para la disminución del error en el DTM debido a sus distancias tan grandes de interpolación, sin embargo puede que al centrarse en zonas faltantes de información LÍDAR el, la interpolación en dichas áreas ofrezca una diminución del error más eficiente en el DTM; por lo que Kriging en áreas focalizadas funciona de manera idónea (Ilustración 112 e Ilustración 120).

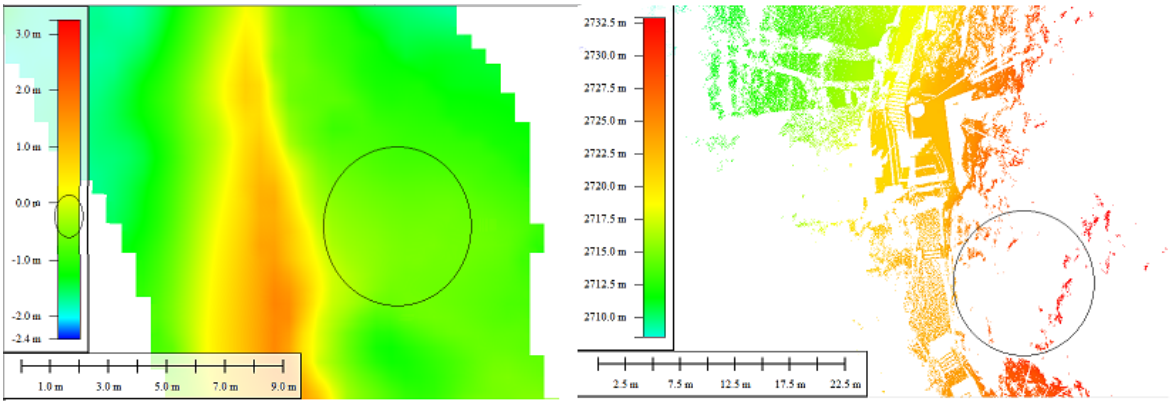


Ilustración 121 Error entre 0m y -0.60m para la resta de DTM’s

El error es más notorio en las comparaciones realizadas con el DTM generado por Kriging puesto la interpolación se generó en un área bastante amplia, por otro lado el error contra el DTM LÍDAR no es tan amplio pero se evidencia su existencia(Tabla 21 y Tabla 22), en lo que se

concluye, entre mayor sea la densidad de puntos utilizados en la interpolación menor será el error en el modelo digital de terreno, y en las zonas donde existe vacío de puntos se obtiene una interpolación poco confiable con un error de mayor propagación, por tal cosa se determina que una solución para la problemática es tomar los datos LÍDAR con un alta densidad por metro cuadrado y aquellos espacios de terreno donde existan vacíos se podría realizar una interpolación local tomando datos del LÍDAR como parámetros para el Kriging.

Otro factor decisivo a la hora de determinar la precisión o no del modelo Kriging es el comportamiento del terreno y las zonas en las que se ubicaron los puntos Kriging. Entre más uniforme sea el terreno será mejor la interpolación (Ilustración 122).

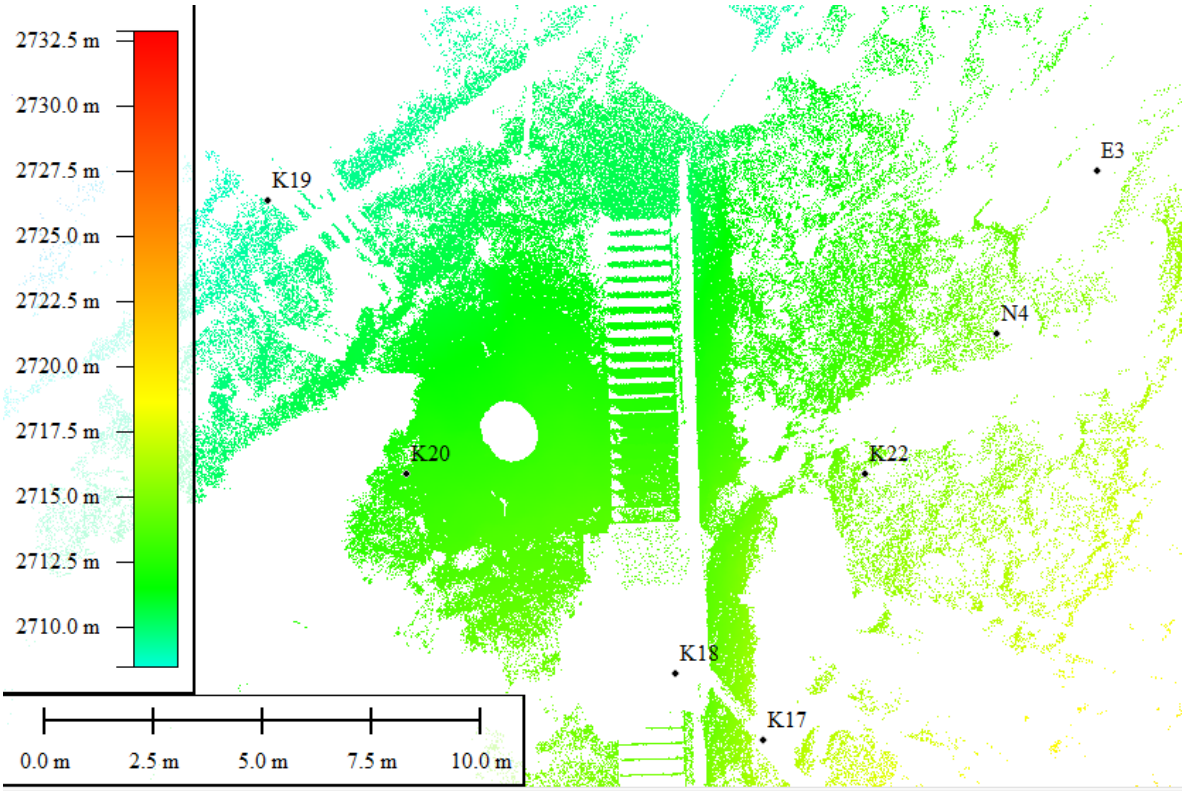


Ilustración 122 Alta densidad de puntos LÍDAR y puntos Kriging (interpolación de N2 es óptima)

En aquellas zonas en las que el terreno presente cambios bruscos se recomienda ubicar los puntos en aquellas partes con cambios de pendiente notables, por lo cual la distancia entre los puntos que interviene en la interpolación Kriging afecta directamente ya que es muy amplia y pueden haber cambios bruscos en el comportamiento de terreno; lo que estos puntos generarían sería una modelo digital acorde a una superficie cuasi uniforme conde se representaría de manera más general.

La metodología propuesta en el presente documento concluyó en que la interpolación de Kriging aplicada de manera general no es óptima para disminuir el error en la componente Z de un modelo digital de terreno. Sin embargo surge la posibilidad de que dicha metodología pueda satisfacer necesidades de ajuste en zonas localizadas en las cuales la información LÍDAR sea insuficiente para generar un DTM que represente la realidad, haciendo uso de los mismos puntos aledaños a la zona faltante donde el Kriging genere una superficie similar en la cual se toman en cuenta como los puntos hacen representación del área.

Las escalas máximas en las que se pueden usar los datos trabajados en el presente proyecto según la resolución 064 de 1994 del IGAC son:

Tabla 25 Escalas máximas permitidas segun resolución 064/94 IGAC

	ESCALA MAXIMA RES 064/94 IGAC
DTM LÍDAR	829.7006421
Puntos LÍDAR	352.0192703
Kriging	2497.433394

CITAS REFERENCIAS Y REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Martínez, Jorge. (2010). PNOA, *Vuelos 25 cm+ LÍDAR PNOA 09.* Instituto Geográfico Nacional. Toledo. Gobierno de España. Disponible en http://www.ign.es/PNOA/docum/Presentacionvuelos_ASAMBLEAPNOA.pdf

Ojeda, Juan; Martínez, Jorge. (2010). PNOA-LÍDAR "Empleo del LÍDAR en aplicaciones ambientales terrestres".. Instituto Geográfico Nacional. Gobierno de España. [Revisado el 25 -10-2013]. Recuperado de http://www.ign.es/PNOA/docum/Jornada_Tecnica_LÍDAR_CSIC.pdf

MASS. HANS. 2001. *Planimetric and height accuracy of airborne laserscanner data: User requirements and system performance*. Dresden University of Tehnology

Serra, A. Baron, A. Bosch, E. Alamus, R. Kornus, W. Ruiz, A. Talaya, J. *Geomobil: Integracion y experiencias de LÍDAR terrestre en LB-MMS.* Institut Cartografic de Catalunya. Barcelona.

Colmenares, G. Segura, F. Pardo, J. Ruiz, L. Palomar, J. (2013). *Estimación de la velocidad del flujo del agua en cauces efímeros no aforados a partir de datos LÍDAR y GPS-RTK.* Boletín de la asociación de geógrafos españoles N° 62, pp 7-23.

Colina, J. Graham, L. Potter, M. (2000). *Wide-Area Topographic mapping and applications using airbornelight detection and raning (LÍDAR) Technology.* Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Journal Of The American Society For Photogrammetry And Remote Sensing. Vol. 66. No 8.disponible en http://www.asprs.org/a/publications/pers/2000journal/august/highlight.html

Boehler, W. Bordas, M. Marbs, A. 2003. *Investigating laser scanner accuary* ORIGINALLY PRESENTED AT THE XIXth CIPA SYMPOSIUM AT ANTALYA, TURKEY.

Gómez, A. Delgado, J. Pérez, N. *Obtencion de un MDT y DSM, mediante tecnología LÍDAR aplicación al rio Ebro.* Dpto. de Ingeniería Cartográfica – Geodésica. Universidad Politécnica de Madrid. Universidad de Jaén.

Bujan, S. Corbelle, E. Miranda, D. (2013). *Clasificación de los usos del suelo en una zona rural con datos LÍDAR multitemporales*. Laboratorio do Territorio. Universidad de Compostela. Territorios a examen II, interpretando los procesos de cambio. Santiago de Compostela. Librería Troll.

Fernández de Sevilla, T. Antolin, R. 22 de Junio de 2009. *Efficient interpolation of LÍDAR altimeter dataset in the obtention of Digital Surface Models.* Stereocarto. Madrid. España.

Amzajerdian, F. Pierrottet, D. Petway1, L. Hines, G. Roback, V. *LÍDAR systems for precision navigation and safe landing on planetary bodies*. NASA Langley Research

Center, Coherent Applications, Inc. Hampton, Virginia, United States of America

ICONTEC. *PRESICION DE DATOS ESPACIALES.* NTN 5205. 2003-03-22. 20Bogotá D.C. Icontec, 2003.

Núñez, M. Carnero, N. Ojeda, J. Aplicación de sensores aerotransportados (LÍDAR/cámara fotogramétrica digital) en la cuestión de espacios protegidos: el parque natural de dunas de corrubedo y lagos de carregal y Vixan (Galicia, No España).Dep Geografía Física, Dep Biología animal, Dep geografía física. Universidad de Sevilla, Universidad de Coruña, Universidad de Sevilla.

Jiménez, J. *Movimiento de la ladera en la vertiente meridional de sierra nevada (granada, España): identificación, análisis y cartografía de susceptibilidad y peligrosidad mediante SIG, Anexo 5.*Programa de doctorado: Ciencias y Tecnología de medio ambiente. Universidad de granada. Departamento de ingeniería civil.

Palomino, P. 2009. *Algoritmo para la localización y estimación de masa forestal a partir de imágenes LÍDAR. Facultad Informática. Universidad complutense de Madrid*

Playan, E. Serreta, A. Zapata, N. Burguete, J. Salvador, R. Martinez-Cob, A Cavero, J. Uso de Escáner 3D para aplicaciones en ingeniería de riesgos. Estación experimental aula dei, Escuela politécnica superior de Huesca.

Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. Mayo de 2014 "*SIG Medioambiental – Tema 3 MDT/MDE*". Disponible en http://www.geogra.uah.es/~enrique/ . Análisis de un MDT

Albacete, Antonio; Gutiérrez, Francisco. Metodología para procesar datos LÍDAR con ArcGis Desktop 10. [Revisado 26-10-2013].Disponible en internet: http://www.ign.es/resources/jiide2012/poster/1.Metodolog%C3%ADa%20para%20procesar%20datos%20LÍDAR%20con%20ArcGIS%2010.pdf.

Sercoins. *GPS (Global Positioning System). Recuperado el 11 de Noviembre de 2013.* Disponible en http://www.sercoinsc.com/uploads/archivos/GPS.pdf.

Sánchez Lopera, J., Lerma García, J. L. (2012): "Actualización de cartografía catastral urbana mediante LÍDAR y SIG", GeoFocus (Artículos), nº 12, p. 53-70. ISSN: 1578-5157.

Salamanca, Jorge; Pérez, José; LÍDAR, una tecnología de última generación, para planeación y desarrollo Urbano. Revista Científica Y Tecnológica De La Facultad De Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Marzo 2008, Vol. 13, No 1

Quiles, I. Molina, S. CONTROL DE CALIDAD PLANIMÉTRICO DE UNA NUBE DE PUNTOS LÍDAR. Dirección de sistemas de información. Tecnología y servicios agrarios S.A. [Revisado 25-10-2013) Recuperado de: http://www.ideg.es/wsc_content/pics/user_upload/Control%20de%20calidad%20planimetrico%20de%20una%20nube%20de%20puntos%20LÍDAR.pdf

Armstrong, Margaret. (1998).*Basic Linear Geostadistics* Fontainebleau, Francia. Ediciones Springer

Moren, Rosina; Vaya Esther. (2002). "ECONOMETRIA ESPACIAL - NUEVAS TECNICAS PARA EL ANALISIS REGIONAL UNA APLICACIÓN A LAS REGIONES EUROPEAS", Investigaciones Regionales. N° 001, p 83-106. ISSN: 1695-7253.

Gonzalo, Juan. (2012)TOPOGRAFÍA LÍDAR DE DETALLE PARA INGENIERÍA, INVENTARIOS FORESTALES Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Revisado el 26-10-2013. Recuperado de http://www.geomatica-andina.com/project/geomatica/resumen/dateien/LÍDAR%20para%20Ingenieria.pdf

Díaz, M. Casar, R. (2009). *GEOESTADISTICA APLICAD. Estimacion Espacial.* Universidad Autónoma de México.

Rosales, Juan; Rodrigo, José. (2012): “Tecnología LÍDAR aplicada a la gestión del territorio”, Tierra y Tecnología, nº 41, p. 57-59. ISSN: **1131-5016**

Gil, J; Fernández, A. PROCESADO SIG DE DATOS LÍDAR PARA LA CREACIÓN Y EVALUACIÓN DE MDTS Y FILTRADO DE PUNTOS OUTLIERS. Revisado el 25 -10-2013. Recuperado de http://www.aet.org.es/congresos/xiii/cal117.pdf

3D RiskMapping. Teoría y practica del Escaneado Laser Terrestre, Septiembre 2008. Versión 5. Education and Culture Leonardo Da Vinci.

Caballero, W. (2011). *Kriging universal para datos funcionales, Departamento de Estadística, Departamento de Estadística. Cartagena de Indias. Universidad Nacional de Colombia.*

Geoconsulting S.A., LÍDAR Aerotransportado y Terrestre. (2011). [26 de Octubre de 2013]. Disponible en: http://www.e-geoconsulting.com/portalv3/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=54&lang=es

ICADEL ingeniería. *TECNOLOGIA DE ESCANER EN LASER 3D - HDS (Hight definition Surveying).* Recuperado el 12 de Enero de 2014. Disponible en http://www.icadelsurvey.com/wp-content/uploads/2011/05/laser3d.pdf

Amurrio, Constant. “Lo más Básico que debes saber sobre LÍDAR”. 3 de abril de 2012. [24 de Octubre de 2013]. Disponible en: http://www.tecnicayterritorio.com/2012/04/lo-mas-basico-que-deberias-saber-sobre.html

Martínez, W. 2010. IGAC. *Implementación de SIRGAS en Colombia Avances a 2010 MAGNA - SIRGAS.* Subdirección de geografía y cartografía.

Martínez, W. 2007. IGAC. *Implementación de SIRGAS en el ámbito nacional: caso colombiano MAGNA - SIRGAS* División de Geodesia

Navarro, S. 2008. *Manual de Topografía – Altimetría.* Recuperado el 30 de Enero de 2014. Disponible en http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/modulo-i-introduccion-a-altimetria1.pdf

Navarro, S. 2008. *Manual de Topografía – Planimetría.* Recuperado el 30 de Enero de 2014. Disponible en http://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/apuntes-topografia-i.pdf

Bustos, N. *Catedra topográfica II.* Recuperado el 28 de Enero de 2014. Disponible en ftp://ftp.unsj.edu.ar/agrimensura/Topografia%20II/NIVELACI%D3N%20GEOM%C9TRICA%20DE%20PRECISI%D3N.pdf.

Gonzales, Concepción. (2008). “GEOESTADISTICA, Estimación de semivariogramas y KRIGEADO”. [23 de Octubre de 2013]. Disponible en http://ocw.upm.es/proyectos-de-ingenieria/sistemas-de-informacion-geografica-tecnicas-cuantitativas-para-gestion-de-datos/contenidos/WEB/TEORIA/10krigeado.pdf.

Directindustry. (s.f.). *www.directindustry.es*. Recuperado el 24 de Octubre de 2013, de http://www.directindustry.es/prod/topcon-europe-positioning-23468.html#product-item_1098489.

ems-i. (s.f.). *ems-1.com*. Recuperado el 21 de Octubre de 2013, de http://www.ems-i.com/gmshelp/Interpolation/Interpolation_Schemes/Kriging/Kriging.htm

Faro, E. (s.f.). *http://blog.faro-europe.com/*. Recuperado el 24 de Octubre de 2013, de http://blog.faro-europe.com/wp-content/uploads/2010/10/Faro_Packshot_Titel_Final_amc.jpg

Geoshack. (s.f.). *geoshack.com*. Recuperado el 24 de Octubre de 2013, de http://geoshack.com/topcon-gr-5/

GOOGLE. (2013). *Google Earth*. Recuperado el 19 de octubre de 2013, de http://goo.gl/maps/vd6To

Jiménez-Perálvarez, J. (s.f.). Movimientos de Ladera en la vertiente meridional de Sierra Nevada (Granada, España). *ugr.es*.

Laserscanning-europe. (s.f.). *http://shop.laserscanning-europe.com/*. Recuperado el 24 de Octubre de 2013, de http://shop.laserscanning-europe.com/Conjunto-Flexi-de-esferas-de-referencia-para-escaner-laser-para-topografos-FARO-y-Trimble-TX5

Mecinca. (s.f.). Tratado de Escáner Laser, PRESENTACION DEL ESCANER FOCUS 3D.

Sercoinsc. (s.f.). *Sercoinsc.* Recuperado el 21 de Octubre de 2013, de http://www.sercoinsc.com/uploads/archivos/GPS.pdfTopografiaMonterrey. (5 de 2 de 2013). Obtenido de http://www.topografiamonterrey.com/

Xatakaciencia. (20 de 02 de 2014). *Xatakaciencia*. Obtenido de xatakaciencia: http://www.xatakaciencia.com/sabias-que/la-forma-de-la-tierra-superficies-de-referencia

Aliexpress. (26 de Marzo de 2014). *es.aliexpress.com*. Obtenido de http://es.aliexpress.com/w/wholesale-pentax-total-station.html

Todoequipos. (26 de Marzo de 2014). *todoequipos.com*. Obtenido de http://www.topoequipos.com/dem/terminologia/que-es-una-estacion-total

ECURED (15 de mayo de 2014) Arango Andreu, Oscar. Topografía. La Habana: Editorial Pueblo y Educación. Impresión. 1983. p.116-120. Obtenido de http://www.ecured.cu/index.php/Nivelaci%C3%B3n_geom%C3%A9trica

IGAC. (1994).IGAC, *Resolución 064 de 1994* . Instituto Geográfico Agustin Codazzi. Bogotá Colombia. Disponible en http://www2.igac.gov.co/igac_web/normograma_files/RESOLUCION_64_de_1994.pdf