



**ALCALDIA MAYOR
BOGOTA D.C.**

**Instituto
DESARROLLO URBANO**

**“ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y
LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL,
EN BOGOTÁ D.C.”**

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 1630 DE 2020

INF-TOP--CASC-040-21

**INFORME DE LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO FASE 2 (FACTIBILIDAD)
COMPONENTE TOPOGRAFÍA**

CONSORCIO CS



BOGOTÁ, 2021 - Julio - 08



ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.



PRODUCTO DOCUMENTAL

INF-TOP--CASC-040-21

INFORME DE LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO FASE 2 (FACTIBILIDAD) COMPONENTE TOPOGRAFÍA

CONTROL DE VERSIONES

Versión	Fecha	Descripción de la Modificación	Folios
Versión 00	26/02/2021		75
Versión 01	25/05/2021	Aprobación interventoría	75
Versión 02	08/07/2021	Observaciones IDU	75

EMPRESA CONTRATISTA

VALIDADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Ing. Amalia Otalora Villada Ingeniero Topográfico	Ing. Amalia Otalora Villada Ingeniero Topográfico	Ing. Mario Ernesto Vacca G. Director de Consultoría

EMPRESA INTERVENTORA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Topog. Henry Néstor Fernández Topógrafo	Ing. Wilmer Alexander Rozo Coordinador de Interventoría	Ing. Oscar Andrés Rico Gómez Director de Interventoría

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	8
3	OBJETIVOS.....	9
3.1	Objetivo general	9
3.2	Objetivos específicos	9
4	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	11
5	RECURSOS EMPLEADOS	13
5.1	Recurso humano.....	13
5.2	Recursos tecnológicos.....	15
5.2.1	Receptores GNSS L1 Navegadores	15
5.2.2	Receptores GNSS L2.....	16
5.2.3	Nivel electrónico.....	18
5.2.4	Sistema LIDAR + FOTOGRAMÉTRICO	19
5.2.5	Software	20
5.3	Herramientas, equipos y vehículos adicionales.....	22
6	METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO IMPLEMENTADA.....	23
6.1	ALISTAMIENTO Y DIAGNÓSTICO INICIAL DEL PROYECTO	24
6.1.1	Controles de calidad - Alistamiento y diagnóstico inicial del proyecto	25
6.2	MARCO DE REFERENCIA GNSS	26
6.2.1	Diseño - Marco de Referencia GNSS.....	27
6.2.2	Materialización - Marcos de Referencia GNSS	28
6.2.3	Amarre Horizontal IGAC – Marco de Referencia GNSS	29
6.2.4	Posicionamiento – Marco de Referencia GNSS.....	31
6.2.5	Post-proceso – Marco de Referencia GNSS	33
6.2.6	Amarre vertical – Marco de Referencia GNSS	39
6.2.7	Resumen coordenadas y cotas de proyecto – Marco de Referencia GNSS.....	43
6.2.8	Fichas de localización – Marco de Referencia GNSS	45
6.2.9	Controles de calidad – Marcos de Referencia GNSS.....	46
6.3	PLANIFICACIÓN DE VUELO LIDAR Y FOTOGRAMÉTRICO.....	47
6.3.1	Controles de Calidad - Planificación de Vuelo Lidar y Fotogramétrico.	49
6.4	MONTAJE Y CALIBRACIÓN (SISTEMA LIDAR Y FOTOGRAMÉTRICO)	50
6.4.1	Montaje.....	50
6.4.2	Calibración	51
6.4.3	Controles de Calidad - Montaje y Calibración (Sistema Lidar y Fotogramétrico).....	52
6.5	CAPTURA DE INFORMACIÓN LIDAR Y FOTOGRAMÉTRICOS	53
6.5.1	Descripción general del sistema empleado.....	53
6.5.2	Ejecución de vuelos y toma de datos.....	55
6.5.3	Controles de Calidad - Captura de información Lidar y Fotogramétricos.....	58
6.6	POST-PROCESO DATOS LIDAR Y FOTOGRAMÉTRICOS.....	59
6.6.1	Gnss + Imu (Cálculo Inercial).....	59
6.6.2	Puntos láser	59
6.6.3	Fotogrametría del proyecto.....	61
6.6.4	Controles de Calidad - Post-Proceso datos Lidar y Fotogramétricos.....	64
6.7	PRUEBAS DE CALIDAD SEGÚN METODOLOGÍA ASPRS - NSSDA	65
6.8	CONSTRUCCIÓN DE PRODUCTOS Y ENTREGABLES PACTADOS	66
6.8.1	DOC-INFORME	67

6.8.2	LIMITES DE PROYECTO	67
6.8.3	DISTRIBUIDOR	67
6.8.4	MARCO DE REFERENCIA	69
6.8.5	ORTOFOTO VERDADERA	70
6.8.6	MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (MDS)	71
6.8.7	MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT).....	72
6.8.8	CURVADOS	73
6.8.9	CARTOGRAFÍA VECTORIAL 3D	74
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Polígonos límite de captura y procesamiento - fase de factibilidad.	12
Figura 2. Recurso humano del proyecto.....	13
Figura 3. Licencias profesionales – principales responsables del levantamiento	14
Figura 4. Especificaciones Receptor GNSS Promark™ 20.....	15
Figura 5. Especificaciones Antena GNSS Hemisphere S320	16
Figura 6. Especificaciones Antena GNSS Hemisphere S321	17
Figura 7 Especificaciones equipo: Nivel Electrónico STONEX	18
Figura 8. Componentes - Sistema LIDAR + FOTOGRAFÉMICO.....	19
Figura 9. Herramientas, equipos y vehículos adicionales	22
Figura 10. EDT – WBS fase de factibilidad.....	24
Figura 11. Marco de Referencia GNSS	26
Figura 12. Ejemplo – Punto materializado	28
Figura 13. Punto principal de amarre Marco de referencia GNSS	29
Figura 14. Vértices de amarre IGAC – Marco de Referencia GNSS.....	30
Figura 15 Esquema metodología de nivelación.....	39
Figura 16 Esquema modelo geoidal local no gravimétrico.....	40
Figura 17. Fichas de Localización Tipo – Puntos Marco de Referencia GNSS	45
Figura 18. Parámetros principales – Plan de vuelo Lidar y Fotogramétrico.....	48
Figura 19. Plan de vuelo diseñado y ejecutado	48
Figura 20. Esquema – tomas de medidas según montaje (Level Arms).....	50
Figura 21. Ejemplo – Toma de datos laser	57
Figura 22. Parámetros de calibración de cámara fotogramétrica.....	61
Figura 23. Orto-foto convencional Vs Orto-Foto Verdadera o True Orto	64
Figura 24. Límites de proyecto hasta fase de factibilidad.....	67
Figura 25. Distribuidor – Fase de Factibilidad	68
Figura 26. Compendios de coordenadas (Marco de Referencia GNSS).	69
Figura 27. Orto-Foto-Mosaico – Fase de Factibilidad	70
Figura 28. Modelo digital de Superficie (MDS) – Limite Factibilidad	71
Figura 29. Modelo digital de terreno (MDT).....	72
Figura 30. Curvado Factibilidad	73
Figura 31. Cartografía vectorial 3D.....	74



ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN
DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL
CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de puntos que constituye el Marco de Referencia del proyecto.....	27
Tabla 2. Coordenadas vértices de amarre y chequeo IGAC.....	30
Tabla 3. Guía para mediciones en modo Estático y Estático Rápido.....	31
Tabla 4. Cronología del posicionamiento – Marco de Referencia GNSS.....	32
Tabla 5. Chequeos bases permanentes IGAC.....	35
Tabla 6. Resultados pos proceso marco de referencia GNSS.....	36
Tabla 7. Coordenadas finales – Marco de Referencia GNSS.....	36
Tabla 8. Resultado cotas geométricas – Marco de referencia GNSS.....	41
Tabla 9. Resumen coordenadas y cotas de proyecto – Marco de Referencia GNSS.....	43
Tabla 10. Lever Arms montaje sistema Lidar.....	51
Tabla 11. Dato de la calibración resultantes.....	51
Tabla 12. Metodología para evaluación de exactitud posicional de datos Lidar+Fotogramétricos.....	65
Tabla 13. Resultados de exactitud posicional.....	66

1 INTRODUCCIÓN

La información cartográfica es la columna vertebral de los estudios técnicos de infraestructura, son el insumo a partir del cual se localizan, proyectan y desarrollan las áreas involucradas en los proyectos de ingeniería; por lo anterior, se requiere garantizar que se cumplan los criterios establecidos en las especificaciones técnicas y demás documentos socializados al inicio de los trabajos para todos los productos geográficos ofrecidos y se garantice un adecuado control de calidad tanto en las actividades realizadas en campo (levantamiento) como en oficina (análisis y procesamiento).

En la actualidad existen múltiples sistemas, equipos y/o sensores que, mediante técnicas apropiadas de captura, análisis y procesamiento, permiten obtener información topográfica de alta precisión y detalle, en tiempos relativamente cortos. Una de estas técnicas son los levantamientos Fotogramétricos Digitales, mediante sensores remotos aerotransportados, combinados con escaneos aéreos tipo LIDAR (**sistemas híbridos**), a partir de sobre vuelos tripulados o no tripulados a alta, media o baja altura; controlados, ajustados y/o ligados a una red de puntos de control en tierra (**Marco de Referencia GCP's**), debidamente materializados y georreferenciados mediante sistemas de posicionamiento GNSS en modo estático; o mediante procesos de georreferenciación directa (**GD**), GNSS+IMU con cualquier tipo de corrección diferencial (**GLOBAL VIA SATELITAL, RTK, NTRIP, PPK o PPP u otros**).

Las experiencias en proyectos ya ejecutados dentro y fuera del país, han demostrado los beneficios de las técnicas de levantamientos Fotogramétricos Digitales combinados con escaneos LIDAR, respecto de las técnicas de levantamiento tradicionales; no obstante, los trabajos de campo relacionados con el **Marco de Referencia GNSS** o los procesos de georreferenciación directa (**GLOBAL VIA SATELITAL, RTK, NTRIP, PPK o PPP u otros**), son imprescindibles para garantizar los niveles de precisión esperados en los productos finales.

La aplicación de algunas de las anteriores técnicas en el presente estudio, nos permitió obtener como entregables finales para la totalidad de las áreas objeto de estudio, **orto-foto-mosaicos de alta resolución espacial, modelos digitales de superficie (MDS), modelos digitales de terreno (MDT), curvados y cartografía vectorial**, con niveles de detalle y precisiones superiores comparados con los obtenidos con métodos convencionales de levantamiento. Los productos entregados tienen la propiedad de ser auto-auditable, en cuanto a que los orto-foto-mosaico y los modelos digitales, son la evidencia irrefutable y precisa de lo existente en el terreno al momento de la captura de la información.

Los levantamientos Fotogramétricos+LIDAR realizados en conjunto como **sistemas híbridos de levantamiento**, cumplen y sobrepasan las especificaciones de precisión y calidad típicas requeridos para proyectos de fase de factibilidad a escala **1:2000** o mayor. Ver:

- <https://www.gim-international.com/content/article/when-photogrammetry-meets-lidar-towards-the-airborne-hybrid-era>
- http://www.catastro.meh.es/documentos/publicaciones/ct/ct53/05-CATASTRO_53.pdf

A continuación, se hace una descripción general del estudio topográfico ejecutado para fase de factibilidad, exponiendo los objetivos alcanzados, su localización, los recursos empleados, los equipos y sensores utilizados, la metodología y actividades desarrolladas, así como los productos y subproductos generados y entregados.

2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

GEOCAM INGENIERÍA SAS; mediante contrato de prestación de servicios profesionales con el **CONSORCIO CS** fue encomendada para realizar el levantamiento topográfico requerido por el **INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO (IDU)**, para el sistema de transporte por cable aéreo ubicado en la localidad de San Cristóbal, hacia el sur de Bogotá, mediante sensores remotos aerotransportados en fase de factibilidad y actividades de complementación en tierra donde se requiera en fase de estudios y diseños.

El presente informe de levantamiento describe todas las actividades topográficas desarrolladas para la **fase 2 de factibilidad (escala 1:2000)**, la cual se desarrolló sobre un polígono de aproximadamente **143.14 hectáreas** definido en conjunto luego de un análisis multidisciplinario con las diferentes especialidades del proyecto, teniendo en cuenta los términos de referencia del estudio, los estudios previos ejecutados en la zona de proyecto y las diferentes visitas de campo realizadas.

Los trabajos fueron realizados con el fin de obtener la topografía general a nivel de factibilidad de la zona anteriormente descrita, generando para ello los productos básicos de: orto-foto-mosaico, modelo digital de superficie (MDS), modelo digital de terreno (MDT), curvas de nivel y cartografía básica vectorial 3D, así como el presente informe de levantamiento para fase de factibilidad; todo para escala 1:2000, de acuerdo al nivel de detalle, precisión y demás especificaciones suministradas y ofrecidas en la propuesta económica, técnica y metodológica presentadas y aprobadas al inicio de los trabajos.

Los anteriores productos configuran en conjunto la planimetría y altimetría del levantamiento topográfico realizado a nivel de factibilidad, mediante procesos de foto interpretación de imágenes de alta resolución espacial (**15 cm/pixel**) y modelado de superficies a partir de nubes de puntos superabundantes (**15 p/m²**).

La información cartográfica vectorial 3D, presentada en los archivos digitales finales, corresponde a la vectorización sobre el orto-foto-mosaico resultante y su posterior proyección sobre el modelo digital de terreno resultante, de información básica primaria requerida para fase de factibilidad para el análisis de alternativas del proyecto.

La información altimétrica presentada en los archivos y/o planos digitales finales (MDS, MDT y curvas de nivel), corresponde a la técnica de procesamiento clasificación y modelado de superficies a partir de la nube de puntos, obtenida por el sistema Lidar empleado.

Nota:

La metodología de trabajo, así como el polígono límite de factibilidad, fueron socializados y aprobados, previo al inicio de los respectivos trabajos de campo y oficina.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Obtener información adecuada para el desarrollo de la fase factibilidad que apliquen de acuerdo al alcance definido en la metodología presentada y aprobada, así como en los proyectos de infraestructura vial urbana y de espacio público, mediante estudios de topografía de detalle en las áreas definidas por el Instituto de Desarrollo Urbano – IDU, a partir de un levantamiento Fotogramétrico, con adquisición y procesamiento mediante técnicas de correlación de imágenes digitales de alta resolución espacial (**5cm pixel**), resolución espectral (**RGB**), combinado con un escaneo aéreo mediante sensor LIDAR (**15 punto/m²**), para la generación de un **orto-fotomosaico, modelo digital de superficie (MDS) y de terreno (MDT), curvas de nivel y cartografía básica vectorial 3D**, todo ligado a coordenadas IGAC Magna Sirgas, mediante un marco de referencia GNSS nivelado geoméricamente. Todo para escala 1:2000 para fase de factibilidad.

3.2 Objetivos específicos

- Definición conjunta, exacta y aprobada de las áreas o polígonos límite de captura de datos aéreos Fotogramétrico+Lidar y polígono límite de procesamiento para fase de factibilidad. (**Archivos kmz**).
- Diseño de plan de vuelo único para fase de factibilidad y estudios y diseños, Lidar+ Fotogramétrico.
- Identificación de estaciones GNSS permanentes del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) para el amarre del proyecto.
- Diseño y materialización del Marco de Referencia GNSS; puntos de control terrestre (GCP's) para control de calidad de los levantamientos Lidar y Fotogramétricos
- Amarre del proyecto a estaciones permanentes del IGAC.
- Posicionamiento y pos-proceso de la densificación de puntos GCP's del estudio (Marco de Referencia GNSS).
- Nivelación geométrica del marco de referencia GNSS.
- Construcción de fichas de localización espacial de puntos del Marco de referencia GNSS.
- Levantamiento de información mediante sensor remoto aerotransportado, Sistema LIDAR (para **15 puntos/m²**) y FOTOGRAMÉTRICO (para **5 cm/pixel**).

 <p>ALCALDIA MAYOR BOGOTÁ D.C. Instituto DESARROLLO URBANO</p>	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	 <p>CONSORCIO CS Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering</p>
---	--	---

- Procesamiento grueso de información LIDAR sobre límite de levantamiento definido para fase de factibilidad. (Construcción del modelo digital de superficie (MDS), clasificado en puntos de **suelo y no suelo**, construcción del modelo digital de terreno (MDT) y construcción de curvas de nivel, todo para escala **1:2000**).
- Procesamiento grueso de información FOTOGRAFICA sobre límite de levantamiento definido para fase de factibilidad. (resolución espacial **15 cm/pixel**, todo para escala **1:2000**).
- Generación de cartografía vectorial **3D básica**, sobre límite de levantamiento definido para fase de factibilidad, escala **1:2000**.
- Generación del presente Informe final de levantamiento para fase de factibilidad y anexos.

	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	
---	--	---

4 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El sistema de transporte por cable aéreo está ubicado en la Localidad de San Cristóbal hacia el sur de Bogotá. El recorrido inicia en el Portal 20 de Julio donde hace transferencia con el sistema Transmilenio, y continúa hacia las laderas de los Cerros del Sur, hacia los sectores La Victoria y Altamira / Moralba / Juan Rey. La factibilidad realizada en el año 2012 contempló una línea de cable que se integraría con el sistema masivo BRT Transmilenio en su Portal 20 de julio para posteriormente continuar hacia el barrio La Victoria (estación intermedia) y finalmente dos alternativas llegando a los barrios de Altamira y Moralba donde estaría ubicada la estación de retorno, en los estudios previos del 2009 se evaluó una línea partiendo del portal 20 de Julio hasta los cerros de sector de Juan Rey. De acuerdo al análisis multidisciplinario de las diferentes especialidades involucradas en el presente estudio, se determinaron dos áreas o polígonos límites de trabajo para el desarrollo de la fase de factibilidad así:

Polígono Limite de captura de datos Lidar+Fotogrametrico: corresponde a un polígono de aproximadamente 281.91 hectáreas sobre el cual se realizó la captura de datos aéreos, como insumo base para que los especialistas definieran con mayor precisión los trazados de las alternativas a desarrollar.

Polígono Limite de Factibilidad: Corresponde a un polígono circunscrito dentro del anterior polígono límite de captura, de aproximadamente 143.14 hectáreas, definido a partir de los trazados de las posibles alternativas a desarrollar y sobre el cual se realizó el procesamiento de datos topográficos para la presente fase de factibilidad.

Nota: en la fase 3 del proyecto y de acuerdo a la alternativa seleccionada para el diseño del cable aéreo; se definirá el respectivo límite de levantamiento para la fase de estudios y diseños finales.

A continuación, se presenta la localización espacial de las áreas anteriormente descritas para fase de factibilidad.

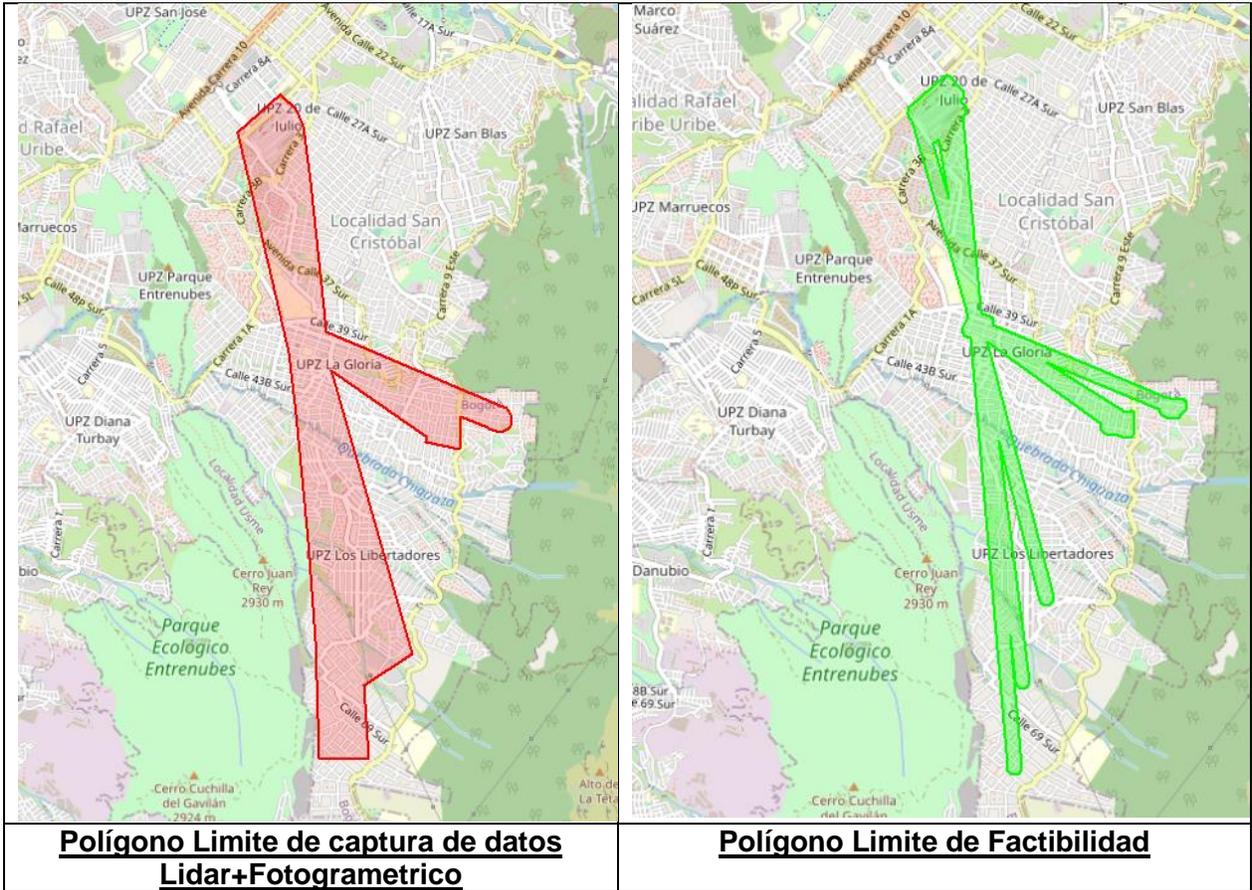


Figura 1. Polígonos límite de captura y procesamiento - fase de factibilidad.

5 RECURSOS EMPLEADOS

La logística de campo y oficina para el desarrollo de las labores descritas en este informe, estuvo a cargo de la empresa **GEOCAM INGENIERÍA S.A.S.** Para lo cual se emplearon los siguientes recursos humanos y tecnológicos.

5.1 Recurso humano.

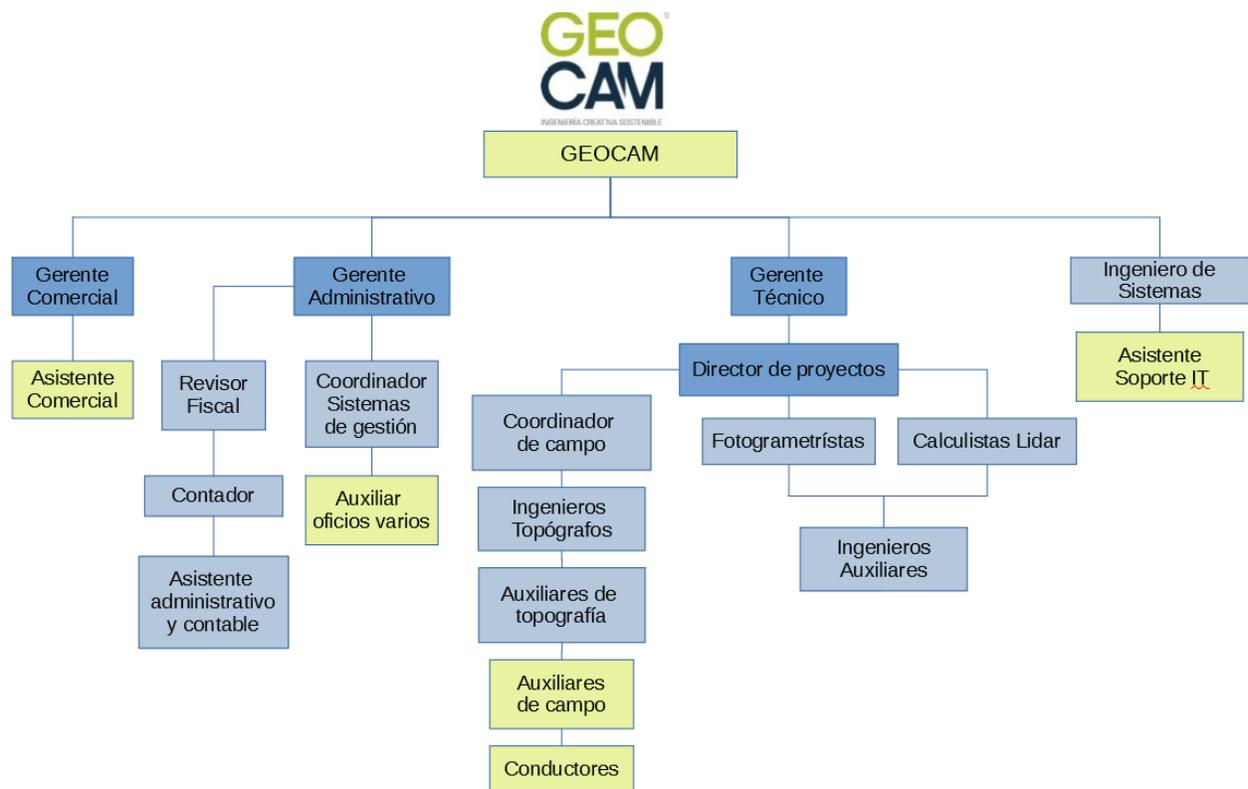


Figura 2. Recurso humano del proyecto

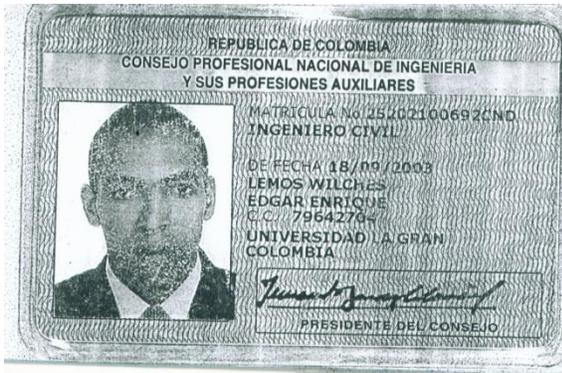


Figura 3. Licencias profesionales – principales responsables del levantamiento

5.2 Recursos tecnológicos.

5.2.1 Receptores GNSS L1 Navegadores

Los equipos Navegadores GNSS (L1) fueron utilizados para la navegación como apoyo en la materialización de los puntos **GCP's** proyectados y puntos existentes del Marco de Referencia diseñado en oficina y ajustado en campo.

Los receptores GNSS L1 tipo navegadores, no se calibran y no requieren de certificado de buen funcionamiento pues no generan en el proyecto información de precisión, solo sirven de guía y apoyo al personal de campo.

A continuación, se describen las características de los receptores anteriormente mencionados.

GNSS Characteristics

- Internal antenna: 20 channels
 - GPS L1 C/A
 - SBAS: WAAS/EGNOS/MSAS/GAGAN
- External antenna connector
- NMEA output

Accuracy Specifications (Horizontal RMS)¹

- Real-time SBAS: < 2 m typical
- Post-processed: < 50 cm typical

Processor

- ARM9™
- Clock frequency: 600 MHz

Operating System

- Microsoft® Windows Embedded Handheld 6.5
- Languages available: English, French, German, Italian, Japanese, Korean, Portuguese, Spanish, Simplified Chinese
- Software package includes:
 - Internet Explorer®
 - Office Mobile
 - ActiveSync®
 - Transcriber (handwriting recognition)

Communications

Cellular

- Built in GSM/GPRS/HSPA (3.5G)

Modem Versions

- P/N 802168-00: 3.5 G: 900/2100 MHz; 2G: 850/900 /1800 MHz
- P/N 802168-10: 3.5G: 850/900 MHz; 2G: 850/900/1800/1900 MHz

Bluetooth

- Bluetooth 2.1 with EDR

WiFi

- Integrated

Interface

- USB

Physical Characteristics

Size

- 169x88x25 mm

Weight

- 380g with battery (310g without)

User Interface

Keyboard

- 4-way navigation, menu, contextual keys
- Illuminated keyboard with touch screen
- Virtual keyboard

Display

- VGA Color TFT High resolution display sunlight readable with touch screen, LED backlight.
- Size: 3.5"
- Colours: 262k

Memory

- 256 MB SDRAM
- Storage: 512 MB NAND Flash (non volatile)
- MicroSDHC™ memory card (up to 32GB, SanDisk®, Kingston® recommended)

Environmental Characteristics

- Operating temperature: -10° to +60°C (14 to 140°F)
- Storage temperature: -30° to +70°C without battery (-13 to 158°F)
- Humidity: 95% non condensing
- Waterproof: IP54
- Free drop: 1.2 m on concrete

Power Characteristics

- Battery life: > 20 hrs @ 20 °C with GPS on²
- Charging time: 4 hours
- Removable battery

Multimedia & Sensors

- Camera 5M Pixels
- E-Compass
- G-Sensor
- Speaker
- Microphone

Software Options

- Spectra Precision MobileMapper Field and Office software
- Post-processing
- ESRI ArcPad software bundle (USA only)

Standard Accessories

- Stylus
- Hand-strap
- A/C charger
- USB cable

Optional Accessories:

- External magnetic GPS antenna
- Pole bracket

¹ Handheld accuracy performance achieved in good conditions (open sky) with PDOP <3 and more than seven satellites in view.

² GPS on, no Bluetooth or WiFi are used, backlight used 20% of the time at minimal settings.

* Including available options.



Figura 4. Especificaciones Receptor GNSS Promark™ 20

5.2.2 Receptores GNSS L2

Los receptores GNSS tipo doble frecuencia (L2), fueron utilizados para Geo-referenciar los puntos del Marco de Referencia denominados **GPS's** y **otros**.

Los anteriores equipos no se calibran, pero debido a que, si producen información de precisión en el proyecto, se acostumbra a generar por parte del distribuidor o representante de la marca en el país, un certificado de buen funcionamiento. Los certificados de verificación de buen funcionamiento de estos equipos, así como los parámetros de antena se encuentran en el medio digital adjunto al presente informe.

A continuación, se describen las características de los receptores anteriormente mencionados.

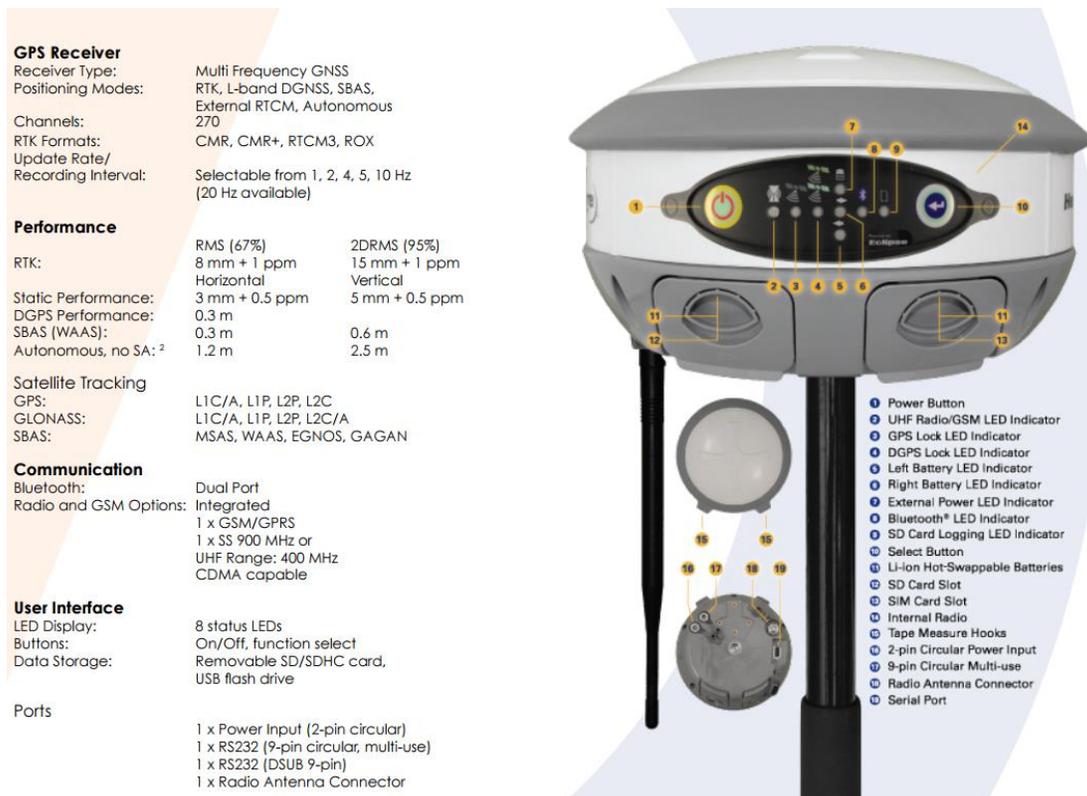


Figura 5. Especificaciones Antena GNSS Hemisphere S320

S321+ GNSS Smart Antenna



<p>GNSS Receiver</p> <p>Receiver Type: Multi-Frequency GNSS Positioning Modes: RTK, L-band, DGNSS, SBAS, Autonomous Channels: 394 RTK Formats: RTCM3, ROX, CMR, CMR+4 L-Band Formats: Atlas H100, Atlas H30, Atlas H10 Update Rate/Recording Interval: Selectable from 1, 2, 4, 5, 10 Hz (20 Hz available)</p> <p>Satellite Tracking</p> <p>GPS: L1CA, L1P, L2P, L2C, L5 GLONASS: G1, G2, P1, P2 BeiDou: B1, B2 QZSS: L1C, L1CA, L2C, L5 Galileo: E1BC, E5a, E5b SBAS: MSAS, WAAS, EGNOS, GAGAN</p> <p>Performance</p> <table border="0"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Horizontal</td> <td style="text-align: center;">Vertical</td> </tr> <tr> <td>RTK: ^{1,2}</td> <td style="text-align: center;">8 mm + 1 ppm</td> <td style="text-align: center;">15 mm + 1 ppm</td> </tr> <tr> <td>Static Performance (long occupation):</td> <td style="text-align: center;">3 mm + 0.1 ppm</td> <td style="text-align: center;">3.5 mm + 0.4 ppm</td> </tr> <tr> <td>Static Performance (rapid occupation):</td> <td style="text-align: center;">3 mm + 0.5 ppm</td> <td style="text-align: center;">5 mm + 0.5 ppm</td> </tr> <tr> <td>L-Band Performance: ^{1,3}</td> <td style="text-align: center;">0.08 m</td> <td style="text-align: center;">0.16 m</td> </tr> <tr> <td>SBAS (WAAS): ¹</td> <td style="text-align: center;">0.3 m</td> <td style="text-align: center;">0.6 m</td> </tr> <tr> <td>Autonomous, no SA: ¹</td> <td style="text-align: center;">1.2 m</td> <td style="text-align: center;">2.4 m</td> </tr> </table> <p>Communication</p> <p>Connectors I/O: 5-pin Lemo connector for external power supply, Serial communication, and external radio devices 7-pin Lemo connector for USB OTG connection and troubleshooting 1 SMA antenna connector for internal radio 1 SMA antenna connector for modem module</p> <p>WebUI: To upgrade the software, manage the status and settings, data download, via smart phone, tablet or other electronic device, configure advanced radio settings</p> <p>TS: Smart voice broadcast system. "Speaking" receiver</p> <p>Reference Outputs: RTCM2.1, RTCM2.3, RTCM3.0, RTCM3.1, RTCM3.2 including MSM</p> <p>Radio</p> <p>Frequency Range: 410 - 470 MHz Channel Spacing: 12.5KHz / 25 KHz Emitting Power: 0.5 / 1 W Operating Range: 3 - 5 km typical/10 km optimal (Depends on terrain and operating environment)</p>		Horizontal	Vertical	RTK: ^{1,2}	8 mm + 1 ppm	15 mm + 1 ppm	Static Performance (long occupation):	3 mm + 0.1 ppm	3.5 mm + 0.4 ppm	Static Performance (rapid occupation):	3 mm + 0.5 ppm	5 mm + 0.5 ppm	L-Band Performance: ^{1,3}	0.08 m	0.16 m	SBAS (WAAS): ¹	0.3 m	0.6 m	Autonomous, no SA: ¹	1.2 m	2.4 m	<p>Cellular</p> <p>PLS8-E (International): 4G - Penta Band LTE - 800/900/1800/2100/2600 MHz - FDD-Band (20, 8, 3, 7, 1) 3G - Tri Band UMTS (WCDMA) - 900/1800/2100 MHz - FDD-Band (8, 3, 1) 2G - Dual Band GSM/GPRS/EDGE - 900/1800 MHz</p> <p>PLS8-X (North America): 4G - Penta Band LTE - 700/700/850/AWS (1700/2100)/1900 MHz - FDD-Band (13, 17, 5, 4, 2) 3G - Tri Band UMTS (WCDMA) - 850/AWS (1700/2100)/1900 MHz - FDD-Band (5, 4, 2) 2G - Quad Band GSM/GPRS/EDGE - 850/900/1800/1900 MHz</p> <p>Power</p> <p>Battery: Hot-swappable 11.1 V - 37.74 Wh intelligent lithium (2 per kit) Battery Life: 12 hour operation from two batteries with UHF radio in Rx mode Voltage: 9 to 22V DC external power input with over-voltage protection (5-pin Lemo) Charge Time: Typically 7 hours</p> <p>Memory</p> <p>SIM card: User accessible SIM card slot Memory: Internal 8 GB, accessible through USB and Wi-Fi. SD card: External Micro SD card slot, supports up to 64 GB.</p> <p>Environmental</p> <p>Operating Temperature: -30°C to 60°C (-22°F to 140°F) Storage Temperature: -40°C to 80°C (-40°F to 176°F) Waterproof/Dustproof: IP67. Protected from temporary immersion to a depth of 1 meter Shock Resistance: MIL-STD-810G, method 516.6 Designed to survive a 2 m pole drop on concrete floor with no damage; designed to survive a 1 m free drop on hardwood floor with no damage Vibration: MIL-STD-810G, method 514.6E-I Humidity: Up to 100% Inflammability: UL recognized, 94HB Flame Class Rating (3). 1.49mm Chemical Resistance: Cleaning agents, soapy water, industrial alcohol, water vapor, solar radiation (UV)</p> <p>Mechanical</p> <p>Size: 14.6 D x 14.8 H (cm) 5.75 D x 5.83 H (in) Weight: <1.38 kgs (<3.05 lbs) Mounting: 5/8"x11, 55° thread angle, stainless steel insert Phase Center Offset: GPS L1 and L2 offset below 2.5mm</p>
	Horizontal	Vertical																				
RTK: ^{1,2}	8 mm + 1 ppm	15 mm + 1 ppm																				
Static Performance (long occupation):	3 mm + 0.1 ppm	3.5 mm + 0.4 ppm																				
Static Performance (rapid occupation):	3 mm + 0.5 ppm	5 mm + 0.5 ppm																				
L-Band Performance: ^{1,3}	0.08 m	0.16 m																				
SBAS (WAAS): ¹	0.3 m	0.6 m																				
Autonomous, no SA: ¹	1.2 m	2.4 m																				

Figura 6. Especificaciones Antena GNSS Hemisphere S321

5.2.3 Nivel electrónico

Estos equipos de alta precisión, se utilizaron en el proyecto para obtener las cotas o elevaciones geométricas en todos los puntos del marco de referencia del proyecto, su uso es electrónico no óptico.

Los niveles electrónicos tienen componentes mecánicos involucrados en la precisión de los datos capturados, por tal motivo si pueden llegar a des calibrarse con el tiempo y/o uso. Los certificados de calibración de estos equipos, se encuentran en el medio digital adjunto al presente informe.

A continuación, se describen las características de los equipos utilizados.

EQUIPO	CARACTERÍSTICA	
 <p>Nivel Electrónico Marca Stonex Stal-232</p> <p>Tomado de http://www.edilportale.com/upload/prodotti/prodot-ti-79176-cat4963bd89bb544416a7b538752f0dec75.pdf</p>	Accuracy	
	Height Accuracy	0.7 mm/km
	Distance accuracy	D<10m: 10mm; D>10m: 0.001xD
	Systems	
	Maximum Range	105 m
	Minimum Range	2 m
	Single measurement speed	< 3 sec.
	Minimum Lighting Condition	20 Lux
	Minimum field of view	> 50 %
	Display	
	Minimum resolution (Ht)	0.1 mm
	Minimum resolution (Dist)	1 mm
	Telescope	
	Magnification	24 x
	Compensator	
	Range	+10'
	Setting accuracy	+0.35
	Communication	
	Internal Memory	2000 measurements
	Interface	RS 232
Environmental conditions		
Operating / Storage Temperature	-10° C - +50° C / - 40° C +70°C	
Protection dust and water	IP55	
Weight		
Weight including battery	< 2.5 kg	
Battery		
AA dry cells (4XLR6 / AA 1.5)		
1800 mAh / 2300 mAh	14/16 hours continuous measurement	

Figura 7 Especificaciones equipo: Nivel Electrónico STONEX

Nota: Se utilizó únicamente en modo electrónico, lectura a código de barras, no se utilizó de manera óptica.

5.2.4 Sistema LIDAR + FOTOGRAMÉTRICO

Este sistema fue utilizado para la captura de nubes de puntos y fotogramas sobre el área de captura definida. La Información capturada permite generar el modelo digital de superficie y terreno, así como el orto-foto-mosaico sobre el límite de factibilidad definido para el proyecto.

El sistema LIDAR empleado; es un sistema aerotransportado que permite la navegación inercial, la toma de fotografías aéreas y puntos láser por barrido. Como opciones adicionales es posible integrar otros sensores. Su esquema principal es el siguiente:

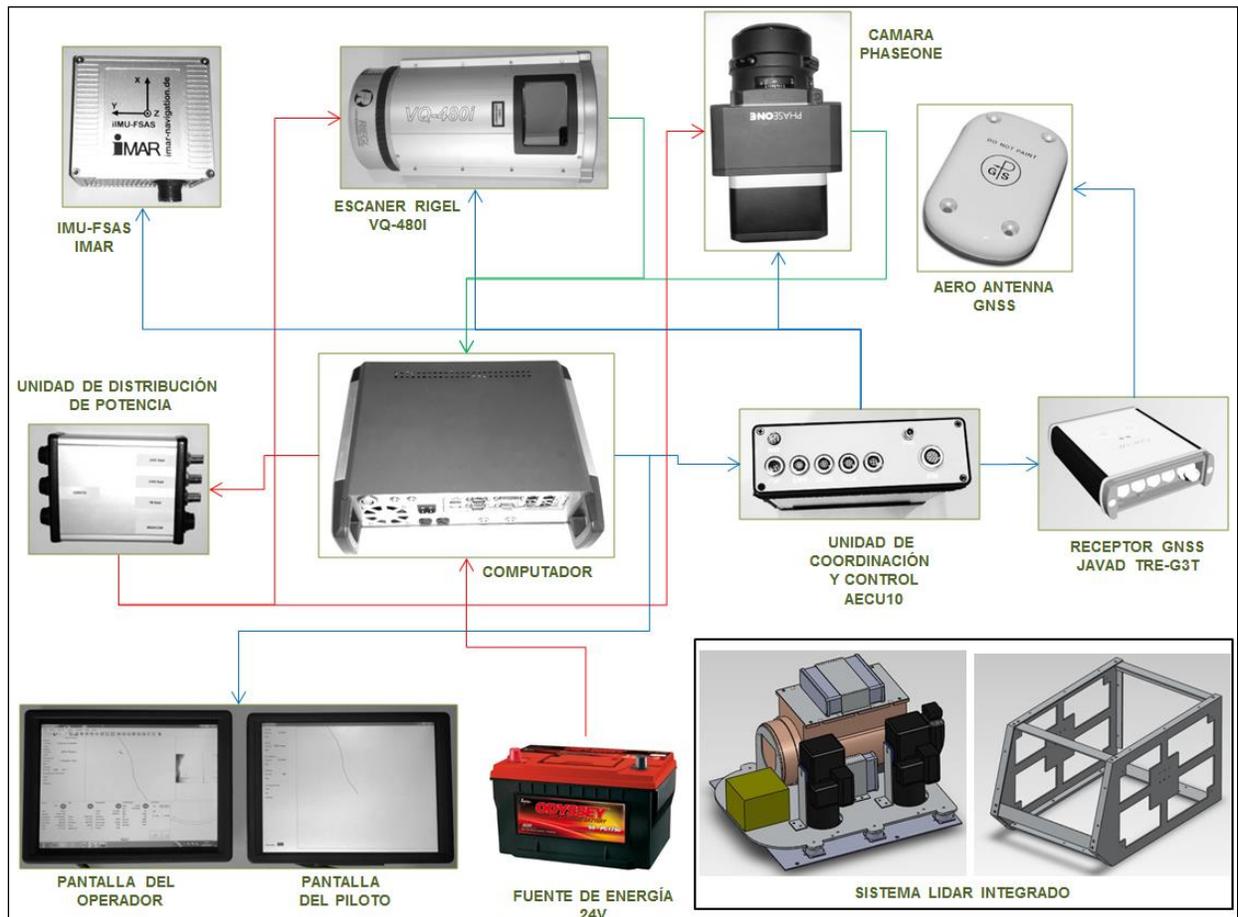


Figura 7. Componentes - Sistema LIDAR + FOTOGRAMÉTRICO

	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	
---	--	---

Como se observa en la figura anterior, el sistema está compuesto por varios equipos de diferentes fabricantes, pero su integración es parte de un proyecto de integración y desarrollo con mejora continua de ingeniería y diseño (I+D).

El sistema de cartografía LIDAR aerotransportado proporciona información 3D de la superficie de la tierra, que incluye modelos de terreno, de superficie, características de la vegetación y características artificiales del paisaje. Lidar es una tecnología de detección activa, es decir, que genera sus propios pulsos de luz y detecta las reflexiones de los impulsos (muy similar al radar y sonar). Dependiendo de la aplicación específica, la adquisición de datos y el tipo de sistema lidar empleado se personalizan para capturar elementos específicos que conducen a la clasificación de los datos y en última instancia al mapeo de productos.

Uno de los elementos clave que ha hecho del LiDAR una "tecnología de elección" para la cartografía moderna y la integración en SIG es el hecho de que los datos se recogen de forma ágil en 3D y georreferenciados, por otro lado, puede ser procesado para clasificar los elementos 3D dentro de la "nube de puntos", y representar las características sobre la superficie terrestre. Desde el punto de vista de asignación, LiDAR es una herramienta muy precisa donde la integridad del conjunto de datos es impresionantemente rica en comparación con las tecnologías tradicionales de mapeo.

5.2.5 Software

5.2.5.1 Herramienta para el control de vuelo

Es la aplicación propia del sistema, responsable de integrar todos los componentes LiDAR y Fotogramétricos, además de sincronizar, recopilar y almacenar los datos, así como mostrar la navegación y sus derivas.

Entre sus principales funciones están:

- Adquirir datos GNSS y mostrar la navegación en tiempo real.
- Adquirir datos de IMU, sincronizados por el PPS y servidos a través de la unidad de coordinación y control.
- Adquirir datos del escáner láser de RIELG, sincronizados sus datos a través del PPS.
- Adquirir datos de cámara sincronizados a través de la Unidad de coordinación y control.

Entre las principales utilidades dispone de:

- Panel de configuración.
- Descripción de las desviaciones de trayectoria.
- Estado de los distintos componentes.
- Plano de navegación.
- Perfil del terreno.

5.2.5.2 Herramientas de cálculo y post-proceso - GNSS - Inercial

 <p>ALCALDIA MAYOR BOGOTÁ D.C. Instituto DESARROLLO URBANO</p>	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	 <p>CONSORCIO CS Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering</p>
---	--	---

Para el post-proceso GNSS del proyecto y cálculo inercial de las operaciones aéreas, se utilizaron herramientas de la casa Novatel.

Dichas aplicaciones se emplean en proyectos que requieren alta precisión en el posicionamiento post-misión, en operaciones estáticas, en movimiento y/o con actitud.

En post-proceso se maximiza la precisión de la solución previamente almacenada en los equipos de posicionamiento (GNSS) y unidades de medición inercial (IMU), empleando los datos de avance y retroceso en el tiempo, y la combinación de los resultados si es necesario. La posición, la velocidad y la solución de actitud pueden ser suavizadas y los datos pueden ser generados en el sistema de coordenadas requerido. Este proceso también ofrece la capacidad de evaluar la fiabilidad de la solución y su precisión.

5.2.5.3 Herramienta para la obtención de puntos láser

Para la obtención adecuada de la nube de puntos láser, se ejecuta software específico y propio del sistema LIDAR, que calcula la posición de cada punto láser interpolando la posición del centro de coordenadas del láser según el tiempo de adquisición de cada punto y transformando después las coordenadas según el sistema láser a coordenadas de la proyección en el sistema establecido para el proyecto.

5.2.5.4 Herramientas para clasificación y edición de puntos Lidar

Las herramientas de clasificación y edición, han sido creados por diferentes desarrolladores y están diseñadas para el manejo eficiente de Nubes de puntos densas, facilitando la creación de modelos digitales de Superficie y de Terreno (MDS, MDT) de cualquier tamaño, proporcionando un flujo de trabajo estable y continuo desde la calibración, coincidencia, interpolación, filtrado, clasificación, suavizado, gestión y visualización, hasta la ceración de productos y entregables finales.

5.2.5.5 Herramienta de edición y ajuste de fotogramas

La edición y ajuste de fotogramas se realiza mediante software propio del fabricante de la cámara. La herramienta permite un manejo excepcional del manejo de color, permite la generación de perfiles de cámara personalizados, cuenta con herramientas de balance de color, ajuste radiométrico, tonalidad, manejo de sombras etc.

5.2.5.6 Herramientas para Aero-triangulación

La Aero-triangulación es un proceso que tiene por objeto obtener las coordenadas de diversos puntos del terreno sobre los fotogramas capturados mediante procedimientos fotogramétricos. Para dicho ajuste se utilizan herramientas de diferentes desarrolladores, mediante técnicas novedosas de fotogrametría digital y procesos de correlación, basadas en algoritmos avanzados y únicos de procesamiento digital de imágenes.

5.2.5.7 Herramientas para orto-rectificación

La orto-rectificación es el proceso donde se eliminan las distorsiones geométricas y de escala inherentes en las fotografías crudas, producto de imperfecciones del sensor, variaciones topográficas y la propia curvatura de la Tierra. El resultado de este proceso son imágenes con la precisión cartográfica y escala invariable de un mapa/plano, pero con el nivel de detalle de una fotografía.

Dicho proceso se lleva a cabo mediante herramientas de diferentes desarrolladores, diseñadas para realizar una orto-rectificación rigurosa de imágenes digitales. De tal manera que se generan orto fotos de alta calidad, es decir, imágenes digitales con escala constante.

5.2.5.8 Otros

Además de las herramientas de cálculo y procesamiento de datos LiDAR y fotogramétricos, también se emplean programas de visualización, revisión, manipulación y presentación, que son importantes para la entrega de los productos finales, como **Google Earth**, programas **CAD**, **SIG**, Herramientas de **Office**, entre otros.

5.3 Herramientas, equipos y vehículos adicionales

Como parte del equipo necesario para lograr los objetivos de tiempo y calidad del proyecto se emplearon las siguientes herramientas, equipos y vehículos adicionales:

- Vehículos 4x4 tipo doble cabina.
- Aeronave tripulada tipo rotor.
- Planta eléctrica, Roto martillos, palas, picas, machete, pintura, etc.
- Referencias metálicas (tornillo, placa, etc.)
- Kit de seguridad y dotación personal.
- Radios de comunicación, cámaras fotográficas, internet inalámbrico, celulares, accesorios, baterías, etc.



Figura 9. Herramientas, equipos y vehículos adicionales

 <p>ALCALDIA MAYOR BOGOTÁ D.C. Instituto DESARROLLO URBANO</p>	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	 <p>CONSORCIO CS Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering</p>
---	--	---

6 METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO IMPLEMENTADA

La metodología utilizada para el desarrollo del levantamiento topográfico, se adecuó a las condiciones de emergencia sanitaria actuales, optimizó los recursos del proyecto, agilizó los procesos de captura y procesamiento de la información y permitió tener un mejor control de calidad en las diferentes actividades desarrolladas.

Igualmente, la metodología desarrollada, garantiza la precisión de los datos entregados, cumple con las especificaciones del contrato de consultoría y está alineada con las normas y estándares para levantamientos topográficos a nivel nacional (Norma Técnica Colombiana – 6271 – Información Geográfica Estudios Topográficos del ICONTEC; Especificaciones Técnicas de Cartografía Básica Digital, de la subdirección de geografía y cartografía IGAC, del 02/03/2016; así como los estándares internacionales ASPRS “Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data” de la American Society for Photogrammetry and Remote Sensing).

Dicha metodología se desarrolló en siete (7) grandes etapas de trabajo así:

1. Alistamiento y diagnóstico inicial del proyecto.
2. Marco de Referencia GNSS.
3. Planificación de Vuelo Lidar y Fotogramétrico.
4. Montaje y Calibración (Sistema Lidar y Fotogramétrico).
5. Captura de información Lidar y Fotogramétricos.
6. Post-Proceso datos Lidar y Fotogramétricos.
7. Construcción de productos y entregables - fase de factibilidad.

A continuación, se describe de manera detallada cada una de las etapas del proceso de levantamiento topográfico ejecutado.

6.1 ALISTAMIENTO Y DIAGNÓSTICO INICIAL DEL PROYECTO

En la etapa de alistamiento y previo al inicio de actividades de campo; se desarrollaron una serie de reuniones con el cliente donde se analizaron las áreas a sobrevolar y demás requerimientos técnicos, documentos, formatos y archivos suministrados; con lo cual se prepararon y socializaron, nuevos documentos y archivos que permitieron delimitar el alcance de los trabajos y planear las diferentes actividades que fueron ejecutadas en el presente estudio.

Tal información fue en su momento revisada y aprobada por el IDU, el cliente y la interventoría del proyecto así:

Documento de revisión y análisis de información existente para el componente de topografía (RAI), Metodología de trabajo propuesta (WBS, Cronograma y Acta de inicio), Certificados de calibración y/o buen funcionamiento de equipos empleados, coordenadas de estaciones permanentes IGAC para el amarre de los estudios, diseño de placa para el marcado de puntos, esquema con la distribución de puntos del marco de referencia, límites aprobados para la captura y procesamiento de datos para fase de factibilidad, plan y permisos de vuelo solicitados, etc. (ver anexos digitales dentro del disco duro entregado).

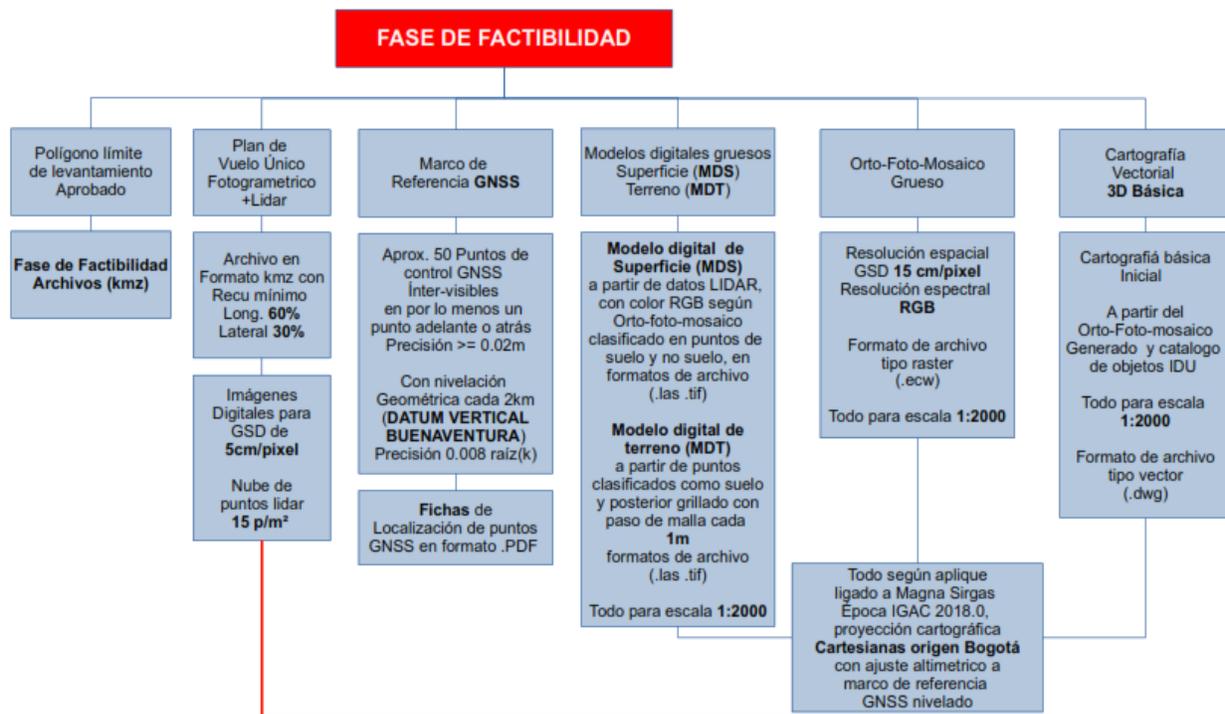


Figura 10. EDT – WBS fase de factibilidad.

	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	
---	--	---

6.1.1 Controles de calidad - Alistamiento y diagnóstico inicial del proyecto

La evidencia y soporte del control de calidad para la etapa de **Alistamiento y diagnóstico inicial del proyecto**, se presenta dentro del medio digital entregado (Disco duro), en la siguientes rutas o carpetas virtuales así:

- Documento informe de recopilación y análisis de información topográfica existente (RAI). Ver (01. Informe General\1.2. Recolección y Análisis de Información).
- Metodología de trabajo resumida también en una estructura de descomposición de trabajo (WBS). Ver (01. Informe General\1.1 Metodología).
- Cronograma genera y de avances de actividades para el componente de topografía. Ver (19. Cronograma)
- Certificados de calibración de equipos utilizados en el estudio. Para la fase de factibilidad solo se utilizó el sistema LiDAR, los receptores GNSS L2 y el nivel de precisión. Ver (05. Certificaciones Calibración Equipos).
- Coordenadas precisas de estaciones permanentes IGAC utilizadas. Ver (09. Vértices IGAC).
- Diseño de placa metálica aprobado para puntos GCP's nuevos del proyecto. Ver (16. Otros Entregables\16.1 Diseño de Placa)
- Esquema de distribución de puntos del Marco de Referencia del proyecto. Ver (13. Esquemas\13.1 Marco de Referencia Ejecutado).
- Plan de Vuelo único en formatos kmz aprobado. Ver (16. Otros Entregables\16.2 Plan de Vuelo)
- Permiso de vuelo. Ver (16. Otros Entregables\16.3 Permiso de Vuelo)

6.2 MARCO DE REFERENCIA GNSS

Un marco de referencia puede estar conformado por una red de elementos físicos materializados y posicionados en campo a lo largo y ancho de la zona estudiada, georreferenciados en el sistema de proyección cartográfico definido para el estudio; o mediante actividades de georreferenciación directa también en el sistema de proyección cartográfico definido para el estudio; a partir de técnicas de levantamiento con correcciones diferenciales en tiempo real o pos-proceso.

Para el presente estudio y sobre el polígono definido para la captura de datos aéreos (polígono de **281.91** hectáreas), se desarrolló un marco de referencia físico mediante la instalación de puntos nuevos denominados **GPS**'s y otros existentes en la zona de proyecto. Tanto los puntos nuevos como los existentes fueron posicionados y nivelados geoméricamente.

Lo anterior, garantiza la calidad en los datos del levantamiento topográfico mediante sensores remotos aerotransportados, así como los posteriores replanteos de infraestructura que se realicen por parte del cliente final o de terceros según fase de proyecto desarrollada. Los puntos del marco de referencia fueron utilizados para realizar un control de calidad en los productos Lidar y fotogramétricos generados a partir del cálculo de RMSE de acuerdo a metodología ASPRS y NSSDA.

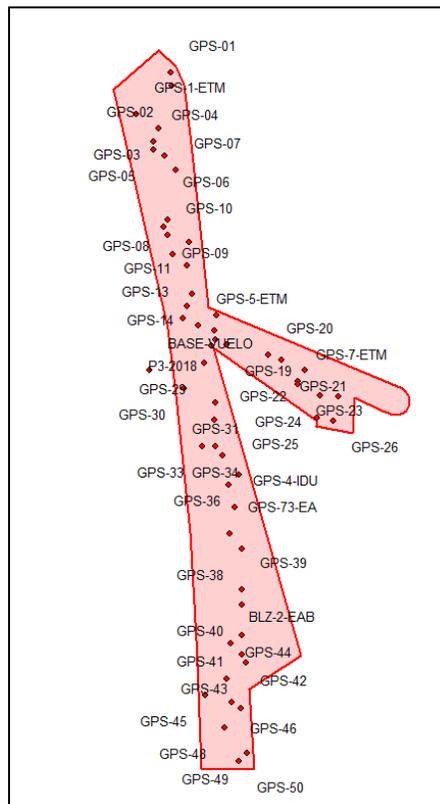


Figura 11. Marco de Referencia GNSS

6.2.1 Diseño - Marco de Referencia GNSS

En oficina se analizaron las condiciones propias de la actividad como: entornos topográficos, puntos estratégicos proyectados y existentes para la distribución de puntos, instalación del personal requerido en el proyecto, tipo y cantidad de equipos a utilizar, permisos requeridos, entre otros.

Durante la etapa de planeación del Marcos de Referencia se tuvo en cuenta la metodología V1 de trabajo presentada la cual solo planteaba puntos en el corredor 20 de Julio, la Victoria, Altamira y Moralba. Sin embargo, el IDU realizo tiempo después observaciones a la metodología presentada con lo cual posterior a los sobrevuelos realizados, se localizaron nuevos puntos que permitieron complementar el marco de referencia en el corredor faltante La Victoria – Juan Rey.

En total, se proyectaron **51** puntos nuevos, **7** puntos existentes y **3** puntos IGAC´s utilizados para amarrar o ligar todo a la red Magna Sirgas establecida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

El diseño del Marco de Referencia se realizó bajo herramientas tipo SIG y Google Earth. El producto de esta actividad es un archivo en formato kmz con el esquema de la distribución espacial de puntos materializados, posicionados, georreferenciados y nivelados geoméricamente. dicho archivo fue cargado a equipos GNSS tipo L1, los cuales permitieron navegar aproximadamente a los sitios proyectados donde el ingeniero de campo definió el mejor lugar para la materialización definitiva de cada punto. El tipo de punto, cantidad, forma de materialización y función, se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 1. Tipo de puntos que constituye el Marco de Referencia del proyecto

TIPO DE PUNTO	CANT	TIPO DE MATERIALIZACIÓN	FUNCIÓN
Estaciones permanentes IGAC (BOGA y BOGT)	2	Estaciones GNSS fijas con posicionamiento permanente por parte del IGAC, las cuales hacen parte de la red MAGNA SIRGAS. Las coordenadas de estos puntos son certificadas por Sirgas para la época del posicionamiento del proyecto o cercano a este con precisión absoluta a nivel milimétrico.	Puntos de control, amarre y/o chequeo que permiten ligar y controlar las coordenadas del proyecto a la establecida oficialmente por el IGAC, mediante correcciones diferenciales en pos-proceso.
Vértices IGAC cercanos a la zona del proyecto con cota geométrica (4-BGT)	1	Mojones de concreto o placas metálicas incrustadas con identificación en su centro, posicionados y materializados por el IGAC. Las cotas o elevaciones de estos puntos son certificadas por el IGAC con referencia al datum vertical Buenaventura; al igual que el modelo GEOCOL2004.	Puntos de control y amarre que permiten ligar y controlar las elevaciones del proyecto al datum vertical Buenaventura oficialmente establecido por el IGAC.
GPS's	51	Puntos materializados por GEOCAM o terceros, mediante placas metálicas, incrustadas en zonas duras; o mojones y/o cilindros de concreto con placa o marca	Puntos distribuidos a lo largo y ancho del proyecto, los cuales conforman el Marco de Referencia del estudio y sirven para ajustar y controlar todos

Otros existentes en la zona de proyecto.	7	metálica materializados en zonas blandas del terreno existente, iluminados con pintura permanente, con identificación en su centro según diseño de placa aprobado por el cliente, si aplica.	los productos Lidar y Fotogramétricos del proyecto.
TOTAL	61	MARCO DE REFERENCIA GNSS (FISICO)	

6.2.2 Materialización - Marcos de Referencia GNSS

El Marcos de Referencia diseñado en oficina con puntos distribuidos uniformemente en el área objeto de este estudio, se almaceno en los equipos GNSS tipo L1 descritos en ítems anteriores, con el objeto de facilitar su navegación en campo y agilizar las actividades de replanteo y materialización.

Una vez localizados en terreno cada punto proyectado, se procedió con la materialización precisa de los mismos. Para ello se tuvo en cuenta que estos debían quedar ubicados a nivel del terreno, en lugares visibles desde el aire y con la menor cantidad de obstáculos alrededor de ellos; así cada punto nuevo se identificó con un numero consecutivo y demás datos aprobados por el cliente, según diseño de placa o marca metálica. Posteriormente tales puntos fueron iluminados con pintura de color rojo y blanco, con el fin de lograr identificarlos tanto en aire como en tierra y poder acceder a ellos, facilitando las labores de foto-control.

Nota: los puntos que complementaron el marco de referencia desde La victoria hasta Juan Rey fueron iluminados posteriores a la actividad de sobrevuelo y captura de datos Lidar y Fotogramétricos, para lo cual se utilizó el producto de orto-foto generada como referencia para la localización en terreno de tales puntos.

La materialización se realizó mediante la instalación de placas metálicas incrustadas directamente en zonas duras del terreno existente y en zonas blandas del terreno existente mediante mojoneros de concreto con placa metálica, de 30cm x 30cm de lado y 80 cm de profundidad. En todo caso el lugar definido para la materialización de cada punto procuro garantizar perdurabilidad, horizonte despejado, estabilidad y accesibilidad. A continuación, se muestran el tipo de puntos y marca materializados en campo para los puntos denominados GPS`s



Figura 12. Ejemplo – Punto materializado

6.2.3 Amarre Horizontal IGAC – Marco de Referencia GNSS

Para el amarre y control horizontal del Marco de Referencia GNSS del proyecto, se utilizó un punto denominado **BASE VUELO** localizado en una terraza de una de las edificaciones cercanas al proyecto y las estaciones permanentes de la red Magna Sirgas del IGAC, denominadas **BOGA** y **BOGT** localizadas en Bogotá. Posteriormente a partir de las coordenadas precisas del punto **BASE VUELO** se densificó el posicionamiento a los demás puntos del marco de referencia del estudio teniendo en cuenta también las estaciones permanentes IGAC anteriormente descritas.



Figura 13. Punto principal de amarre Marco de referencia GNSS

Tabla 2. Coordenadas vértices de amarre y chequeo IGAC

NOMBRE	COORDENADAS MAGNA SIRGAS CARTESIANAS BOGOTA-2011 ÉPOCA IGAC 2018.0		ALTURA ELIPSOIDAL WGS84	ALTURA ORTOMÉTRICA GEOCOL2004
	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACIÓN (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)
BOGA	104696.764	99732.255	2609.758	2583.558
BOGT	104850.742	99622.343	2576.227	2550.027

Considerando la localización del proyecto y teniendo en cuenta los requerimientos técnicos, se determinó utilizar para todo el estudio, sus productos y entregables el sistema de proyección cartográfico a nivel horizontal denominado **CARTESIANAS BOGOTA-2011**; todo calculado en época de referencia IGAC **2018.0**, según requerimientos IDU.



Figura 14. Vértices de amarre IGAC – Marco de Referencia GNSS

6.2.4 Posicionamiento – Marco de Referencia GNSS

El día 26 de enero de 2021 fue posicionado el punto denominado **BASE VUELO** desde las estaciones permanentes IGAC denominadas **BOGA y BOGT**. Posteriormente, se realizó la densificación de los demás puntos del Marco de Referencia del proyecto, mediante múltiples jornadas de posicionamiento GNSS en modo estático diferencial durante los días 11, 12 y 13, de febrero de 2021, y continuando los días 3 y 4 de marzo de 2021; trasladando coordenadas geográficas y cota elipsoidal mediante la técnica de posicionamiento GNSS en modo estático diferencial.

El método de posicionamiento GNSS Estático en modo Diferencial, se usa para la medición de líneas bases de media, corta y larga distancia; consiste en la ocupación simultánea de dos o más vértices durante un período suficiente de tiempo dependiendo del número de satélites y la distancia de las líneas base; los receptores se mantienen estacionarios en tanto registran los datos, esta información posteriormente fue post-procesada en oficina, con el fin de lograr las precisiones requeridas para el estudio.

La siguiente tabla muestra los tiempos de observación aproximados para diferentes longitudes de líneas base, trabajando con un sensor de **dobles frecuencias en latitudes medias** y bajo las condiciones ionosféricas que prevalecen actualmente.

Tabla 3. Guía para mediciones en modo Estático y Estático Rápido

Método de Observación	Núm. de sats.GDOP ≤ 8	Longitud de Línea Base	Tiempo de Observación aprox.	
			de día	de noche
Estático Rápido	4 o más	Hasta 5 km	5 a 10 min	5 min
	4 o más	5 a 10 km	10 a 20 min	5 a 10 min
	5 o más	10 a 15 km	20 min o más	5 a 20 min
Estático	4 o más	15 a 30 km	1 a 2 horas	1 hora
	4 o más	Más de 30 km	2 a 3 horas	2 horas

Fuente Leica Geosystems.

La información registrada en las antenas GNSS utilizadas, corresponde a archivos binarios que en oficina son convertidos al formato estándar denominado RINEX para luego ser procesados mediante herramientas de cálculo comerciales.

A continuación, se presenta el compendio de carteras de campo para el posicionamiento del Marco de Referencia GNSS del proyecto, incluyendo las sesiones en puntos que tuvieron algún inconveniente o que no lograron las precisiones mínimas requeridas en la etapa de post-proceso y que posteriormente fueron re-posicionados.

Tabla 4. Cronología del posicionamiento – Marco de Referencia GNSS

PUNTO	Alt Inst (m) ARP	TIPO	EQUIPO	SERIAL COLOR	SESION	OBS	FECHA	BASE Y/O AMARRE
BOGA	1.551	VERTICAL	TRIMBLE NETR9	N/A	A		26-ene-21	BOGA BOGT
BOGT	0.061	VERTICAL	JAVRINGANT_DM	N/A	A			
BASE VUELO	1.645	VERTICAL	S321	AZUL	A			
BASE VUELO	1.665	VERTICAL	S321	AZUL	A		11-feb-21	BASE VUELO
GPS-27	1.387	VERTICAL	S321	AMARILLO	A	REPETIR		
GPS-26	1.462	VERTICAL	S320	VERDE	A			
GPS-24	1.650	VERTICAL	S321	AMARILLO	B	REPETIR		
GPS-25	1.472	VERTICAL	S320	VERDE	B			
GPS-23	1.430	VERTICAL	S320	VERDE	C			
GPS-7-ETMVA	1.660	VERTICAL	S321	AMARILLO	C			
BASE VUELO	1.695	VERTICAL	S321	AZUL	A		12-feb-21	BASE VUELO
GPS-19	1.650	VERTICAL	S321	AMARILLO	A			
GPS-18	1.452	VERTICAL	S320	ROJO	A			
P3-2018	1.500	VERTICAL	S320	VERDE	A			
GPS-17	1.670	VERTICAL	S321	AMARILLO	B			
GPS-5-ETMVA	1.368	VERTICAL	S320	ROJO	B			
GPS-16	1.415	VERTICAL	S320	VERDE	B			
GPS-14	1.712	VERTICAL	S321	AMARILLO	C			
GPS-15	1.411	VERTICAL	S320	ROJO	C			
GPS-21	1.318	VERTICAL	S320	VERDE	C			
GPS-22	1.770	VERTICAL	S321	AMARILLO	D			
GPS-20	1.500	VERTICAL	S320	ROJO	D			
GPS-11	1.465	VERTICAL	S320	VERDE	D			
GPS-12	1.499	VERTICAL	S320	ROJO	E			
GPS-13	1.723	VERTICAL	S321	AMARILLO	E			
GPS-09	1.582	VERTICAL	S321	AMARILLO	F			
GPS-10	1.446	VERTICAL	S320	ROJO	F			
BASE VUELO	1.665	VERTICAL	S321	AMARILLO	A		13-feb-21	BASE VUELO
GPS-1-ETMVA	1.495	VERTICAL	S320	ROJO	A			
GPS-04	1.545	VERTICAL	S320	VERDE	A			
GPS-05	1.722	VERTICAL	S321	AZUL	A			
GPS-03	1.508	VERTICAL	S320	ROJO	B			
GPS-02	1.463	VERTICAL	S320	VERDE	B			

PUNTO	Alt Inst (m) ARP	TIPO	EQUIPO	SERIAL COLOR	SESION	OBS	FECHA	BASE Y/O AMARRE
GPS-01	1.751	VERTICAL	S321	AZUL	B			
GPS-07	1.474	VERTICAL	S320	VERDE	C			
GPS-06	1.480	VERTICAL	S320	ROJO	C			
GPS-08	1.763	VERTICAL	S321	AZUL	C			
GPS-27	1.754	VERTICAL	S320	VERDE	D			
GPS-24	2.570	VERTICAL	S321	AZUL	D			
BASE VUELO	1.675	VERTICAL	S321	AZUL	A		3-mar-21	BASE VUELO
GPS-28	1.521	VERTICAL	S320	VERDE	A			
GPS-29	1.705	VERTICAL	S321	AMARILLO	A			
GPS-30	1.397	VERTICAL	S320	ROJO	A			
GPS-31	3.4	VERTICAL	S321	AMARILLO	B			
GPS-32	1.549	VERTICAL	S320	VERDE	B			
GPS-34	1.465	VERTICAL	S320	ROJO	B			
GPS-33	1.479	VERTICAL	S320	VERDE	C			
GPS-35	1.5	VERTICAL	S321	AMARILLO	C			
GPS-38	1.46	VERTICAL	S320	ROJO	C			
GPS-36	1.793	VERTICAL	S321	AMARILLO	D			
GPS-37	1.485	VERTICAL	S320	VERDE	D			
GPS-4-IDU	1.53	VERTICAL	S321	AMARILLO	E			
GPS-39	1.398	VERTICAL	S320	VERDE	E			
BASE VUELO	1.597	VERTICAL	S321	AMARILLO	A		4-mar-21	BASE VUELO
GPS-49	1.412	VERTICAL	S320	ROJO	A			
GPS-50	1.468	VERTICAL	S320	VERDE	A			
GPS-48	1.685	VERTICAL	S321	AZUL	A			
GPS-47	1.446	VERTICAL	S320	ROJO	B			
GPS-46	1.707	VERTICAL	S321	AZUL	B			
GPS-45	1.39	VERTICAL	S320	VERDE	B			
GPS-44	1.785	VERTICAL	S321	AZUL	C			
GPS-43	1.496	VERTICAL	S320	VERDE	C			
GPS-42	3.4	VERTICAL	S321	AZUL	D			
GPS-BLZ-2-EAB	1.34	VERTICAL	S320	ROJO	C			
GPS-41	1.338	VERTICAL	S320	ROJO	D			
GPS-40	1.37	VERTICAL	S320	VERDE	D			
GPS-73-EAAB	1.699	VERTICAL	S321	AZUL	E			

6.2.5 Post-proceso – Marco de Referencia GNSS

 <p>ALCALDIA MAYOR BOGOTÁ D.C. Instituto DESARROLLO URBANO</p>	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	 <p>CONSORCIO CS Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering</p>
---	--	---

El post-proceso de datos GNSS para el método diferencial empleado, es básicamente el procedimiento posterior al posicionamiento en campo; mediante el cual en oficina se transforman y calculan todos los datos binarios capturados por los receptores, para corregir las ambigüedades del sistema GNSS mediante correcciones diferenciales, hasta lograr la georreferenciación precisa de los puntos del marco de referencia y transformarlos luego a la época y sistema de proyección cartográfico establecido para el proyecto (**MAGNA SIRGAS CARTESIANAS BOGOTA-2011-ÉPOCA IGAC 2018.0**).

La geo-referenciación es una técnica geográfica, que consiste en asignar a un espacio o elemento localizado sobre la superficie terrestre, mediante cualquier medio técnico apropiado, una serie de coordenadas procedentes de una o varias referencias conocidas; en este caso las referencias conocidas son las coordenadas precisas, en la época actual del posicionamiento (**2020.98**) calculadas por SIRGAS para los puntos de las estaciones permanentes IGAC denominadas **BOGA y BOGT**.

Para determinar las coordenadas precisas de los puntos posicionados, se utilizó la técnica de posicionamiento GNSS estático en modo Diferencial, utilizando efemérides precisas para los cálculos en post-proceso de los mismos.

El cálculo o post-proceso de los vectores GNSS se realizó a través del programa GrafNet de la casa Novatel. GrafNet es un paquete de procesamiento por lotes y redes en modo estático, cuenta con soporte de datos para múltiples fabricantes de receptores GNSS, aprovecha las características del procesamiento local con estaciones base diferencial, ejecuta procesamiento hacia adelante y hacia atrás en el tiempo y aplica efemérides precisas e información de órbita y reloj de los satélites, con el fin de generar una solución precisa para un intervalo de confianza dado del 95% RMSE.

Las coordenadas precisas publicadas por **SIRGAS** para los puntos de las estaciones permanentes empleadas se descargaron en la época actual media del posicionamiento (**2020.98**). Con los datos de coordenadas precisas de los puntos IGAC (**BOGA y BOGT**), en la época actual de posicionamiento (**2020.98**) y fijándolos como estaciones base, se post-procesaron con doble determinación todos los puntos del Marco de Referencia. Por último, los resultados obtenidos se transformaron a la época IGAC 2018.0 mediante el aplicativo **MAGNA SIRGAS 5** y el modelo de velocidades VEMOS 2017.

Para la realización de los cálculos en post-proceso se consideraron los siguientes aspectos:

- Verificación en laboratorio del buen funcionamiento de los receptores GNSS previo al posicionamiento.
- Uso de efemérides precisas del IGNS para las semanas y días en que se realizó el posicionamiento, con el fin de garantizar la correcta ubicación de los satélites observados.
- Coordenadas certificadas de puntos IGAC en época media actual del posicionamiento, con el fin de realizar el amarre y los respectivos chequeos o verificaciones.
- Configuración en el software GRAFNET de los parámetros de las antenas GNSS utilizadas.

6.2.5.1 Resultados del post-proceso – Marco de Referencia GNSS

Con los resultados del posicionamiento, se realizaron una serie de verificaciones, chequeo o controles de calidad, con el cual se logró identificar el estado y/o consistencia entre las coordenadas publicadas por SIRGAS y las coordenadas calculadas por GEOCAM en las bases utilizadas para el cálculo (**BOGA y BOGT**).

Tabla 5. Chequeos bases permanentes IGAC

COORDENADAS GEOCENTRICAS ECEF - ÉPOCA IGAC 2018.0				
PUNTO IGAC DE CHEQUEO (BASE BOGA-BOGT)	X (m)	Y (m)	Z (m)	FUENTE
BOGA	1744517.137	-6116050.993	512581.109	GEOCAM
	1744517.140	-6116050.998	512581.109	SIRGAS
DIFERENCIAS (m)	-0.003	0.005	0.000	

COORDENADAS GEOCENTRICAS ECEF - ÉPOCA IGAC 2018.0				
PUNTO IGAC DE CHEQUEO (BASE BOGA-BOGT)	X (m)	Y (m)	Z (m)	FUENTE
BOGT	1744398.871	-6116037.020	512731.881	GEOCAM
	1744398.869	-6116037.016	512731.883	SIRGAS
DIFERENCIAS (m)	0.002	-0.004	-0.002	

Los resultados de las diferencias en coordenadas y cotas de las verificaciones realizadas, demuestran que existe una consistencia en los puntos IGAC utilizados ya que las diferencias encontradas son normales o típicas para los métodos utilizados del control de calidad. Para más información consultar documentos sobre **teoría de errores en las mediciones** (<https://www.youtube.com/watch?v=gzX1U0fH07U>).

Por lo anterior los puntos principales de amarre (**BOGA y BOGT**), con sus respectivas coordenadas precisas en época IGAC (**2018.0**), certificadas por **SIRGAS** y calculadas por **GEOCAM**, se utilizaron para los cálculos mediante doble determinación en todos los puntos materializados del Marco de Referencia del proyecto.

Una vez superada la etapa de control de calidad y chequeo, se presentan a continuación los resultados de la georreferenciación para todos los puntos del Marco de Referencia. Los resultados finales del cálculo diferencial durante las actividades de procesamiento de datos GNSS pasaron las pruebas estadísticas garantizando precisiones horizontales \leq a **0.02m** para un **RMSE al 95%** de confianza como se evidencia en el reporte de ajuste de red presentado en los anexos digitales del disco duro entregado.



ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.



Tabla 6. Resultados pos proceso marco de referencia GNSS

```

*****
DATUM:          'WGS84'
GRID:           Cartesianas Bogotá - Magna
SCALE_FACTOR:  0.5430
CONFIDENCE LEVEL: 95.00 % (Scale factor is 2.4479)
*****

```

```

*****
CONTROL POINT RESIDUALS (ADJUSTMENT MADE)
*****

```

STA. NAME	-- RE -- (m)	-- RN -- (m)	-- RH -- (m)
BOGA	-0.0011	0.0017	-0.0050
BOGT	0.0011	-0.0017	0.0050

RMS	0.0011	0.0017	0.0050

GPS-48 to GPS-50 (1)	-0.0004	0.0015	0.0020	9.451	0.3
0.0128					
GPS-49 to GPS-50 (1)	-0.0043	0.0011	-0.0007	53.951	0.1
0.0113					
GPS-7-ETM to GPS_23 (1)	0.0046	0.0013	0.0011	258.147	0.0
0.0108					

RMS	0.0060	0.0060	0.0142		

\$ - This session is flagged as a 3-sigma outlier

```

*****
VARIANCE FACTOR = 1.0022

Note: Values < 1.0 indicate statistics are pessimistic, while
      values > 1.0 indicate optimistic statistics. Entering this
      value as the network adjustment scale factor will bring
      variance factor to one.
*****

```

Tabla 7. Coordenadas finales – Marco de Referencia GNSS

NOMBRE	COORDENADAS GEOGRÁFICAS WGS84 ÉPOCA IGAC 2018.0		COORDENADAS MAGNA SIRGAS CARTESIANAS BOGOTA-2011 ÉPOCA IGAC 2018.0	
	LATITUD WGS84 dd°mm'ss.s" N	LONGITUD WGS84 dd°mm'ss.s" W	NORTE (m)	ESTE (m)
BOGA	4.63868270	-74.07994964	104696.764	99732.255
BOGT	4.64007466	-74.08093968	104850.742	99622.343
BLZ-2-EAB	4.52955548	-74.09145243	92624.327	98456.355
GPS-1-ETMVA	4.56384726	-74.09757547	96417.845	97776.326
GPS-5-ETMVA	4.55018264	-74.09356135	94906.213	98222.057
GPS-7-ETMVA	4.54653141	-74.08710803	94502.348	98938.509
GPS-4-IDU	4.53840903	-74.09116775	93603.764	98487.884
GPS-73-EAAB	4.53667971	-74.09149978	93412.453	98451.038
P3-2018	4.54922648	-74.09242767	94800.446	98347.921
BASE-VUELO	4.54724898	-74.09668295	94581.647	97875.534
GPS-01	4.56659952	-74.09531485	96722.335	98027.263
GPS-02	4.56574593	-74.09524583	96627.906	98034.932
GPS-03	4.56292988	-74.09612107	96316.370	97937.791
GPS-04	4.56211424	-74.09641069	96226.136	97905.645
GPS-05	4.56154851	-74.09645151	96163.552	97901.118
GPS-06	4.56115225	-74.09571294	96119.722	97983.113
GPS-07	4.56023174	-74.09498074	96017.894	98064.404
GPS-08	4.55700410	-74.09548851	95660.829	98008.059
GPS-09	4.55657849	-74.09575551	95613.743	97978.422
GPS-10	4.55601357	-74.09553249	95551.250	98003.185
GPS-11	4.55559415	-74.09412613	95504.862	98159.315
GPS-12	4.55476328	-74.09518052	95412.938	98042.269
GPS-13	4.55404421	-74.09426264	95333.397	98144.172
GPS-14	4.55220644	-74.09394705	95130.095	98179.223
GPS-15	4.55139899	-74.09427488	95040.766	98142.836
GPS-16	4.55060022	-74.09453950	94952.400	98113.465
GPS-17	4.55085861	-74.09235719	94981.002	98355.732
GPS-18	4.54982342	-74.09251898	94866.483	98337.779
GPS-19	4.54894014	-74.09173487	94768.776	98424.835
GPS-20	4.54827871	-74.08901760	94695.628	98726.500
GPS-21	4.54789619	-74.08816988	94653.318	98820.614
GPS-22	4.54729181	-74.08664007	94586.473	98990.453
GPS-23	4.54636020	-74.08709749	94483.408	98939.681
GPS-24	4.54563954	-74.08564037	94403.698	99101.451
GPS-25	4.54418188	-74.08587634	94242.440	99075.268

NOMBRE	COORDENADAS GEOGRÁFICAS WGS84 ÉPOCA IGAC 2018.0		COORDENADAS MAGNA SIRGAS CARTESIANAS BOGOTA-2011 ÉPOCA IGAC 2018.0	
	LATITUD WGS84 dd°mm'ss.s" N	LONGITUD WGS84 dd°mm'ss.s" W	NORTE (m)	ESTE (m)
GPS-26	4.54400596	-74.08484480	94222.989	99189.787
GPS-27	4.54556050	-74.08450118	94394.965	99227.919
GPS-28	4.54888124	-74.09266575	94762.252	98321.494
GPS-29	4.54770204	-74.09313865	94631.797	98269.004
GPS-30	4.54607296	-74.09443495	94451.567	98125.107
GPS-31	4.54517330	-74.09239335	94352.058	98351.765
GPS-32	4.54404679	-74.09250610	94227.436	98339.258
GPS-33	4.54234803	-74.09330269	94039.502	98250.837
GPS-34	4.54233314	-74.09240896	94037.863	98350.056
GPS-35	4.54176134	-74.09196164	93974.610	98399.721
GPS-36	4.54051131	-74.09088461	93836.333	98519.300
GPS-37	4.53980723	-74.09159572	93758.438	98440.360
GPS-38	4.53565337	-74.09073316	93298.919	98536.154
GPS-39	4.53301075	-74.09072435	93006.576	98537.155
GPS-40	4.53207961	-74.09073097	92903.569	98536.428
GPS-41	4.53005861	-74.09074387	92679.992	98535.013
GPS-42	4.52880101	-74.09074370	92540.869	98535.042
GPS-43	4.52830227	-74.09044604	92485.698	98568.092
GPS-44	4.52722845	-74.09170320	92366.894	98428.534
GPS-45	4.52617294	-74.09307613	92250.115	98276.121
GPS-46	4.52573925	-74.09137162	92202.152	98465.357
GPS-47	4.52533482	-74.09079468	92157.418	98529.413
GPS-48	4.52411027	-74.09180458	92021.941	98417.304
GPS-49	4.52242381	-74.09041257	91835.386	98571.859
GPS-50	4.52188096	-74.09093953	91775.328	98513.360

6.2.6 Amarre vertical – Marco de Referencia GNSS

Con el fin de ligar el proyecto en cota a elevaciones estandarizadas por el IGAC para el país (datum vertical Buenaventura); se realizaron actividades de nivelación geométrica sobre todos los puntos del Marco de Referencia GNSS del estudio.

Como punto principal de amarre vertical, se utilizó la cota geométrica certificada por el IGAC del punto denominado **4-BGT**, con elevación geométrica calculada en el año 2007 (**2575.783 m.s.n.m**). A partir de esta cota se realizaron las actividades de nivelación y contra nivelación, pasando por cada uno de los puntos del Marco de Referencia del proyecto.

Las nivelaciones de precisión, se realizaron con nivel electrónico con lectura en mira dispuesta de código de barras, siguiendo la técnica de Nivelación Geométrica Compuesta con circuitos de nivelación, contra nivelación y cierre o comúnmente llamada de polígono cerrado. Este método consiste en medir las distancias verticales y elevaciones de manera directa. Se realiza con el objetivo de establecer puntos de control partiendo de una cota conocida, obteniendo así las elevaciones en cada cambio o armado del equipo, de modo que el nivel se traslada constantemente y así la altura instrumental difiere cada vez que existe un cambio. Ver (<https://www.youtube.com/watch?v=90B8B0saMmw>).

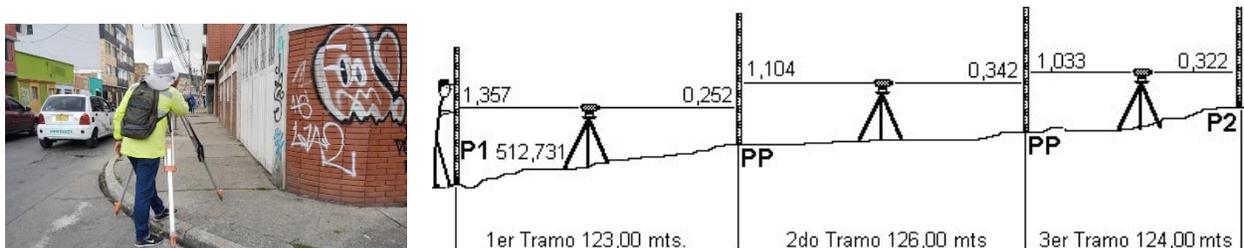


Figura 15 Esquema metodología de nivelación.

En las nivelaciones como en cualquier otro tipo de trabajo topográfico, es necesario que los resultados tengan una debida comprobación, con el objetivo de detectar cualquier equivocación cometida y poder controlar los errores propios del proceso natural de trabajo. La comprobación utilizada para la presente actividad, es como ya se mencionó la de una nivelación y contra nivelación por circuito, para finalmente verificar que los cierres en los puntos de inicio se encuentren dentro de tolerancias aceptables ($0.008\sqrt{K}$, donde k es la distancia del circuito nivelado en kilómetros y el resultado se debe interpretar en metros). Es decir, las precisiones de las nivelaciones no deberán superara los 0.008 metros por kilómetro nivelado y contra-nivelado. **Lo anterior no implica que solo se puedan realizar circuitos de nivelación de máximo 1 km.**

6.2.6.1 Post-proceso de la nivelación de precisión

La actividad de post-proceso, tiene por objeto el cálculo de las cotas de la nivelación y contra nivelación para su verificación en el cierre. En los casos en que los circuitos de nivelación se realizan partiendo desde el punto con elevación conocida y certificada y que los cierres de los circuitos se encuentran dentro de las tolerancias del estudio; no es necesario realizar calculo y/o ajuste alguno. En los casos donde se emplean varias comisiones de trabajo partiendo de elevaciones arbitrarias, es necesario recalculer los circuitos de nivelación para ligarlos con el punto de control principal altimétrico seleccionado para el estudio. Cuando un circuito de nivelación contra nivelación y cierre no da dentro de las tolerancias requeridas en el estudio simplemente debe repetirse hasta que este cumpla con las especificaciones.

6.2.6.2 Resultados de la nivelación de precisión

El cálculo de las nivelaciones realizadas evidencio que todos los circuitos nivelados y contra nivelados lograron precisiones superiores al límite máximo permitido de $0.008\sqrt{K}$. Los resultados de cálculo de la red de nivelación geométrica realizada sobre puntos del marco de referencia del estudio son presentados en los anexos digitales del disco duro entregado.

Con los datos de elevaciones elipsoidales, elevaciones geométricas y elevaciones GEOCOL2004 o valores de elevación de cualquier otro modelo geoidal, obtenidos en los puntos del marco de referencia es posible realizar un cálculo entre elevaciones para determinar un modelo de ondulación geoidal local no gravimétrico con el cual se pueden hacer un control de calidad grafico de los valores altimétricos de todos los puntos de la red. El control de calidad básicamente se realiza observando el paralelismo entre datos de elevación el cual debe ser lo más homogéneo y constante posible. A continuación, se presenta la gráfica o modelo de ondulación local no gravimétrico resultante.

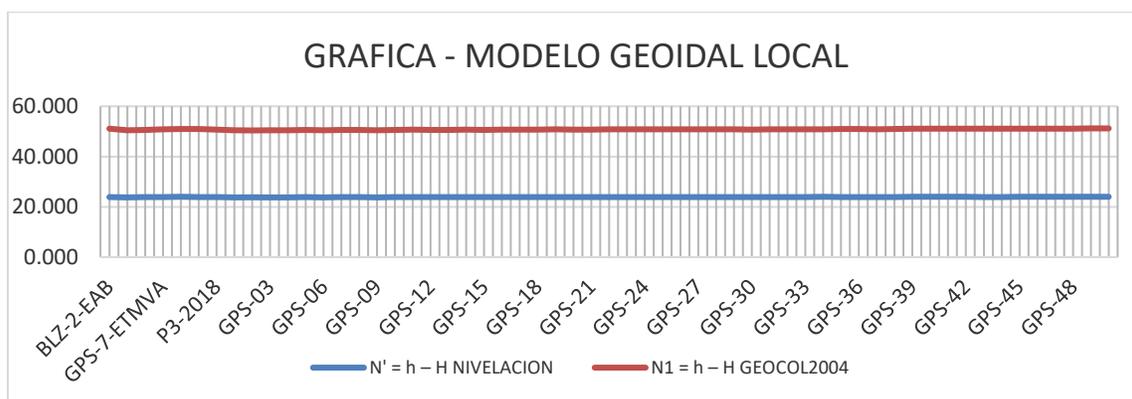


Figura 16 Esquema modelo geoidal local no gravimétrico.

A continuación, se presentan los resultados finales de las elevaciones geométricas para cada uno de puntos del Marco de Referencia del proyecto.

Tabla 8. Resultado cotas geométricas – Marco de referencia GNSS

NOMBRE	ALTURA ELIPSOIDAL WGS84	ALTURA GEOMÉTRICA NIVEL DE PRECISION
	ELEVACIÓN (m.s.n.e)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)
BOGA	2609.758	N/A
BOGT	2576.227	N/A
4-BGT	N/A	2575.783
BLZ-2-EAB	2947.919	2923.970
GPS-1-ETMVA	2647.014	2623.196
GPS-5-ETMVA	2764.832	2740.994
GPS-7-ETMVA	2865.901	2842.026
GPS-4-IDU	2891.087	2867.125
GPS-73-EAAB	2897.068	2873.121
P3-2018	2774.532	2750.644
BASE-VUELO	2741.301	N/A
GPS-01	2638.432	2614.619
GPS-02	2640.614	2616.805
GPS-03	2659.572	2635.744
GPS-04	2661.822	2637.997
GPS-05	2661.992	2638.137
GPS-06	2670.105	2646.282
GPS-07	2680.839	2656.989
GPS-08	2732.291	2708.447
GPS-09	2742.112	2718.283
GPS-10	2753.373	2729.523
GPS-11	2759.057	2735.186
GPS-12	2764.693	2740.847
GPS-13	2755.569	2731.721
GPS-14	2755.458	2731.584
GPS-15	2752.960	2729.108
GPS-16	2754.792	2730.921
GPS-17	2774.869	2751.005
GPS-18	2777.313	2753.442
GPS-19	2786.117	2762.218
GPS-20	2831.664	2807.804
GPS-21	2840.501	2816.623
GPS-22	2862.096	2838.220
GPS-23	2865.440	2841.560

NOMBRE	ALTURA ELIPSOIDAL WGS84	ALTURA GEOMÉTRICA NIVEL DE PRECISION
	ELEVACIÓN (m.s.n.e)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)
GPS-24	2888.259	2864.357
GPS-25	2889.778	2865.901
GPS-26	2903.650	2879.756
GPS-27	2903.472	2879.568
GPS-28	2773.674	2749.761
GPS-29	2779.151	2755.261
GPS-30	2773.827	2749.944
GPS-31	2797.494	2773.589
GPS-32	2786.121	2762.228
GPS-33	2826.906	2803.012
GPS-34	2827.013	2803.036
GPS-35	2843.978	2820.056
GPS-36	2868.268	2844.345
GPS-37	2880.942	2857.032
GPS-38	2905.184	2881.237
GPS-39	2929.393	2905.427
GPS-40	2937.164	2913.203
GPS-41	2947.252	2923.283
GPS-42	2970.264	2946.297
GPS-43	2983.857	2959.907
GPS-44	2982.027	2958.075
GPS-45	2980.778	2956.815
GPS-46	2994.755	2970.784
GPS-47	3006.467	2982.488
GPS-48	3012.121	2988.149
GPS-49	3045.647	3021.655
GPS-50	3046.252	3022.241

6.2.7 Resumen coordenadas y cotas de proyecto – Marco de Referencia GNSS

Tabla 9. Resumen coordenadas y cotas de proyecto – Marco de Referencia GNSS

NOMBRE	COORDENADAS MAGNA SIRGAS CARTESIANAS BOGOTA-2011 ÉPOCA IGAC 2018.0		ALTURA GEOMÉTRICA NIVEL DE PRECISION
	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)
BOGA	104696.764	99732.255	N/A
BOGT	104850.742	99622.343	N/A
4-BGT	N/A	N/A	2575.783
BLZ-2-EAB	92624.327	98456.355	2923.970
GPS-1-ETMVA	96417.845	97776.326	2623.196
GPS-5-ETMVA	94906.213	98222.057	2740.994
GPS-7-ETMVA	94502.348	98938.509	2842.026
GPS-4-IDU	93603.764	98487.884	2867.125
GPS-73-EAAB	93412.453	98451.038	2873.121
P3-2018	94800.446	98347.921	2750.644
BASE-VUELO	94581.647	97875.534	N/A
GPS-01	96722.335	98027.263	2614.619
GPS-02	96627.906	98034.932	2616.805
GPS-03	96316.370	97937.791	2635.744
GPS-04	96226.136	97905.645	2637.997
GPS-05	96163.552	97901.118	2638.137
GPS-06	96119.722	97983.113	2646.282
GPS-07	96017.894	98064.404	2656.989
GPS-08	95660.829	98008.059	2708.447
GPS-09	95613.743	97978.422	2718.283
GPS-10	95551.250	98003.185	2729.523
GPS-11	95504.862	98159.315	2735.186
GPS-12	95412.938	98042.269	2740.847
GPS-13	95333.397	98144.172	2731.721
GPS-14	95130.095	98179.223	2731.584
GPS-15	95040.766	98142.836	2729.108
GPS-16	94952.400	98113.465	2730.921
GPS-17	94981.002	98355.732	2751.005
GPS-18	94866.483	98337.779	2753.442
GPS-19	94768.776	98424.835	2762.218
GPS-20	94695.628	98726.500	2807.804
GPS-21	94653.318	98820.614	2816.623

NOMBRE	COORDENADAS MAGNA SIRGAS CARTESIANAS BOGOTA-2011 ÉPOCA IGAC 2018.0		ALTURA GEOMÉTRICA NIVEL DE PRECISION
	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)
GPS-22	94586.473	98990.453	2838.220
GPS-23	94483.408	98939.681	2841.560
GPS-24	94403.698	99101.451	2864.357
GPS-25	94242.440	99075.268	2865.901
GPS-26	94222.989	99189.787	2879.756
GPS-27	94394.965	99227.919	2879.568
GPS-28	94762.252	98321.494	2749.761
GPS-29	94631.797	98269.004	2755.261
GPS-30	94451.567	98125.107	2749.944
GPS-31	94352.058	98351.765	2773.589
GPS-32	94227.436	98339.258	2762.228
GPS-33	94039.502	98250.837	2803.012
GPS-34	94037.863	98350.056	2803.036
GPS-35	93974.610	98399.721	2820.056
GPS-36	93836.333	98519.300	2844.345
GPS-37	93758.438	98440.360	2857.032
GPS-38	93298.919	98536.154	2881.237
GPS-39	93006.576	98537.155	2905.427
GPS-40	92903.569	98536.428	2913.203
GPS-41	92679.992	98535.013	2923.283
GPS-42	92540.869	98535.042	2946.297
GPS-43	92485.698	98568.092	2959.907
GPS-44	92366.894	98428.534	2958.075
GPS-45	92250.115	98276.121	2956.815
GPS-46	92202.152	98465.357	2970.784
GPS-47	92157.418	98529.413	2982.488
GPS-48	92021.941	98417.304	2988.149
GPS-49	91835.386	98571.859	3021.655
GPS-50	91775.328	98513.360	3022.241

6.2.8 Fichas de localización – Marco de Referencia GNSS

A partir de las coordenadas y cotas calculadas, se generaron una serie de fichas de localización para cada uno de los puntos materializados y geo-referenciados.

A continuación, se ilustra el contenido de las fichas de localización de puntos de los Marcos de Referencia del proyecto.

FICHA DE LOCALIZACIÓN - VÉRTICE DE CONTROL - MARCO DE REFERENCIA MATERIALIZADO



ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.



Coordenadas ligadas al sistema de referencia MAGNA - SIRGAS (ITRF2014 época 2010.0, elipsoide GRS80-WGS84).
Origen de coordenadas Cartesianas - Origen Bogotá - 2011

VÉRTICE	GEOGRÁFICAS WGS84	CARTESIANAS	COTA
GPS-01	Latitud	Norte	Elipsoidal
	Longitud	Este	Geométrica

ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN



OBSERVACIONES: AMARRE HORIZONTAL Y VERTICAL (VÉRTICE IGAC): Estaciones permanentes BOGA, BOGT y ajuste alimétrico por nivelación geométrica desde 4-BGT

PANORÁMICA VÉRTICE



PLACA VÉRTICE



COORDENADAS PLANAS CARTESIANAS		BOGOTÁ-2011	
Latitud N:	04°40'49.75000"	Falso Norte:	109320.965 m
Longitud W:	74°08'47.73000"	Falso Este:	92334.879 m
		Factor de Escala:	1.0003998
		Plano de Proyección:	2550 M

Georreferenció:



Calculó:

Ing. Amalia Nathaly Otalora
Mat. 25335-343422 CND

Revisó:

Ing. German Alonso Wilches R.
Mat. 25260109165 CND

Fecha de Posición:

13/02/2021
día - mes - año

Figura 17. Fichas de Localización Tipo – Puntos Marco de Referencia GNSS

 <p>ALCALDIA MAYOR BOGOTÁ D.C. Instituto DESARROLLO URBANO</p>	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	 <p>CONSORCIO CS Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering</p>
---	--	---

6.2.9 Controles de calidad – Marcos de Referencia GNSS

La evidencia y soportes de los controles de calidad y registros para la etapa del Marco de Referencia GNSS del estudio, se presenta dentro del medio digital entregado (Disco duro), en las siguientes rutas o carpetas virtuales así:

- Certificados de buen funcionamiento y calibración de equipos. Ver (05. Certificaciones Calibración Equipos).
- Coordenadas certificadas de puntos IGAC. Ver (09. Vértices IGAC).
- Diseño de placa aprobado para la materialización de los puntos del Marco de Referencia del estudio. Ver (16. Otros Entregables\16.1 Diseño de Placa).
- Registro fotográfico de las actividades de materialización, georreferenciación y nivelación geométrica del Marco de Referencia del proyecto. Ver (11. Registro Fotográfico).
- Archivos crudos de las actividades de posicionamiento y nivelación geométrica del marco de referencia. Ver (06. Datos Crudos)
- Archivos rinex y efemérides precisas, de las actividades de posicionamiento GNSS. Ver (02. Archivos Rinex).
- Reporte de cálculo GNSS del amarre IGAC al punto principal (BASE VUELO) de densificación del marco de referencia del proyecto y apoyo al vuelo. Ver (03. Cálculos Reporte Pos proceso Ajustes Amarre H\3.1 Base Vuelo y Amarre IGAC).
- Carteras de campo del posicionamiento GNSS, Parámetros de calibración de antenas GNSS utilizadas, según National Geodetic Survey (NGS) y reportes de cálculo GNSS del marco de referencia. Ver (07. Cálculos Ajuste Marco de Referencia).
- Carteras de campo de las actividades de nivelación geométrica y cálculo de las nivelaciones realizadas. Ver (08. Cálculos Ajuste de Nivelación)
- Tarjetas profesionales y certificado de vigencia de los topógrafos del estudio. Ver (10. Tarjeta Profesional y Certificado de Vigencia).
- Esquema general de las actividades de posicionamiento, nivelación geométrica y modelo geoidal local no gravimétrico del marco de referencia. Ver (13. Esquemas).
- Límites de captura de datos aéreos y procesamiento de datos para fase de factibilidad. Ver (16. Otros Entregables\16.4 Limites proyecto)
- Parámetros del sistema de proyección cartográfico de finido para el estudio, compendio de coordenadas finales en época actual y de proyecto IGAC 2018.0 y fichas de localización espacial de puntos del marco de referencia. Ver (16. Otros Entregables\16.6 Marco de referencia)

6.3 PLANIFICACIÓN DE VUELO LIDAR Y FOTOGRAMÉTRICO

En esta actividad se diseñaron los ejes de vuelo para la captura de datos Lidar y Fotogramétricos.

A partir de la geometría del polígono límite de captura de datos aéreos aprobado (polígono de 281.91 hectáreas) y de los requerimientos para datos Lidar y fotogramétricos solicitados o propuestos en la metodología aprobada, se realizó la planificación de las misiones de vuelo.

La técnica de georreferenciación para los datos Lidar y Fotogramétricos capturados fue mediante **Georreferenciación Directa (DG) en tiempo real**, con posterior chequeo y ajuste al marco de referencia GNSS del proyecto. Como información redundante se utilizó el punto principal del marco de referencia denominado BASE VUELO.

Para el diseño del plan de vuelo se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Preparación de cartografía básica para el proyecto: MDT a partir de datos de la Misión Topográfica de Radar a bordo de Transbordador (SRTM), e información planimétrica básica extractada de la herramienta Google Earth.
- Trazado de pasadas de vuelo con los recubrimientos mínimos requeridos en los sentidos longitudinal y transversal, tanto para datos Lidar como para datos Fotogramétricos; todo teniendo en cuenta el relieve del terreno para el diseño, proyección y captura durante las misiones aéreas.
- Comprobación de alturas de vuelo operativas para garantizar la densidad de puntos láser por metro cuadrado requeridos.
- Numeración de ejes y salida del plan de vuelo para la aplicación de navegación aérea.
- Ubicación de los aeródromos principales y alternativos; disponibilidad de combustible, acceso con vehículos, estudio de las áreas prohibidas y restringidas.
- Tramitación de los permisos necesarios para las operaciones aéreas, sobre todo para las zonas prohibidas y restringidas.

El plan se preparó detalladamente en oficina garantizando la cobertura total de los polígonos límite de levantamiento; posteriormente dicho plan fue presentado al cliente en formato kmz, previo a la captura de datos Lidar y Fotogramétricos para su aprobación.

Los parámetros principales del plan de vuelo diseñado aprobado y ejecutado fueron los siguientes:

Time / Date:	12:38:56 / 23.01.2021		
Author:	GERMAN WILCHES		
Project Name:	CABLE SANCRISTOBAL LIMITE FAC		
Project Information:	CC-427_LDR-DDRIEGO-G3		
Scanner Settings:	Device Type: VQ-480i Meas. Prog.: 300 kHz PRR: 300 kHz Laser Power Level: 100 % Laser Program: 4 Angular Step Width: 0.0394 deg Scan Rate: 98 ips FOV of Scanner: 60.00 deg FOV of Single Lidar Channel: 60.00 deg		
Flight Parameters:	Height AGL: 420 m 1378 ft Height AMSL: 3220 m 10564 ft Speed: 31 m/s 60 kn 111 km/h		
Scan Pattern:	Minimum Terrain Altitude: Maximum Terrain Altitude: Min. Terrain Altitude excl. Overlap: Point Distance: MIN: 0.29 m 0.95 ft 0.28 m 0.90 ft 0.29 m 0.95 ft AVG: 0.32 m 1.04 ft 0.30 m 0.99 ft 0.29 m 0.95 ft MAX: 0.39 m 1.26 ft 0.37 m 1.20 ft 0.29 m 0.95 ft Footprint Diameter: MIN: 0.09 m 0.29 ft 0.08 m 0.28 ft 0.09 m 0.29 ft AVG: 0.09 m 0.31 ft 0.09 m 0.29 ft 0.09 m 0.29 ft MAX: 0.10 m 0.34 ft 0.10 m 0.32 ft 0.09 m 0.29 ft Line Distance: 0.31 m 1.03 ft 462 m 1515 ft Swath Width: 485 m 1591 ft Lateral Strip Separation: 267 m 875 ft Overlap Per Side: 218 m 716 ft 195 m 640 ft Sidelap Per Side: 45 % 42 % Point Density: MIN: 8.29 pts/m ² 8.70 pts/m ² 11.01 pts/m ² AVG: 10.02 pts/m ² 10.52 pts/m ² 11.04 pts/m ² MAX: 11.05 pts/m ² 11.60 pts/m ² 11.05 pts/m ²		
MTA Zones Used:	500 m 1639 ft MTA Zone Width: MTA Zone MIN: MTA Zone MAX: 1		
Productivity:	Net Area Rate: 30 km ² /h Typ. Data Rate: 19 GB/h Max. Data Rate: 40 GB/h		
Laser Safety Information:	NOHD: 0 m 0 ft 0 % Reference: 400 m 1312 ft ENCHD: 0 m 0 ft 0 % Reference: 400 m 1312 ft Laser standard: 2014		
Auxiliary Limits:	Max. Meas. Range Used: 513 m 1682 ft 85 % Reference: 605 m 1986 ft Scan Rate Range Prod.: 50492 m ² /ps 36 % Reference: 140000 m ² /ps Terrain Altitude Variation: 20 m 66 ft		

Sensors

- DXM-RS100F - 90mm Achroma
- DXM-RS100F - 70mm Achroma
- DXM-RS100F - 50mm Achroma
- DXM-RS100F - 40mm Achroma
- DXM-RS100F - 150mm
- DXM-RS100F - 110mm
- DXM-RS100F - 90mm
- DXM-RS100F - 70mm
- DXM-RS100F - 50mm**
- DXM-RS100F - 40mm
- DXM-RS150F - 90mm Achroma
- DXM-RS150F - 70mm Achroma
- DXM-RS150F - 50mm Achroma

sensor geometry	DXM-RS100F - 50mm
pixelsize microns	4.6 micron
focal length	50.0 mm
pixels along track	8707 pix
pixels cross track	11608 pix
sensor size along	40 mm
sensor size cross	53 mm
FOV cross track [°]	56.2°
FOV along track [°]	43.7°

Project parameters

Main settings

Metric US feet

GSD cm

Overlap

forward %

side %

Project extent

length km

width km

Image cycle

ground speed kts

Image displacement

building height m

Results

image scale 1 : 8391

height above ground 420m / 1377ft

footprint along track 336m

footprint cross track 448m

airbase 67m

run spacing 269m

base / height ratio 0.16

max opening angle along track +/- +/- 17.8°

max opening angle cross track +/- +/- 4.6°

max opening angle diagonal +/- +/- 18.3°

building lean max 6.6 m

image cycle 2.2 sec

nr of lines / images per line / images 11 / 93 / 1023

Figura 18. Parámetros principales – Plan de vuelo Lidar y Fotogramétrico.

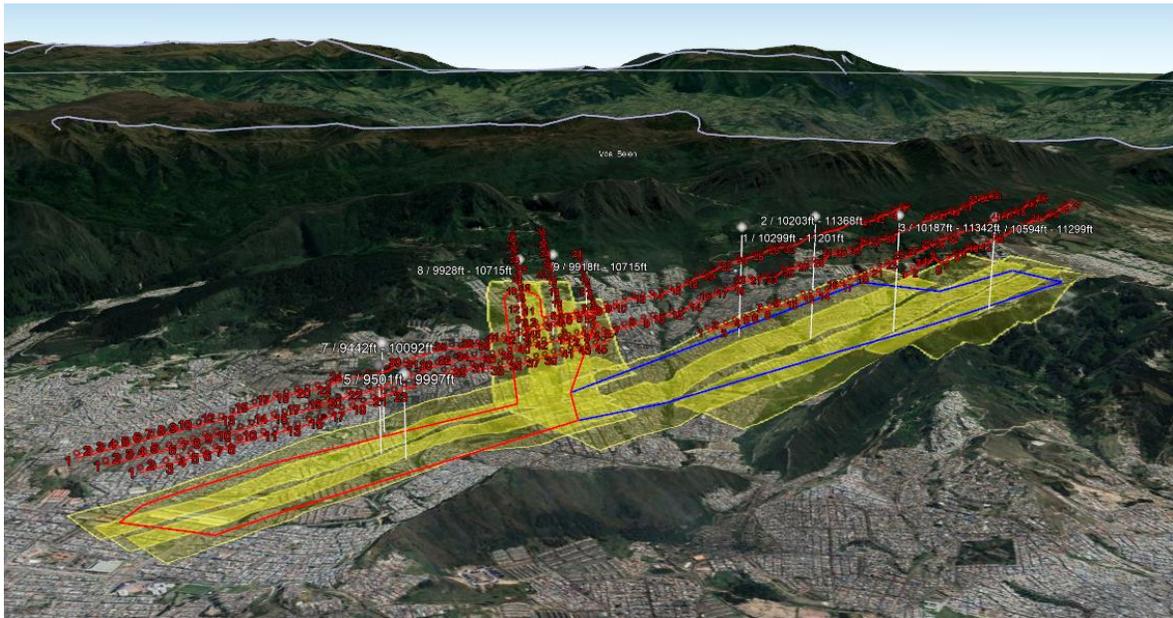


Figura 19. Plan de vuelo diseñado y ejecutado

 <p>ALCALDIA MAYOR BOGOTÁ D.C. Instituto DESARROLLO URBANO</p>	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	 <p>CONSORCIO CS Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering</p>
---	--	---

6.3.1 Controles de Calidad - Planificación de Vuelo Lidar y Fotogramétrico.

La evidencia y soportes de los controles de calidad y registros para la etapa de Planificación del vuelo Lidar y Fotogramétrico, se presenta dentro del medio digital entregado (Disco duro), en las siguientes rutas o carpetas virtuales así:

- Archivos en formato kmz con el plan de vuelo diseñado, donde se evidencia el número y longitud total de ejes proyectados, traslape y coberturas entre ejes de vuelo, cantidad y distribución de fotogramas estimados y alturas de vuelo por ejes proyectados. Ver (16. Otros Entregables\16.2 Plan de Vuelo).

6.4 MONTAJE Y CALIBRACIÓN (SISTEMA LIDAR Y FOTOGRAMÉTRICO)

6.4.1 Montaje

Teniendo en cuenta la localización espacial del proyecto, las variaciones de altura, la magnitud del polígono de captura de datos y los requerimientos técnicos solicitados o propuestos, entre otros factores, se estableció el uso de una aeronave tipo rotor; para el desarrollo de todas las operaciones aéreas.

El montaje del sistema Lidar en la aeronave tuvo en cuenta las siguientes condiciones:

- Horizontalidad de la base de la plataforma durante el vuelo en los ejes XY.
- Comprobación para que los campos de observación de los sensores no se vean afectados por el montaje de los equipos.

Para conocer la localización relativa de la antena GNSS instalada en la aeronave con respecto a los demás componentes del sistema LIDAR y FOTOGRAMÉTRICO, se realizaron, una serie de medidas que permitieron conocer con precisión dicha ubicación (Lever Arms).

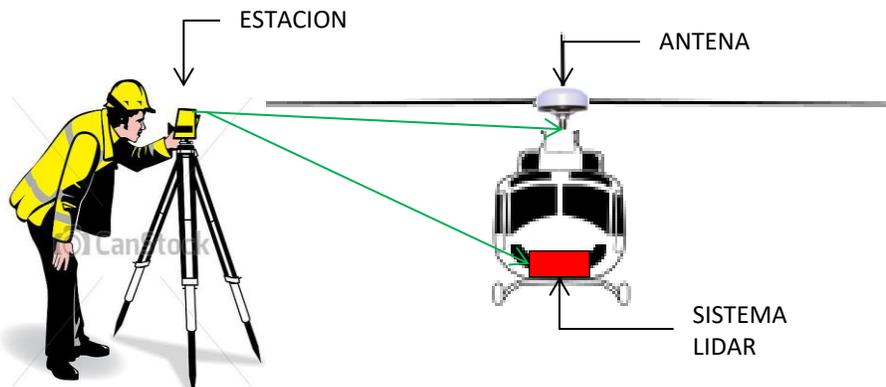


Figura 20. Esquema – tomas de medidas según montaje (Level Arms)

En la etapa de post-proceso, las medidas (Lever Arms), permitieron integrar con precisión las coordenadas obtenidas por la antena GNSS y los demás datos capturados por los diferentes sensores del sistema LIDAR y FOTOGRAMÉTRICO.

Tabla 10. Lever Arms montaje sistema Lidar

Body Frame	X	Y	Z
Referencia al brazo de palanca IMU	0.134 m	0.029 m	-0.014 m
Referencia al brazo de palanca GNSS primario	0.580 m	-0.133 m	-0.611 m
Referencia ángulos de montaje a IMU	0°	90°	0°

	X	Y	Z	ΔT
Matriz de Transformación LASER-IMU	1	0	0	0
	0	0	1	0
	0	-1	0	0
	0	0	0	1

	X	Y	Z	ΔT
Matriz de Transformación IMU-BODY	0	0	1	0
	0	1	0	0
	-1	0	0	0
	0	0	0	1

6.4.2 Calibración

Por mucho cuidado que se ponga en la instalación del Sistema Lidar, siempre habrá un des-alineamiento (boresight) entre la IMU y el escáner Láser debido a principios mecánicos propios de la actividad de montaje. Para corregir tal des-alineamiento es necesario realizar un procedimiento de calibración. Para ello se selecciona una zona adecuada y se establecen dos ejes para un sobrevuelo de calibración o se emplean las mismas pasadas del plan de vuelo programado. Es conveniente que la zona tenga alguna estructura elevada de tipo viaducto, puente o construcciones, centrado en el eje y que la atravesase en sentido transversal. El roll se corrige midiendo la diferencia de cota que se produce en los extremos de un perfil transversal. El pitch se elimina midiendo el adelanto o retraso que se produce entre elementos homólogos de ambas pasadas. El error yaw es, seguramente, el más laborioso y se elimina mediante iteraciones hasta lograr valores aceptables; este error hace que los elementos sufran adelanto o retraso simultáneo con respecto al eje de la pasada y una deformación más alta cuanto más se sitúe el objeto en el extremo de la misma.

La calibración del escáner no es necesario repetirla salvo que se modifique el montaje de los equipos implicados. Sin embargo, es conveniente verificar diariamente la bondad de las correcciones para repetir el proceso si fuese necesario. Las zonas de cruce de pasadas del proyecto nos sirvieron para tal fin.

Tabla 11. Dato de la calibración resultantes

CORRECCIONES LASER-IMU	FECHA	PITCH	ROLL	YAW
	27/01/2020	0.01971	-0.04891	-0.09997

Una vez realizado el montaje y la calibración del sistema LIDAR, se ejecutaron los vuelos necesarios para la captura de datos.

6.4.3 Controles de Calidad - Montaje y Calibración (Sistema Lidar y Fotogramétrico)

La evidencia y soportes de los controles de calidad y registros para la etapa de Montaje y Calibración del Sistema Lidar y Fotogramétrico, se presenta dentro del medio digital entregado (Disco duro), en las siguientes rutas o carpetas virtuales así:

- Certificado general de calibración del sistema LIDAR empleado. Ver (05. Certificaciones Calibración Equipos\5.3 Sistema Lidar).
- Medidas (Lever Arms) según montaje en la aeronave utilizada. Ver (05. Certificaciones Calibración Equipos\5.3 Sistema Lidar).

6.5 CAPTURA DE INFORMACIÓN LIDAR Y FOTOGRAMÉTRICOS

6.5.1 Descripción general del sistema empleado.

LIDAR es una tecnología de Geomática avanzada orientada a la producción de información espacial a nivel geográfico y topográfico.

LIDAR: es el Acrónimo de “Light Detection and Ranging”. Su traducción literal es “detección y medición de la luz”, y se trata de un sensor láser para medición a distancia que se utiliza a menudo en los campos de la ciencia e industria para la toma de medidas precisas en objetos lejanos e inaccesibles. Recientemente esta técnica se está introduciendo en el campo de la cartografía y topografía, puesto que permite la modelización rápida del terreno en zonas con accesos difíciles.

El sistema LIDAR utilizado, está compuesto por un emisor/receptor y un escáner láser muy potente, receptores GNSS que proporciona la posición y la altura de la aeronave en que se instala, un sensor inercial (IMU) que informa de los giros de la aeronave y de su trayectoria, una serie de sensores adicionales como, cámaras digitales, entre otros, además de los sistemas de alimentación y control, así como una serie de software de gestión de misiones, toma y post-proceso de datos.

El elemento principal de un sistema LIDAR es el escáner láser, que va aerotransportado y emite pulsos de luz infrarroja que sirven para determinar la distancia entre el sensor y los puntos de terreno registrados. La longitud de onda de estos pulsos varía entre 500 y 1500 nanómetros. A partir del tiempo que ha tardado cada rayo en ir y venir y de la velocidad de la luz, se deduce con facilidad la distancia a la que está el objeto estudiado.

La altura máxima a la que puede volar una aeronave con un sistema LIDAR debería estar condicionada por la frecuencia de emisión del sistema láser, aunque en la práctica este intervalo de tiempo es suficientemente pequeño como para no ser el elemento determinante. El parámetro que establecerá entonces el límite en la distancia, será la pérdida de energía de la señal, que a partir de una cierta altura de vuelo no será capaz de retornar al escáner láser.

Durante el vuelo, se toman medidas en los subsistemas de los que dispone el sistema LIDAR: GPS, IMU, ALS (Airborne Láser Scanning), cámaras y demás sensores de forma independiente, pero con una etiqueta de tiempos acorde con el tiempo GNSS. Estas etiquetas serán las que permitan sincronizar todas las medidas en post-proceso.

Además de las medidas realizadas con el láser, es necesario conocer las coordenadas de la antena GNSS, posición del ALS y demás sensores respecto a esta antena para poder dotar de coordenadas WGS84 a los puntos del terreno.

Las coordenadas de la antena en cada instante se conocerán después de hacer el post-proceso en oficina, y la distancia entre ambos sistemas (Lever Arms), se habrá medido previamente.

Finalmente, la orientación entre la antena GNSS y el centro del ALS vendrá dada por los sistemas inerciales (IMU).

	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	
---	--	---

Después del vuelo, los datos GNSS y los datos IMU se integran mediante un filtro Kalman bajo una herramienta de cálculo comercial, para determinar la trayectoria del vuelo y los giros en cada instante. Estos elementos más el ángulo de salida que ha formado el pulso láser con respecto a la vertical, se combinan para determinar la línea imaginaria que ha descrito el pulso láser en el espacio.

Finalmente, la longitud del camino descrito por el rayo, los giros definidos por los sistemas inerciales, y la posición del escáner láser obtenido a partir de las medidas GNSS, se utilizarán para determinar las coordenadas WGS-84 de los puntos medidos.

Una vez se ha llegado a este punto se realizan dos conversiones más, del sistema WGS-84 al datum nacional o local específico para el proyecto y el paso de alturas elipsoidales a cotas ortométricas, geométricas o geoidales dependiendo de los requerimientos del proyecto.

Para asegurar una correcta transformación entre sistemas de coordenadas, se calibrarán los diferentes subsistemas de forma individual y conjunta, tanto en el laboratorio como en el terreno antes del vuelo. Para el escáner se deberán calibrar tanto los elementos geométricos como los radiométricos del láser, especialmente la posición relativa respecto al sistema inercial.

A partir de la gran cantidad de pulsos recibidos, se genera un modelo digital de elevaciones de altísima densidad. Al final se contará con una nube de puntos súper abundante que permitirá modelar el terreno con el máximo detalle.

Esta nube de puntos tendrá un radio de “puntos medidos/espacio” mayor que con cualquier otra técnica convencional existente, la cual, combinada con las orto-fotos producidas, se obtendrá el mejor producto topográfico o cartográfico en el menor tiempo que a la fecha se pueda realizar para proyectos de tamaño considerable.

Los productos básicos del sistema LIDAR+FOTOGRAMETRICO son: Modelo digital de Superficie (MDS), Modelo digital de Terreno (MDT), Orto Fotos, Curvados del nivel de terreno, Restituciones y/o cartografía digital.

	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	
---	--	---

6.5.2 Ejecución de vuelos y toma de datos.

Con el plan de vuelo aprobados y los respectivos permisos para operaciones aéreas en regla; el día **26 de enero de 2021**, se realizaron los sobrevuelos, orientados a la captura de información sobre el polígono límite de levantamiento o captura de datos previamente definido.

La ejecución del vuelo combinado LIDAR + Fotogramétrico, cumplió todas las exigencias habituales de este tipo de actividad; se tuvieron en cuenta ciertas condiciones ambientales de visibilidad, techo nuboso, lluvia, vientos y fenómenos atmosféricos típicos de las zonas a volar.

El vuelo se controló desde la aplicación propia del sistema, la cual dispone de configuraciones estándar fácilmente modificables para adaptarlo a las condiciones que se hayan establecido para la misión. De esta forma se automatizó la configuración de los distintos sensores y se controlaron los estados de todos ellos mediante iconos de pantalla. Cuando todos los iconos indicaron un funcionamiento correcto se ejecutaron los respectivos despegues de la aeronave.

Básicamente, durante todas las misiones aéreas desarrolladas, el técnico de vuelo selecciona el primer eje a volar, el programa calcula y muestra en pantalla el rumbo al eje seleccionado, así como las desviaciones de la posición respecto al eje de forma que el piloto se pueda orientar y hacer las debidas correcciones para ejecutarlo correctamente.

6.5.2.1 Toma de datos GNSS

Las observaciones GNSS aerotransportadas se llevaron a cabo mediante el modo cinemático, empleando la técnica de Georreferenciación directa (GD). En este procedimiento, la ambigüedad del ciclo se determina mediante correcciones diferenciales, suministradas por un tercero, mediante servicio de pago por suscripción, obteniéndose datos precisos de coordenadas en tiempo real y en época actual de posicionamiento, a través de la banda L5 del receptor GNSS abordo.

La antena del sensor GNSS se instala en la cola o cualquier otra parte de la aeronave permitiendo la navegación en tiempo real sobre el aplicativo propio del sistema. Dicho sensor proporciona al sistema la hora con gran exactitud mediante el mensaje ZDA y mantiene la sincronización a través del pulso PPS. Este pulso se duplica al escáner láser y a la unidad estampadora de tiempos (datos IMU).

6.5.2.2 Toma de datos IMU

Los datos de la unidad de medida inercial (IMU), se obtuvieron a través de la unidad estampadora de tiempos (UET), la cual añadió el tiempo UTC (segundos de la semana) obtenido a través del mensaje ZDA del receptor GNSS, en formato binario.

Con los métodos de cálculo actuales no es necesario llevar a cabo método de alineación alguno. El ángulo heading se determina en pos proceso con la ayuda de las observaciones GNSS.

6.5.2.3 Toma de fotogramas

Las fotografías se obtienen mediante la cámara digital, a la que se le introduce una tarjeta o conexión al PC. Las imágenes se obtienen en formato IIQ de compresión sin pérdida.

La cámara capturo **876** imágenes a una alta velocidad de obturación y apertura automática. De esta forma se aseguró la eliminación del efecto de arrastre de píxel al tiempo que se consiguió un aprovechamiento óptimo de las condiciones de luz.

La UET controla la frecuencia de disparo y envía la orden por medio del cable shoot. La cámara responde con una señal por el cable flash que la UET recoge y estampa con el tiempo UTC que ha adquirido de la unidad móvil GNSS y que mantiene a través del PPS. De esta forma podemos conocer el tiempo exacto de la toma de la exposición, dato clave para el cálculo de la posición espacial del centro de proyección de la cámara.

6.5.2.4 Toma de datos laser

La unidad láser comienza el barrido controlada por la aplicación propia del sistema. El módulo de distanciametría está basado en el principio de medida del tiempo de retorno del eco de un pulso láser infrarrojo. Una fuente láser emite pulsos que son colimados mediante un sistema de lentes transmisoras. Otro sistema de lentes receptoras recoge una parte del eco reflejado por el blanco que activa un fotodiodo que genera una señal eléctrica. El intervalo de tiempo entre el pulso transmitido y el recibido se mide mediante un reloj interno de frecuencia estabilizada. El mecanismo de barrido desvía el rayo láser en una dirección definida con precisión. El desvío del rayo se lleva a cabo mediante un polígono de caras de espejo rotatorio que gira a una velocidad determinada. Puesto que no toda la cara del espejo se puede aprovechar (sólo el 33,3% central se aprovecha), existe un hueco de medida entre líneas de barrido.

La sincronización de tiempos es fundamental para obtener la posición final de cada punto láser a partir del cálculo inercial. El escáner tiene un reloj interno llamado Sync Timer. El equipo dispone de sincronización de tiempo GNSS avanzada mediante comandos. Para llevarla a cabo, se alimenta el PC con el mensaje ZDA (tiempo UTC) del receptor GNSS y al escáner con el pulso GNSS (PPS). El PC obtiene la fecha y hora y la envía con un comando de sincronización al escáner. Esta información sería la fecha/hora del siguiente pulso GNSS. El escáner espera al próximo pulso y limpia los registros Sync Timer y Sync Counter. En lo sucesivo, Sync Counter aumentará un segundo por cada PPS recibido y Sync Timer dará la fracción de segundo desde el último cambio de Sync Counter.

Los datos procedentes del láser se almacenaron en un archivo binario con extensión xrp. Cada registro contiene el tiempo GNSS (UTC), distancia, ángulo y amplitud.

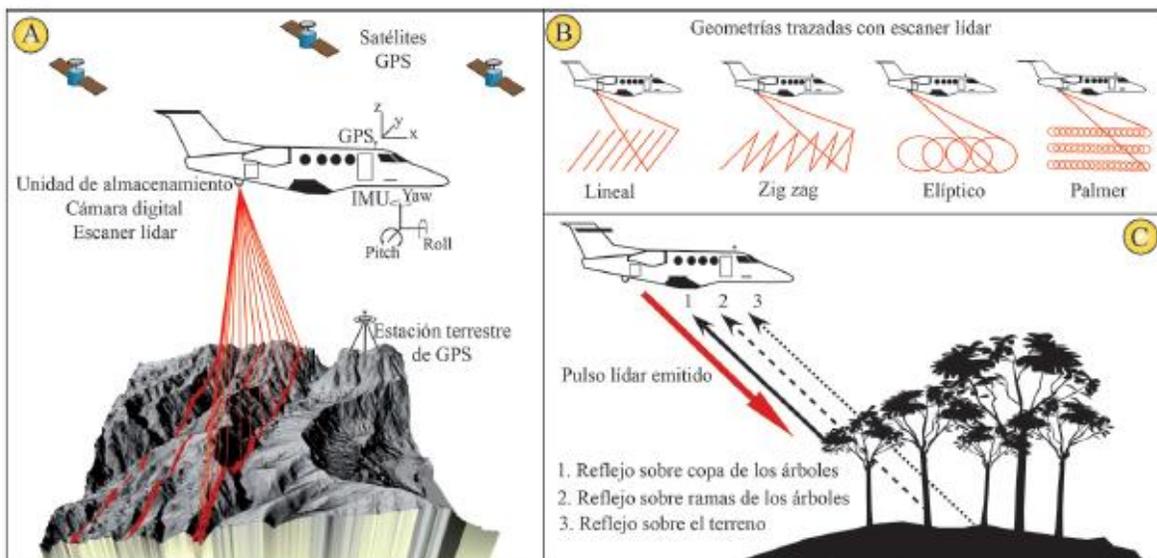


Figura 21. Ejemplo – Toma de datos laser

 <p>ALCALDIA MAYOR BOGOTÁ D.C. Instituto DESARROLLO URBANO</p>	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	 <p>CONSORCIO CS Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering</p>
---	--	---

6.5.3 Controles de Calidad - Captura de información Lidar y Fotogramétricos

La evidencia y soportes de los controles de calidad y registros para la etapa de Captura de información Lidar y Fotogramétricos, se presenta dentro del medio digital entregado (Disco duro), en las siguientes rutas o carpetas virtuales así:

- Permisos de vuelo gestionados. Ver (16. Otros Entregables\16.3 Permiso de Vuelo).
- Archivos crudos GNSS + IMU del sistema, para cada una de las sesiones de sobrevuelo. Ver (06. Datos Crudos\6.1 LIDAR+FOTOG AEREO\GNSS+IMU)
- Datos laser crudos provenientes del escáner, para cada una de las sesiones de sobrevuelo. Ver (06. Datos Crudos\6.1 LIDAR+FOTOG AEREO\LASER).
- Fotogramas crudos provenientes de la cámara, para cada una de las sesiones de sobrevuelo. Ver (06. Datos Crudos\6.1 LIDAR+FOTOG AEREO\FOTOGRAMAS).

6.6 POST-PROCESO DATOS LIDAR Y FOTOGRAMÉTRICOS.

Esta actividad consistió en la integración, cálculo y procesamiento de datos GNSS, IMU, LIDAR y Fotogramas, con ajustes, filtrados y generación de productos, MDS, MDT, Curvado y Orto-foto-Mosaico **para fase de factibilidad**. A continuación, se describen las etapas del post-proceso realizado.

6.6.1 Gns + Imu (Cálculo Inercial)

El objeto del proceso GNSS+IMU es conocer la posición (X, Y en la proyección de trabajo y H (alturas orto-métricas), así como la orientación (pitch, roll y heading) de la cámara fotográfica y el escáner LIDAR, en cualquier momento sobre los datos capturados, para sí calcular la orientación externa de cada foto centro y las coordenadas de cada punto láser.

Primero se realizó un cálculo GNSS fino a partir de los datos del posicionamiento obtenidos en vuelo, una vez obtenida una buena solución, se llevó a cabo el cálculo inercial. En ambos casos el cálculo se puede hacer en dos direcciones, hacia adelante y hacia atrás en el tiempo, y/o combinarlas cuando ambas son de buena calidad. La resolución de ambigüedades se llevó a cabo mediante el método ARTK (Advanced RTK), que produce menor separación entre la solución hacia adelante y la solución hacia atrás. Finalmente se analizó la información gráfica y estadística de la calidad de los cálculos.

6.6.2 Puntos láser

Para obtener la posición final de los puntos láser se utilizaron aplicativos específicos y propios del sensor, utilizando los archivos de orientación externa del centro de coordenadas del escáner láser y los archivos producidos por el propio escáner durante la toma de datos. Cada registro contiene el tiempo GPS (UTC), distancia, ángulo y amplitud. El cálculo final se llevó a cabo mediante una interpolación con el fichero obtenido del cálculo inercial de datos GNSS+IMU.

Posteriormente se calculó la posición de cada punto, interpolando la posición del centro de coordenadas del láser según el tiempo de adquisición de cada punto; luego se transformaron las coordenadas al sistema de proyección establecido para el proyecto. Como resultado se obtuvieron archivos en formato LAS por cada pasada.

LAS es un formato de archivo público que permite el intercambio de ficheros que contienen información de una nube de puntos tridimensional. Es un formato de archivo binario que mantiene toda la información procedente del sistema LiDAR y conserva la misma según la propia naturaleza de los datos y del sistema de captura.

 <p>ALCALDIA MAYOR BOGOTÁ D.C. Instituto DESARROLLO URBANO</p>	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	 <p>CONSORCIO CS Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering</p>
---	--	---

6.6.2.1 Modelo Digital de Superficie (MDS)

Una vez obtenidas las nubes de puntos, para cada eje de vuelo capturado, en la proyección cartográfica definida para el estudio y ajustados altimétricamente al marco de referencia generado; se integraron archivos en formato LAS, sobre la zona de proyecto definida como límite de factibilidad, garantizando un cubrimiento total. Finalmente se procedió con la clasificación en puntos de suelo y no suelo. Los anteriores archivos, corresponden al modelo digital de superficie (MDS) del proyecto. El total de puntos resultantes del MDS sobre el **polígono límite de factibilidad definido de 143.14 hectáreas** fue de **223.633.916**.

El resultado final para el modelo digital de superficie, son archivos en formatos LAS, RCS compatible con Autocad y TIF; con la totalidad de puntos capturados y clasificados en puntos de suelo y no suelo, con una densidad media del orden **156 p/m²**; suficiente para representar la realidad de la superficie del área del proyecto para estudios de fase de factibilidad, incluso para fase de estudios y diseños finales.

6.6.2.2 Clasificación y edición para la obtención del MDT

La clasificación y edición detallada de los puntos láser para la obtención del modelo digital de terreno fue realizada a partir del anterior modelo digital de superficie. Este proceso se llevó a cabo mediante software específico de diferentes desarrolladores. El objeto del proceso fue la obtención de un MDT depurado y preciso. Este modelo fue el insumo base para la obtención de los productos derivados de curvas de nivel.

Para generar correctamente un modelo digital de terreno (MDT), hay que discriminar correctamente los puntos que pertenecen al suelo del resto de puntos láser. Por otro lado, la ortorectificación exige de un modelo que cubra la mayor parte del fotograma en proceso. También hay que tener en cuenta que para los modelos depurados finales no tiene sentido tener información más allá de la requerida (**Polígonos Limite de factibilidad definido de 143.14 hectáreas**).

Para el tratamiento de grandes conjuntos de datos se utilizan tiles o cuadrantes que permiten el tratamiento por áreas sin olvidar las zonas adyacentes, es decir, cada cuadrante se procesa teniendo en cuenta los ocho cuadrantes de alrededor.

El resultado final para el modelo digital del terreno, son archivos en formatos LAS, RCS compatible con Autocad y TIF; con un arreglo de puntos o paso de malla cada 20 cm a partir de los puntos pertenecientes al suelo o terreno natural, suficiente para representar la realidad del terreno para productos de fase de factibilidad, incluso en fase de estudios y diseños finales.

6.6.3 Fotogrametría del proyecto

Consistió en la ejecución de todos los pasos necesarios para la construcción del Orto-Foto-Mosaico del proyecto sobre el polígono definido para fase de factibilidad (**143.14 hectáreas**), generado con una resolución espacial de 15 cm/píxel según fase de proyecto y metodología aprobada, mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes. A continuación, se describe de manera general cada una de las etapas de procesamiento fotogramétrico realizado:

6.6.3.1 Fotogramas

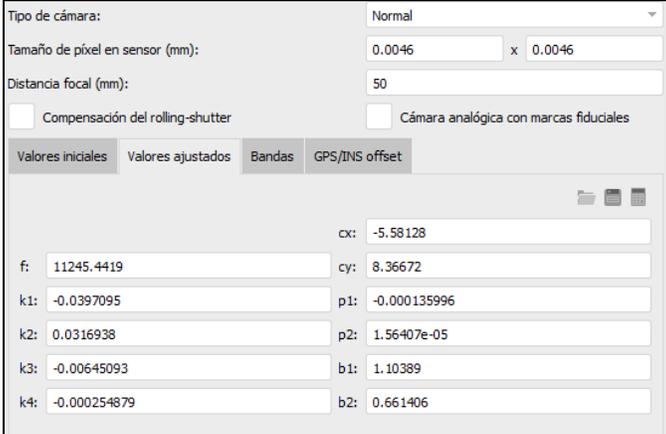
Los fotogramas originales en formato RAW se transformaron al formato de imagen requerido por la herramienta de cálculo fotogramétrico mediante el programa propio de la cámara. Según las condiciones de luz y visibilidad en el momento de la toma, se realizaron una serie de corrección para mejorar las condiciones iniciales, garantizando así un buen contraste y correcta homogeneización o ajuste radiométrico para mejorar el conjunto de imágenes a procesar.

6.6.3.2 Calibración de la cámara

La calibración de la cámara se llevó a cabo al mismo tiempo que el cálculo de Aero-triangulación. Para ello se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones:

- Posicionamiento inercial preciso GNSS+INS calculado en pos proceso.
- Aero-triangulación con superabundancia de puntos de paso en las zonas de traslapo.
- Puntos de apoyo en tierra plani-altimétricos convenientemente distribuidos en la zona de proyecto (Marcos de Referencia GNSS).

Como resultado del ajuste se obtuvieron los datos de calibración de cámara y las orientaciones externas de los fotogramas que nos permitieron la producción del Orto-Foto-Mosaico del proyecto. A continuación, se presentan los parámetros finales de calibración de cámara.



The screenshot shows a software interface for camera calibration. It includes the following fields and values:

- Tipo de cámara: Normal
- Tamaño de píxel en sensor (mm): 0.0046 x 0.0046
- Distancia focal (mm): 50
- Compensación del rolling-shutter:
- Cámara analógica con marcas fiduciales:
- Valores ajustados (selected tab):
 - cx: -5.58128
 - f: 11245.4419
 - cy: 8.36672
 - k1: -0.0397095
 - p1: -0.000135996
 - k2: 0.0316938
 - p2: 1.56407e-05
 - k3: -0.00645093
 - b1: 1.10389
 - k4: -0.000254879
 - b2: 0.661406

Figura 228. Parámetros de calibración de cámara fotogramétrica

 <p>ALCALDIA MAYOR BOGOTÁ D.C. Instituto DESARROLLO URBANO</p>	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	 <p>CONSORCIO CS Caly Mayor Colombia S.A.S. Supering</p>
---	--	---

6.6.3.3 Aero triangulación automática y ajuste de bloque (AAT - BBA)

La Aero triangulación es el proceso por el que se obtiene la orientación externa de fotografías aéreas en el sistema de referencia establecido para el proyecto, a partir de datos inerciales precisos y/o con puntos de apoyo en tierra.

La principal ventaja del empleo de técnicas de Aero-triangulación es la reducción del número de puntos de apoyo necesarios para orientar un bloque fotogramétrico. Esta necesidad de apoyo, se reduce o se elimina, si se añaden al cálculo datos precisos GPS/IMU.

La combinación de información inicial de gran calidad (imágenes digitales, datos IMU, datos GNSS con o sin puntos de apoyo), proporcionarán resultados altamente fiables y precisos en los productos fotogramétricos resultantes.

En la etapa inicial de procesamiento, bajo la herramienta de cálculo, se ejecutaron todos los pasos para la Aero triangulación Automática (**AAT**), el Ajuste del Bloque (**BBA**) y la Auto calibración de la cámara; de manera iterativa hasta lograr una óptima reconstrucción de los fotografías capturados. La Aero triangulación automática (**AAT**) se basó en las técnicas de correlación de imágenes digitales.

6.6.3.4 GNSS + IMU y puntos de apoyo

La utilización de datos **GNSS+IMU** de calidad permite la disminución o eliminación de puntos de apoyo en terreno al introducir restricciones en los cálculos. La precisión GNSS ayuda también a la **AAT** en la localización exacta de las zonas de enlace y, por tanto, de los puntos de paso. La precisión necesaria en el espacio imagen es de 1,5 cm para las rutinas de correlación.

Los datos IMU permiten una mayor eficacia de la **AAT** pues la búsqueda de zonas homólogas se hace con los giros aproximados y no con el estándar 0, 0° para omega y phi.

6.6.3.5 Resultados del procesamiento inicial (Calibración, AAT y BBA)

Como resultado final del procesamiento inicial bajo la herramienta de software fotogramétrico, se obtuvo un informe completo para la zona objeto de estudio, el cual se adjunta en los anexos del presente informe y contiene: número de imágenes utilizadas y alineadas, altitud media del vuelo, cantidad de puntos de paso, resoluciones espaciales (GSD), área total cubierta, modelo de cámara empleado, entre otros datos.

6.6.3.6 Corrección geométrica (Orto rectificación – True Orto)

La generación de un Orto-Foto-Mosaico convencional, consiste en transformar una imagen de proyección cónica en otra con proyección ortogonal. Las coordenadas finales estarán en consonancia con las utilizadas durante el ajuste del bloque. La rectificación incluye la corrección por efecto de las diferentes alturas del terreno natural, para lo que es necesario contar solo con un MDT grueso. Por lo anterior un Orto-Foto-Mosaico convencional solo corregirá correctamente los elementos que se encuentren a nivel del terreno natural, los elementos elevados diferentes a este, como edificios, puentes y demás no podrán ser corregidos y por tanto se verán inclinados según como se hayan obtenido originalmente los fotogramas, inclusive ocultando en algunos sectores zonas planas como andenes y límites contiguos a los elementos verticales.

La generación de un Orto-Foto-Mosaico verdadero (True-Orto), es semejante a la generación de un Orto-Foto-Mosaico convencional, solo que en vez de utilizar el modelo digital del terreno (MDT), se emplea un modelo digital de superficie (MDS) lo más denso posible, de esta manera los elementos elevados diferentes al terreno natural podrán ser corregidos.

Con una solución adecuada en el procesamiento inicial (Calibración, AAT y BBA) y los modelos digitales de superficie (MDS) generados, se realizó la construcción de una True-Orto por cada fotograma original. La calibración de la cámara para el proyecto se toma de la cámara auto calibrada del ajuste durante dicho procesamiento inicial.

La mezcla o composición de las True Orto generales del estudio, es el último paso en ejecutarse, donde además se aplicó una homogeneización de color en zonas con diferencias apreciables entre True Ortos contiguos, permitiendo una correcta transición entre imágenes.

Es importante aclarar que en proyectos donde existen múltiples elementos elevados sobre el terreno natural y especialmente en zonas urbanas densas donde las sombras, ruido por cables aéreos, diferencias abruptas de elevación, falta de contraste de los elementos existentes entre otras situaciones; hacen que en el proceso de orto-rectificación y principalmente en los límites de tales elementos elevados, queden algunas pequeñas sombras o fantasmas que el software no lograra corregir como lo haría en una zona plana o en la generación de una orto-foto convencional; sin embargo las ventajas de una orto-foto verdadera descritas anteriormente hacen que sea la mejor opción para el presente estudio.

En una orto foto convencional los límites de los elementos elevados diferentes al terreno natural como bordes de edificaciones no representan su verdadera localización espacial. En una True-Orto a pesar que existan pequeñas deformaciones en los límites de los elementos elevados, las cuales son normales debido a las limitantes de la tecnología, si representan su verdadera posición.

Por otra parte, siempre que se genere una orto-foto convencional o un True Orto, perderá algo de resolución respecto del fotograma original, debido al proceso normal de re-muestreo y movimiento de los pixeles para llevarlos a la proyección ortogonal.



Figura 23. Orto-foto convencional Vs Orto-Foto Verdadera o True Orto

6.6.4 Controles de Calidad - Post-Proceso datos Lidar y Fotogramétricos.

La evidencia y soportes de los controles de calidad y registros para la etapa de Post-Proceso de información Lidar y Fotogramétricos, se presenta dentro del medio digital entregado (Disco duro), en las siguientes rutas o carpetas virtuales así:

- Reportes de calidad del cálculo de trayectorias (cálculo inercial de los vuelos ejecutados). Ver (17. Pruebas de Calidad Productos\17.1 Consultoría\17.1-Informe de cálculo de trayectorias).
- Informe de calidad del cálculo fotogramétrico. Ver (17. Pruebas de Calidad Productos\17.1 Consultoría\17.2-Informe de Calculo Fotogramétrico).

	<p>ACTUALIZACIÓN, AJUSTES Y COMPLEMENTACIÓN DE LA FACTIBILIDAD Y ESTUDIOS Y DISEÑOS DEL CABLE AÉREO EN SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.</p>	
---	--	---

6.7 PRUEBAS DE CALIDAD SEGÚN METODOLOGÍA ASPRS - NSSDA

Los métodos de evaluación de la exactitud posicional son procesos estandarizados que permiten, o bien estimar la calidad, o controlarla. La estimación consiste en determinar un valor fiable de la propiedad de interés en el producto de datos, mientras que el control de calidad consiste en tomar una decisión de si la propiedad de interés en ese producto de datos alcanza, o no, un nivel determinado.

Los métodos de evaluación de la exactitud posicional (MEEP) también han evolucionado con el tiempo, desde el sencillo estándar NMAS (National Map Accuracy Standard) (USBB 1947), hasta el más reciente, complejo y sofisticado ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data (ASPRS 2015). Asimismo, las nuevas tecnologías de captura con georreferenciación directa, como son los sistemas GNSS (Global Navigation Satellite Systems), permiten la observación de coordenadas absolutas en campo con altos niveles de exactitud, lo que aumenta la confianza en la evaluación realizada.

Las fuentes de incertidumbre provenientes de las diferentes etapas del proceso productivo son múltiples, variadas y dependientes del propio proceso (p.ej. captura de datos, proceso geodésico, proceso de orientación, etc.). Dado este complejo escenario es imposible garantizar la perfección del producto, en nuestro caso: la ausencia de errores posicionales. Lo importante es controlar que la incertidumbre al final del proceso productivo, y que se cumpla con las normas internacionales, sus parámetros y tolerancias para cada escala de producto (resolución).

De acuerdo a los términos de referencia del estudio; se debe documentar de acuerdo a los estándares internacionales la exactitud posicional tanto Horizontal como Vertical de los productos topográficos derivados de los levantamientos LiDAR y fotogramétricos realizados. La forma de documentación puede ser a partir de verificaciones mediante pruebas contra puntos de control independientes de mayor precisión en sitios despejados planos y bien definidos; o si el proveedor de datos, según su experiencia con el sistema utilizado, afirma que los datos cumplen precisiones específicas, basadas en los diferentes procesos establecidos que producen resultados conocidos, pero que las pruebas de verificación independientes contra puntos de control de mayor precisión no se realizaron.

Para el presente estudio y de acuerdo con nuestra experiencia en este tipo de levantamientos por más de 13 años; así como a los procedimientos utilizados, a las continuas mejoras en los equipos propios y al conocimiento acumulado de nuestro sistema LiDAR+FOTOGRAMETRICO, podemos afirmar que los datos finalmente procesados y entregados derivados de los Levantamientos aéreos realizados cumplen la precisión posicional requerida y especificada en los términos de referencia del presente estudio de 0.12m para un RMSE al 95% de confianza. Sin embargo, el valor de 0.12m establecido por el IDU no es un valor estandarizado a nivel internacional para este tipo de tecnología.

Por otra parte, y con el ánimo de confirmar la anterior afirmación, se realizó un análisis de error medio cuadrático según metodología ASPRS – NSSDA, tomando como puntos de control las coordenadas finales de los puntos del marco de referencia GNSS, posicionado en la zona de proyecto.

Tabla 12. Metodología para evaluación de exactitud posicional de datos Lidar+Fotogramétricos.

Método de comparación	Con fuentes de mayor exactitud
Componente posicional	Horizontal y vertical, separadamente
Clase de elementos	Puntos bien definidos.
Estándar de exactitud	No hay tolerancias, valores limitantes o restricciones similares. Se proporciona un resultado y el usuario debe considerar si es adecuado o no para su propósito. Informe: Se informa de la exactitud estimada al 95 % de confianza tanto para el caso horizontal como vertical. En el producto se debe incluir la leyenda: « Probado __ metros de exactitud horizontal con un nivel de confianza del 95 % Probado __ metros de exactitud vertical con un nivel de confianza del 95 % »
Descripción	El producto (p) se compara con una referencia de mayor exactitud. Las componentes horizontales y verticales se evalúan por separado. Se utiliza una muestra de al menos 20 puntos de control bien definidos y distribuidos. El NSSDA usa el ECM para estimar la exactitud posicional. La exactitud se informa en distancias terrestres al nivel de confianza del 95 %. Se supone que los errores sistemáticos se han eliminado lo mejor posible. Se supone que los errores se distribuyen normalmente y son independientes en cada componente de error. Se limita la falta de homocedasticidad.
Procedimiento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar una muestra de n puntos, siendo $n \geq 20$. 2. Calcular el error de cada punto en cada componente: $e_{x_i} = x_{p_i} - x_i \quad e_{y_i} = y_{p_i} - y_i \quad e_{z_i} = z_{p_i} - z_i$ siendo: x_i, y_i, z_i las coordenadas en el CDR. $x_{p_i}, y_{p_i}, z_{p_i}$ las coordenadas en el CDE. 3. Calcular el error medio cuadrático de cada componente: $ECM_X = \sqrt{\frac{\sum e_{x_i}^2}{n}} \quad ECM_Y = \sqrt{\frac{\sum e_{y_i}^2}{n}} \quad ECM_Z = \sqrt{\frac{\sum e_{z_i}^2}{n}}$ 4. Obtener el valor NSSDA_H horizontal: si $ECM_X = ECM_Y$ $NSSDA_H = 2,4477 \cdot 2^{1/2} \cdot ECM_X = 2,4477 \cdot ECM_X$ donde: $ECM_X = (ECM_X^2 + ECM_Y^2)^{1/2}$ si $ECM_X \neq ECM_Y$ $NSSDA_H = 2,4477 \cdot 0,5 \cdot (ECM_X + ECM_Y)$ y $0,6 < (ECM_{min} / ECM_{max}) < 1,0$ 5. Obtener el valor NSSDA_Z vertical según la siguiente expresión: $NSSDA_Z = 1,9600 \cdot ECM_Z$
Fuente	FGDC (1998). FGDC-STD-007: Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3. National Standard for Spatial Data Accuracy. Federal Geographic Data Committee, Reston, USA.

Para la evaluación de calidad en el componente horizontal se utilizó el producto de orto-fotomosaico resultante. Para la evaluación de calidad en el componente vertical se utilizó el modelo digital de terreno resultante, luego de la clasificación de puntos de suelo sobre el modelo digital de superficie. El cálculo de exactitud posicional se presenta en los anexos digitales del presente informe. Los resultados fueron los siguientes.

Tabla 13. Resultados de exactitud posicional.

Número de puntos de chequeo	57	57	57
Error Medio (m)	0.000	0.000	0.000
Desviación estándar (m)	0.016	0.023	0.030
RMSE (m)	0.016	0.023	0.030
RMSEr (m)	0.028	$\sqrt{(RMSE_x^2 + RMSE_y^2)}$	
Precisión en Horizontal NSSDA al 95% de intervalo de confianza	0.049	RMSEr x 1.7308	
Precisión en Vertical NSSDA al 95% de intervalo de confianza	0.058	RMSEz x 1.9600	

6.8 CONSTRUCCIÓN DE PRODUCTOS Y ENTREGABLES PACTADOS

Una vez los datos Lidar y Fotogramétricos fueron debidamente procesados, ajustados y verificados, se continuo con la maquetación y/o construcción de los productos y entregables pactados al inicio del contrato para la **fase de factibilidad** del estudio. Dichos entregables se adjuntaron en el medio digital entregado (Disco duro). A continuación, se describen las características de cada entregable.

6.8.1 DOC-INFORME

Contiene en formatos de archivo .docx y .pdf, el presente informe final de levantamiento topográfico para la fase de factibilidad del proyecto.

Ver medio digital entregado (Disco duro), carpeta (01. Informe General\1.3 Fase de Factibilidad).

6.8.2 LIMITES DE PROYECTO

Contiene el polígono límite de captura de datos aéreos, así como el polígono límite de procesamiento de datos topográficos para fase de factibilidad, definidos y aprobados luego del análisis multidisciplinario realizado para la evolución de alternativas del estudio.

Se presentan en coordenadas **Magna Sirgas – Cartesianas Bogotá-2011 - época IGAC 2018.0**, en formatos de archivo .dwg, kmz y shp.

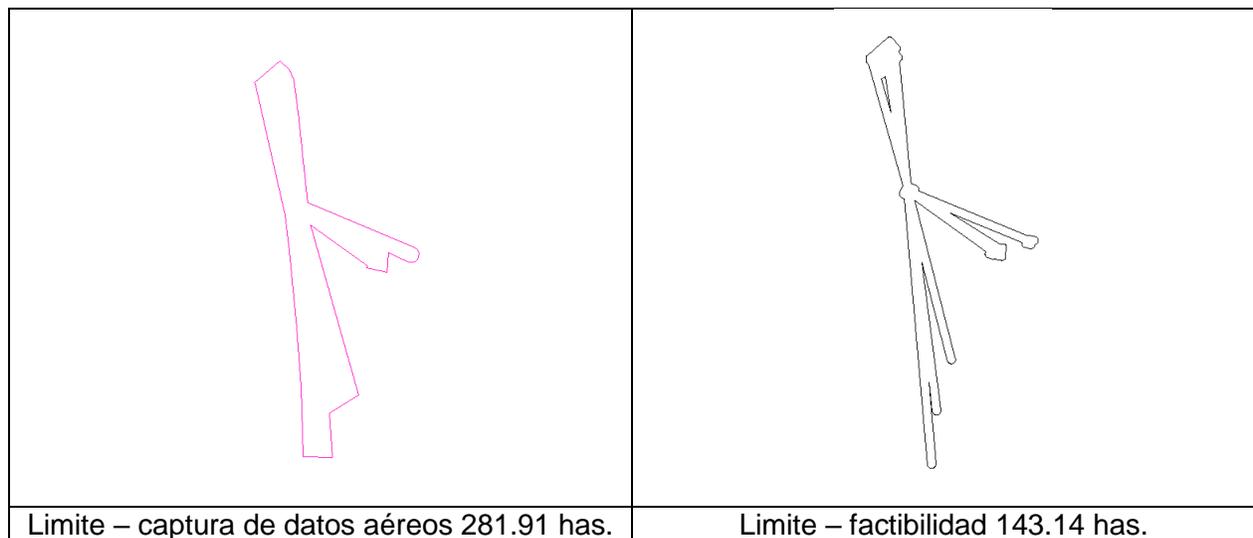


Figura 24. Límites de proyecto hasta fase de factibilidad.

Ver medio digital entregado (Disco duro), carpeta (16. Otros Entregables\16.4 Limites proyecto).

6.8.3 DISTRIBUIDOR

El distribuidor contiene una serie de marcos u hojas de trabajo; **7** para la fase de factibilidad, numeradas consecutivamente, sobre las cuales varios de los entregables generados han sido recortados para facilitar el uso y manejo de la información debido al tamaño y/o peso de la misma.

Se presenta en formatos de archivo dwg, kmz y shp, en coordenadas **Magna Sirgas – Cartesianas Bogotá-2011 - época IGAC 2018.0**,

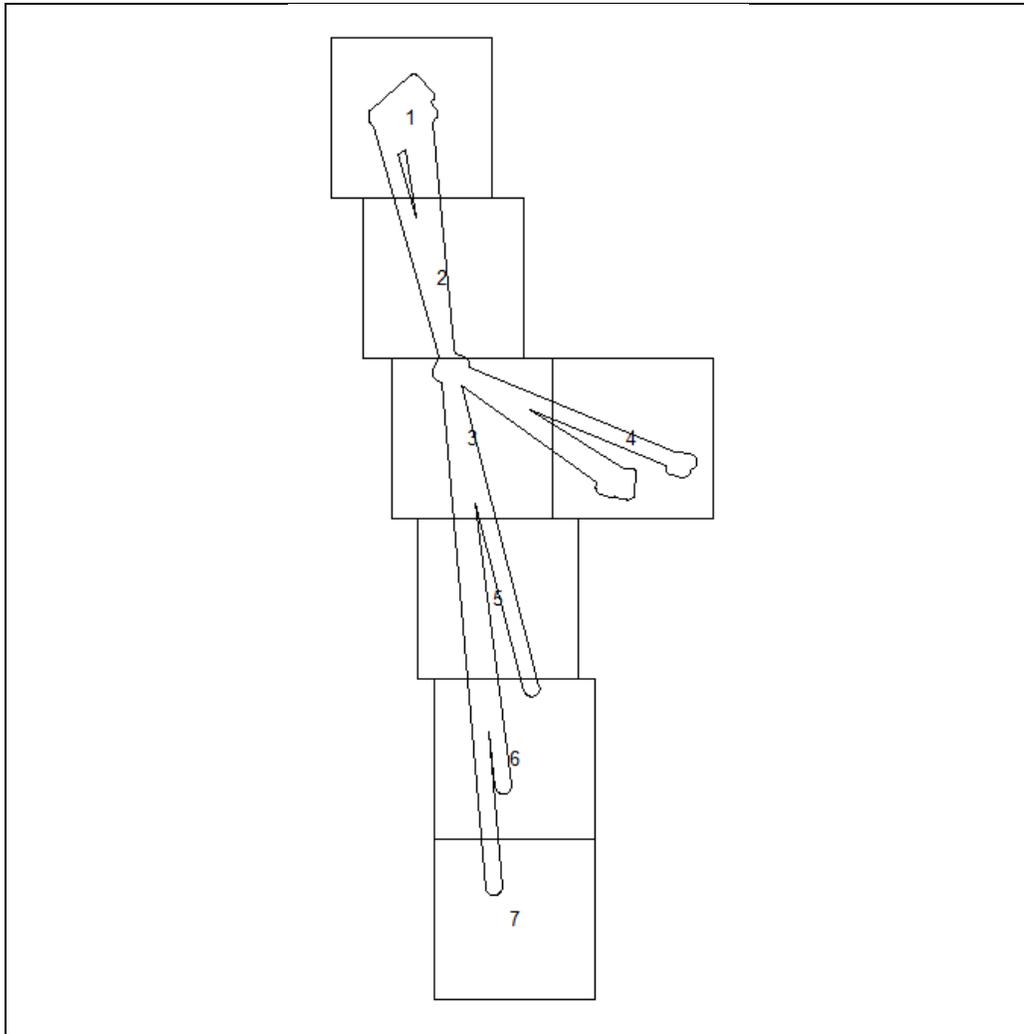


Figura 25. Distribuidor – Fase de Factibilidad

Ver medio digital entregado (Disco duro), carpeta (16. Otros Entregables\16.5 Distribuidor\1-DIST-FACT).

6.8.5 ORTOFOTO VERDADERA

Contiene archivos de imagen en formato (ECW), con las true-orto generadas para la totalidad del área definida como límite de factibilidad del proyecto. La resolución espacial del producto es de 15 cm/pixel, la resolución espectral es RGB.

Lo anterior se presenta en el sistema de coordenadas definido para el proyecto, **Magna Sirgas – Cartesianas Bogotá-2011 - época IGAC 2018.0**

Este producto fue la base para la vectorización y generación de la cartografía vectorial 3D. el Orto-Foto-Mosaico Verdadero, representa el estado real y a escala del área procesada como límite de factibilidad a la fecha de la captura de datos aéreos.



Figura 27. Orto-Foto-Mosaico – Fase de Factibilidad

Ver medio digital entregado (Disco duro), carpeta (16. Otros Entregables\16.7 Orto-Foto-Mosaicos\1-ORTO FAC).

6.8.6 MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE (MDS)

Contiene archivos en formato LAS, RCS compatible con AutoCAD y TIF para el área definida como límite factibilidad, recortados según el distribuidor del proyecto. El modelo digital de superficie corresponde a una nube de puntos superabundante y clasificada en puntos de suelo y no suelo; producto de la captura y procesamiento de datos LIDAR. Incluye todos los elementos existentes en el área de estudio como árboles, construcciones vías etc. Cuenta con una densidad media de **156 puntos/m²**.

Lo anterior se presenta en el sistema de coordenadas definido para el proyecto, **Magna Sirgas – Cartesianas Bogotá-2011 - época IGAC 2018.0 – con ajuste altimétrico a elevaciones geométricas IGAC referidas al datum vertical Buenaventura.**

Este producto, fue la base para la construcción del Modelo digital de terreno (MDT). Puede también ser utilizado para evaluar las alturas de los elementos que conforman el paisaje, para la identificación de interferencias en estudios de líneas de transmisión eléctrica, para planeación urbana y ambiental, en modelos de flujo de viento y dispersión de contaminantes, en monitoreo de cuencas de drenaje y control de inundaciones, etc.

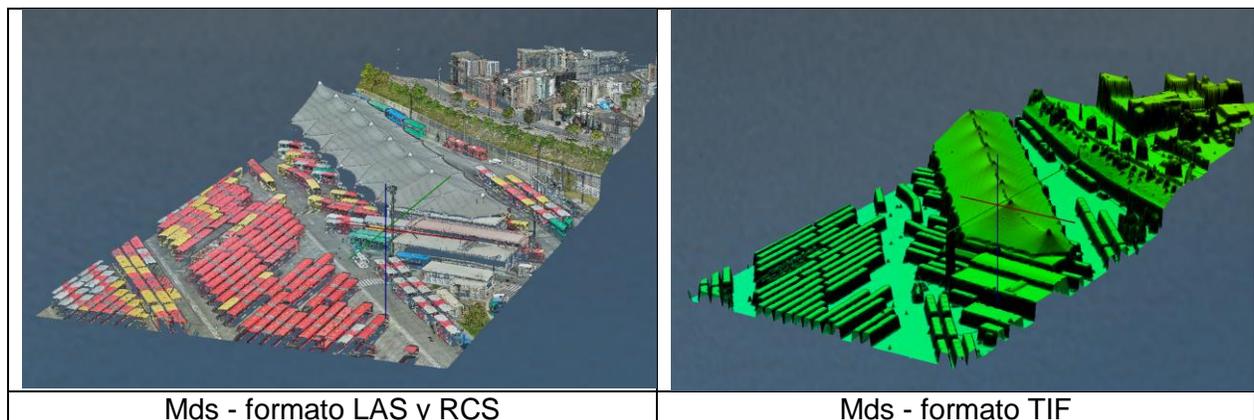


Figura 28. Modelo digital de Superficie (MDS) – Limite Factibilidad

Ver medio digital entregado (Disco duro), carpeta (16. Otros Entregables\16.8 Mds\2-MDS FAC).

6.8.7 MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT)

Contiene archivos en formato LAS, RCS compatible con AutoCAD y TIF para el área definida como límite factibilidad, recortados según el distribuidor del proyecto, con el modelo digital de terreno, partir de la información Lidar capturada, filtrada como puntos de suelo y posterior **grillado de malla cada 20 cm.**

Lo anterior se presenta en el sistema de coordenadas definido para el proyecto, **Magna Sirgas – Cartesianas Bogotá-2011 - época IGAC 2018.0 – con ajuste altimétrico a elevaciones geométricas IGAC referidas al datum vertical Buenaventura.**

Este modelo digital de terreno (MDT), es el producto altimétrico del proyecto con el cual los especialistas podrán generar curvas de nivel, secciones transversales, perfiles, etc., desde cualquier programa orientado a diseño.

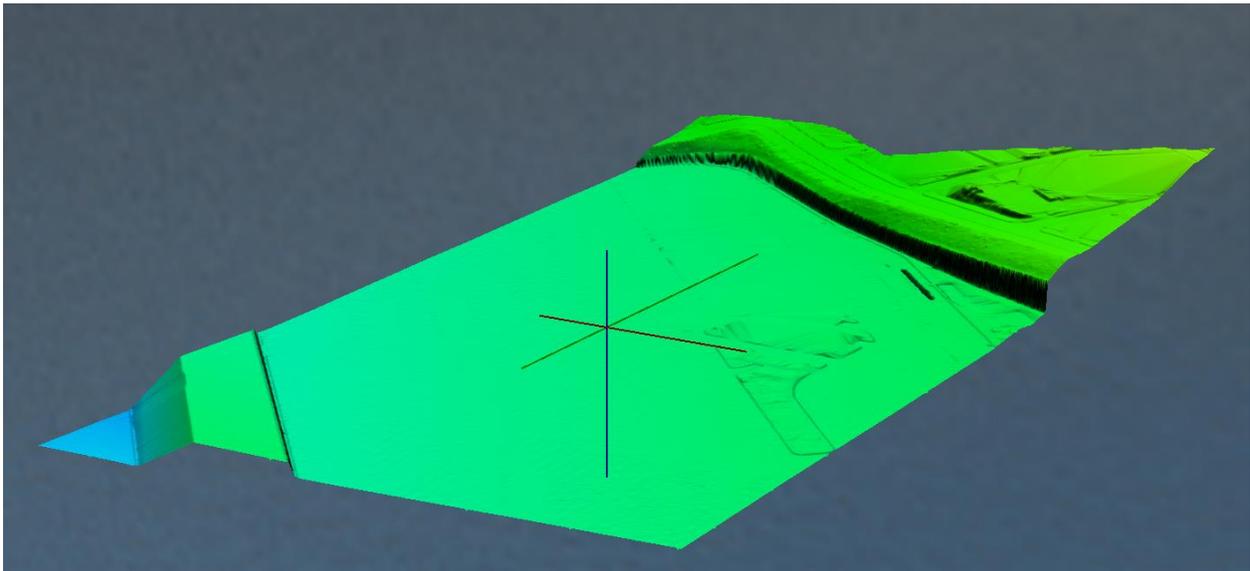


Figura 29. Modelo digital de terreno (MDT)

Ver medio digital entregado (16. Otros Entregables\16.9 Mdt\1-MDT FAC).

6.8.8 CURVADOS

Contiene un archivo en formato dwg con el curvado para fase de factibilidad, resultantes de la triangulación del modelo digital del terreno (MDT) y es una forma de representar la altimetría del proyecto. Este producto se preparó con una separación entre curvas cada 2m según metodología aprobada.

Lo anterior se presenta en el sistema de coordenadas definido para el proyecto, **Magna Sirgas – Cartesianas Bogotá-2011 - época IGAC 2018.0 – con ajuste altimétrico a elevaciones geométricas IGAC referidas al datum vertical Buenaventura.**

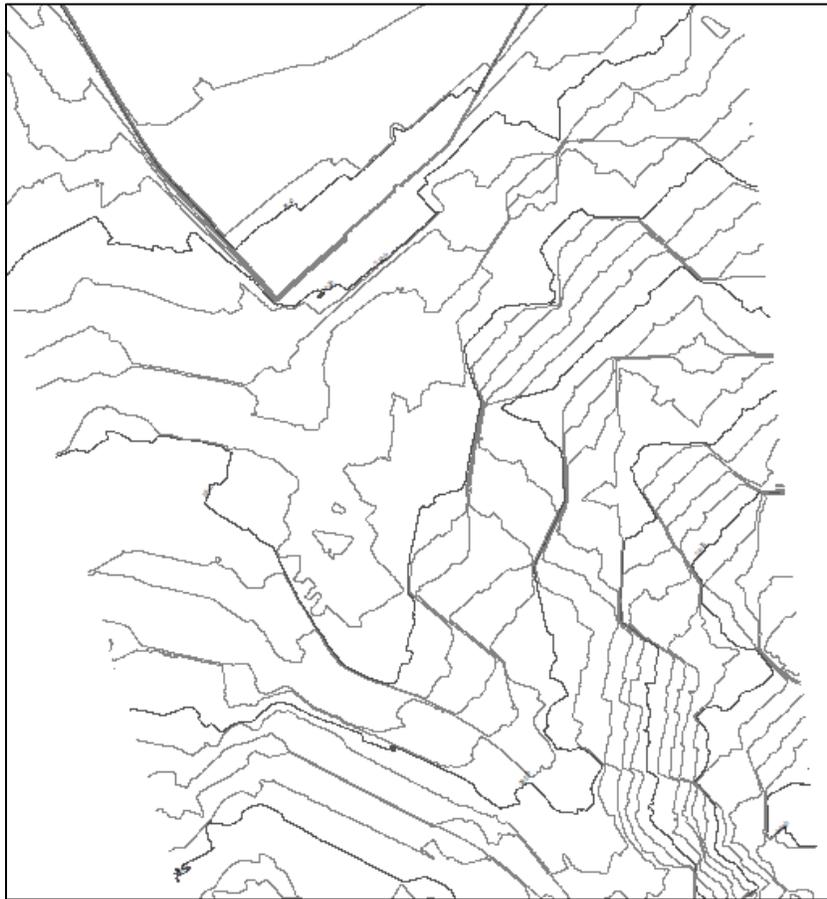


Figura 30. Curvado Factibilidad

Ver medio digital entregado (Disco duro), carpeta (16. Otros Entregables\16.10 Curvados\1-CURVADO FAC).

6.8.9 CARTOGRAFÍA VECTORIAL 3D

Contiene la vectorización cartográfica para escala **1:2000**, realizada a partir del orto-foto-mosaico verdadero y posterior proyección altimétrica sobre el respectivo modelo digital de terreno generado, sobre el polígono limite definido para fase de factibilidad. Se presenta en formato de archivo **DWG**. Todas las capas, fueron estructuradas mediante el catálogo de objetos establecido por el IDU.

Lo anterior se presenta en el sistema de coordenadas definido para el proyecto, **Magna Sirgas – Cartesianas Bogotá-2011 - época IGAC 2018.0 – con ajuste altimétrico a elevaciones geométricas IGAC referidas al datum vertical Buenaventura.**

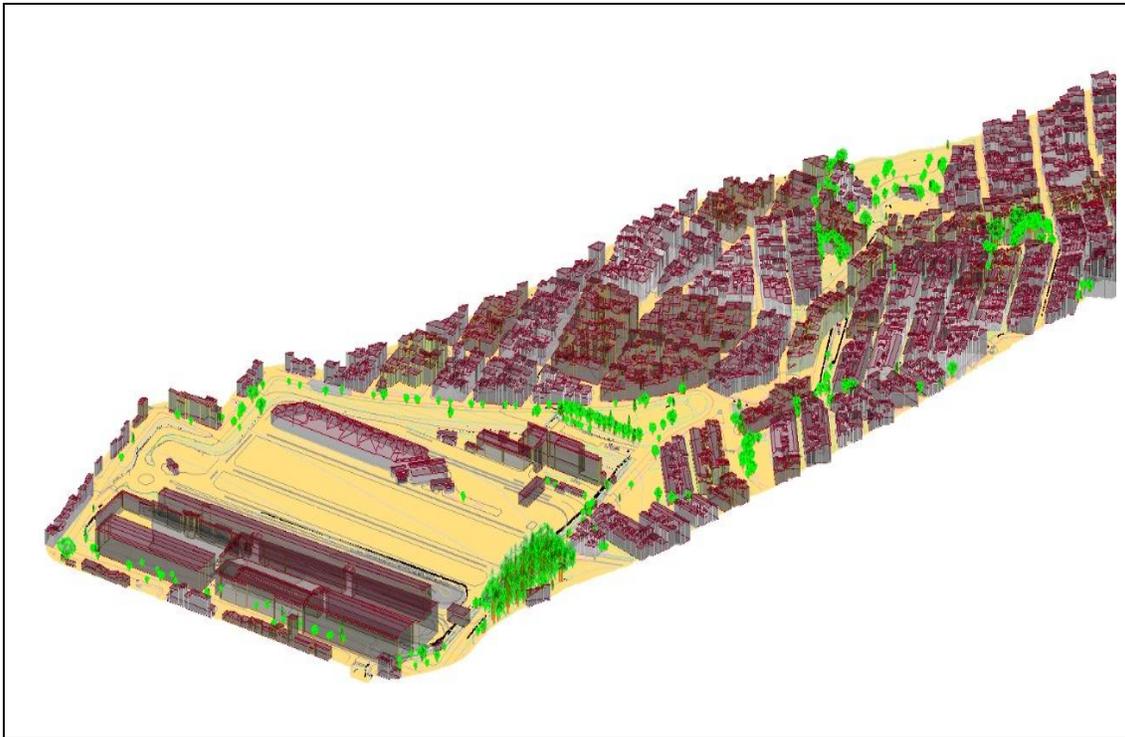


Figura 31. Cartografía vectorial 3D.

Ver medio digital entregado (Disco duro), carpeta (16. Otros Entregables\16.11 Cartografía\2-CARTOGRAFIA 3D FAC).

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Para el manejo de la información, especialmente los productos con nubes de puntos superabundantes, se deben trabajar en equipos de cómputo con buenas prestaciones ya que esta información es de alguna manera densa. (mínimo 8 gb en RAM, 100 gb de espacio libre en disco, procesadores Intel core i7 y preferiblemente tarjeta de video independiente y discos de estado sólido).
2. Para cargar el orto-foto-mosaico en formato ecw en la herramienta AutoCad Civil 3D se debe hacer mediante el comando mapiinsert, este caerá ya en las coordenadas del proyecto. En la versión Map de AutoCad se puede hacer desde el comando map, y luego en la opción insertar imagen directamente. También se pueden abrir en programas como GlobalMapper, ArcGIS, MicroStation etc.
3. Para poder visualizar el modelo digital de superficie y de terreno bajo la herramienta AutoCad, debe utilizarse una versión igual o superior a 2013 preferiblemente AutoCad CIVIL 3D. el formato de archivo adecuado es RCS el cual ha sido diseñado por Autodesk para la importación de nubes de puntos densas. en el mercado existen otras herramientas con las cuales se pueden abrir y operar los productos digitales entregados. Como ejemplo se nombran algunas de ellas: GlobalMapper, ArcGIS, MicroStation etc.
4. Las curvas de nivel podrán ser generadas directamente por el cliente al intervalo de curvas que desee, a partir de los archivos del MDT entregado; pues la densidad de puntos que conforman el modelo digital del terreno, hace que la resolución de las curvas de nivel represente una excelente morfología del área levantada.
5. Debido al tamaño de los productos LIDAR, se recomienda trabajar y administrar la información entregada por paquetes (hojas de trabajo suministradas según distribuidos del proyecto), pues pretender modelar toda la información en un único archivo podría disminuir el rendimiento de los equipos de cómputo, haciendo ineficiente la producción.
6. El presente informe fue estructurado según el orden cronológico de las diferentes actividades ejecutadas. Todos los archivos, documentos, entregables y damas anexos relacionados se presentan en el medio digital adjunto; sin embargo, la estructura de carpetas del medio digital se basó en la estructura definida por el IDU la cual originalmente está diseñada para productos topográficos realizados con tecnología convencional. Debido a que la metodología utilizada y aprobada para el presente estudio se basa en sensores remotos aerotransportados, dicha estructura se ha modificado lo mínimo posible para tratar de conservar la estructura dada por el IDU, pero con el tipo de entregables y productos generados con la tecnología de levantamiento aprobada.

Por lo anterior, se recomienda mantener el orden y la estructura de capítulos del informe y carpetas del medio digital entregado.