POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID	**ORDEN DE PAGO**	Código: FFN44 Versión: 05

Fecha: 28 de Diciembre de 2023	C.C. / NIt 900.641.409 - 3
Beneficiario: SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA DE LATINO AMERICA – SIGLA SAS	C. de costos 4231910315
Descripción del Pago: Pago FE 423 del contrato 441081-2023,en Ejecucion del convenio C.I. 040-COV2210-86-2022, suscrito con CORANTIOQUIA RPC N°: 4300038103	
Valor en letras: DOSCIENTOS VEINTIDÓS MILLONES CUATROCIENTOS QUINCE MIL CUATROCIENTOS CINCUENTA Y SIETE PESOS	$ 222.415,457
 Firma y cédula del Responsable RODRIGO ORLANDO OSORIO MONTOYA Vicerrector de Extensión Cédula 71.777.749	$ 222.415.457

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
Proyectó	Sandra Milena Gutiérrez Giraldo	Sandra Milena Gutierrez G.	28/12/2023
Revisó			
	Los arriba firmantes declaramos que hemos revisado el documento y lo encontramos ajustado a las normas y disposiciones legales vigentes y por lo tanto, bajo nuestra responsabilidad lo presentamos para la firma		

icontec ISO 9001 SC5206-1
IQNet

SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA DE LATINO AMERICA SIGLA SAS

Sistemas de Información Geográfica de Latino América - SIGLA S.A.S

NIT : 900,641,409 - 3
CRA 47 106 08
BOGOTA D.C.-BOGOTA - COLOMBIA
3099513
sonia.vasquez@sigla-sas.com
Responsables de iva - No somos autorretenedores
Actividad Económica 7112 Tarifa 8,66

Cliente	POLITECNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID		
NIT	890,980,136 - 6	**Teléfono**	3197945
Dirección	CR 48 7 151	**Vendedor**	LEIDY ACOSTA -
Ciudad	MEDELLIN-ANTIOQUIA - COLOMBIA	**Centro Costo**	1
Correo	katerinecardenas@elpoli.edu.co		

FACTURA ELECTRONICA DE VENTA
FE 423

Fecha y Hora de Factura

Generación	2023-12-01	10:59:57
Expedición	2023-12-01	11:05:47
Vencimiento	2024-01-01	

Item	Código	Descripción	Unid	Cant	V. Unit	Valor Total
1	0020003000001	CONS PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMETRI	UN	1.00	186,903,745.36	186,903,745.36

Total Items 1

Total Bruto	186,903,745.36
RETEFUENTE 6%	11,214,224.72
IVA	35,511,711.62
Retenc. IVA	5,326,756.74
Total a Pagar	**$ 205.874.475,52**

CONDICION DE PAGO

Credito Credito Clientes Nacionales Efectivo Cuota 1 F - 002- 423 Vence el 2024-01-01 205.874.475,52

VALOR EN LETRAS

Doscientos Cinco Millones Ochocientos Setenta Y Cuatro Mil Cuatrocientos Setenta Y Cinco Pesos M/Cte Con 52/100

VoBo supervisora

OBSERVACIONES

ACTA DE PAGO SEGUN APROBACION CORRESPONDIENTE DEL CONTRATO 441081-2023 DERIVADO DEL PROCESO DE SELECCION CONCURSO DE MERITOS CM-P29697-2023.SE AUTORIZA A FACTURAR 100% DE LA QUEBRADA RIO TARAZA-RIO NECHI ZONA URBANA ZARAGOZA Y RIO NECHI ZONA URBANA EL BAGRE.CONSUL PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO Y BATRIMETRICO DE UN MODELO DOGITAL DE TERRENO MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGIA LIDAR CON EL ACOTAMIENTO DELIMITACION DE LAS FUENTES HIDRICAS DETERMINADAS, EN ELMARCO CONVENIO No 040-COV2210-86 DE 2022

ORDEN DE COMPRA

Prefijo CONTRATO Numero 441081-2023

Firma Elaborado por : JULIAN ISRAEL G

Firma Recibido

FAVOR REALIZAR LOS PAGOS A LA SIGUIENTE CUENTA CORRIENTE NRO. 895-231938-68 BANCOLOMBIA. PARA PAGOS DESDE EL EXTERIOR SWIFT COLOCOBMXXX

A esta factura de venta aplican las normas relativas a la letra de cambio (artículo 5 Ley 1231 de 2008). Con esta el Comprador declara haber recibido real y materialmente las mercancías o prestación de servicios descritos en este título - Valor. **Resolución y/o Autorización de facturación No**. 18764049985662 **aprobado en** 2023-06-05 **hasta el** 2024-12-05, **vigencia** 18 Meses, **prefijo** FE **desde el número** 342 **al** 500

CUFE :72894c002a4c2d480e05e545fd5df1e5a414c9226c8bb880cdf00d73edd1cd683667ee1915eadd93250d88a2502b11da

ORIGINAL

Fabricante del Software: Siigo S.A.S - Nit: 830.048.145-8, Nombre del Software: Siigo Pyme. Proveedor tecnológico: Siigo S.A.S - Nit: 830.048.145-8

Resumen de Pago por Administradora

DATOS GENERALES DEL APORTANTE

Identificación	dv	Razon Social	Clase Aportante	Sucursal Principal	Direccion	Ciudad-Departamento	Teléfono	Exonerado SENA e ICBF
NIT 900641409	3	SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA DE LATINO AMERICA SIGLA S.A.S.	B - MENOS DE 200 COTIZANTES	UNICA	cra 47 #106-08	BOGOTA-BOGOTA D.E.	7293735	Si

DATOS GENERALES DE LA LIQUIDACION

Periodo		Clave		Tipo	Fecha		Pago		
Pensión	Salud	Pago	Planilla	Planilla	Limite	Pago	Banco	Dias Mora	Valor
2023-11	2023-12	309334915	9459774820	E	2023/12/05	2023/12/01	BANCOLOMBIA	0	$79,322,700

RESUMEN DE PAGO

RIESGO	CODIGO	NIT	DV	AFILIADOS	VALOR LIQUIDADO	INTERESES MORA	SALDOS E INCAPACIDADES	VALOR A PAGAR
AFP (ADMINISTRADORAS: 4)				119	$42,234,800	$0	$0	$42,234,800
COLFONDOS	231001	800,227,940	6	4	$2,265,000	$0	$0	$2,265,000
COLPENSIONES	25-14	900,336,004	7	13	$5,364,000	$0	$0	$5,364,000
PORVENIR	230301	800,224,808	8	73	$24,987,100	$0	$0	$24,987,100
PROTECCION	230201	800,229,739	0	29	$9,618,700	$0	$0	$9,618,700
ARL (ADMINISTRADORAS: 1)				120	$7,698,500	$0	$0	$7,698,500
ARL SURA	14-11	890,903,790	5	120	$7,698,500	$0	$0	$7,698,500
CCF (ADMINISTRADORAS: 3)				120	$10,974,000	$0	$0	$10,974,000
COMFAMILIAR HUILA	CCF32	891,180,008	2	3	$349,600	$0	$0	$349,600
COMFENALCO SANTANDER	CCF40	890,201,578	7	1	$135,200	$0	$0	$135,200
COMPENSAR	CCF24	860,066,942	7	116	$10,489,200	$0	$0	$10,489,200
EPS (ADMINISTRADORAS: 8)				125	$15,931,000	$0	$0	$15,931,000
CAPITAL SALUD	EPSC34	900,298,372	9	3	$164,900	$0	$0	$164,900
COMPENSAR	EPS008	860,066,942	7	28	$4,635,000	$0	$0	$4,635,000
EPS MUTUAL SER	EPS048	806,008,394	7	1	$66,700	$0	$0	$66,700
EPS SURA (ANTES SUSALUD)	EPS010	800,088,702	2	9	$1,191,400	$0	$0	$1,191,400
FAMISANAR	EPS017	830,003,564	7	34	$4,035,500	$0	$0	$4,035,500
NUEVA E.P.S.	EPS037	900,156,264	2	11	$1,023,100	$0	$0	$1,023,100
SALUD TOTAL	EPS002	800,130,907	4	18	$2,984,500	$0	$0	$2,984,500
SANITAS	EPS005	800,251,440	6	21	$1,829,900	$0	$0	$1,829,900
ICBF (ADMINISTRADORAS: 1)				6	$1,490,600	$0	$0	$1,490,600
INSTITUTO COLOMBIANO DE BIENESTAR FAMILIAR	PAICBF	899,999,239	2	6	$1,490,600	$0	$0	$1,490,600
SENA (ADMINISTRADORAS: 1)				6	$993,800	$0	$0	$993,800
SENA	PASENA	899,999,034	1	6	$993,800	$0	$0	$993,800
TOTAL				**125**	**$79,322,700**	**$0**	**$0**	**$79,322,700**

2023/12/01 07:22 AM

CRG Consulting S.A.S
NIT 900.935.741-7

CERTIFICACIÓN APORTES PARAFISCALES:

Yo Carlos Raúl Ruiz Galindo en mi calidad de Revisor Fiscal, certifico que la sociedad SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRÁFICA DE LATINO AMÉRICA-SIGLA S.A.S., identificada con NIT. 900.641.409-3, se encuentra a Paz y Salvo por concepto de pago de sus obligaciones con los sistemas de salud, riesgos profesionales, pensiones y aportes a las Cajas de Compensación Familiar, Instituto Colombiano de Bienestar Familiar y Servicio Nacional de Aprendizaje de todo el personal que se encuentra laborando dentro de la misma, durante los últimos seis (6) meses.

Lo anterior, para dar cumplimiento a lo establecido en el art. 50 de la Ley 789 de 2002 y la Ley 1150 de 2007.

La presente se expide al día uno (1) del mes de diciembre de 2023, en Bogotá D.C.



Carlos Raúl Ruiz Galindo
T.P. 37316 - T
Revisor Fiscal
Avda. Carrera 45 #122 – 56 of 709

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO DE UN MODELO DIGITAL DE TERRENO MEDIANTE TECNOLOGÍA LIDAR

"CONSULTORÍA PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO DE UN MODELO DIGITAL DE TERRENO MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍA LIDAR CON EL ACOTAMIENTO Y DELIMITACIÓN DE LAS FUENTES HÍDRICAS DETERMINADAS, EN EL MARCO DEL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 040-COV2210-86 DE 2022 SUSCRITO CON CORANTIOQUIA"

POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID
2023

POLITÉCNICO COLOMBIANO
JAIME ISAZA CADAVID

SIGLA
Sistemas de Información Geográfica de Latino América S.A.S

Bogotá D.C., 2023

Señores:
POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID
CRISTHER AMELA ESCOBAR GUZMAN
cpescobar@elpoli.edu.co

Estimados señores:

Reciban un cordial saludo, por medio de la presente se hace entrega del plan de trabajo para el proyecto "CONSULTORÍA PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO DE UN MODELO DIGITAL DE TERRENO MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍA LIDAR CON EL ACOTAMIENTO Y DELIMITACIÓN DE LAS FUENTES HÍDRICAS DETERMINADAS, EN EL MARCO DEL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 040-COV2210-86 DE 2022 SUSCRITO CON CORANTIOQUIA" específicamente en el área solicitada en la cuenca del Rio Nechí – El Bagre.

Quedamos atentos a sus comentarios.

Reciba un cordial saludo,

Equipo de proyectos SIGLA

SIGLA Sistemas de Información Geográfica de Latino América S.A.S		**INFORME FINAL RIO NECHÍ – EL BAGRE**
Tipo de documento: **CONTROLADO**		Versión: Primera (01)
Profesional Topografía	Profesional SIG	Director Soluciones de Ingeniería
Jhoan Macias Revisó	Raúl Andres Valencia Morales Elaboró	JUAN GONZALO Aprobó

OBJETO CONTRATO:

"CONSULTORÍA PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO DE UN MODELO DIGITAL DE TERRENO MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍA LIDAR CON EL ACOTAMIENTO Y DELIMITACIÓN DE LAS FUENTES HÍDRICAS DETERMINADAS, EN EL MARCO DEL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 040-COV2210-86 DE 2022 SUSCRITO CON CORANTIOQUIA"

REGISTRO DE CAMBIOS DE LA PRESENTE VERSIÓN

Versión	Página	Naturaleza del cambio	Fecha

CONTENIDO

1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 8

2. TOPOGRAFÍA 8

2.1. GEORREFERENCIACIÓN 9

2.1.1. MATERIALIZACIÓN 9

2.1.2. METODOLOGÍA DE CAPTURA Y PROCESADO DE POSICIONAMIENTO GPS Y FOTOCONTROL 11

2.1.3. POSICIONAMIENTO GPS 11

2.1.4. LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL CON RTK 12

2.1.5. PROCESAMIENTO DE DATOS TOPOGRÁFICOS 13

2.1.6. AFORO 14

3. BATIMETRIAS 15

3.1. METODOLOGIA DE CAPTURA 15

3.1.1. Plan de trabajo: 15

3.1.2. Labores previas 15

3.1.3. Labores en terreno 16

3.1.4. Labores posteriores de oficina 16

3.2. PROCESAMIENTO DE DATOS. 16

3.2.1. Aforo Rio Nechi – El Bagre 18

4. METODOLOGÍA CAPTURA DE INFORMACIÓN VUELOS FOTOGRAMÉTRICO - CÁMARA DIGITAL Y LIDAR. 21

5. PLANIFICACIÓN DEL VUELO EN BASE A LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS EXIGIDAS Y LA ZONA DE TRABAJO 21

5.1. COMPONENTES DEL SISTEMA 22

5.2. PARAMETROS DE VUELO COMBINADO LIDAR/CAMARA 22

5.3. CONTROL DE CALIDAD DEL VUELO PLANIFICADO 24

5.4. SELECCIÓN DE LA AERONAVE A UTILIZAR 24

5.5. ENVÍO DE LA PLANIFICACIÓN A LA UNIDAD DE VUELOS Y SOLICITUD DE LOS PERMISOS DE VUELO 25

5.6. MONTAJE E INSTALACIÓN DEL SISTEMA 25

6. TRABAJOS DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA INERCIAL – CÁMARA Y/O TECNOLOGÍA LIDAR. 26

6.1. Cálculo de corrección roll, pitch y Heading 27

7. EJECUCIÓN DEL VUELO 28

7.1. RECEPCIÓN DE PLANIFICACIÓN DEPARTAMENTOS DE VUELOS 28
7.2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA 28
7.3. COMPROBACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y SISTEMAS 28
7.4. REALIZACIÓN DEL VUELO 29
7.5. VOLCADO DE LA INFORMACIÓN 30
7.6. ENVÍO DE INFORMACIÓN A OFICINA 30
7.7. CONTROL DE CALIDAD DE CADA MISIÓN DE VUELO EJECUTADO 30
8. POST – PROCESO DE LOS DATOS LIDAR 43
8.1. EDICIÓN DE DATOS LIDAR. 43
8.2. AJUSTE AL TERRENO DE LOS DATOS LIDAR 44
8.3. CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS LIDAR 44
9. CONTROL DE CALIDAD ALTIMÉTRICO DE LA NUBE DE PUNTOS LIDAR. 45
9.1. CALCULO DEL MODELO DE AJUSTE LOCAL DE ONDULACIÓN 46
9.2. CONTROL DE COTAS CON AJUSTE A COTA GEOMETRICA 47
10. POST – PROCESO DE IMÁGENES DIGITALES. 47
10.1. APOYO FOTOGRAMÉTRICO. 48
10.2. AEROTRIANGULACIÓN. 49
10.3. PLANIFICACIÓN DE TRABAJOS DE AEROTRIANGULACIÓN. 49
10.4. EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE AEROTRIANGULACION. 50
10.5. ORIENTACIÓN INTERNA. 51
10.6. DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS ENLACE. 51
10.7. OBTENCIÓN DE PUNTOS HOMÓLOGOS DE APOYO (MULTIMEDICIÓN) PARA EL PROYECTO. 53
10.8. CÁLCULO Y AJUSTE DEL BLOQUE. 54
10.9. PRECISIONES DE LA AEROTRIANGULACIÓN. 54
10.10. RESULTADOS FINALES. 55

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. GPS1 Rio Nechi – El Bagre 9
Figura 2. Punto de Fotocontrol Rio Nechi – El Bagre 11
Figura 3. Equipos de posicionamiento 12
Figura 4. Levantamiento con RTK Rio Nechi – El Bagre 13
Figura 5. Aforo Rio Nechi – El Bagre 15
Figura 6. Esquema Rio Nechi – El Bagre 17

Figura 7. Secciones Rio Nechi – El Bagre 17
Figura 8. Secciones Aforo Rio Nechi – El Bagre 20
Figura 9. Diagrama de flujo SIGLA para vuelos combinados Lidar-Camara 21
Figura 10. Sistema Combinado de Captura LiDAR- Cámara Alta resolución 22
Figura 11. Plan de vuelo 23
Figura 12. Gráfico líneas de vuelo planificadas 24
Figura 13. Montaje aeronave Huges 500 25
Figura 14. Instalación Phase One iXM-RS 150F, LiDAR Riegl VQ 580ii 25
Figura 15. Integración de planificaciones al sistema de navegación de la aeronave 28
Figura 16. Sistema de control en vuelo 29
Figura 17. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230705 Sesión 1 31
Figura 18. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230706 Sesión 1 31
Figura 19. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230707 Sesión 1 32
Figura 20. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230708 Sesión 1 32
Figura 21. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230709 Sesión 1 32
Figura 22. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230710 Sesión 1 33
Figura 23.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1 33
Figura 24.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1 34
Figura 25.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1 34
Figura 26.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1 35
Figura 27.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1 35
Figura 28.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 36
Figura 29. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1 37
Figura 30. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1 37
Figura 31. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1 38
Figura 32. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1 38
Figura 33. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1 39
Figura 34. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 39
Figura 35. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1 40
Figura 36. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1 40
Figura 37. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1 41
Figura 38. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1 41

Figura 39. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 42
Figura 40. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 42
Figura 41. Ejemplo dato del terreno 43
Figura 42. Estación de trabajo de edición datos LiDAR 45
Figura 43.Gráfico explicativo método Control de cota LiDAR 45
Figura 44. Ejemplo de los levantamientos mediante topografía convencional 46
Figura 45. Gráfico Modelo de Ajuste local 46
Figura 46.Flujo de trabajo Apoyo en Campo 48
Figura 47.Flujo de trabajo de Aerotriangulación 49
Figura 48.Definición del bloque 50
Figura 49.Multimedición de puntos de Amarre 52
Figura 50.Precisión y enlace del bloque 52
Figura 51.Proceso de correlación y depuración 53
Figura 52.Interfaz gráfica Estéreo digital (Distribución de puntos) 54
Figura 53.Ortofotomosaico Fase 2 55

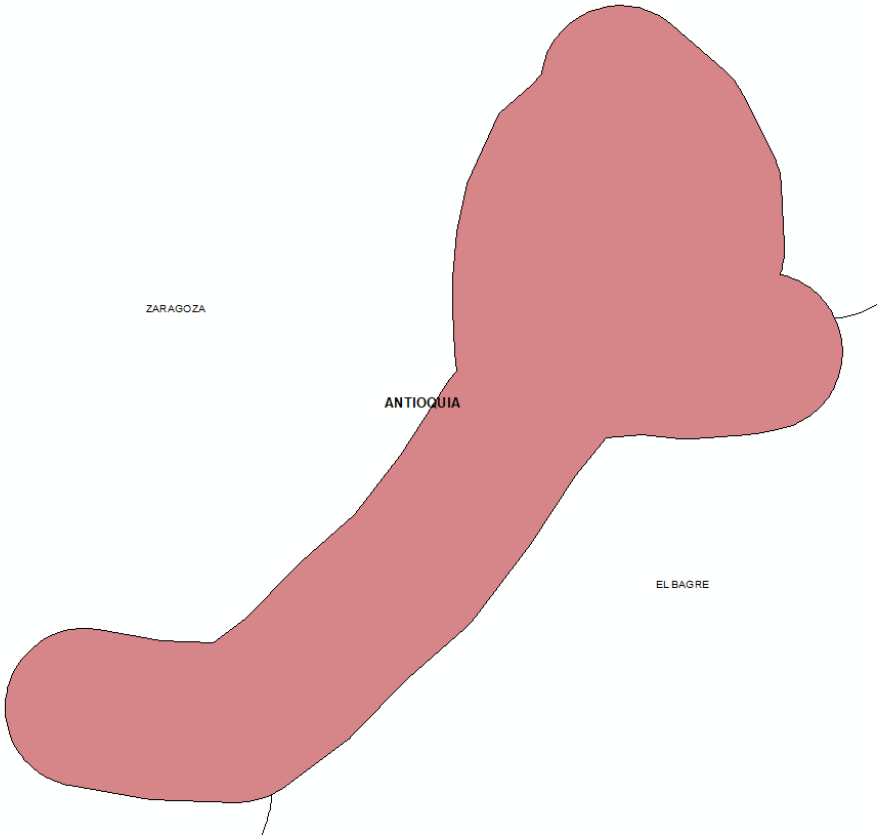
INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos Topográficos 9
Tabla 2. Coordenadas puntos GPS proyecto Rio Nechi – El Bagre- época 2018.0 13
Tabla 3. Coordenadas puntos Fotocontrol proyecto Politécnico Rio Nechi – El Bagre-época 2018.0 14
Tabla 4. Factor de Corrección de Velocidad del Caudal 18
Tabla 5. Caudal Rio Nechi – El Bagre 19
Tabla 6. Tabla de Coordenadas de la RED Geodésica 47
Tabla 6. Tabla estadística resultado del control de cotas Ortométrica 47

1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El polígono de interés se encuentra ubicado en los municipios de Zaragoza y El Bagre en el departamento de Antioquia con un área total de 323.88Ha. Basados en la delimitación dada de la zona a sobrevolar, así como en datos de campo, se realiza la planificación del vuelo fotogramétrico teniendo presente las condiciones geométricas

Ilustración 1. Localización y áreas de segmentos del proyecto



Fuente: SIGLA-SAS

2. TOPOGRAFÍA

En este capítulo se describe la metodología que fue utilizada en la realización de las labores de campo necesarias para la posterior actividad de ajuste y control de calidad de los productos Topográficos entregados.

La disponibilidad de Equipos de Topografía se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Equipos Topográficos

GPS/GNSS/RTK			
ITEM	**MARCA**	**MODELO**	**SERIAL**
1	Leica	ATX 1230	185688
2	Leica	ATX 1230	186111
3	Leica	ATX 1230	195196
4	Leica	ATX 1230	195200
5	Leica	GX 1230	110640
6	Stonex	850A	1477
BATIMÉTRICOS			
ITEM	**NOMBRE**	**VERSIÓN**	
1	SonarMite	SonarMiteV5 BTX/SPX	

Fuente: SIGLA-SAS

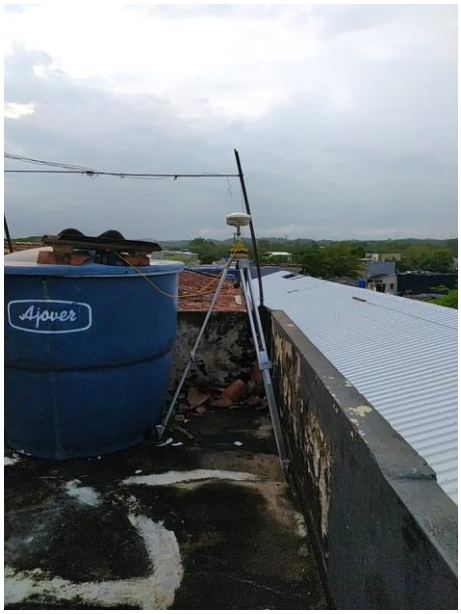
2.1. GEORREFERENCIACIÓN

2.1.1. MATERIALIZACIÓN

Puntos GNSS

Se realizará la materialización y posicionamiento de puntos GNSS en el área de estudio con el fin de ajustar el levantamiento, mediante la incrustación de placa de aluminio en el pavimento, cada placa se marca con el nombre de la empresa contratante, el número del contrato, el identificador del punto y la fecha de Monumentación.

Figura 1. GPS1 Rio Nechi – El Bagre



Fuente: SIGLA-SAS

Durante la etapa de materialización se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Perdurabilidad: Por la necesidad de mantener en el tiempo el grado de precisión de los mojones materializados que conforman la Posicionamiento de puntos, se requiere que el sitio elegido garantice que estos no sufrirán ningún deterioro o desplazamiento que implique el cambio de los valores en las coordenadas obtenidas. Para evitar a futuro la destrucción de los vértices se recomienda buscar terrenos que hagan parte de la infraestructura de instalaciones escolares, de las administraciones locales como hospitales, parques, entidades corporativas entre otras.

- Confiabilidad: Que el sitio elegido permita contar con un horizonte despejado, libre de obstáculos como: cuerpos de agua, vegetación tupida, fuentes de energía (transformadores, motores, transmisores), antenas de comunicación receptoras y emisoras, dentro de un radio de 50 metros de distancia, construcciones y todo aquello que interfiera o desvíe (generando multi-retorno) la señal transmitida por la constelación de satélites GNSS NAVSTAR.

- Intervisibilidad: Se pretende la materialización de la Posicionamiento de tal forma que los puntos tengan Intervisibilidad por parejas de modo que uno haga las veces de señal de azimut de su pareja correspondiente, permitiendo de esta manera la ejecución de trabajos de topográficos con equipos óptico-mecánicos.

- Estabilidad: El sitio seleccionado debe contener formación rocosa, que no presente suelos con problemas de estabilidad, carentes de deslizamientos por pendientes fuertes, terrenos inestables por presencia de flujo de líquidos, sedimentos, pantanos, fallas geológicas, terrenos fangosos, riveras de los ríos o hundimientos.

- Seguridad: Que el sitio elegido sea de fácil acceso, que permita la ocupación con equipos de medición (estación total y/o GNSS) sin riesgo de integridad o pérdida de los mismos.

Puntos Fotocontrol

Un punto de fotocontrol es un punto de referencia o marcador físico que se coloca en el terreno o en una superficie específica para servir como punto de referencia geodésico en trabajos de fotogrametría y cartografía. Estos puntos se utilizan para medir y establecer con precisión las coordenadas geográficas de lugares específicos en la superficie de la Tierra. Estos puntos pueden ser físicos, como marcas en el suelo o monumentos, o pueden consistir en placas metálicas con coordenadas grabadas. También pueden ser puntos naturales, como características geográficas bien definidas y fácilmente identificables en las imágenes, como esquinas de edificios, intersecciones de carreteras o picos de montañas.

Se materializaron tres puntos de fotocontrol en la zona:

Figura 2. Punto de Fotocontrol Rio Nechi – El Bagre



Fuente: SIGLA-SAS

2.1.2. METODOLOGÍA DE CAPTURA Y PROCESADO DE POSICIONAMIENTO GPS Y FOTOCONTROL

Los puntos del Posicionamiento GPS permiten referenciar todos los productos topográficos, entre los que se encuentran: Levantamientos Topográficos, nubes de puntos, Nivelación trigonométrica de precisión y trabajos de topografía convencional adicional que se haya realizado previamente a la ejecución del contrato marco.

2.1.3. POSICIONAMIENTO GPS

Este método de posicionamiento GPS consiste en calcular las coordenadas Lat, Long, X, Y, Altura elipsoidal de los monumentos materializados, utilizando GPS sub centimetrito y apoyándose en el Posicionamiento de puntos geoestacionarios de Primer Orden o bases permanentes IGAC Magna - Sirgas Certificadas.

La longitud máxima de los vectores entre los puntos a posicionar y de amarre a las placas certificadas no deberá superar 30 kilómetros como máximo. Este procedimiento beneficia la georreferenciación del proyecto en cuanto a exactitud.

- Equipos de GPS doble frecuencia propuestos para labores de posicionamiento GPS.

  Los equipos de rastreo satelital GPS a utilizar serán equipos doble frecuencia (L1-L2) de precisión subcentimétrica. Se plantea el uso de equipos Leica 1200, receptores que permiten el Posicionamiento libre de influencias ionosféricas con 12 canales L1 fase y código C/A, 12 canales L2 fase y código P, más respaldo de cuadratura (squaring) mediante código, rastreo continuo de todos los satélites disponibles y antena construida para minimizar los efectos multitrayecto.

Figura 3. Equipos de posicionamiento



Fuente: SIGLA-SAS

El equipo GPS seleccionado, ha de permitir la captura de constelaciones satelitales GPS y GLONASS, además de poseer memoria de almacenamiento y duración de baterías suficientes y adecuadas para los trabajos de campo.

El rastreo de cada punto se realizará con el tiempo de necesario para asegurar la exactitud y precisión de los resultados, esto como es sabido, depende de los puntos de apoyo y la distancia a que se encuentran; durante este tiempo estimado los equipo estarán registrando datos con dos bases conocidas y certificadas a partir del sistema de referencia del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

2.1.4. LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL CON RTK

RTK es una técnica avanzada de posicionamiento que utiliza señales de satélite (como las del sistema GPS) para obtener correcciones de alta precisión en tiempo real. Con RTK, se emplean al menos dos receptores GNSS: uno en una estación base con coordenadas conocidas con precisión y otro en un receptor móvil. La estación base calcula correcciones en tiempo real para las señales GNSS y las transmite al receptor móvil, lo que permite al receptor móvil determinar su ubicación con gran precisión en tiempo real, a menudo centimétrica.

Figura 4. Levantamiento con RTK Rio Nechi – El Bagre



Fuente: SIGLA-SAS

2.1.5. PROCESAMIENTO DE DATOS TOPOGRÁFICOS

En el procesamiento de cada uno de los puntos de Posicionamiento se seguirán las recomendaciones del IGAC en relación al "Procesamiento de Información de GPS considerando la variación de las Coordenadas en el Tiempo (Velocidades) por efectos Geodinámicos".

Las coordenadas de las secciones obtenidas por RTK son mediciones de alta precisión en tiempo real, que se ajustan con los puntos de control.

Las coordenadas obtenidas de GPS y Fotocontroles se evidencian en las siguientes tablas.

Tabla 2. Coordenadas puntos GPS proyecto Rio Nechi – El Bagre- época 2018.0

COORDENADAS PUNTOS GPS PROYECTO POLITECNICO Rio Nechí-El Bagre - EPOCA 2018.0											
Point Id	GEODÉSICAS			GEOCENTRICAS			GAUSS (CENTRAL)		CTM12		ALTURA
	WGS84 Latitude [°N]	WGS84 Longitude [°W]	WGS84 Ellip. Height [m]	WGS84 Cartesian X	WGS84 Cartesian Y	WGS84 Cartesian Z	Easting [m]	Northing [m]	Easting [m]	Northing [m]	Ortométrica
BASE GPS	07° 36' 06.362604540" N	074° 48' 40.345770389" W	67.046	1656502.677	-6101659.539	838154.012	919035.886	1332445.394	4800265.173	2398404.054	60.682

Fuente: SIGLA-SAS

Tabla 3. Coordenadas puntos Fotocontrol proyecto Politécnico Rio Nechi – El Bagre- época 2018.0

COORDENADAS FOTOCONTROL POLITECNICO Rio Nechí-El Bagre - EPOCA 2018.0											
Point Id	GEODÉSICAS			GEOCENTRICAS			PLANAS (GAUSS CENTRAL MAGNA)		CTM12		Altura Ortométrica
	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ellip. Height [m]	WGS84 Cartesian X [m]	WGS84 Cartesian Y [m]	WGS84 Cartesian Z [m]	Este	Norte	Este	Norte	
PFC-1	07° 36' 13.445802610" N	074° 49' 09.436778149" W	59.726	1655632.6607	-6101858.3188	838368.7322	918144.486	1332664.530	4799374.665	2398625.323	53.372
PFC-2	07° 36' 29.503980934" N	074° 48' 25.454084667" W	65.562	1656918.1515	-6101447.7122	838858.4842	919493.582	1333155.593	4800724.458	2399112.836	59.257
PFC-3	07° 37' 10.661793834" N	074° 48' 14.634497226" W	57.905	1657192.298	-6101191.795	840110.723	919827.371	1334419.522	4801061.266	2400375.438	51.702

Fuente: SIGLA-SAS

2.1.6. AFORO

Un aforo es el proceso de medir y calcular el caudal o flujo de agua que circula a través de un cuerpo de agua natural o un sistema de conducción de agua, como un río, arroyo, canal, lago o embalse. El aforo de un cuerpo de agua implica la medición de varios parámetros, como la velocidad del flujo del agua, la profundidad del agua, la anchura de la corriente y la geometría de la sección transversal del cuerpo de agua. Estos datos se recopilan en diferentes puntos a lo largo del cuerpo de agua para tener una imagen completa del caudal. Luego, se utilizan fórmulas y métodos matemáticos para calcular el caudal total que fluye en el cuerpo de agua en un momento dado.

Existen diferentes metodologías para determinarlo entre ellos el método del flotador que consiste en lo siguiente:

- Selección del punto de medición: Se elige un punto en el cuerpo de agua donde se desee medir el caudal. Este punto debe tener una sección transversal representativa del flujo y ser seguro para realizar las mediciones.

- Elección del flotador: Se selecciona un objeto flotante que sea fácilmente visible y siga el flujo del agua sin hundirse ni volcarse. Ejemplos comunes de flotadores son troncos, botes o botellas.

- Medición de la profundidad: Se utiliza un equipo de medición adecuado, como una sonda de profundidad o una cinta métrica, para medir la profundidad del agua en varios puntos a lo largo de la sección transversal del cuerpo de agua en el punto de medición. Estas mediciones se realizan generalmente en intervalos regulares.

- Lanzamiento y seguimiento: El flotador se lanza al agua aguas arriba del punto de medición y se sigue visualmente a medida que fluye con la corriente.

- Cálculo de la velocidad promedio: Utilizando el tiempo de viaje del flotador y la distancia conocida entre los puntos de medición de la profundidad, se calcula la velocidad promedio del flujo del agua en cada punto. Esto se hace dividiendo la distancia entre dos mediciones de profundidad por el tiempo que tarda el flotador en recorrer esa distancia.

- Cálculo del caudal: Con las velocidades promedio calculadas y las áreas correspondientes de la sección transversal del cuerpo de agua (profundidad x ancho), se puede estimar el caudal (volumen de agua que pasa por ese punto en un período de tiempo específico).

Figura 5. Aforo Rio Nechi – El Bagre



Fuente: SIGLA-SAS

3. BATIMETRIAS

El levantamiento topográfico de la quebrada se efectuó utilizando tecnología RTK (Real-Time Kinematic), con el propósito de capturar puntos de interés que incluyeron los contornos del terreno, los bordes de la quebrada y su lecho, obteniendo valores en X,Y y Z. Posteriormente, se procedió a la generación de un modelo digital del terreno, con curvas de nivel a intervalos de dos metros. A partir de este modelo, se obtuvieron secciones transversales de la quebrada con un espaciamiento de 30 metros entre cada una.

Para cuantificar el caudal de la quebrada, se implementó un aforo con el método del flotador en secciones estratégicamente seleccionadas, lo que permitió la medición precisa del flujo de agua en puntos clave a lo largo de su curso.

3.1. METODOLOGIA DE CAPTURA

3.1.1. Plan de trabajo:

A continuación, se hace una descripción:

- Determinación de vértices de control topográfico para cada sección.
- Determinación de la geometría de cada una de las secciones mediante levantamiento topográfico-RTK convencional.
- Aforo para la determinación del caudal por medio de la metodología con flotador.

3.1.2. Labores previas

- • Planificación logística y técnica del levantamiento con base en la cartografía existente.

3.1.3. Labores en terreno

- A partir de los vértices de amarre se realiza el levantamiento topográfico de secciones transversales con GPS usando el método de RTK convencional.
- Registro fotográfico de los diferentes procedimientos
- Aforo por método de flotador, las secciones se levantaron con RTK obteniendo su ubicación en Norte, Este y Cota, la profundidad de la lámina de agua se toma con cinta métrica, y se realizó varias tomas de tiempo para determinar un promedio.

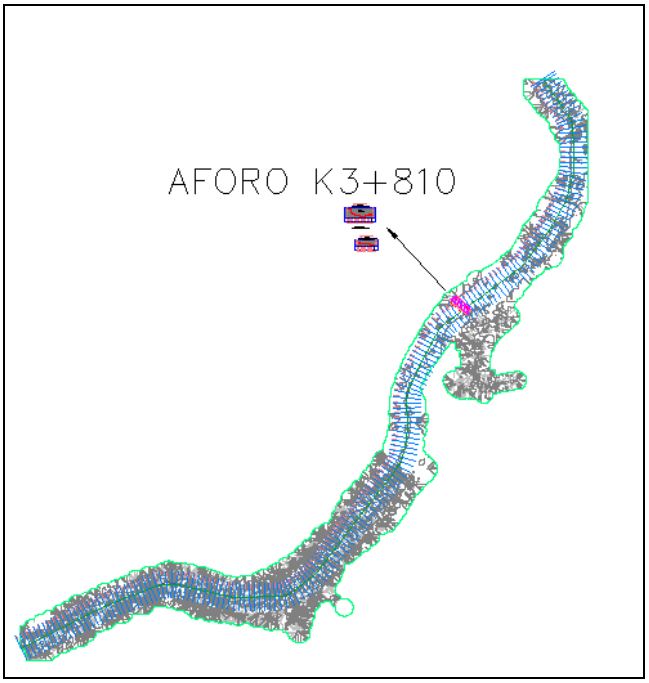
3.1.4. Labores posteriores de oficina

- Reducción de datos de RTK
- Cálculo y dibujo de secciones transversales.
- Calculo de datos de aforo y caudal de la quebrada.

3.2. PROCESAMIENTO DE DATOS.

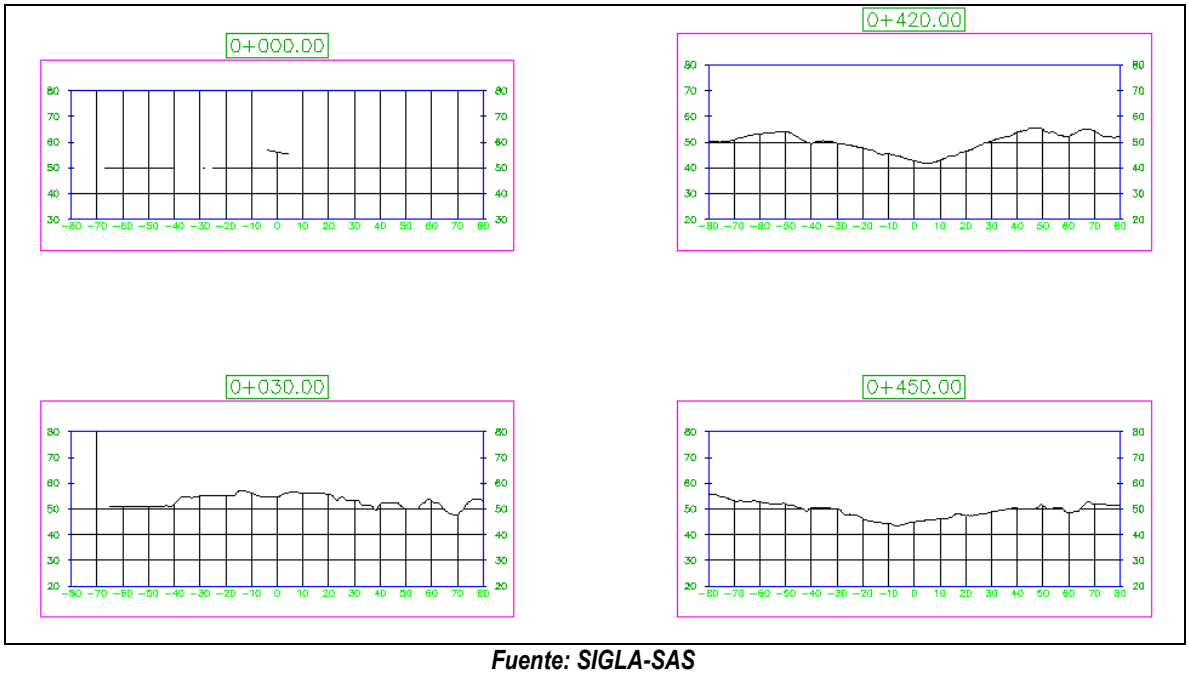
Se procedió a la determinación de las coordenadas planas del levantamiento de la quebrada, utilizando el sistema de referencia Magna Gauss-Krüger Origen Central y el Origen nacional CTM12. Se ha realizó una representación gráfica de la información del levantamiento, con dos archivos distintos, uno para cada sistema de referencia, que contienen curvas de nivel generadas a intervalos de 2 metros y secciones transversales establecidas a intervalos de 30 metros

Figura 6. Esquema Rio Nechi – El Bagre



Fuente: SIGLA-SAS

Figura 7. Secciones Rio Nechi – El Bagre



Fuente: SIGLA-SAS

3.2.1. Aforo Rio Nechi – El Bagre

Se obtuvieron coordenadas planas en los Sistemas de referencia Magna Gauss Central y CTM12 de las secciones tomadas para el aforo con una separación de 10 metros entre cada sección. En cada punto de la sección, se realizó la medición de la lámina de agua con flexómetro, lo que permitió determinar la profundidad promedio de la sección; así mismo llevó a cabo la medición del tiempo que el objeto flotante tardó en recorrer la distancia entre cada una de las secciones en nueve ocasiones, y se obtuvo así el tiempo promedio. El calculo del caudal se obtiene mediante la fórmula:

Caudal (m^3/s) = A x V x Factor de corrección

A=Área
V= Velocidad

Tabla 4. Factor de Corrección de Velocidad del Caudal

Tipos de Arroyo	Factor de Corrección De Velocidad (C)	Precisión
Canal rectangular Con lados y lechos lisos	0.85	Buena
Río profundo y lento	0.75	Razonable
Arroyo pequeño de lecho Parejo y liso	0.65	Mala
Arroyo rápido y turbulento	0.45	Muy mala
Arroyo muy poco profundo De lecho rocoso	0.25	Muy mala.

Fuente: Universidad Santo Tomás

El factor de corrección tomado fue 0.25 ya que la quebrada es poco profunda y rocosa. El caudal obtenido fue de 0.207 m^3/s, los datos que se obtuvieron en cuenta se evidencian en la siguiente tabla:

Tabla 5. Caudal Rio Nechi – El Bagre

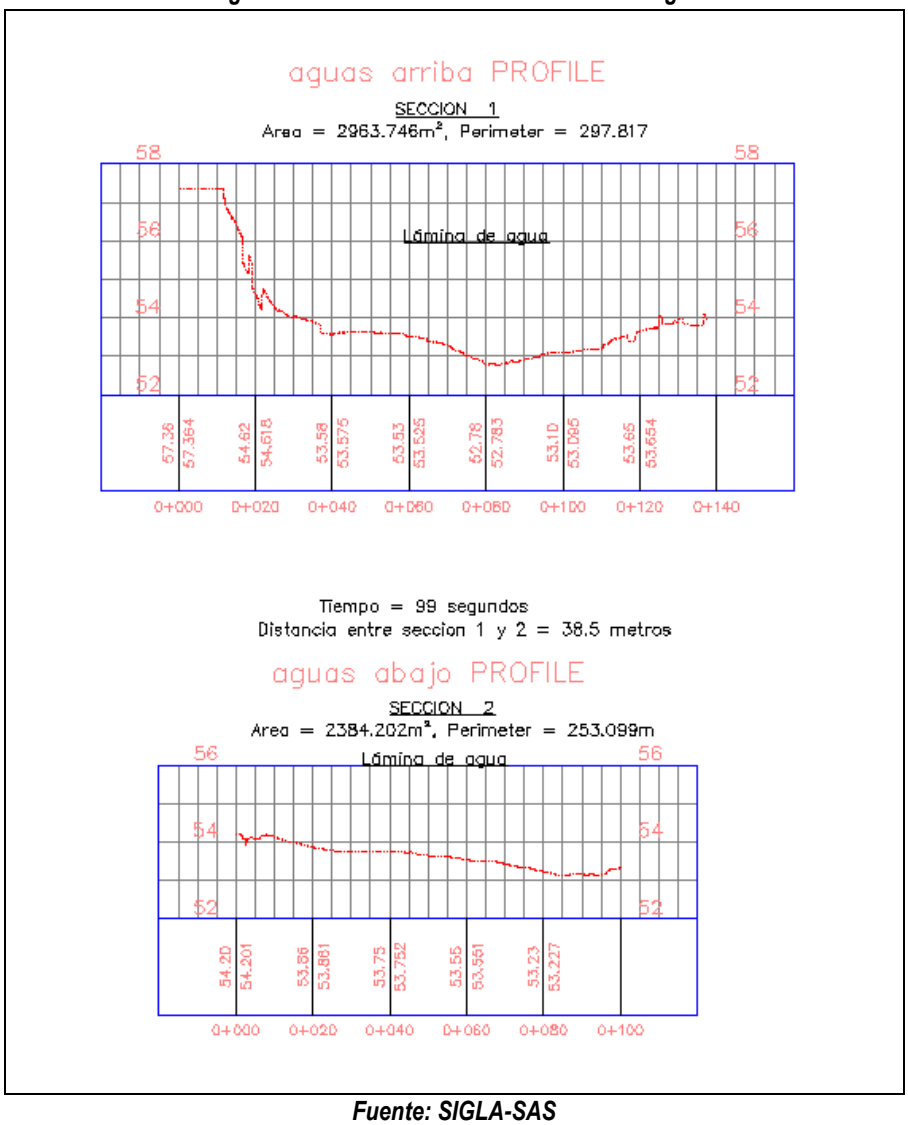
AFORO RIO NECHI - ECOSONDA EPOCA2018.0												
Point Id	GEODÉSICAS			PLANAS GAUSS ORIGEN CENTRAL		CTM12		Altura Ortométrica	Profundidad (m)	Descriptor	Área m^2 Transversal
	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ellip. Height [m]	Este	Norte	Este	Norte				
1	7°37'7.46538"N	74°48'18.12844"W	60.663	919720.105	1334321.499	4800953.797	2400277.721	54.463	1.53656277	K3+810	2963.746
2	7°37'7.37127"N	74°48'18.18902"W	60.301	919718.243	1334318.611	4800951.929	2400274.838	54.101	1.89933008	K3+810	
3	7°37'7.32855"N	74°48'18.23971"W	59.942	919716.687	1334317.301	4800950.370	2400273.533	53.742	2.25822184	K3+810	
4	7°37'7.24716"N	74°48'18.36765"W	60.056	919712.761	1334314.807	4800946.439	2400271.050	53.856	2.1440125	K3+810	
5	7°37'7.24577"N	74°48'18.38001"W	50.806	919712.382	1334314.765	4800946.060	2400271.009	44.606	11.39400774	K3+810	
6	7°37'7.06685"N	74°48'18.33897"W	59.876	919713.631	1334309.266	4800947.295	2400265.509	53.676	2.32358287	K3+810	
7	7°37'6.78661"N	74°48'18.17949"W	59.872	919718.505	1334300.648	4800952.146	2400256.882	53.672	2.3279277	K3+810	
8	7°37'6.68908"N	74°48'17.91932"W	59.904	919726.475	1334297.638	4800960.105	2400253.853	53.704	2.29572218	K3+810	
9	7°37'6.68086"N	74°48'17.63872"W	59.894	919735.076	1334297.371	4800968.702	2400253.565	53.694	2.30573315	K3+810	
10	7°37'6.62261"N	74°48'17.51243"W	59.937	919738.944	1334295.575	4800972.564	2400251.760	53.737	2.26260727	K3+810	
11	7°37'6.52632"N	74°48'17.32684"W	59.966	919744.628	1334292.607	4800978.239	2400248.779	53.766	2.2343965	K3+810	
12	7°37'6.4802"N	74°48'17.26804"W	59.947	919746.428	1334291.187	4800980.034	2400247.355	53.747	2.25329208	K3+810	
13	7°37'6.29885"N	74°48'17.10182"W	59.819	919751.514	1334285.607	4800985.104	2400241.764	53.619	2.38087532	K3+810	
14	7°37'5.94274"N	74°48'16.76517"W	59.707	919761.815	1334274.649	4800995.374	2400230.785	53.507	2.49305707	K3+810	
15	7°37'5.73318"N	74°48'16.54086"W	59.573	919768.680	1334268.199	4801002.220	2400224.320	53.373	2.6265788	K3+810	
16	7°37'5.52648"N	74°48'16.33619"W	59.226	919774.943	1334261.838	4801008.465	2400217.946	53.026	2.97410482	K3+810	
17	7°37'5.33814"N	74°48'16.18924"W	59.330	919779.438	1334256.044	4801012.944	2400212.143	53.130	2.86966852	K3+810	
18	7°37'5.21935"N	74°48'16.09932"W	59.367	919782.188	1334252.390	4801015.684	2400208.484	53.167	2.83339338	K3+810	
19	7°37'5.13365"N	74°48'16.04375"W	59.579	919783.887	1334249.754	4801017.375	2400205.845	53.379	2.62119359	K3+810	
20	7°37'5.09477"N	74°48'16.01159"W	59.685	919784.871	1334248.558	4801018.356	2400204.647	53.485	2.51510394	K3+810	
21	7°37'4.90075"N	74°48'15.89352"W	59.517	919788.480	1334242.591	4801021.949	2400198.673	53.317	2.68265095	K3+810	
22	7°37'4.6188"N	74°48'15.97731"W	60.292	919785.897	1334233.933	4801019.345	2400190.025	54.092	1.90796478	K3+810	
23	7°37'4.55144"N	74°48'15.98558"W	59.701	919785.640	1334231.864	4801019.083	2400187.957	53.501	2.49880218	K3+810	
24	7°37'4.81792"N	74°48'15.79499"W	59.603	919791.496	1334240.041	4801024.957	2400196.117	53.403	2.59746307	K3+810	
25	7°37'4.85943"N	74°48'15.76485"W	59.855	919792.422	1334241.315	4801025.886	2400197.388	53.655	2.34456607	K3+810	
26	7°37'4.54036"N	74°48'15.93549"W	60.743	919787.175	1334231.521	4801020.617	2400187.611	54.543	1.4567812	K3+810	
27	7°37'4.06941"N	74°48'16.65259"W	60.421	919765.169	1334217.089	4800998.583	2400173.239	54.221	1.77857194	K3+771.5	2384.202
28	7°37'4.05103"N	74°48'16.70476"W	60.785	919763.569	1334216.527	4800996.982	2400172.681	54.585	1.41452235	K3+771.5	
29	7°37'4.22355"N	74°48'16.81646"W	59.689	919760.154	1334221.833	4800993.582	2400177.994	53.489	2.51092432	K3+771.5	
30	7°37'4.58335"N	74°48'17.00801"W	59.389	919754.301	1334232.897	4800987.759	2400189.068	53.189	2.81076689	K3+771.5	
31	7°37'4.90847"N	74°48'17.11138"W	59.307	919751.149	1334242.891	4800984.633	2400199.066	53.107	2.89253603	K3+771.5	
32	7°37'4.7996"N	74°48'17.3772"W	59.301	919742.995	1334239.560	4800976.474	2400195.757	53.101	2.89924564	K3+771.5	
33	7°37'4.73135"N	74°48'17.39911"W	59.284	919742.320	1334237.464	4800975.794	2400193.663	53.084	2.9160797	K3+771.5	
34	7°37'4.80763"N	74°48'17.36505"W	59.151	919743.368	1334239.806	4800976.847	2400196.002	52.951	3.04926662	K3+771.5	
35	7°37'4.92932"N	74°48'17.41239"W	59.043	919741.923	1334243.547	4800975.412	2400199.745	52.843	3.1565532	K3+771.5	
36	7°37'5.0387"N	74°48'17.48193"W	59.096	919739.797	1334246.911	4800973.296	2400203.113	52.896	3.1038083	K3+771.5	
37	7°37'5.10126"N	74°48'17.5587"W	58.930	919737.447	1334248.837	4800970.951	2400205.044	52.730	3.26994992	K3+771.5	
38	7°37'5.13026"N	74°48'17.59399"W	58.965	919736.367	1334249.730	4800969.874	2400205.939	52.765	3.23501573	K3+771.5	
39	7°37'5.02579"N	74°48'17.72727"W	59.144	919732.276	1334246.527	4800965.777	2400202.748	52.944	3.05575061	K3+771.5	
40	7°37'4.85968"N	74°48'17.80793"W	59.258	919729.795	1334241.428	4800963.284	2400197.657	53.058	2.94234291	K3+771.5	
41	7°37'4.7894"N	74°48'17.85459"W	59.303	919728.361	1334239.271	4800961.845	2400195.504	53.103	2.89716887	K3+771.5	
42	7°37'4.84181"N	74°48'17.88658"W	59.360	919727.383	1334240.883	4800960.871	2400197.118	53.160	2.84029141	K3+771.5	
43	7°37'5.22026"N	74°48'18.02029"W	59.522	919723.304	1334252.517	4800956.823	2400208.758	53.322	2.67818501	K3+771.5	
44	7°37'5.3985"N	74°48'18.13497"W	59.648	919719.798	1334257.999	4800953.332	2400214.246	53.448	2.55160033	K3+771.5	
45	7°37'5.53022"N	74°48'18.25873"W	59.824	919716.011	1334262.052	4800949.557	2400218.307	53.624	2.37590312	K3+771.5	
46	7°37'5.56981"N	74°48'18.34946"W	59.841	919713.232	1334263.273	4800946.782	2400219.535	53.641	2.358988	K3+771.5	
47	7°37'5.59385"N	74°48'18.43073"W	59.866	919710.742	1334264.016	4800944.295	2400220.284	53.666	2.33403711	K3+771.5	
48	7°37'5.59791"N	74°48'18.49882"W	59.856	919708.655	1334264.144	4800942.209	2400220.417	53.656	2.3440395	K3+771.5	
49	7°37'5.59481"N	74°48'18.57665"W	59.742	919706.269	1334264.053	4800939.823	2400220.332	53.542	2.45802328	K3+771.5	
50	7°37'5.6124"N	74°48'18.65021"W	59.795	919704.015	1334264.597	4800937.572	2400220.881	53.595	2.40505762	K3+771.5	
51	7°37'5.65238"N	74°48'18.74029"W	59.838	919701.256	1334265.830	4800934.817	2400222.121	53.638	2.36214345	K3+771.5	
52	7°37'5.72119"N	74°48'18.83772"W	59.776	919698.273	1334267.949	4800931.840	2400224.246	53.576	2.42429794	K3+771.5	
53	7°37'5.76651"N	74°48'18.92464"W	59.734	919695.611	1334269.346	4800929.183	2400225.649	53.534	2.46639713	K3+771.5	
54	7°37'5.82184"N	74°48'19.00247"W	59.738	919693.228	1334271.050	4800926.805	2400227.359	53.538	2.46152158	K3+771.5	
55	7°37'5.92188"N	74°48'19.13075"W	59.689	919689.301	1334274.130	4800922.887	2400230.447	53.489	2.5107476	K3+771.5	
56	7°37'6.0083"N	74°48'19.22811"W	59.680	919686.321	1334276.790	4800919.915	2400233.113	53.480	2.51994453	K3+771.5	
57	7°37'6.06402"N	74°48'19.32356"W	59.625	919683.398	1334278.507	4800916.997	2400234.837	53.425	2.57506756	K3+771.5	
58	7°37'6.05712"N	74°48'19.3994"W	59.513	919681.073	1334278.299	4800914.673	2400234.635	53.313	2.68704276	K3+771.5	
59	7°37'6.03277"N	74°48'19.47945"W	59.878	919678.618	1334277.555	4800912.217	2400233.897	53.678	2.32197553	K3+771.5	
60	7°37'5.9707"N	74°48'19.57519"W	60.181	919675.680	1334275.653	4800909.275	2400232.003	53.981	2.01881627	K3+771.5	

TIEMPO (seg)								
Margen derecha			Centro			Margen Izquierda		
99.00''	99.10''	99.11''	99.00''	99.01''	99.03''	99.00''	99.10''	99.02''

Promedio	Distancia recorrida (m)	Profundidad Promedio	Ancho del río (m)	Área m^2	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)
99.04''	38.5	2.694	100	2963.746	0.389	864.067

Fuente: SIGLA-SAS

Figura 8. Secciones Aforo Rio Nechi – El Bagre

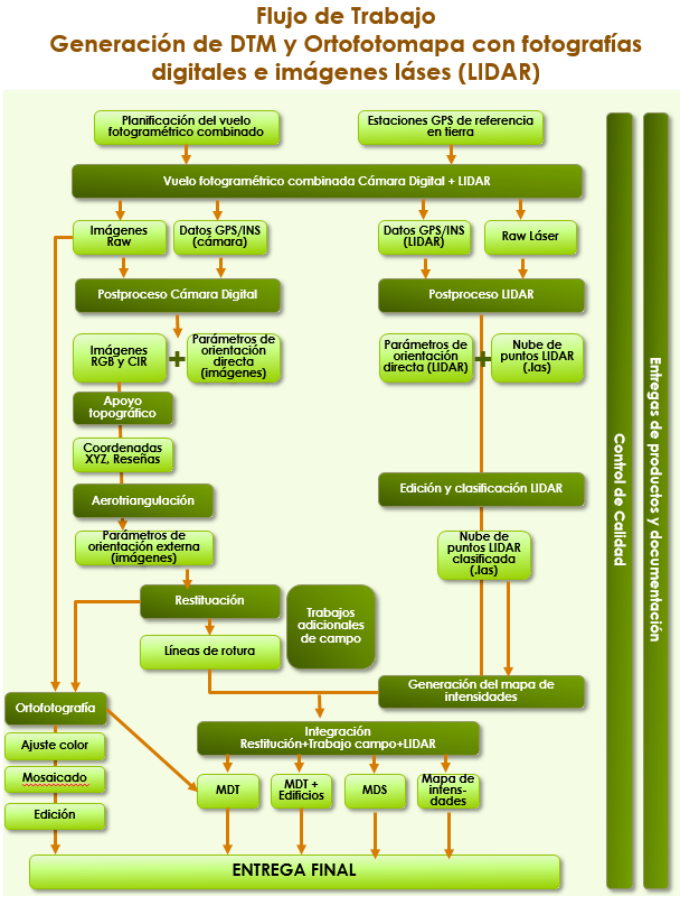


Fuente: SIGLA-SAS

4. METODOLOGÍA CAPTURA DE INFORMACIÓN VUELOS FOTOGRAMÉTRICO - CÁMARA DIGITAL Y LIDAR.

La siguiente figura muestra el diagrama de flujo seguido por nuestro personal técnico, e incluye los procesos desde la Planificación hasta la obtención de Modelos Digitales y ortofotografías digitales y demás entregables objeto del proyecto.

Figura 9. Diagrama de flujo SIGLA para vuelos combinados Lidar-Camara



Fuente: Elaboración Propia

En el diseño de una misión de vuelo combinado (Cámara digital-LiDAR) se tuvieron en cuenta de manera conjunta las especificaciones relativas tanto a la captura de imagen como de captura de datos LiDAR, garantizando que el vuelo cumpla con las exigencias impuestas en las especificaciones técnicas.

5. PLANIFICACIÓN DEL VUELO EN BASE A LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS EXIGIDAS Y LA ZONA DE TRABAJO.

Dada la delimitación de la zona a sobrevolar y apoyándonos en la cartografía existente, así como en datos de campo, se realizó una planificación inicial del vuelo fotogramétrico, teniendo presente las condiciones geométricas proporcionadas por el cliente.

5.1. COMPONENTES DEL SISTEMA

El sistema a utilizar es un conjunto combinado de cámara fotogramétrica de medio formato Phase One iXM-RS 150F, LiDAR Riegl VQ 580ii, ambos de última generación.

Este sistema, de reciente fabricación está siendo utilizado tanto en proyectos LiDAR que implican estudios de corredores, como en estudios que abarcan áreas extensas y entre sus ventajas respecto a otros equipos podemos citar la posibilidad de instalación en diversas aeronaves como helicópteros, con STC y certificaciones disponibles, Eurocopter AS350 BA, B2, B3 y AS355N biturbina, Bell 206, Robinson R44, Huges 500, aviones Cessna 180, 182, 206 y 402, Piper PA23 y PA31.

Para la realización del proyecto garantizando la calidad y como margen de seguridad sobre las condiciones técnicas establecidas se diseñó un plan de vuelo en el cual se tomaran 8 Puntos/m2 y el tamaño mínimo de Píxel es de 0.15 GSD.

Figura 10. Sistema Combinado de Captura LiDAR- Cámara Alta resolución



Fuente: SIGLA-SAS

5.2. PARAMETROS DE VUELO COMBINADO LIDAR/CAMARA

La parametrización del sensor LiDAR se realizó con la aplicación del Software AeroPlan de la casa Leica Geosystems. Los parámetros generales del vuelo fotogramétrico y LiDAR planificado se resumen en la siguiente tabla.

Figura 11. Plan de vuelo

IXM-RS 150F - VQ580

PLAN DE VUELO: FOTOGRAMETRÍA

SIGLA Sistemas de Información Geográfica de Latino América S.A.S

Proyecto: 304_PolitecnicoColombiano_SI-2023-1026
Lugar: Colombia

SGR: WGS84 — EPSG
Proyección: UTM 18N

CÁMARA: Phase One IXM-RS 150F
Tamaño de píxel: 0.00376 mm — Formato de cámara: 67 mm — FOV: 80 °
Tamaño del sensor: 14,204 píxeles — 53.4 mm (ancho) — 151 MP — FOV alto: 53 °
10,652 píxeles — 40.1 mm (alto) — FOV ancho: 67 °

OBJETIVO: Rodenstock 100 mm f/4.0
Distancia focal: 40 mm

CONDICIONES TOMA:
- Velocidad de obturación (inverso): 1600 s
- FMC: 0.5 píxeles — Altura mínima: 410 m — Para evitar el arrastre de píxel (desenfoque)
- Velocidad aeronave: 60 nudos — 111 km/h — 31 m/s
- Recubrimientos: Longitudinal: 70% / Transversal: 40%
- Margen seguridad ancho: 10%
  - Ancho pasada segura: 895 m — Ancho de pasada a dibujar
  - Altura de vuelo ancho seguro: 670 m — Límite inferior de la AGL

CONDICIONES RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA:
- Para zum 1:2. Diferencial de paralaje: 0.5 píxeles
- Apreciación planimétrica: 0.035 m
- Apreciación altimétrica: 0.056 m (Con pares de fotos alternas)
- Relación B/H: 0.60 (Con pares de fotos alternas)

PARAMETROS:

GSD	AGL	M	Imagen terreno		Superficie cubierta	Base aérea	Intervalo pasadas	Intervalo disparo
			Avance	Lateral				
0.070	745	18,617	746	994	74	224	597	7.247

ZONA A VOLAR:
- Tipo: Corredor (Valores: Polígono, Corredor)
- Eje largo: 3,600,000 m
- Eje corto: 200 m
- Número de pasadas: 1
- Fotos longitud zona: 16095

EQUIVALENCIA VUELO ANALÓGICO:

M	≅
2,500	28
5,000	14
8,000	9
16,000	4

PLAN DE VUELO: LIDAR

SIGLA Sistemas de Información Geográfica de Latino América S.A.S

Proyecto: 304_PolitecnicoColombiano_SI-2023-1026
Lugar: Colombia

SGR: WGS84 — EPSG
Proyección: UTM 18N — 0

ESCÁNER: RIEGL VQ-580II

PRR kHz	Alcance máximo		Máx. AGL	Máx. AGL	Dist. sin ambigüed.
	ρ ≥ 20%	ρ ≥ 60%	ρ ≥ 20%	ρ ≥ 60%	
150	1,850	2,850	1,350	2100	1,000
300	1,350	2,150	1,000	1600	500
600	1,000	1,600	750	1200	250
1200	750	1,200	550	900	125
2000	550	950	400	700	75

Densidad LIDAR: 10.0 puntos/m2
Ancho efectivo barrido: 597 m
Prec. est. roll, pitch: 0.15 °
Prec. est. heading: 0.40 °
Errores LIDAR (1σ):
Borde de pasada Eh: 1.59 m
Borde pas. efectiva Eh: 0.00 m
Centro de pasada Eh: 0.05 m
Ev: 0.02 m

- AGL: 745 m
- Dist. extremo: 939 m
- Vel. aeronave: 60 nudos 111 km/h
- FOV: 75 ° (+37,5° / -37,5°)
- PRR: 600 kHz
- Increm. ángulo: 0.030 ° — Dif. Res.: 0.141 °
- Ancho barrido: 1143 m
- Solape ejes: 45%

- Puntos por línea: 2,466 puntos
- Intervalo extremo: 0.5 m
- Intervalo nadir: 0.4 m
- Velocidad barrido: 122 líneas/s
- Distancia líneas: 0.25 m
- Divergencia rayo: 0.3 mrad
- Huella nadir: 0.22 m
- Máxima AGL: 900 m

Cambiar la altura de vuelo sólo cambia la resolución de la línea
Cambiar la velocidad sólo cambia la separación entre líneas
Cambiar el incremento de ángulo cambia resolución y separación
El incremento de ángulo debe estar entre los 0,003º y los 0,36º
Tener en cuenta que el número de líneas por segundo admitido por este modelo es entre 10 y 150
Ángulo LIDAR: 75 ° cross FD
Ángulo CÁMARA: 67.5 ° cross FD
Ángulo CÁMARA: 53.2 ° FD

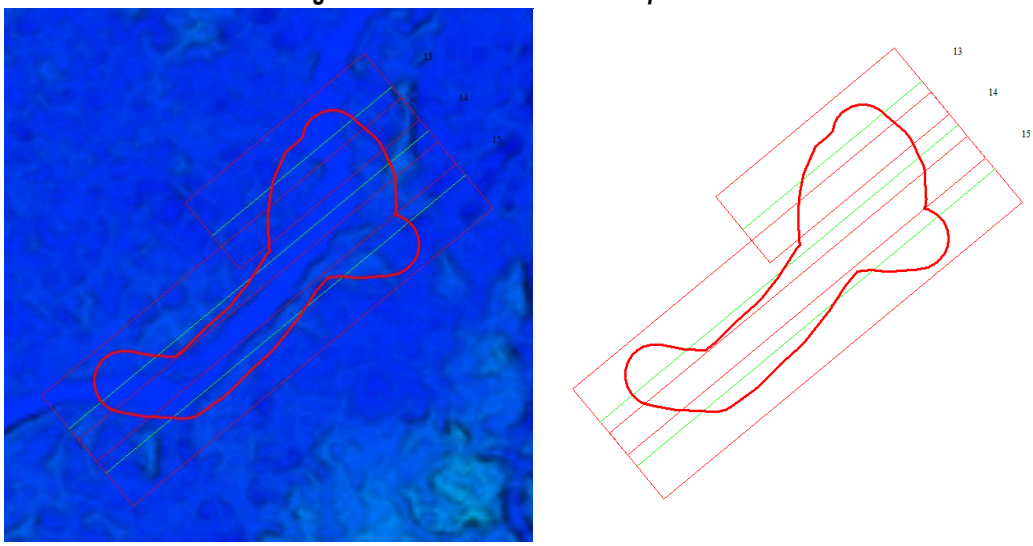
Fuente: Elaboración Propia

5.3. CONTROL DE CALIDAD DEL VUELO PLANIFICADO

Tras realizar la planificación, ésta se sometió a un exhaustivo control de calidad para garantizar que se cumplan las características geométricas exigidas. En este proceso las líneas de vuelo planificadas son proyectados sobre un Modelo Digital de Elevaciones Global (SRTM *Shuttle Radar Topography Mission*), obteniendo una base de datos con información alfanumérica y un gráfico CAD que permite realizar un análisis visual de la planificación. La base de datos ofrece además información de las escalas o resoluciones máximas, media y mínima de cada fotograma y pasada, de los recubrimientos reales entre fotogramas consecutivos y recubrimientos entre pasadas consecutivas. De igual forma, se proyectan las pasadas LIDAR para garantizar los recubrimientos laterales y que no se exceden los límites de variación de cota para garantizar la densidad media y el registro continuo de pulsos.

A partir del análisis conjunto de la base de datos y del gráfico de huellas se determinó el grado de aptitud de la planificación, procediendo, en su caso, a realizar las modificaciones necesarias.

Figura 12. Gráfico líneas de vuelo planificadas



Fuente: Elaboración Propia

5.4. SELECCIÓN DE LA AERONAVE A UTILIZAR

Debido a la orografía y condiciones de relieve encontradas, la aeronave seleccionada para la captura de información fue el Helicóptero Huges 500, este helicóptero cuenta con todos los requisitos exigidos para el montaje de Sensores Remotos debidamente aprobadas.

Figura 13. Montaje aeronave Huges 500



Fuente: Elaboración Propia

5.5. ENVÍO DE LA PLANIFICACIÓN A LA UNIDAD DE VUELOS Y SOLICITUD DE LOS PERMISOS DE VUELO

Una vez sea aceptada la planificación, las trayectorias de las pasadas y las coordenadas de los centros de proyección obtenidas, estas quedan almacenadas en un fichero que se transfiere a la unidad de vuelo e integrado en el sistema de navegación de la Aeronave. Así mismo, en este instante se realizó la gestión para la obtención de los permisos de vuelo, teniendo en cuenta las restricciones civiles y militares aplicables en la zona. Los permisos para la realización de los vuelos fotogramétricos fueron solicitados, enviando la delimitación de la zona de trabajo, fechas de actividad, aeropuertos de despegue y aterrizaje, aeronaves participantes y datos de la compañía de vuelo.

5.6. MONTAJE E INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Se llevó a cabo el montaje e instalación del sistema Riegl Phase One iXM-RS 150F, LiDAR Riegl VQ 580ii. Esta actividad será realizó por personal técnico de la empresa en instalaciones localizadas en el aeropuerto.

El montaje se realizó en el helicóptero Hughes. En las siguientes imágenes se muestran diversos detalles de la instalación del sistema.

Figura 14. Instalación Phase One iXM-RS 150F, LiDAR Riegl VQ 580ii



Fuente: Elaboración Propia

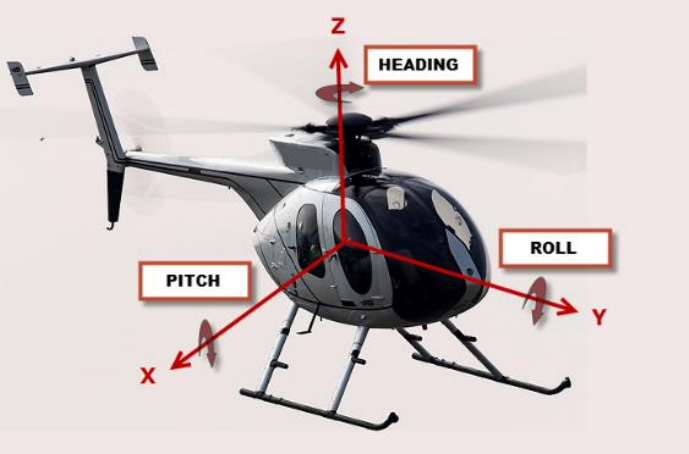
6. TRABAJOS DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA INERCIAL – CÁMARA Y/O TECNOLOGÍA LIDAR

Los parámetros de calibración del sistema inercial se determinaron mediante comparación entre los giros omega, phi y kappa obtenidos del sistema GPS/INS según su orientación nativa y los obtenidos a través de la Aerotriangulación (AT) del vuelo de calibración.

En el caso del sensor LiDAR, se hacen necesarias calibraciones frecuentes, con el fin de corregir la desalineación entre el sensor y el sistema inercial, ya que esta desalineación provoca un registro erróneo de los datos. La desalineación del sistema inercial con respecto a la óptica del escáner es descrita por los parámetros "Roll", "Pitch", "Heading". Además de este desajuste angular, el procedimiento de calibración implica el cálculo de una constante de torsión de rotación del espejo del sensor y una compensación en cota debida a errores electrónicos/mecánicos internos del propio equipo y a la influencia de la atmósfera sobre la trayectoria del haz. La calibración del sensor LiDAR se realizó siguiendo el procedimiento establecido por el fabricante del sistema (RIEGL).

Para garantizar la calidad de los parámetros de orientación externa, se realiza de forma periódica y siempre después de la manipulación de la cámara/LiDAR, una calibración del sistema inercial.

Figura 2. Diagrama giros de la aeronave



Fuente: Elaboración Propia

Mediante el vuelo de calibración se calculó la desalineación entre el sistema de coordenadas de la IMU y los ejes de cada sistema. Estos parámetros se obtuvieron mediante la realización de un vuelo de calibración diseñado expresamente para tal propósito, sobre el campo establecido en la zona de trabajo.

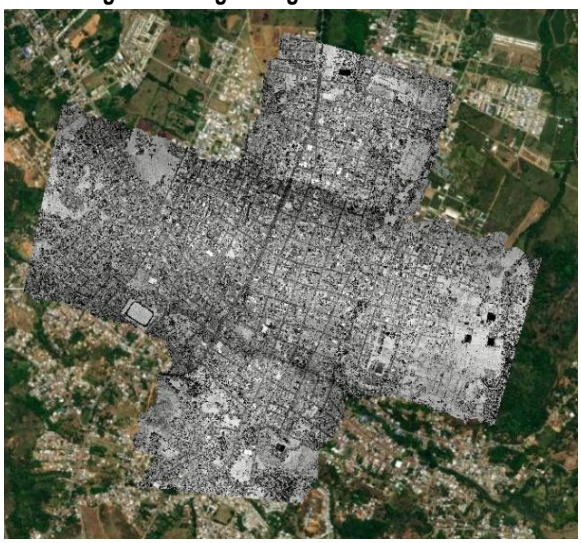
De forma general, se realiza la calibración del sistema inercial para cada combinación cámara/Helicóptero en los siguientes momentos:

- Previa al inicio de los trabajos.
- Después de la manipulación de la Cámara/LiDAR (cambio de Helicóptero, cambio de lentes de la cámara, etc.)
- En el caso de que entre campañas de vuelo haya transcurrido un intervalo de tiempo considerable.
- Al final del trabajo en caso de que se estime oportuno.

Para ejecución del vuelo de calibración, se realizaron cuatro ejes de vuelo. Para cada eje se planifico un eje volado en sentido contrario y un eje perpendicular.

El vuelo de calibración del proyecto fue realizado sobre el municipio de Chía.

Figura 3. Diagrama giros de la aeronave

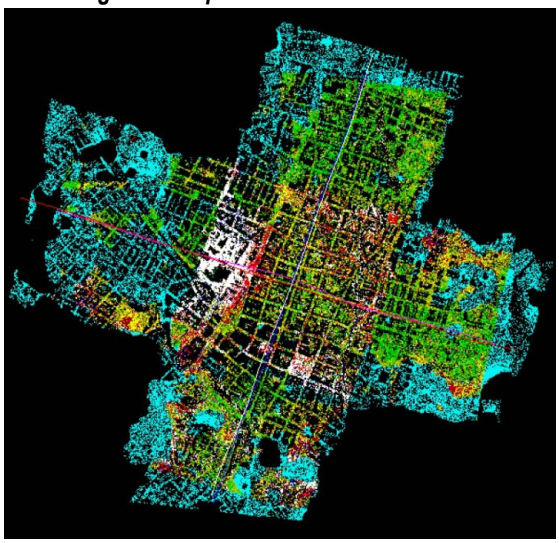


Fuente: Elaboración Propia

6.1. Cálculo de corrección roll, pitch y Heading

El proceso de ajuste a la calibración se hace mediante el uso del programa MicroStation con el módulo de TerraMatch el cual genera un reporte de alineación inicial el cual es introducido al momento de realizar el proceso de matching de las pasadas individuales.

Figura 4. Mapa de sombras calibración



Fuente: Elaboración Propia

El programa genera TILES para cada una de las líneas de vuelo y encuentra correcciones individuales a cada una buscando la mejor solución posible.

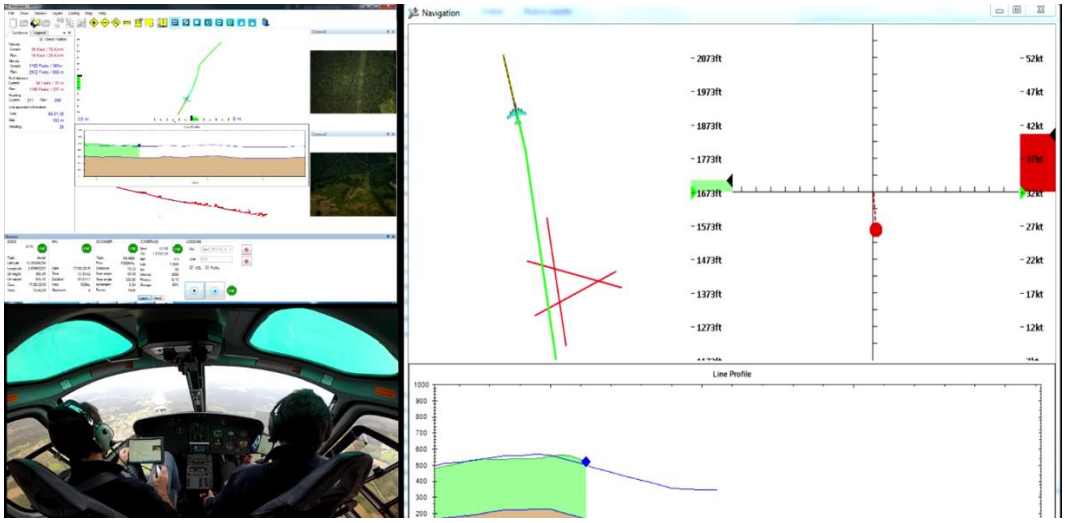
7. EJECUCIÓN DEL VUELO

En este apartado se presenta de forma esquemática el procedimiento seguido en la ejecución del vuelo fotogramétrico realizado.

7.1. RECEPCIÓN DE PLANIFICACIÓN DEPARTAMENTOS DE VUELOS

Posterior a un último control de calidad de la planificación realizada, el jefe de proyectos envió la planificación y los permisos necesarios al departamento de vuelos, allí los planes de vuelo fueron integrados tanto en el sistema de navegación del Helicóptero como en los sistemas de control de la cámara fotogramétrica y LiDAR, quedando disponibles para el momento de ejecución del vuelo.

Figura 15. Integración de planificaciones al sistema de navegación de la aeronave



Fuente: Elaboración Propia

7.2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Dado que la meteorología constituye un factor condicionante, esta fue constantemente analizada con el fin de realizar las operaciones de vuelo en condiciones meteorológicas óptimas para la realización de vuelos fotogramétricos, es decir: Cielo limpio, ausencia de vientos fuertes, ausencia de nubes, brumas, sombras, humo o cualquier elemento que pudiera afectar la calidad radiométrica de las fotografías.

Las incidencias detectadas durante el vuelo son reportadas al jefe de proyectos, quien se encarga de tomar las medidas pertinentes. Durante varios días se presentaron condiciones climáticas adversas que ocasionaron retrasos en la planificación del proyecto.

7.3. COMPROBACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y SISTEMAS

Antes de comenzar cada misión de vuelo se realizan una serie de comprobaciones para garantizar la exitosa realización de los trabajos de captura. Es necesario comprobar que se dispone de toda la información necesaria (Bases de datos de planificación, permisos de vuelo en regla, etc.) y el correcto estado de los equipos fotogramétricos (Cámara y/o LiDAR, Sistemas GPS/INS, IMU, etc.). Así mismo, para garantizar la

seguridad del equipo humano encargado de realizar el vuelo fotogramétrico se realizó una revisión del buen funcionamiento de los sistemas aeronáuticos previa a cada misión de vuelo.

Durante el vuelo fotogramétrico la tripulación del helicóptero está formada por un piloto y un operador. El operador es el encargado del manejo de la cámara fotogramétrica y el sensor LiDAR, siendo el responsable de comprobar el correcto funcionamiento de todos los sistemas implicados en el vuelo y de anotar en un informe de vuelo cualquier incidencia ocurrida durante el mismo.

Figura 16. Sistema de control en vuelo



Fuente: Elaboración Propia

7.4. REALIZACIÓN DEL VUELO

Una vez verificado el correcto funcionamiento de los sistemas en el Helicóptero y el correcto funcionamiento de las estaciones GPS terrestres, se procedió a la realización del vuelo. En este caso las correcciones propias de la toma fotográfica originadas por la ejecución del vuelo se realizarán mediante la unidad de sincronización y control mediante la Aplicación SIGLALASER MISION. Este sistema se encarga de poner en común las informaciones provenientes tanto de la cámara digital-Laser y los sensores GPS e IMU.

En vuelos combinados (LiDAR-Cámara fotogramétrica), el helicóptero dispone sobre el fuselaje de dos antenas GPS bifrecuencia, uno de los sistemas GPS conectado al sistema inercial de la cámara digital y el otro al sistema inercial del sensor LiDAR. Ambos receptores captan información sobre la trayectoria desde el momento en que se conectan los motores del helicóptero hasta que se apagan en el aeropuerto de llegada. El sistema GPS de la cámara digital captura asimismo información sobre los eventos de la toma de imágenes. Adicionalmente, con ambas triadas de parámetros (x,y,z) y (ω,φ,κ), calculadas en post-proceso, se conocen las posiciones de los centros de proyección de las imágenes con gran precisión, en poco tiempo tras el vuelo, del mismo modo se calcula la posición sobre el terreno de cada punto de la nube de puntos LiDAR.

Para garantizar la estabilidad del sistema inercial el Helicóptero permanece parado al menos cinco minutos antes de despegar y después de aterrizar, durante este tiempo el sistema GPS/IMU almacena datos.

Para este proyecto, los giros registrados fueron compensados en vuelo, reduciendo al máximo los efectos de estos sobre la trayectoria seguida por el centro de proyección de la cámara y el sensor LiDAR.

El producto final de la ejecución de la misión de vuelo es el conjunto de imágenes digitales y/o datos brutos LiDAR, fichero de observaciones GPS e IMU y fichero final de la trayectoria seguida por el Helicóptero.

Finalizada la sesión de vuelo se realizó el control de calidad mediante la generación de imágenes de intensidad con las cuales se verifica que el dato adquirido cubre la zona objetivo.

7.5. VOLCADO DE LA INFORMACIÓN

Una vez ejecutada la misión de vuelo, se realizó la descarga de datos. Se obtienen los datos de los sistemas GPS/IMU, datos brutos LiDAR e imágenes brutas. Esto datos son almacenados en discos duros externos, realizando una copia de seguridad adicional para su posterior envío a las oficinas centrales de SIGLA, donde se realizará el procesado de la información.

7.6. ENVÍO DE INFORMACIÓN A OFICINA

Finalizada cada misión de vuelo, la información capturada fue enviada a gabinete para su procesamiento. Dicha información está compuesta por:

- Rawdatas. Datos brutos formato 3FR y IIQ captados por la cámara digital.
- RawLaser. Datos brutos captados con el sistema LiDAR en sistema UTM Zona 18 Norte
- Base de datos de vuelo (Incluye información sobre el momento de captura de cada imagen, coordenadas de navegación, etc.).
- Datos inerciales GPS/IMU de la cámara digital y del sistema LiDAR.
- Informe de incidencias detectadas por el operador durante el vuelo.
- Thumbnails (Imágenes miniatura de baja resolución).

7.7. CONTROL DE CALIDAD DE CADA MISIÓN DE VUELO EJECUTADO

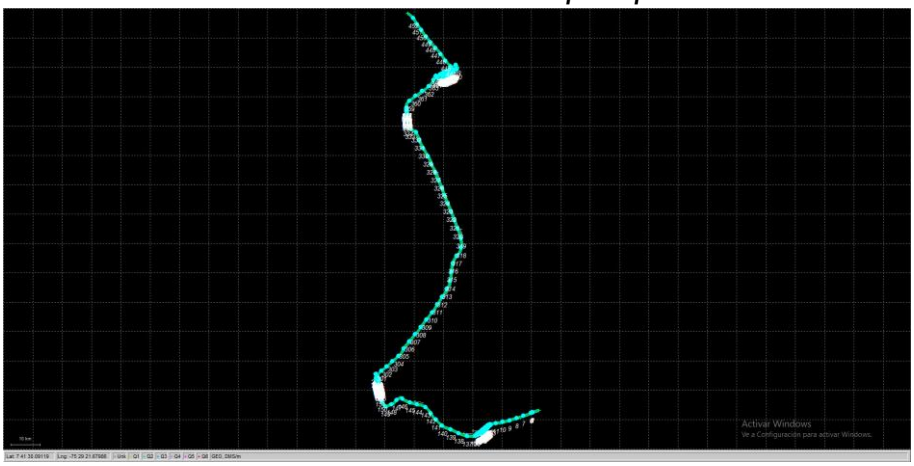
Al finalizar cada jornada de vuelo se ha realizado un control de calidad, comprobando la integridad de la información capturada durante cada día y sesión de vuelo. En este control se analizaron:

- Integridad de los ficheros de imágenes: comprobando la correcta adquisición de las imágenes, verificando el número de imágenes capturadas y su correspondencia con el número de disparos realizados durante el vuelo.
- Integridad de los datos brutos LiDAR:
    - Se realizó una comparación entre el vuelo ejecutado contra la planificación, a partir del fichero *.txt generado por la unidad de control.
    - Se analizó la correcta estructura de almacenamiento de datos: una carpeta por cada una de las pasadas registradas secuencialmente.

- Se hizo una comprobación análoga para los datos inerciales asociados al instrumento LiDAR.
- Número de satélites disponibles durante el vuelo
- Ángulos respecto de la vertical durante las pasadas
- Balanceo durante los giros del Helicóptero (Que deben ser inferiores a 20º)
- Continuidad en la captura GPS/IMU

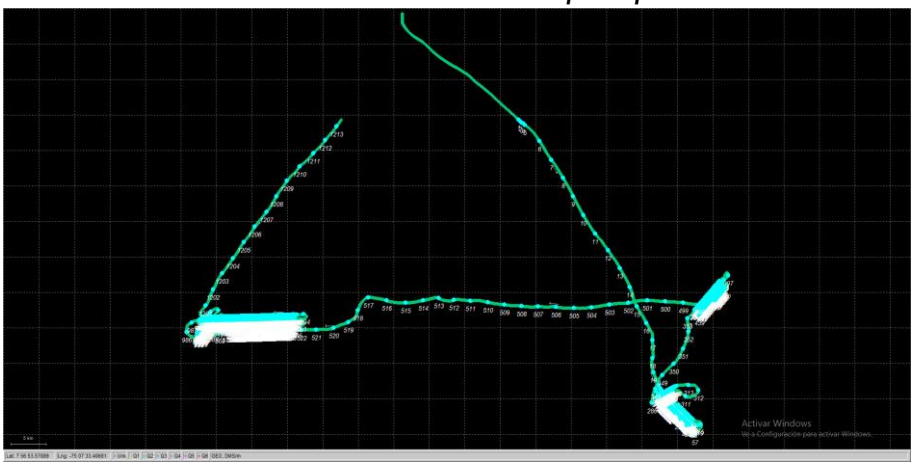
Al recibir de conformidad esta información, el jefe de proyecto realizó una revisión de los informes de vuelo y de las imágenes, analizando las incidencias reportadas comprobando la existencia de problemas en cuanto a nubes, clima, deriva, etc.

Figura 17. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230705 Sesión 1



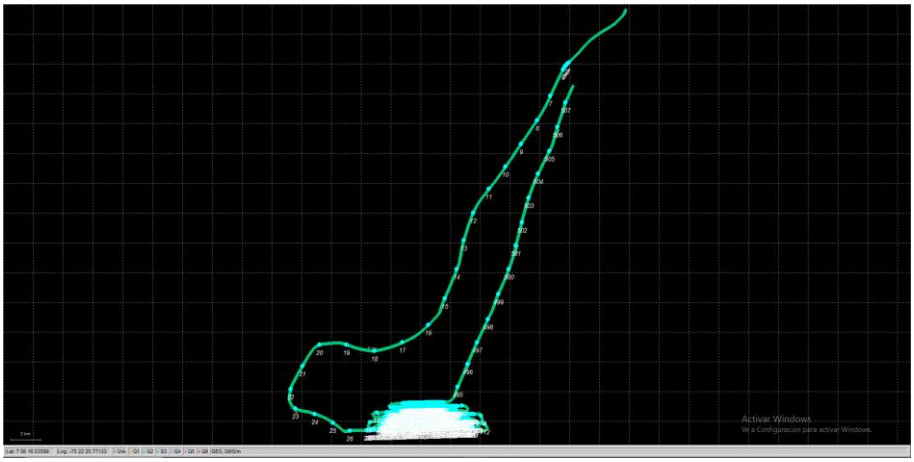
Fuente: Inertial Explorer

Figura 18. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230706 Sesión 1



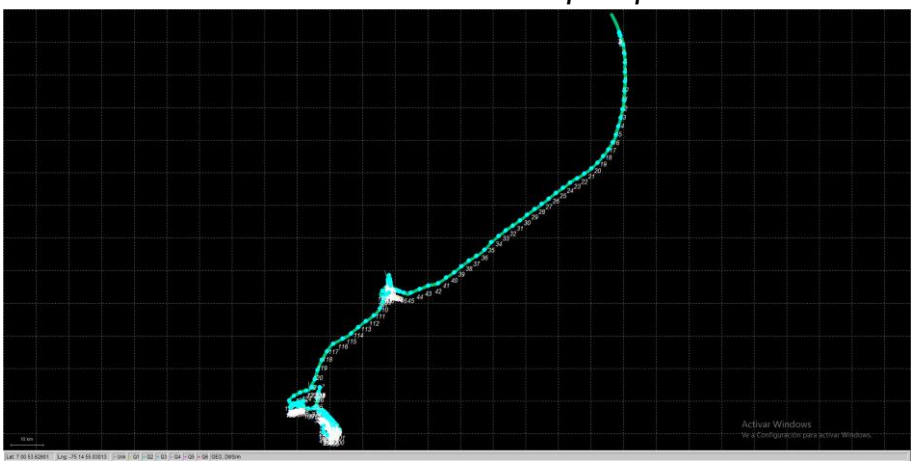
Fuente: Inertial Explorer

Figura 19. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230707 Sesión 1



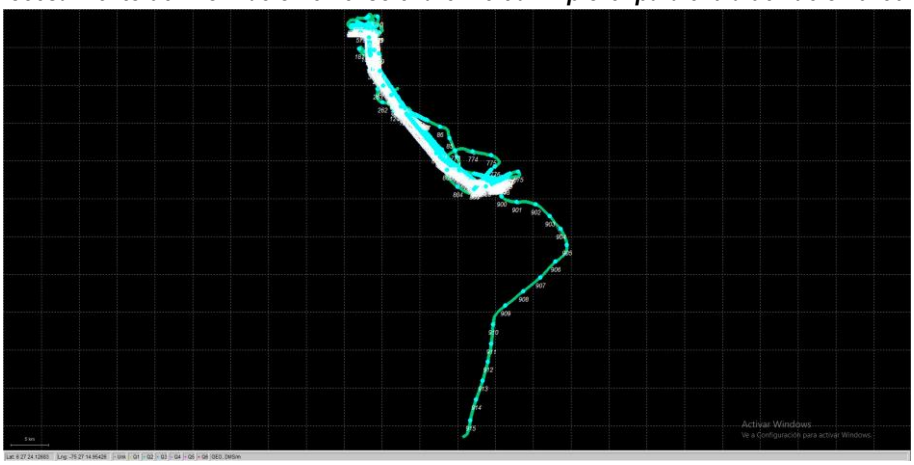
Fuente: Inertial Explorer

Figura 20. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230708 Sesión 1



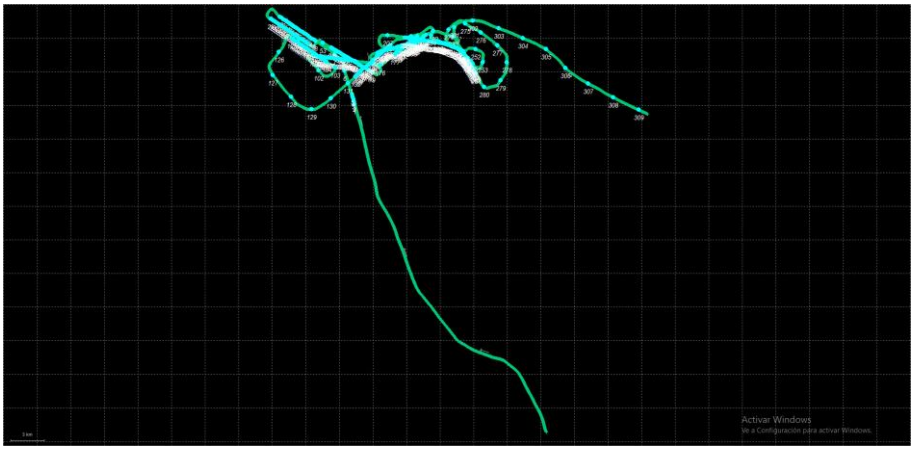
Fuente: Inertial Explorer

Figura 21. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230709 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Figura 22. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230710 Sesión 1



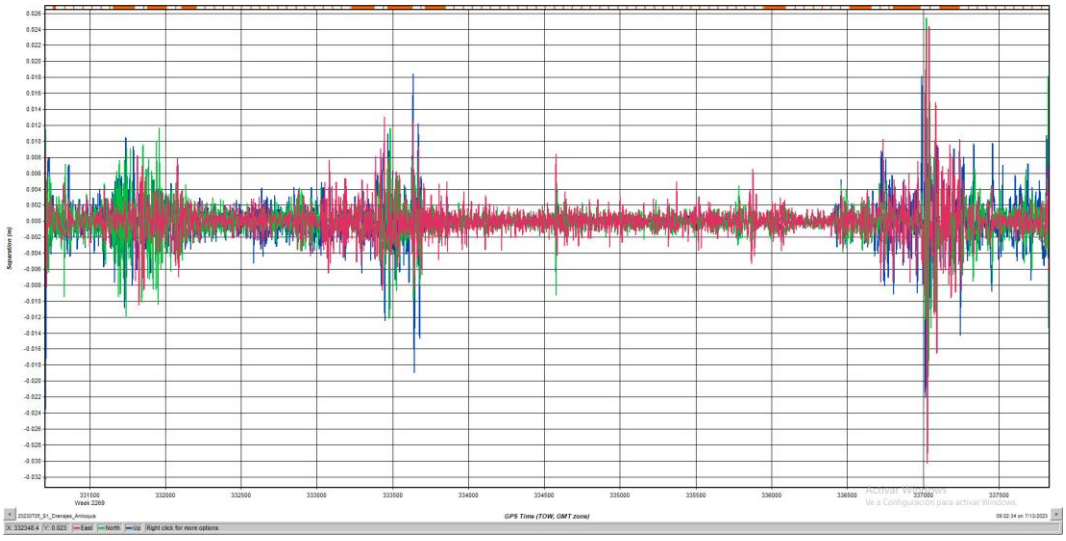
Fuente: Inertial Explorer

El procesamiento geodésico de la información se realizó empleando el método denominado "PPP" (Precise Point Positioning), el uso de esta metodología permite obtener una adecuada precisión posicional de los datos sin contar con información geodésica de estaciones GNSS o puntos de control en terreno preliminares.

Los resultados del cálculo GPS/INS fueron sometidos a un control de calidad directo mediante la evaluación de las precisiones resultantes, garantizando precisiones inferiores a 10 cm (X, Y, Z)

El siguiente gráfico muestra el error medio cuadrático posicional en las coordenadas X, Y, Z de la información geodésica del vuelo al ser procesado con PPP.

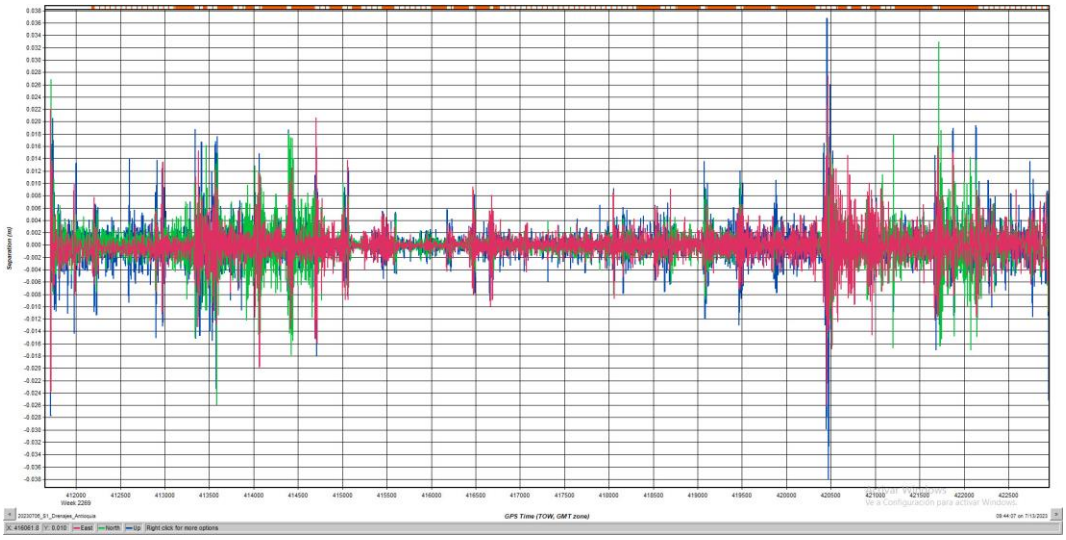
Figura 23.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230705 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de 0.010m en X (coordenadas Este), 0.012m en Y (coordenadas Norte) y de 0.011m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

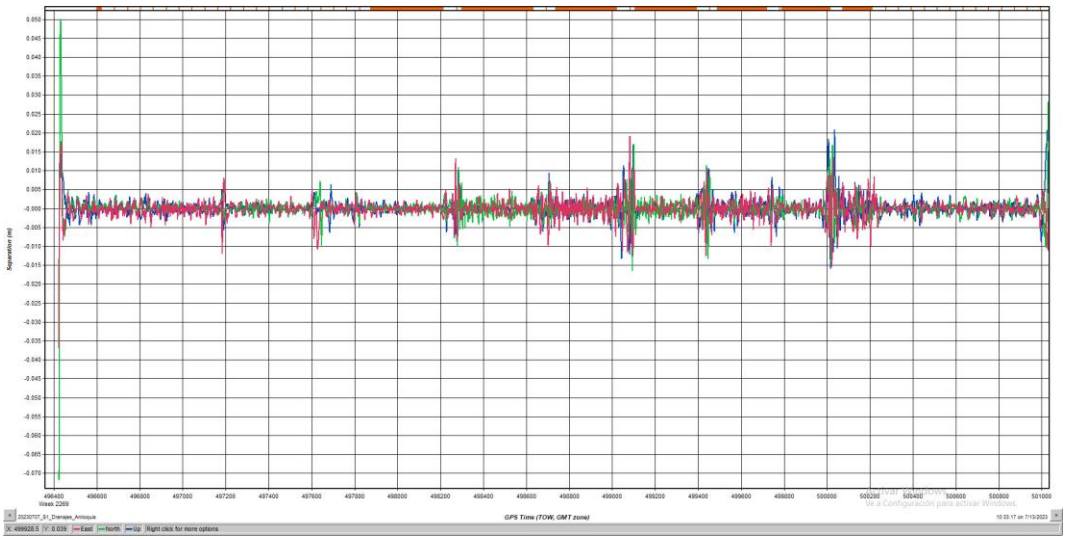
Figura 24.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230706 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de 0.015m en X (coordenadas Este), -0.017m en Y (coordenadas Norte) y de 0.019m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

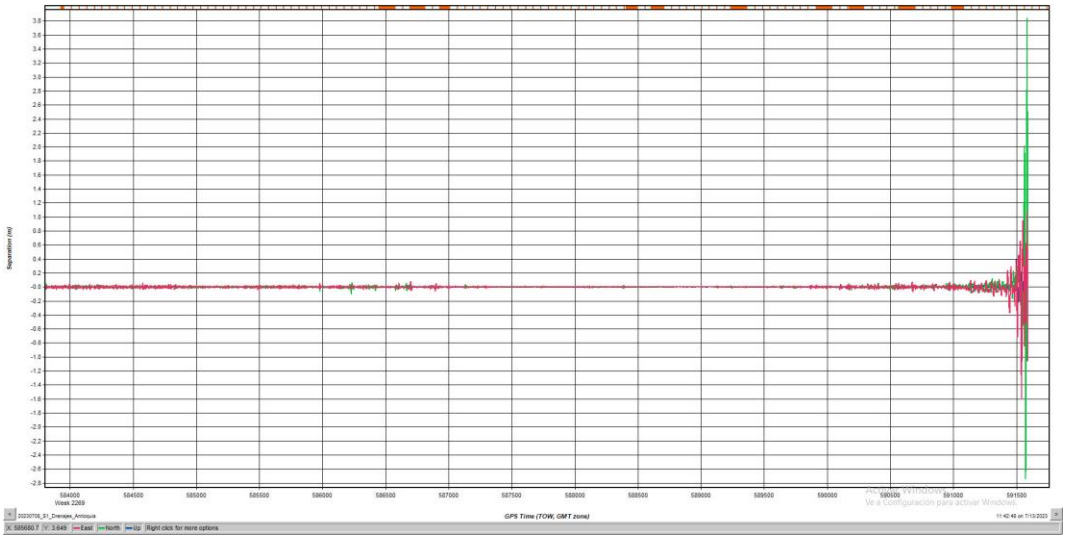
Figura 25.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230707 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de --0.010m en X (coordenadas Este), 0.006m en Y (coordenadas Norte) y de 0.007m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

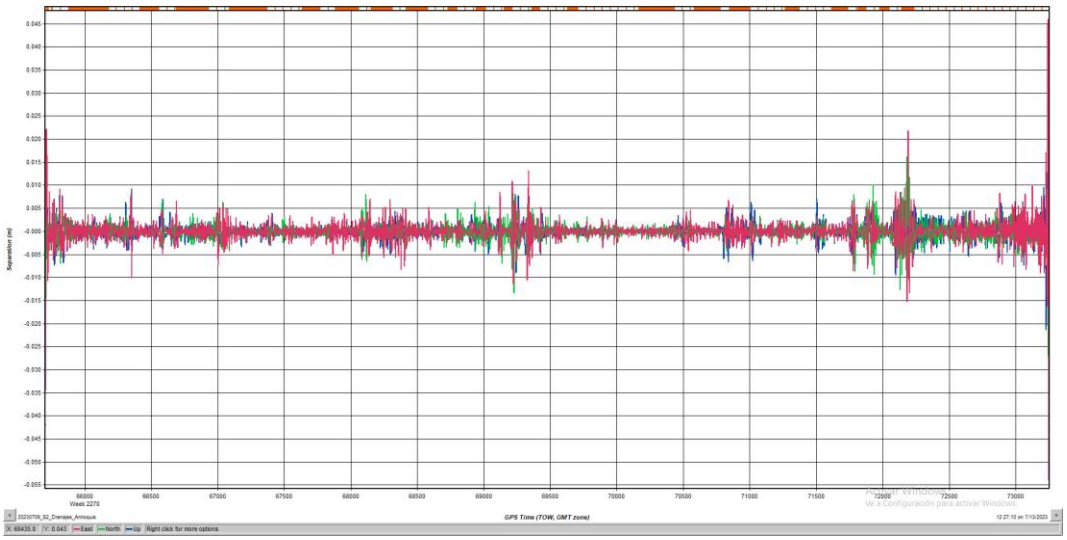
Figura 26.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230708 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de 0.005m en X (coordenadas Este), 0.003m en Y (coordenadas Norte) y de -0.005m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

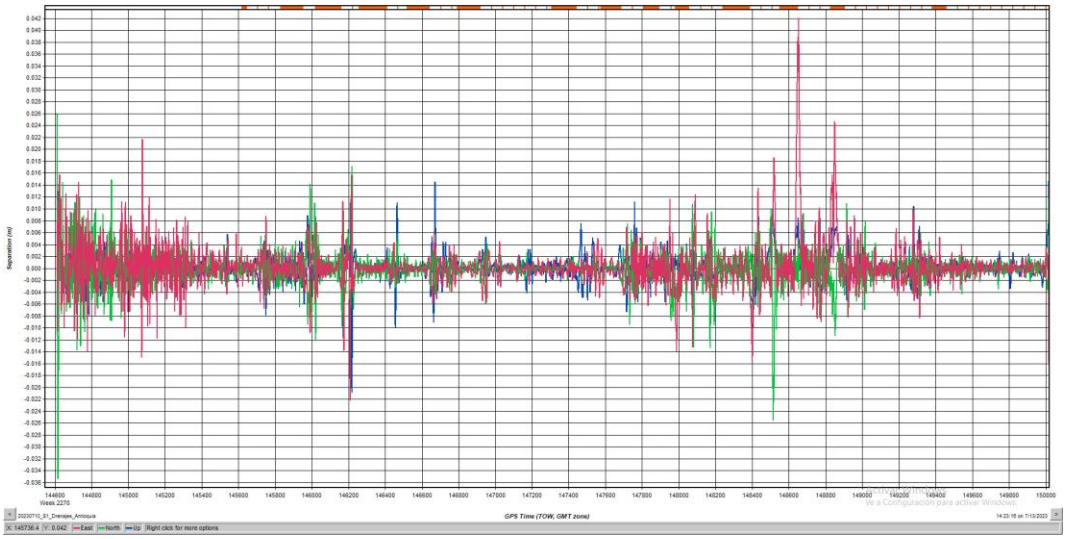
Figura 27.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230709 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de 0.022m en X (coordenadas Este), 0.01m en Y (coordenadas Norte) y de 0.011m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

Figura 28.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230710 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de 0.025m en X (coordenadas Este), -0.011m en Y (coordenadas Norte) y de 0.007m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

El PDOP (Posicional Diluvian of Precision) hace referencia a la configuración geométrica de los satélites en el momento de la captura de los datos por la antena del receptor GNSS en el helicóptero. Si este error se encuentra por debajo de 4 se considera un dato confiable.

Para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.48

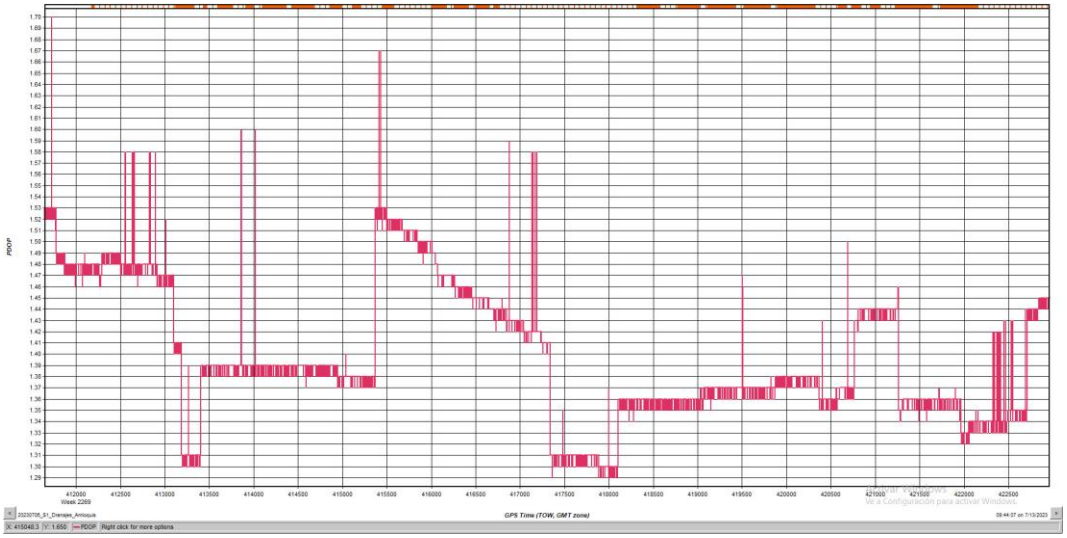
Figura 29. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.53

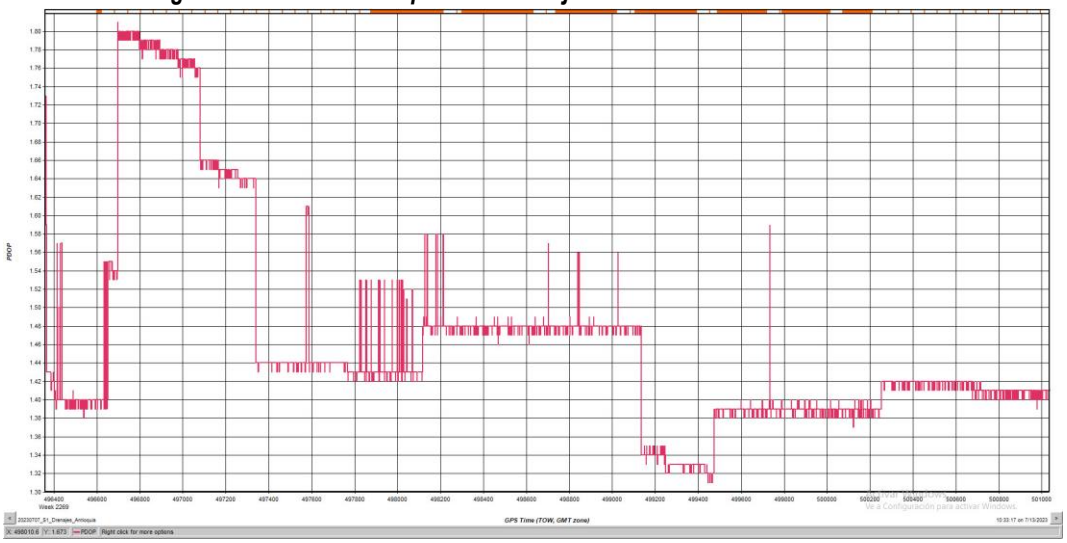
Figura 30. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.58

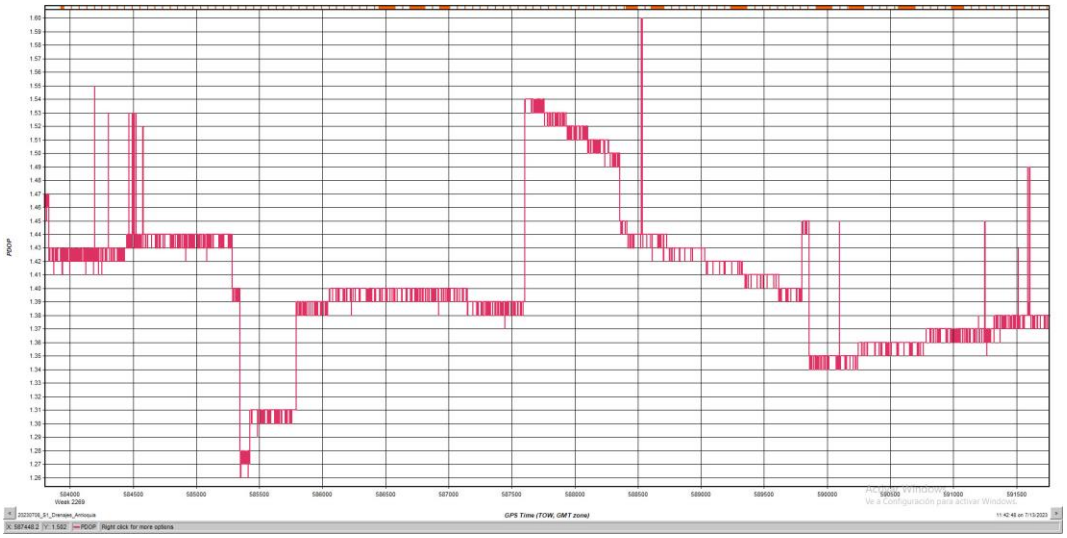
Figura 31. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.44

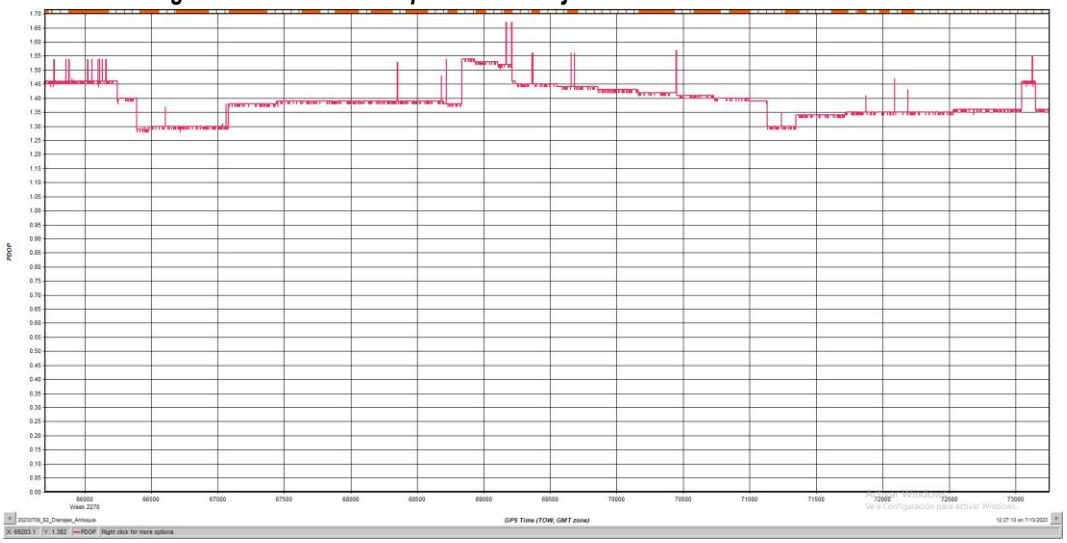
Figura 32. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.53

Figura 33. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.82

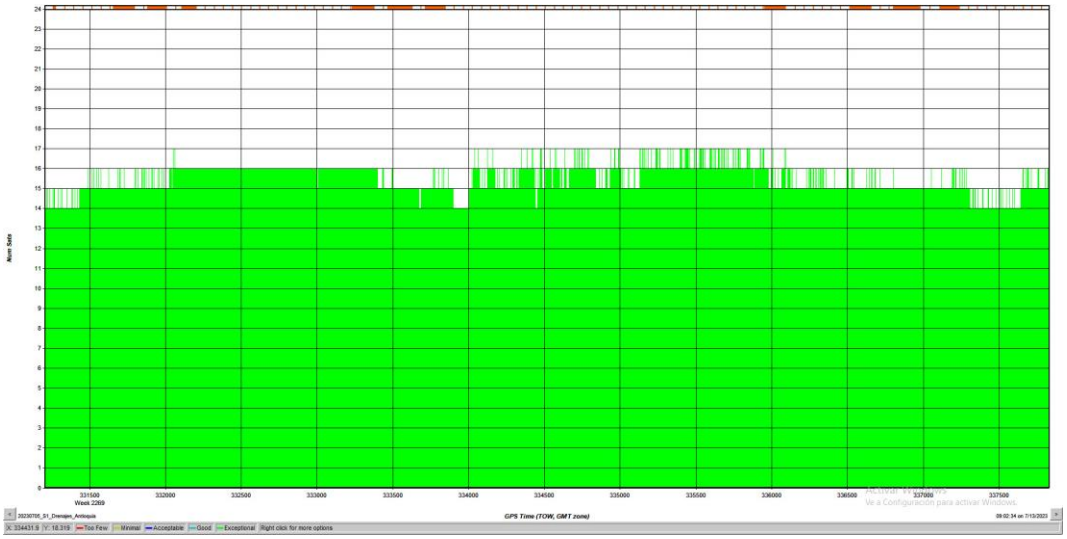
Figura 34. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230705 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 15, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

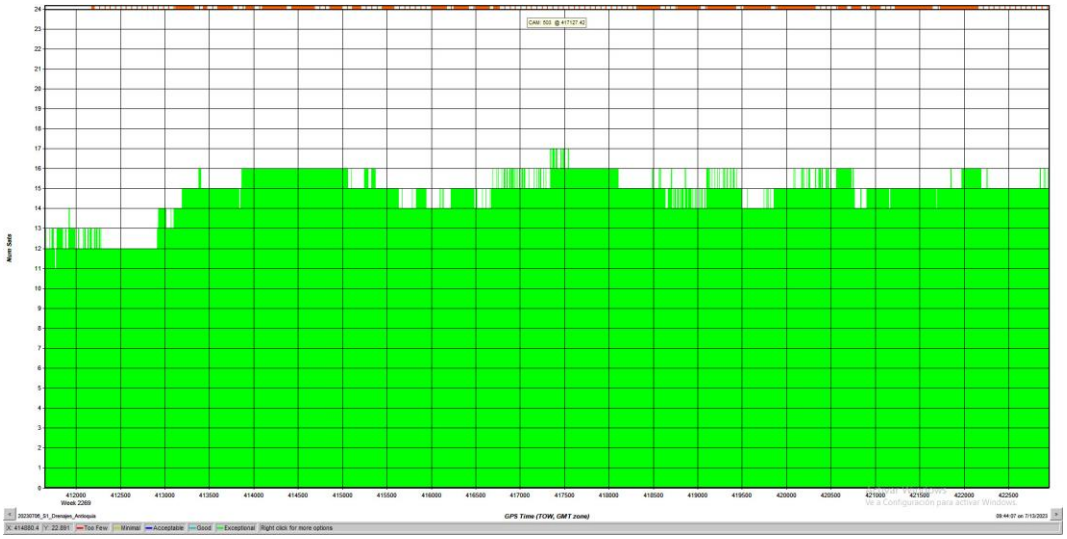
Figura 35. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230706 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 14, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

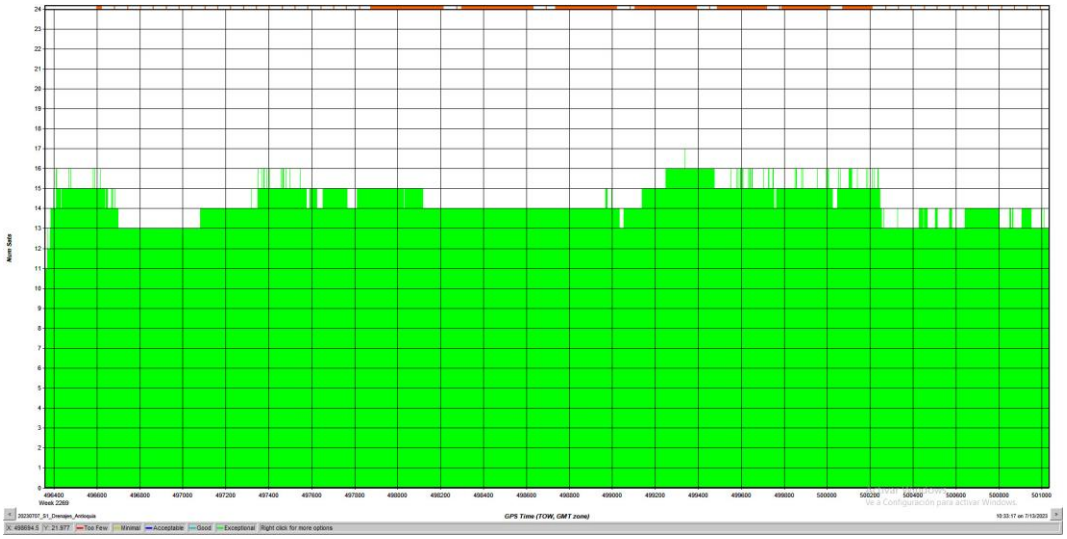
Figura 36. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230707 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 14, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

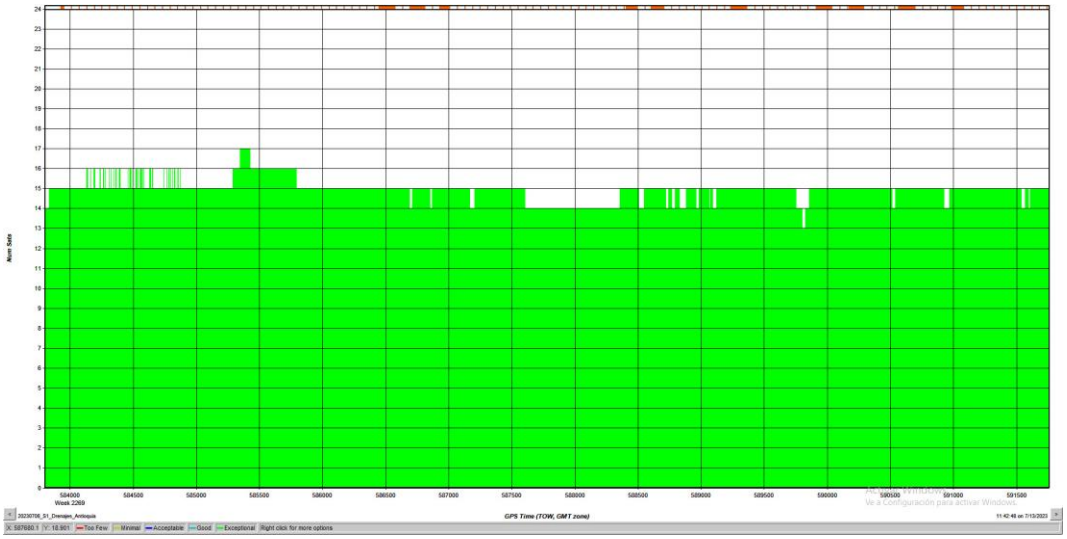
Figura 37. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230708 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 15, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

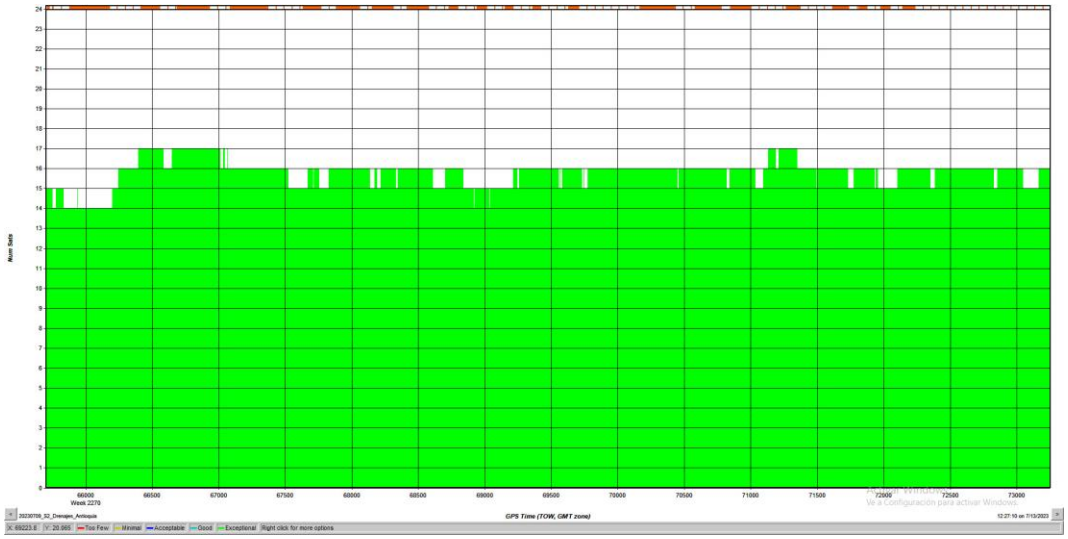
Figura 38. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230708 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 15, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

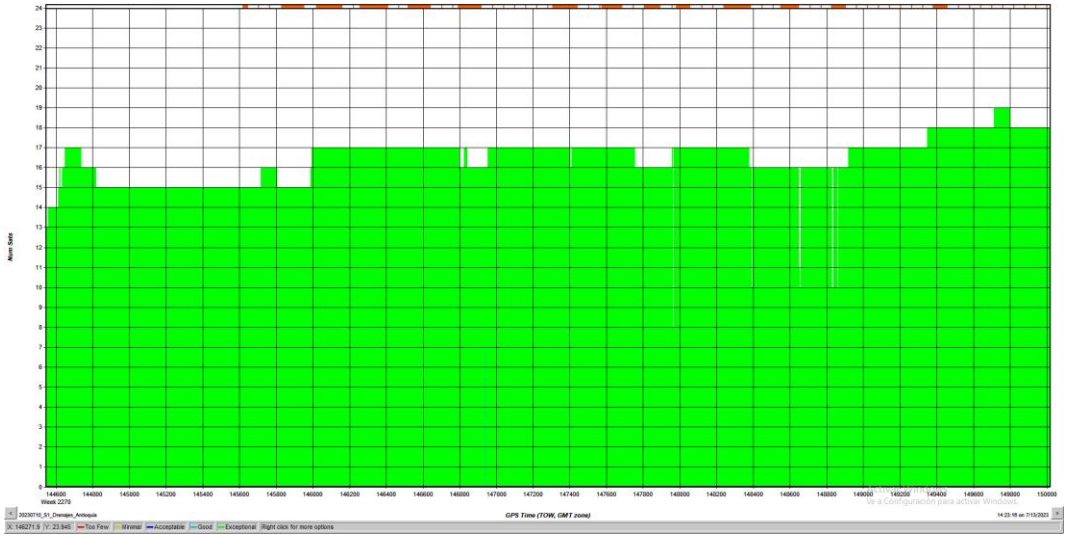
Figura 39. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230710 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 16, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

Figura 40. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

8. POST – PROCESO DE LOS DATOS LIDAR

La información LiDAR registrada para misión de vuelo se compone de:

- Raw Laser: datos brutos procedentes del sensor en sistema WGS84.1.
- Datos inerciales (GPS-IMU), procedentes del sistema inercial.

El postproceso de los datos brutos de sensor procedentes de vuelo se realizó a partir del software RI Process de la casa RIEGL.

Los ficheros que formaron parte del cálculo son:

- Configuración del ajuste del sensor, este fichero proviene de la calibración previa al inicio del proyecto y contiene toda la información referente a los giros (Roll, Pitch, Heading), constante de Torsión, corrección de rango, compensación en altura, ángulo de corrección del escáner y parámetros de temperatura y presión.
- Fichero solución procedente del cálculo de trayectoria DGPS/IMU.
- SDCLaser, datos brutos procedentes del sensor en formato *.sdc (scanning), estos datos vienen almacenados de forma secuencial y organizados en carpetas. Cada una de estas carpetas contienen todos los ficheros correspondientes a cada línea de vuelo escaneada.

Para procesar los datos brutos a partir de la solución obtenida de la trayectoria, se definio previamente el sistema de proyección sobre el que queremos obtener los datos proyectados.

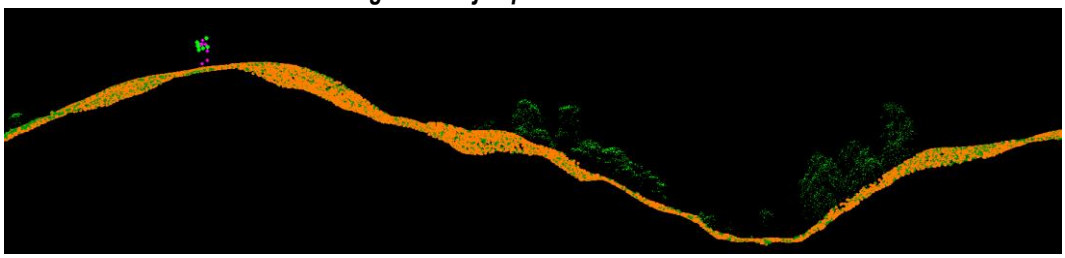
Del procesado de datos, se obtienen ficheros binarios en formato *.LAS (Laser Airborne Scanner), los cuales contienen información referente a coordenadas planimétricas y altimétricas, intensidad, número e información de retorno, ángulo de escaneo y marca de tiempo de cada uno de los puntos.

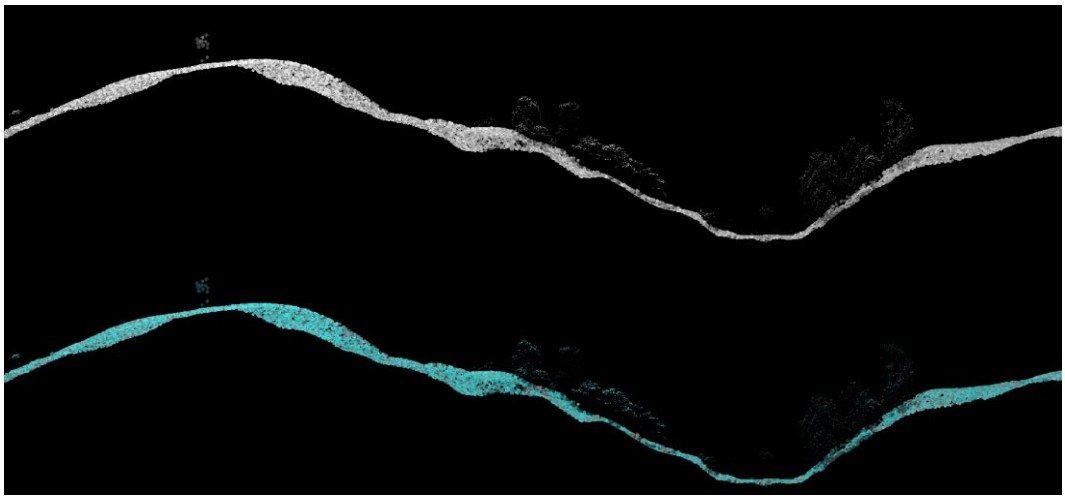
8.1. EDICIÓN DE DATOS LIDAR.

Previo a la edición de los datos LiDAR se llevó a cabo un análisis las pasadas o flightlines capturadas, con el fin de asegurar que estos cumplen las características y condiciones mínimas del proyecto tales como la cobertura y densidad de puntos. Para ello se visualizaron todos los puntos por línea de vuelo y se comprueba la cobertura global sobre el área de trabajo.

Una vez analizados los datos, se generaron un proyecto por bloques que divide la información en tiles o áreas más pequeñas, facilitando de esta manera el proceso de edición y generación de productos finales.

Figura 41. Ejemplo dato del terreno





Fuente: MicroStation

8.2. AJUSTE AL TERRENO DE LOS DATOS LIDAR

El proceso de ajuste de las pasadas LiDAR se realizó mediante el programa BayesMap - Strip Alignment. El programa Strip Alignment es una herramienta que permite realizar el ajuste de las pasadas LiDAR, comparando las zonas con traslapo de información y corrigiendo las diferencias encontradas haciendo uso de una parametrización rigurosa basado en el tiempo de captura.

En el proceso de ajuste se corrigen errores geométricos relativos y absolutos, así como las discrepancias entre las fajas debido a la posición de la IMU y errores posiciónales. Las correcciones individuales se combinan de manera óptima minimizando los errores relativos como absolutos.

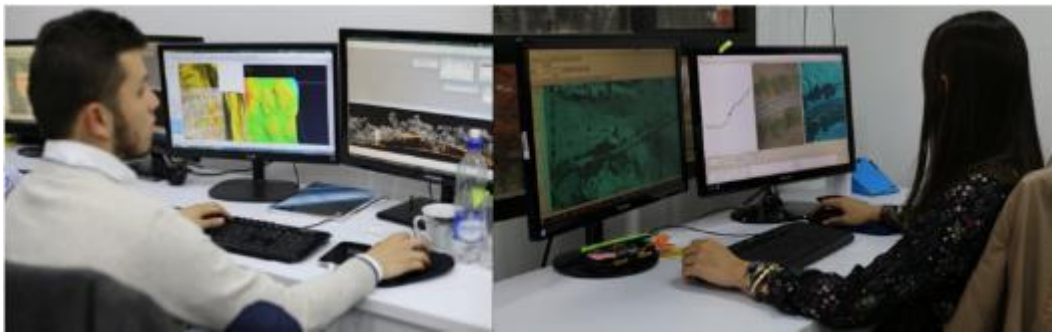
El algoritmo de corrección hace uso de todos los retornos, filtrando valores atípicos permitiendo hacer uso de la mayor cantidad de información disponible que permita comparar y corregir los errores. La trayectoria y la posición se ajustan para cada una de las líneas de vuelo compensando las ambigüedades de la IMU, siendo posible a través de la comparación de nubes de puntos densas en las zonas de solape.

8.3. CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS LIDAR

Para la clasificación automática inicial de los puntos LiDAR fue necesario definir rutinas de búsqueda de los principales parámetros del relieve, esta labor se realizaó con apoyo del modelo SRTM (Modelo global altimétrico) y de las imágenes de intensidad de los datos LiDAR.

Una vez establecidos los parámetros idóneos para cada una de las zonas del proyecto (zonas llanas, zonas de montaña, zonas urbanas, etc.), diferenciadas según las características orográficas, se procedio con la clasificación automática, de tal forma que se obtenga una clasificación preliminar de los puntos LiDAR, diferenciando entre los que pertenecen al terreno y los que pertenecen a la superficie (Ground y Default)

Figura 42. Estación de trabajo de edición datos LiDAR



Fuente: SIGLA-SAS

La depuración de datos se realizó para cada bloque o tile 500x500 metros en los que se ha dividido la nube de puntos, clasificando los puntos en la capa correspondiente, tanto si el producto a generar es un modelo digital de terreno como si se trata de un modelo digital de superficie.

La lista de clases que intervienen durante la clasificación manual son:

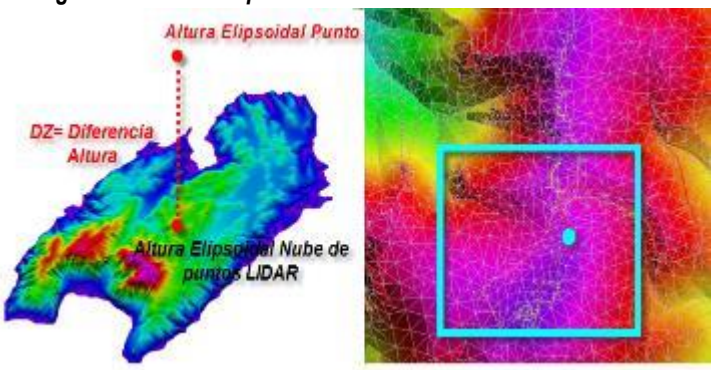
- Default
- Terreno – Ground
- Puentes
- Batimetrias

9. CONTROL DE CALIDAD ALTIMÉTRICO DE LA NUBE DE PUNTOS LIDAR.

Una vez editados los datos en formato *.las, se realizó un control de cota de la nube de puntos generada con la ayuda de puntos de control de la Red geodésica local levantada en campo.

El control altimétrico consiste en analizar las diferencias entre puntos con coordenadas planimétricas y altimétricas de la RED con los puntos de la nube LiDAR.

Figura 43.Gráfico explicativo método Control de cota LiDAR



Fuente: Elaboración Propia

Es necesario resaltar que para realizar el control de cotas altimétrico entre la información fotogramétrica en altura elipsoidal Vs. la nube de puntos LiDAR, es necesario descontar la altura del elemento dado que este control se realiza comparando la cota del terreno de la nube de puntos Vs la proyección de la cota al terreno de la topografía de campo.

Figura 44. Ejemplo de los levantamientos mediante topografía convencional

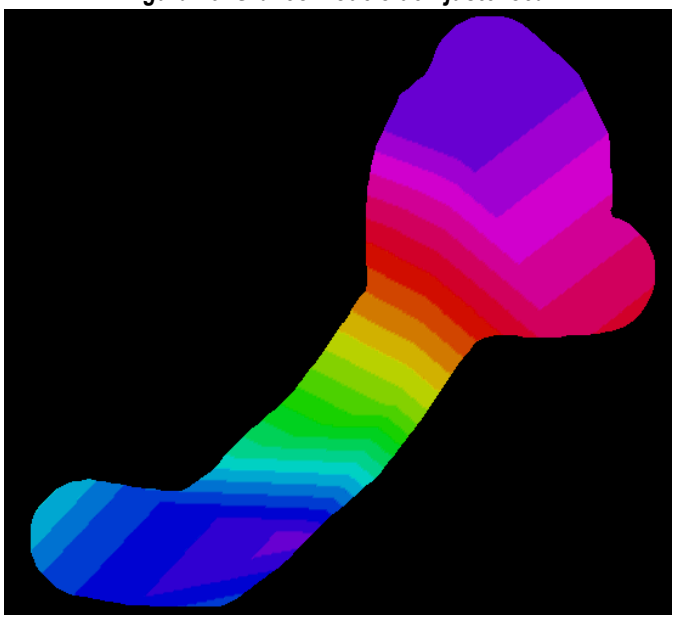


Fuente: SIGLA-SAS

9.1. CALCULO DEL MODELO DE AJUSTE LOCAL DE ONDULACIÓN.

Posterior al análisis de la información y de realizar el Control de Cotas de la nube de puntos en cota elipsoidal vs la cota geométrica, se realizó el Cálculo de la Ondulación (diferencias entre la altura Elipsoidal y Local) a partir de las mediciones realizadas por las actividades de topografía convencional.

Figura 45. Gráfico Modelo de Ajuste local



Fuente: Elaboración Propia

A partir de estas diferencias, se realizó un modelo de ajuste local a cota. La metodología de ajuste a cota local se basa en aplicar el modelo de ajuste a cota local con las alturas procesadas en la red topográfica, obteniendo de esta manera una nube de puntos LiDAR en altura local consistente con la red levantada en campo.

Tabla 6. Tabla de Coordenadas de la RED Geodésica

PROYECTO CUENCAS POLITECNICO											
	GEODÉSICAS MAGNA SIRGAS		MAGNA SIRGAS ORIGEN CENTRAL		PLANAS ORIGEN NACIONAL					AJUSTES_EN COTA	
ID	lat	lon	X	Y	X	Y	Z elip	Z Geom	Altura mojon/placa	Zelip_terreno	ZGeom_terreno
PFC-1	07° 36'	074° 49'	918144.486	1332664.530	4799374.665	2398625.323	59.726	53.372	0.000	59.726	53.372
PFC-2	07° 36'	074° 48'	919493.582	1333155.593	4800724.458	2399112.836	65.562	59.257	0.000	65.562	59.257
PFC-3	07° 37'	074° 48'	919827.371	1334419.522	4801061.266	2400375.438	57.905	51.702	0.000	57.905	51.702
EBG01	07° 36'	074° 48'	919035.886	1332445.394	4800265.173	2398404.054	67.046	60.682	0.000	67.046	60.682

Fuente: Elaboración Propia

9.2. CONTROL DE COTAS CON AJUSTE A COTA GEOMETRICA

Tras realizar el modelo de ajuste a cota local según la topografía levantada en campo y con el objetivo de determinar la bondad del modelo de ajuste local realizado, se ejecuta el control de cotas ortométrico, comparando la nube de puntos LiDAR ajustada al modelo de alturas local con las coordenadas de la Red.

Tabla 7. Tabla estadística resultado del control de cotas Ortométrica

Average dz	0.016
Minimum dz	-0.012
Maximum dz	0.038
Average magnitude	0.024
Root mean square	0.027
Std deviation	0.026

Fuente: Elaboración Propia

Posterior al ajuste cota Ortométrica del dato LiDAR se obtuvo que las diferencias promedio comparado con levantamiento topográfico convencional son de 0.016m con diferencias máximas entre 0.038m y -0.012m. Lo cual demuestra que el dato se encuentra correctamente en posición y altura.

10. POST – PROCESO DE IMÁGENES DIGITALES.

El post-proceso de imágenes consiste en la normalización y corrección de las imágenes brutas captadas por el sensor aerotransportado. Mediante el post-proceso, las imágenes se hacen útiles para su posterior explotación. Los procesos que se siguen para tal fin engloban:

- *Correcciones radiométricas: Consiste en la corrección de píxeles defectuosos y en la posterior ecualización del histograma de frecuencias, balanceado y contraste de la imagen.*
- *Correcciones geométricas: Se basan en la corrección de las distorsiones de imagen de cada sensor óptico y la corrección entre el centro geométrico y el centro óptico de cada CCD.*

- *Mosaicado de imágenes: Apoyándose en la búsqueda de puntos homólogos entre imágenes, se consiguen ensamblar las mismas de manera que se obtiene la imagen virtual. Esta imagen virtual es sometida a un nuevo proceso de corrección radiométrica que iguala el brillo y el contraste.*

En este caso, al aplicar a las imágenes los parámetros previos de orientación externa obtenidos por georreferenciación directa se obtendran las imágenes preliminares Fase 1, que no poseen correcciones radiométricas.

El procedimiento de obtención de las imágenes finales requerirá de la realización previa de las paletas de color para ser aplicadas a las imágenes. Para realizar las paletas de color se seleccionaran diferentes imágenes a partir de los thumbnails. Las imágenes seleccionadas seran representativas de toda el área volada durante la misión a procesar.

Antes de procesar todas las imágenes del vuelo, se comprobará que la paleta generada cumple con las especificaciones marcadas en el pliego de prescripciones técnicas. Para ello, se procesarán las imágenes seleccionadas anteriormente (aplicando en este caso las paletas generadas previamente) y una vez procesadas serán sometidas a un control de calidad radiométrico, donde se analizará el histograma comprobando los niveles de saturación, niveles digitales sin representación en la imagen, valores medios del histograma, etc.

10.1. APOYO FOTOGRAMÉTRICO.

La fase de Apoyo Fotogramétrico comprenderá todos los trabajos de planificación, señalización observación y procesado que se requieren para determinar la posición altimétrica y planimétrica de los Puntos de Apoyo (PA) Fotogramétricos, necesarios para la aerotriangulación de los fotogramas obtenidos en el vuelo.

Figura 46.Flujo de trabajo Apoyo en Campo



Fuente: Elaboración Propia

En esta etapa aún no se incluyen puntos extraídos del MDS LIDAR con coordenadas x, y, z de detalles visibles e identificables en el MDS y en las imágenes, actividad que se completó al finalizar la Fase 2 del proyecto.

10.2. AEROTRIANGULACIÓN.

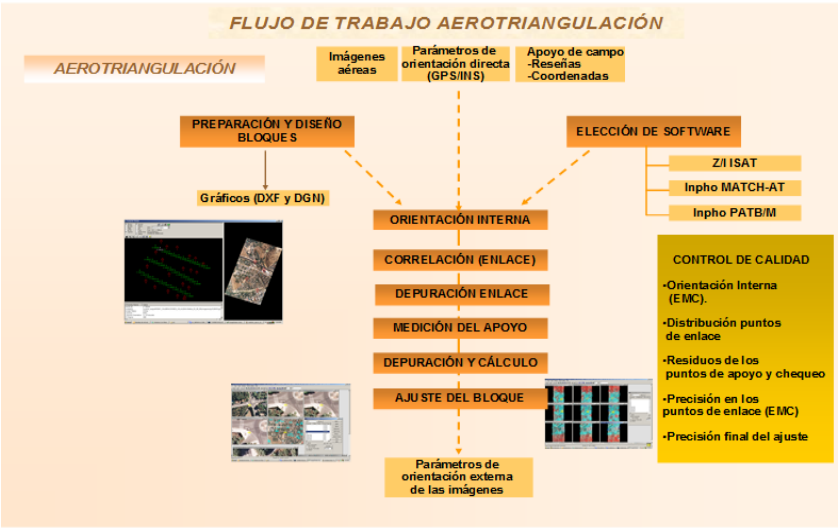
La aerotriangulación es el proceso por el que se obtiene la orientación externa precisa de fotogramas aéreos en el sistema de referencia establecido para el proyecto, materializado por los puntos de apoyo.

La principal ventaja del empleo de técnicas de aerotriangulación es la reducción del número de puntos de apoyo necesarios para orientar un bloque fotogramétrico. Esta necesidad de apoyo, aún se reduce más, si se añaden al cálculo datos GPS/IMU, hasta el extremo que, para ciertos proyectos y aplicaciones, la orientación se puede obtener directamente del sistema inercial.

La combinación de información de partida de gran calidad (imágenes digitales, datos IMU, apoyo) junto con las más avanzadas estaciones digitales fotogramétricas de aerotriangulación del mercado, proporcionan resultados altamente fiables y precisos.

El proceso de aerotriangulación automática se realizó mediante la utilización del software Agisoft PhotoScan.

Figura 47.Flujo de trabajo de Aerotriangulación



Fuente: Elaboración Propia

10.3. PLANIFICACIÓN DE TRABAJOS DE AEROTRIANGULACIÓN.

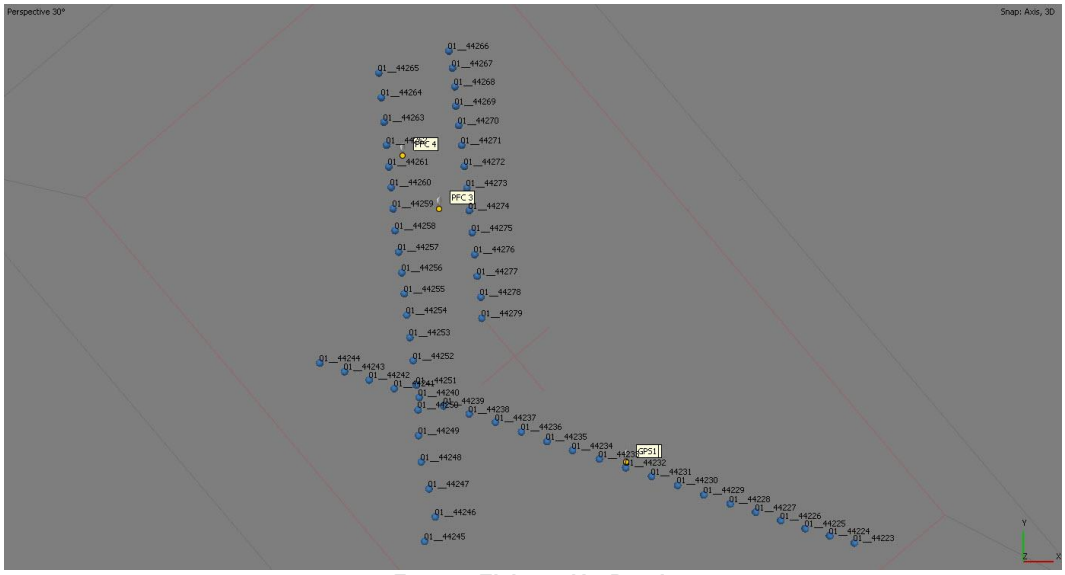
Antes de comenzar con el proceso de cálculo de una aerotriangulación, es preciso establecer una serie de pautas y definiciones que marcan el desarrollo del proceso. La planificación tiene el fin fundamental de asegurar la calidad del producto desde antes que comience su producción hasta que esté terminado, así como diseñar un plan de trabajo tal que garantice, en la medida de los posible, que el producto responde a las necesidades.

En este sentido, la planificación de un trabajo de aerotriangulación, contempla los siguientes aspectos:

- Definición del bloque. Un primer paso es configurar los parámetros generales del bloque de trabajo:
  - Localización y tamaño del bloque.
  - Datos de vuelo: escala o resolución, cámara, GPS, IMU, etc.

- Número de pasadas y longitud de estas.
- Situación de pasadas trasversales (en caso de que existan).
- Indicación del sistema de referencia.
- Establecimiento de las tolerancias de precisión.
- Localización y características de las imágenes.

Figura 48.Definición del bloque



Fuente: Elaboración Propia

- Elección de la estrategia (modo de correlación, algoritmo de ajuste, etc.) Idónea en relación con las exigencias del contrato. Una vez conocidas las prescripciones técnicas y las características del bloque de aerotriangulación, conviene seleccionar la estrategia de trabajo, entendidas como el conjunto enlazado de soluciones a cada una de las fases de aerotriangulación (modo de orientación interna, método de correlación, algoritmo de ajuste)
- Decisión del software más adecuado para llevar a cabo los pasos configurados por la estrategia. La disponibilidad de varias estaciones de aerotriangulación con software Trimble Inpho y Agisoft PhotoScan, provee una amplia capacidad de solución de trabajos de diferentes naturalezas, lo que permite garantizar, a priori, la correcta ejecución del trabajo.
- Creación de los gráficos de seguimiento del trabajo. Se trata de una herramienta fundamental, tanto en formato digital como en papel, para llevar el control del estado del trabajo y poder localizar e inspeccionar las posibles incidencias.

10.4. EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE AEROTRIANGULACION.

El proceso de la aerotriangulación se realizó tras la finalización del post-procesado y validación de datos GPS/IMU e imágenes. Igualmente será necesario el completar la fase de apoyo fotogramétrico en cada uno de los bloques para comenzar con esta actividad.

La aerotriangulación se realizó por métodos completamente digitales y empleando parámetros de apoyo aerotransportado GPS y/o GPS/IMU, para ello se utilizaron los más modernos equipos y software de aerotriangulación.

10.5. ORIENTACIÓN INTERNA.

En este caso en el que las imágenes proceden de cámara digital, la fase de orientación interna es innecesaria, puesto que la cámara digital posee la ventaja de tener una geometría rígida e idéntica para cada imagen, y carece de errores geométricos debidos a deformaciones de película.

10.6. DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS ENLACE.

La medición y transferencia de puntos de enlace y de paso, se llevó a cabo, en primer lugar, de forma Semi-automática por técnicas de correlación espacial de imágenes. Se deben medir, al menos, nueve áreas por fotograma, coincidiendo las áreas centrales con la posición de los puntos de Von Gruber, y cada una de estas áreas debe contener, al menos, dos puntos de paso o enlace (según corresponda).

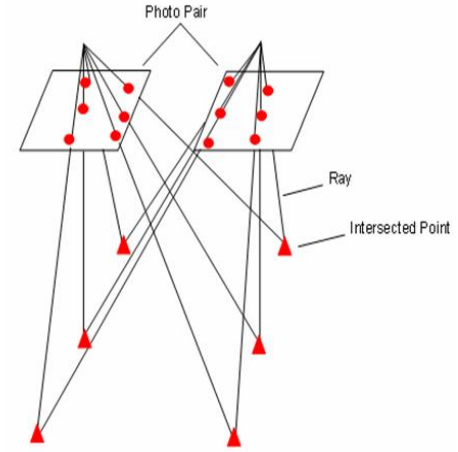
En la correlación se utilizaron las imágenes digitales a las que se les ha creado una estructura piramidal, con el fin de optimizar los procesos. En los primeros niveles de la piramidal (menos resolución) se usa un algoritmo de cálculo basado en la extracción de formas características (Feature-Based Matching, FBM) que da una precisión de 0,3 píxeles. En los últimos niveles de la pirámide, se emplea el método de correlación de mínimos cuadrados (Least-Squares Matching, LSM), que permite obtener precisión de 0,1 píxeles.

Los puntos de enlace y de paso obtenidos tras la correlación, son depurados por dos vías paralelas e interrelacionadas:

- Por un lado, se ejecutaron algoritmos de detección automática de errores que eliminan aquellos puntos cuyo error supera una tolerancia prefijada.

- Por otro lado, se comprobaron el enlace de forma interactiva, con el fin de asegurar que existe, al menos, dos puntos en cada zona de Von Gruber, y que, al menos, hay punto de enlace entre pasadas en cada área de enlace. En caso de ser necesario, se miden manualmente cuantos puntos sean necesarios.

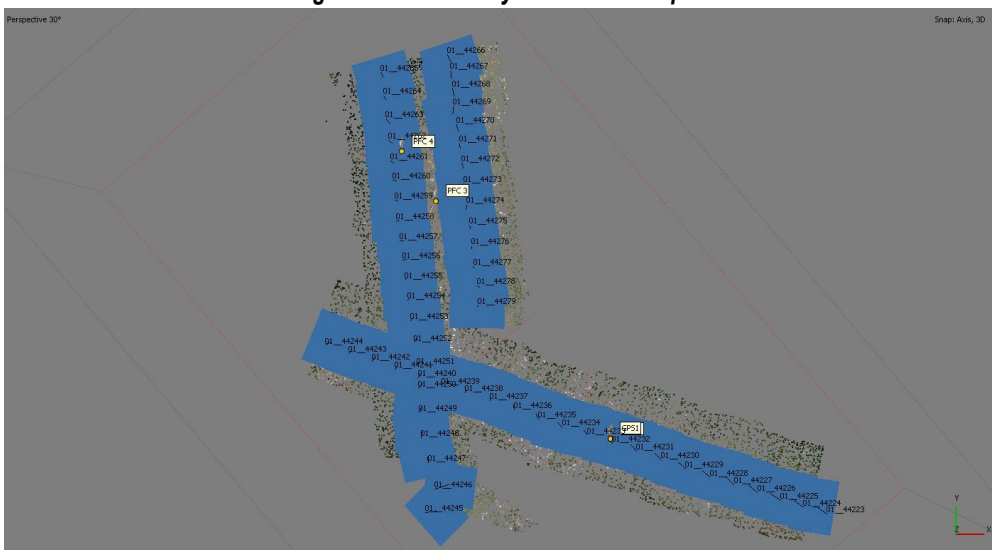
Figura 49.Multimedición de puntos de Amarre



Fuente: Elaboración Propia

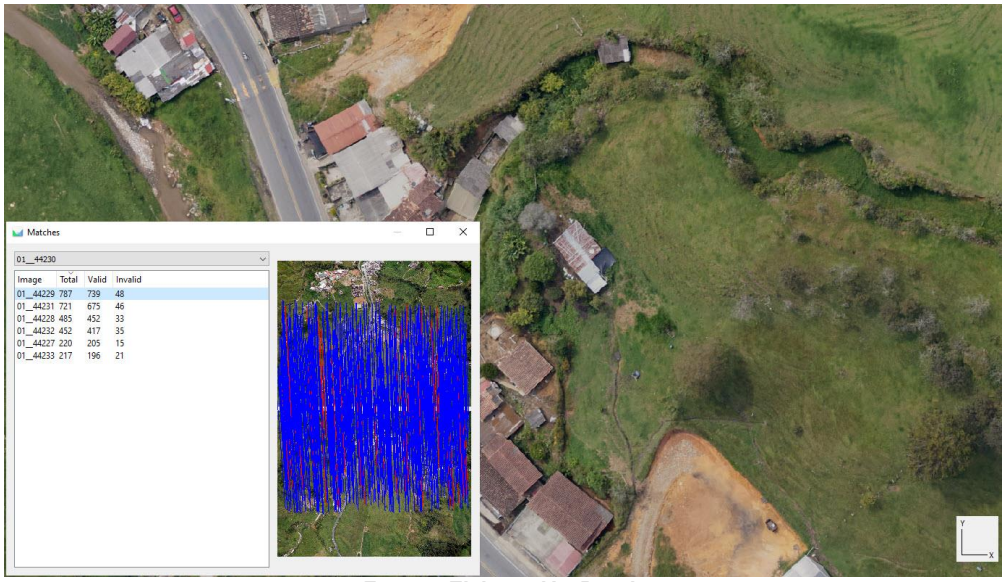
Ambos procesos fueron repetidos tantas veces como fue necesario hasta cumplir con las exigencias de precisión y de enlace del bloque. Como resultado, se obtuvo la orientación relativa del bloque y su precisión interna.

Figura 50.Precisión y enlace del bloque



Fuente: Elaboración Propia

Figura 51.Proceso de correlación y depuración



Fuente: Elaboración Propia

10.7. OBTENCIÓN DE PUNTOS HOMÓLOGOS DE APOYO (MULTIMEDICIÓN) PARA EL PROYECTO.

Este procedimiento tuvo como objetivos:

- La multimedición de las líneas de vuelo.
- Generar los empalmes de líneas de vuelo.
- Garantizar que cada punto de paso esté presente en por lo menos 3 imágenes.
- Garantizar que cada punto de paso fue visitado y corresponde al mismo elemento y posición en cada una de las imágenes.
- Obtener un modelo consistente para la realización de la respectiva triangulación.

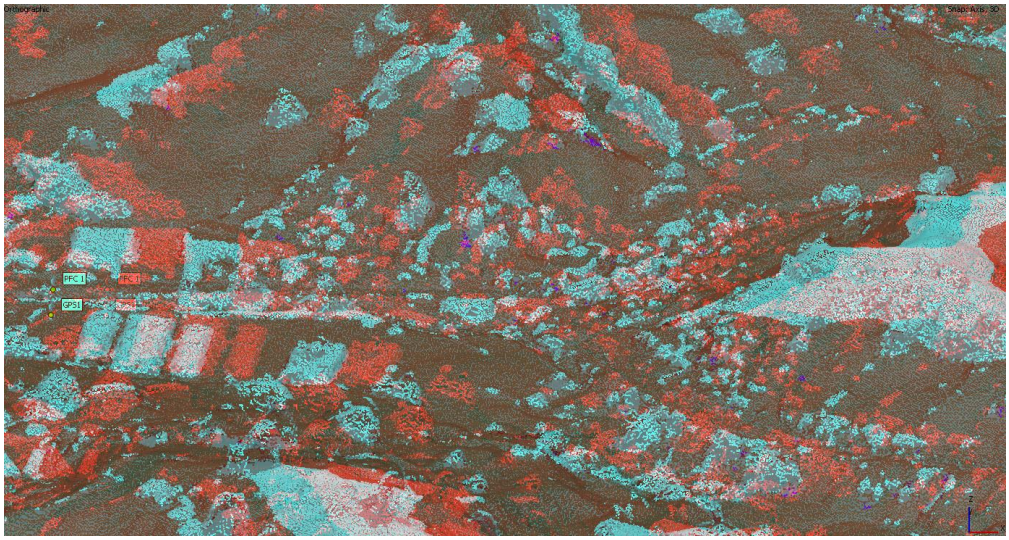
Al construir el bloque se analizaron los siguientes parámetros:

- Altimetría de la zona de interés.
- Recubrimientos que debe tener las imágenes según estándares
- Tipo de terreno.
- Escala objetivo de captura para el desarrollo de la misión.

Mediante software Agisoft PhotoScan el trabajo se realizó por medio del proceso de búsqueda de cada uno de los puntos homólogos en las diferentes imágenes bajo los siguientes parámetros:

- Cada punto debe estar como mínimo en 3 imágenes.
- La distribución de los puntos debe cubrir la totalidad de la imagen (no pueden estar en una sola zona).
- Cada punto debe corresponder al mismo elemento y posición (x, y, z) en cada una de las imágenes.
- Entre fajas deben existir puntos homólogos.
- No se deben tomar sombras como punto homologo.
- Los puntos homólogos deben tratar de estar siempre sobre el terreno (piso).

Figura 52.Interfaz gráfica Estéreo digital (Distribución de puntos)



Fuente: Elaboración Propia

Al realizar la multimedición (obtención de puntos homólogos de apoyo) se generó un bloque consistente en el cual, y con ayuda del fotocontrol, se inició el proceso de Aerotriangulación.

10.8. CÁLCULO Y AJUSTE DEL BLOQUE.

El cálculo y ajuste del bloque es un proceso iterativo en conjunto con la medición del apoyo topográfico. Se realizó por el método de ajuste de haces con parámetros de apoyo aerotransportado, por lo que en el ajuste final se dispuso de información acerca de las precisiones tanto de los puntos de apoyo, como de los de paso y enlace, y de los parámetros GPS-IMU.

La desviación estándar a priori de los puntos de apoyo será de entre 1/3 y 1/ 2 del tamaño del píxel y la de los centros de proyección de entre 0.10 m y 0.15 m.

Una vez el cálculo se dio por bueno (se han obtenido los parámetros de orientación exterior con las precisiones requeridas), se llevó a cabo el último paso: obtención de la red densificada topográfica, en la que se calcularon las coordenadas terreno de cada punto de paso y de enlace.

Como comprobación del cálculo del aerotriangulación, se incluyeron puntos de chequeo de precisión al menos 1/3 del RMS final del producto.

10.9. PRECISIONES DE LA AEROTRIANGULACIÓN.

- Error estándar para la orientación interior 0,7 píxel.
- Error estándar para el ajuste relativo, 1 píxel.
- Error estándar para el ajuste absoluto, 3 píxel.

10.10. RESULTADOS FINALES.

Para la generación de las ortofotos se usó el método correlación automática de imágenes en Agisoft Photoscan, el cual incluye para Fase 2 un total de 57 fotografías en RGB

Como resultado de esta fase2 se obtuvieron los siguientes productos:

- 21 imágenes RGB, a resolución 7cm Formatos TIFF, ECW y PNG.
- Fichero AUX de georreferenciación.

Figura 53.Ortofotomosaico Fase 2



Fuente: Global Mapper

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO DE UN MODELO DIGITAL DE TERRENO MEDIANTE TECNOLOGÍA LIDAR

"CONSULTORÍA PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO DE UN MODELO DIGITAL DE TERRENO MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍA LIDAR CON EL ACOTAMIENTO Y DELIMITACIÓN DE LAS FUENTES HÍDRICAS DETERMINADAS, EN EL MARCO DEL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 040-COV2210-86 DE 2022 SUSCRITO CON CORANTIOQUIA"

POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID
2023

POLITÉCNICO COLOMBIANO
JAIME ISAZA CADAVID

SIGLA
Sistemas de Información Geográfica de Latino América S.A.S

Bogotá D.C., 2023

Señores:
POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID
CRISTHER AMELA ESCOBAR GUZMAN
cpescobar@elpoli.edu.co

Estimados señores:

Reciban un cordial saludo, por medio de la presente se hace entrega del plan de trabajo para el proyecto "CONSULTORÍA PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO DE UN MODELO DIGITAL DE TERRENO MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍA LIDAR CON EL ACOTAMIENTO Y DELIMITACIÓN DE LAS FUENTES HÍDRICAS DETERMINADAS, EN EL MARCO DEL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 040-COV2210-86 DE 2022 SUSCRITO CON CORANTIOQUIA" específicamente en el área solicitada en la cuenca del Rio Nechí - Zaragoza.

Quedamos atentos a sus comentarios.

Reciba un cordial saludo,

Equipo de proyectos SIGLA

SIGLA Sistemas de Información Geográfica de Latino América S.A.S		**INFORME FINAL RIO NECHÍ - ZARAGOZA**
Tipo de documento: **CONTROLADO**		Versión: Primera (01)
Profesional Topografía	Profesional SIG	Director Soluciones de Ingeniería
Jhoan Macias Revisó	Raúl Andres Valencia Morales Elaboró	JUAN GONZALO Aprobó

OBJETO CONTRATO:

"CONSULTORÍA PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO DE UN MODELO DIGITAL DE TERRENO MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍA LIDAR CON EL ACOTAMIENTO Y DELIMITACIÓN DE LAS FUENTES HÍDRICAS DETERMINADAS, EN EL MARCO DEL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 040-COV2210-86 DE 2022 SUSCRITO CON CORANTIOQUIA"

REGISTRO DE CAMBIOS DE LA PRESENTE VERSIÓN

Versión	Página	Naturaleza del cambio	Fecha

CONTENIDO

1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 8

2. TOPOGRAFÍA 8

2.1. GEORREFERENCIACIÓN 9

2.1.1. MATERIALIZACIÓN 9

2.1.2. METODOLOGÍA DE CAPTURA Y PROCESADO DE POSICIONAMIENTO GPS Y FOTOCONTROL 11

2.1.3. POSICIONAMIENTO GPS 11

2.1.4. LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL CON RTK 12

2.1.5. PROCESAMIENTO DE DATOS TOPOGRÁFICOS 12

2.1.6. AFORO 13

3. BATIMETRIAS 14

3.1. METODOLOGIA DE CAPTURA 14

3.1.1. Plan de trabajo: 14

3.1.2. Labores previas 15

3.1.3. Labores en terreno 15

3.1.4. Labores posteriores de oficina 15

3.2. PROCESAMIENTO DE DATOS. 15

3.2.1. Aforo Rio Nechi – Zaragoza 16

4. METODOLOGÍA CAPTURA DE INFORMACIÓN VUELOS FOTOGRAMÉTRICO - CÁMARA DIGITAL Y LIDAR. 20

5. PLANIFICACIÓN DEL VUELO EN BASE A LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS EXIGIDAS Y LA ZONA DE TRABAJO 21

5.1. COMPONENTES DEL SISTEMA 21

5.2. PARAMETROS DE VUELO COMBINADO LIDAR/CAMARA 22

5.3. CONTROL DE CALIDAD DEL VUELO PLANIFICADO 24

5.4. SELECCIÓN DE LA AERONAVE A UTILIZAR 25

5.5. ENVÍO DE LA PLANIFICACIÓN A LA UNIDAD DE VUELOS Y SOLICITUD DE LOS PERMISOS DE VUELO 25

5.6. MONTAJE E INSTALACIÓN DEL SISTEMA 25

6. TRABAJOS DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA INERCIAL – CÁMARA Y/O TECNOLOGÍA LIDAR. 26

6.1. Cálculo de corrección roll, pitch y Heading 27

7. EJECUCIÓN DEL VUELO 28

7.1. RECEPCIÓN DE PLANIFICACIÓN DEPARTAMENTOS DE VUELOS 28
7.2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA 29
7.3. COMPROBACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y SISTEMAS 29
7.4. REALIZACIÓN DEL VUELO 30
7.5. VOLCADO DE LA INFORMACIÓN 31
7.6. ENVÍO DE INFORMACIÓN A OFICINA 31
7.7. CONTROL DE CALIDAD DE CADA MISIÓN DE VUELO EJECUTADO 31
8. POST – PROCESO DE LOS DATOS LIDAR 44
8.1. EDICIÓN DE DATOS LIDAR. 44
8.2. AJUSTE AL TERRENO DE LOS DATOS LIDAR 45
8.3. CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS LIDAR 45
9. CONTROL DE CALIDAD ALTIMÉTRICO DE LA NUBE DE PUNTOS LIDAR. 46
9.1. CALCULO DEL MODELO DE AJUSTE LOCAL DE ONDULACIÓN 47
9.2. CONTROL DE COTAS CON AJUSTE A COTA GEOMETRICA 48
10. POST – PROCESO DE IMÁGENES DIGITALES. 48
10.1. APOYO FOTOGRAMÉTRICO. 49
10.2. AEROTRIANGULACIÓN. 49
10.3. PLANIFICACIÓN DE TRABAJOS DE AEROTRIANGULACIÓN. 50
10.4. EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE AEROTRIANGULACION. 51
10.5. ORIENTACIÓN INTERNA. 52
10.6. DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS ENLACE. 52
10.7. OBTENCIÓN DE PUNTOS HOMÓLOGOS DE APOYO (MULTIMEDICIÓN) PARA EL PROYECTO. 53
10.8. CÁLCULO Y AJUSTE DEL BLOQUE. 54
10.9. PRECISIONES DE LA AEROTRIANGULACIÓN. 55
10.10. RESULTADOS FINALES. 55

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. GPS Rio Nechi – Zaragoza 9
Figura 2. Punto de Fotocontrol Rio Nechi – Zaragoza 10
Figura 3. Equipos de posicionamiento 11
Figura 4. Levantamiento con RTK Rio Nechi – Zaragoza 12
Figura 5. Aforo Rio Nechi – Zaragoza 14
Figura 6. Esquema Rio Nechi – Zaragoza 15

Figura 7. Secciones Rio Nechi – Zaragoza 16
Figura 8. Secciones Aforo Rio Nechi – Zaragoza 20
Figura 9. Diagrama de flujo SIGLA para vuelos combinados Lidar-Camara 21
Figura 10. Sistema Combinado de Captura LiDAR- Cámara Alta resolución 22
Figura 11. Plan de vuelo 23
Figura 12. Gráfico líneas de vuelo planificadas 24
Figura 13. Montaje aeronave Huges 500 25
Figura 14. Instalación Phase One iXM-RS 150F, LiDAR Riegl VQ 580ii 26
Figura 15. Integración de planificaciones al sistema de navegación de la aeronave 29
Figura 16. Sistema de control en vuelo 29
Figura 17. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230705 Sesión 1 32
Figura 18. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230706 Sesión 1 32
Figura 19. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230707 Sesión 1 32
Figura 20. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230708 Sesión 1 33
Figura 21. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230709 Sesión 1 33
Figura 22. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230710 Sesión 1 33
Figura 23.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1 34
Figura 24.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1 35
Figura 25.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1 35
Figura 26.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1 36
Figura 27.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1 36
Figura 28.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 37
Figura 29. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1 38
Figura 30. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1 38
Figura 31. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1 39
Figura 32. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1 39
Figura 33. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1 40
Figura 34. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 40
Figura 35. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1 41
Figura 36. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1 41
Figura 37. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1 42
Figura 38. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1 42

Figura 39. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 43
Figura 40. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 43
Figura 41. Ejemplo dato del terreno 44
Figura 42. Estación de trabajo de edición datos LiDAR 45
Figura 43.Gráfico explicativo método Control de cota LiDAR 46
Figura 44. Ejemplo de los levantamientos mediante topografía convencional 47
Figura 45. Gráfico Modelo de Ajuste local 47
Figura 46.Flujo de trabajo Apoyo en Campo 49
Figura 47.Flujo de trabajo de Aerotriangulación 50
Figura 48.Definición del bloque 51
Figura 49.Multimedición de puntos de Amarre 52
Figura 50.Precisión y enlace del bloque 53
Figura 51.Proceso de correlación y depuración 53
Figura 52.Interfaz gráfica Estéreo digital (Distribución de puntos) 54
Figura 53.Ortofotomosaico Fase 2 56

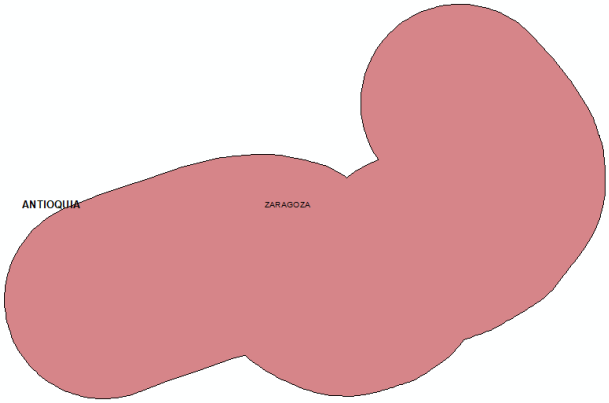
INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos Topográficos 8
Tabla 2. Coordenadas puntos GPS proyecto Politécnico Rio Nechi – Zaragoza- época 2018.0 13
Tabla 3. Coordenadas puntos Fotocontrol proyecto Politécnico Rio Nechi – Zaragoza-época 2018.0 13
Tabla 4. Factor de Corrección de Velocidad del Caudal 16
Tabla 5. Caudal Rio Nechi – Zaragoza 18
Tabla 6. Tabla de Coordenadas de la RED Geodésica 48
Tabla 6. Tabla estadística resultado del control de cotas Ortométrica 48

1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El polígono de interés se encuentra ubicado en el municipio de Zaragoza en el departamento de Antioquia con un área total de 359.65Ha. Basados en la delimitación dada de la zona a sobrevolar, así como en datos de campo, se realiza la planificación del vuelo fotogramétrico teniendo presente las condiciones geométricas

Ilustración 1. Localización y áreas de segmentos del proyecto



Fuente: SIGLA-SAS

2. TOPOGRAFÍA

En este capítulo se describe la metodología que fue utilizada en la realización de las labores de campo necesarias para la posterior actividad de ajuste y control de calidad de los productos Topográficos entregados.

La disponibilidad de Equipos de Topografía se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Equipos Topográficos

GPS/GNSS/RTK			
ITEM	**MARCA**	**MODELO**	**SERIAL**
1	Leica	ATX 1230	185688
2	Leica	ATX 1230	186111
3	Leica	ATX 1230	195196
4	Leica	ATX 1230	195200
5	Leica	GX 1230	110640
6	Stonex	850A	1477
BATIMÉTRICOS			
ITEM	**NOMBRE**	**VERSIÓN**	
1	SonarMite	SonarMiteV5 BTX/SPX	

Fuente: SIGLA-SAS

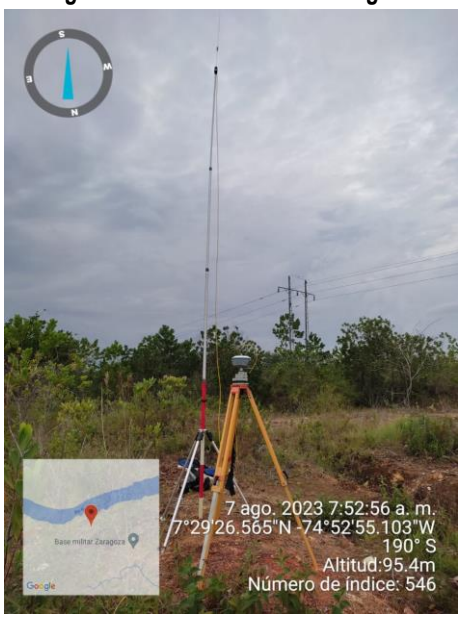
2.1. GEORREFERENCIACIÓN

2.1.1. MATERIALIZACIÓN

Puntos GNSS

Se realizará la materialización y posicionamiento de puntos GNSS en el área de estudio con el fin de ajustar el levantamiento, mediante la incrustación de placa de aluminio en el pavimento, cada placa se marca con el nombre de la empresa contratante, el número del contrato, el identificador del punto y la fecha de Monumentación.

Figura 1. GPS Rio Nechi – Zaragoza



Fuente: SIGLA-SAS

Durante la etapa de materialización se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Perdurabilidad: Por la necesidad de mantener en el tiempo el grado de precisión de los mojones materializados que conforman la Posicionamiento de puntos, se requiere que el sitio elegido garantice que estos no sufrirán ningún deterioro o desplazamiento que implique el cambio de los valores en las coordenadas obtenidas. Para evitar a futuro la destrucción de los vértices se recomienda buscar terrenos que hagan parte de la infraestructura de instalaciones escolares, de las administraciones locales como hospitales, parques, entidades corporativas entre otras.

- Confiabilidad: Que el sitio elegido permita contar con un horizonte despejado, libre de obstáculos como: cuerpos de agua, vegetación tupida, fuentes de energía (transformadores, motores, transmisores), antenas de comunicación receptoras y emisoras, dentro de un radio de 50 metros de distancia, construcciones y todo aquello que interfiera o desvíe (generando multi-retorno) la señal transmitida por la constelación de satélites GNSS NAVSTAR.

- Intervisibilidad: Se pretende la materialización de la Posicionamiento de tal forma que los puntos tengan Intervisibilidad por parejas de modo que uno haga las veces de señal de azimut de su pareja correspondiente, permitiendo de esta manera la ejecución de trabajos de topográficos con equipos óptico-mecánicos.

- Estabilidad: El sitio seleccionado debe contener formación rocosa, que no presente suelos con problemas de estabilidad, carentes de deslizamientos por pendientes fuertes, terrenos inestables por presencia de flujo de líquidos, sedimentos, pantanos, fallas geológicas, terrenos fangosos, riveras de los ríos o hundimientos.

- Seguridad: Que el sitio elegido sea de fácil acceso, que permita la ocupación con equipos de medición (estación total y/o GNSS) sin riesgo de integridad o pérdida de los mismos.

Puntos Fotocontrol

Un punto de fotocontrol es un punto de referencia o marcador físico que se coloca en el terreno o en una superficie específica para servir como punto de referencia geodésico en trabajos de fotogrametría y cartografía. Estos puntos se utilizan para medir y establecer con precisión las coordenadas geográficas de lugares específicos en la superficie de la Tierra. Estos puntos pueden ser físicos, como marcas en el suelo o monumentos, o pueden consistir en placas metálicas con coordenadas grabadas. También pueden ser puntos naturales, como características geográficas bien definidas y fácilmente identificables en las imágenes, como esquinas de edificios, intersecciones de carreteras o picos de montañas.

Se materializaron tres puntos de fotocontrol en la zona.

Figura 2. Punto de Fotocontrol Rio Nechi – Zaragoza



Fuente: SIGLA-SAS

2.1.2. METODOLOGÍA DE CAPTURA Y PROCESADO DE POSICIONAMIENTO GPS Y FOTOCONTROL

Los puntos del Posicionamiento GPS permiten referenciar todos los productos topográficos, entre los que se encuentran: Levantamientos Topográficos, nubes de puntos, Nivelación trigonométrica de precisión y trabajos de topografía convencional adicional que se haya realizado previamente a la ejecución del contrato marco.

2.1.3. POSICIONAMIENTO GPS

Este método de posicionamiento GPS consiste en calcular las coordenadas Lat, Long, X, Y, Altura elipsoidal de los monumentos materializados, utilizando GPS sub centimetrito y apoyándose en el Posicionamiento de puntos geoestacionarios de Primer Orden o bases permanentes IGAC Magna - Sirgas Certificadas.

La longitud máxima de los vectores entre los puntos a posicionar y de amarre a las placas certificadas no deberá superar 30 kilómetros como máximo. Este procedimiento beneficia la georreferenciación del proyecto en cuanto a exactitud.

- Equipos de GPS doble frecuencia propuestos para labores de posicionamiento GPS.

  Los equipos de rastreo satelital GPS a utilizar serán equipos doble frecuencia (L1-L2) de precisión subcentimétrica. Se plantea el uso de equipos Leica 1200, receptores que permiten el Posicionamiento libre de influencias ionosféricas con 12 canales L1 fase y código C/A, 12 canales L2 fase y código P, más respaldo de cuadratura (squaring) mediante código, rastreo continuo de todos los satélites disponibles y antena construida para minimizar los efectos multitrayecto.

Figura 3. Equipos de posicionamiento



Fuente: SIGLA-SAS

El equipo GPS seleccionado, ha de permitir la captura de constelaciones satelitales GPS y GLONASS, además de poseer memoria de almacenamiento y duración de baterías suficientes y adecuadas para los trabajos de campo.

El rastreo de cada punto se realizará con el tiempo de necesario para asegurar la exactitud y precisión de los resultados, esto como es sabido, depende de los puntos de apoyo y la distancia a que se encuentran; durante este tiempo estimado los equipo estarán registrando datos con dos bases conocidas y certificadas a partir del sistema de referencia del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

2.1.4. LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL CON RTK

RTK es una técnica avanzada de posicionamiento que utiliza señales de satélite (como las del sistema GPS) para obtener correcciones de alta precisión en tiempo real. Con RTK, se emplean al menos dos receptores GNSS: uno en una estación base con coordenadas conocidas con precisión y otro en un receptor móvil. La estación base calcula correcciones en tiempo real para las señales GNSS y las transmite al receptor móvil, lo que permite al receptor móvil determinar su ubicación con gran precisión en tiempo real, a menudo centimétrica.

Figura 4. Levantamiento con RTK Rio Nechi – Zaragoza



Fuente: SIGLA-SAS

2.1.5. PROCESAMIENTO DE DATOS TOPOGRÁFICOS

En el procesamiento de cada uno de los puntos de Posicionamiento se seguirán las recomendaciones del IGAC en relación al "Procesamiento de Información de GPS considerando la variación de las Coordenadas en el Tiempo (Velocidades) por efectos Geodinámicos".

Las coordenadas de las secciones obtenidas por RTK son mediciones de alta precisión en tiempo real, que se ajustan con los puntos de control.

Las coordenadas obtenidas de GPS y Fotocontroles se evidencian en las siguientes tablas.

Tabla 2. Coordenadas puntos GPS proyecto Politécnico Rio Nechi – Zaragoza- época 2018.0

COORDENADAS PUNTOS GPS PROYECTO POLITECNICO RÍO NECHÍ - EPOCA 2018.0											
Point Id	GEODÉSICAS			GEOCENTRICAS			GAUSS (CENTRAL)		CTM12		ALTURA
	WGS84 Latitude [°N]	WGS84 Longitude [°W]	WGS84 Ellip. Height [m]	WGS84 Cartesian X	WGS84 Cartesian Y	WGS84 Cartesian Z	Easting [m]	Northing [m]	Easting [m]	Northing [m]	Ortométrica
DELTA-8	7°29'26.41697"N	74°52'55.09616"W	91.701	1649392.674	-6105282.078	825977.021	911203.905	1320171.596	4792405.838	2386154.249	84.071
DELTA-7	7°29'29.15631"N	74°52'18.04679"W	70.408	1650480.908	-6104954.744	826057.681	912340.096	1320253.691	4793541.812	2386233.527	62.822
DELTA-6	7°29'48.41182"N	74°51'50.0164"W	68.720	1651289.944	-6104654.305	826643.950	913200.643	1320843.735	4794403.487	2386821.241	61.216

Fuente: SIGLA-SAS

Tabla 3. Coordenadas puntos Fotocontrol proyecto Politécnico Rio Nechi – Zaragoza- época 2018.0

COORDENADAS FOTOCONTROL POLITECNICO Rio Nechí - EPOCA2018.0											
Point Id	GEODÉSICAS			GEOCENTRICAS			PLANAS (BOGOTA MAGNA)		CTM12		Altura Ortométrica
	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ellip. Height [m]	WGS84 Cartesian X [m]	WGS84 Cartesian Y [m]	WGS84 Cartesian Z [m]	Este	Norte	Este	Norte	
PFC 2	7°29'29.43038"N	74°52'18.78137"W	71.950	1650459.2784	-6104961.0385	826066.2301	912317.587	1320262.152	4793519.332	2386242.040	64.366
PFC 3	7°29'30.81233"N	74°52'49.28508"W	75.850	1649555.9858	-6105203.4410	826108.8307	911382.336	1320306.310	4792584.534	2386288.475	68.239

Fuente: SIGLA-SAS

2.1.6. AFORO

Un aforo es el proceso de medir y calcular el caudal o flujo de agua que circula a través de un cuerpo de agua natural o un sistema de conducción de agua, como un río, arroyo, canal, lago o embalse. El aforo de un cuerpo de agua implica la medición de varios parámetros, como la velocidad del flujo del agua, la profundidad del agua, la anchura de la corriente y la geometría de la sección transversal del cuerpo de agua. Estos datos se recopilan en diferentes puntos a lo largo del cuerpo de agua para tener una imagen completa del caudal. Luego, se utilizan fórmulas y métodos matemáticos para calcular el caudal total que fluye en el cuerpo de agua en un momento dado.

Existen diferentes metodologías para determinarlo entre ellos el método del flotador que consiste en lo siguiente:

- Selección del punto de medición: Se elige un punto en el cuerpo de agua donde se desee medir el caudal. Este punto debe tener una sección transversal representativa del flujo y ser seguro para realizar las mediciones.

- Elección del flotador: Se selecciona un objeto flotante que sea fácilmente visible y siga el flujo del agua sin hundirse ni volcarse. Ejemplos comunes de flotadores son troncos, botes o botellas.

- Medición de la profundidad: Se utiliza un equipo de medición adecuado, como una sonda de profundidad o una cinta métrica, para medir la profundidad del agua en varios puntos a lo largo de la sección transversal del cuerpo de agua en el punto de medición. Estas mediciones se realizan generalmente en intervalos regulares.

- Lanzamiento y seguimiento: El flotador se lanza al agua aguas arriba del punto de medición y se sigue visualmente a medida que fluye con la corriente.

- Cálculo de la velocidad promedio: Utilizando el tiempo de viaje del flotador y la distancia conocida entre los puntos de medición de la profundidad, se calcula la velocidad promedio del flujo del agua

en cada punto. Esto se hace dividiendo la distancia entre dos mediciones de profundidad por el tiempo que tarda el flotador en recorrer esa distancia.

- Cálculo del caudal: Con las velocidades promedio calculadas y las áreas correspondientes de la sección transversal del cuerpo de agua (profundidad x ancho), se puede estimar el caudal (volumen de agua que pasa por ese punto en un período de tiempo específico).

Figura 5. Aforo Rio Nechi – Zaragoza



Fuente: SIGLA-SAS

3. BATIMETRIAS

El levantamiento topográfico de la quebrada se efectuó utilizando tecnología RTK (Real-Time Kinematic), con el propósito de capturar puntos de interés que incluyeron los contornos del terreno, los bordes de la quebrada y su lecho, obteniendo valores en X,Y y Z. Posteriormente, se procedió a la generación de un modelo digital del terreno, con curvas de nivel a intervalos de dos metros. A partir de este modelo, se obtuvieron secciones transversales de la quebrada con un espaciamiento de 50 metros entre cada una.

Para cuantificar el caudal de la quebrada, se implementó un aforo con el método del flotador en secciones estratégicamente seleccionadas, lo que permitió la medición precisa del flujo de agua en puntos clave a lo largo de su curso.

3.1. METODOLOGIA DE CAPTURA

3.1.1. Plan de trabajo:

A continuación, se hace una descripción:

- Determinación de vértices de control topográfico para cada sección.
- Determinación de la geometría de cada una de las secciones mediante levantamiento topográfico-RTK convencional.

- Aforo para la determinación del caudal por medio de la metodología con flotador.

3.1.2. Labores previas

- • Planificación logística y técnica del levantamiento con base en la cartografía existente.

3.1.3. Labores en terreno

- A partir de los vértices de amarre se realiza el levantamiento topográfico de secciones transversales con GPS usando el método de RTK convencional.
- Registro fotográfico de los diferentes procedimientos
- Aforo por método de flotador, las secciones se levantaron con RTK obteniendo su ubicación en Norte, Este y Cota, la profundidad de la lámina de agua se toma con cinta métrica, y se realizó varias tomas de tiempo para determinar un promedio.

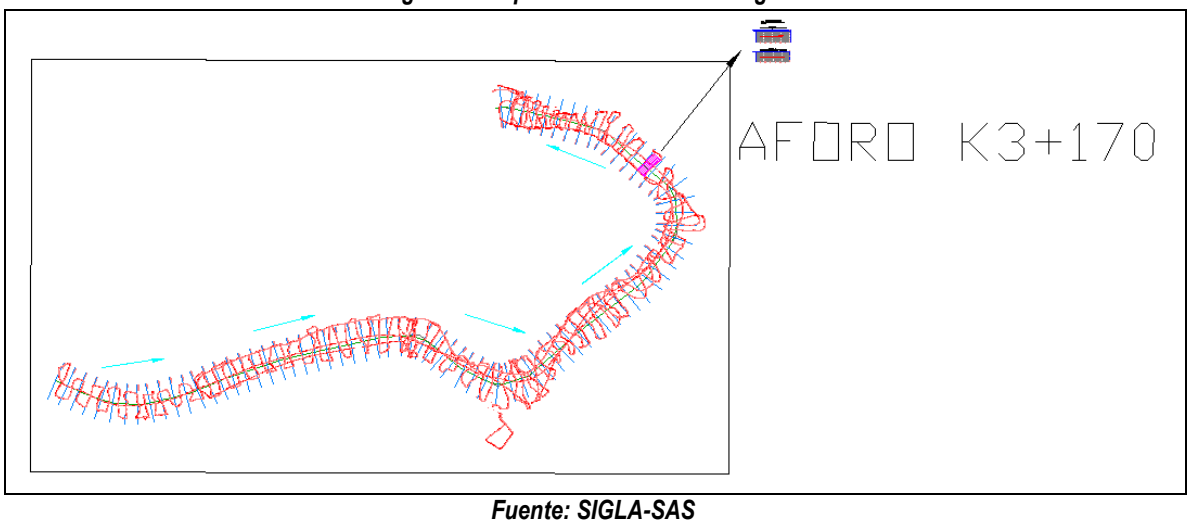
3.1.4. Labores posteriores de oficina

- Reducción de datos de RTK
- Cálculo y dibujo de secciones transversales.
- Calculo de datos de aforo y caudal de la quebrada.

3.2. PROCESAMIENTO DE DATOS.

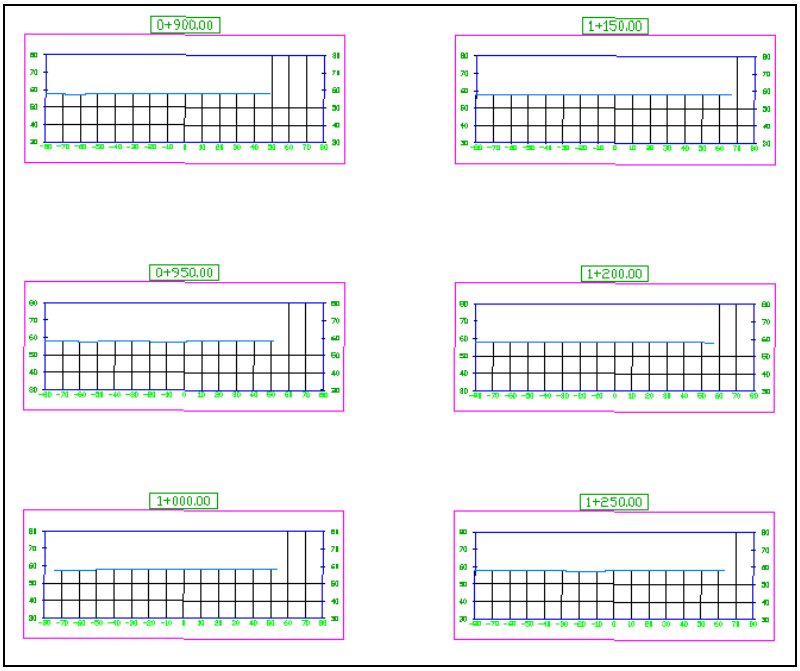
Se procedió a la determinación de las coordenadas planas del levantamiento de la quebrada, utilizando el sistema de referencia Magna Gauss-Krüger Origen Central y el Origen nacional CTM12. Se ha realizó una representación gráfica de la información del levantamiento, con dos archivos distintos, uno para cada sistema de referencia, que contienen curvas de nivel generadas a intervalos de 2 metros y secciones transversales establecidas a intervalos de 50 metros.

Figura 6. Esquema Rio Nechi – Zaragoza



Fuente: SIGLA-SAS

Figura 7. Secciones Rio Nechi – Zaragoza



Fuente: SIGLA-SAS

3.2.1. Aforo Rio Nechi – Zaragoza

Se obtuvieron coordenadas planas en los Sistemas de referencia Magna Gauss Central y CTM12 de las secciones tomadas para el aforo con una separación de 10 metros entre cada sección. En cada punto de la sección, se realizó la medición de la lámina de agua con flexómetro, lo que permitió determinar la profundidad promedio de la sección; así mismo llevó a cabo la medición del tiempo que el objeto flotante tardó en recorrer la distancia entre cada una de las secciones en nueve ocasiones, y se obtuvo así el tiempo promedio. El calculo del caudal se obtiene mediante la fórmula:

Caudal (m^3/s) = A x V x Factor de corrección

A=Área
V= Velocidad

Tabla 4. Factor de Corrección de Velocidad del Caudal

Tipos de Arroyo	Factor de Corrección De Velocidad (C)	Precisión
Canal rectangular Con lados y lechos lisos	0.85	Buena
Río profundo y lento	0.75	Razonable
Arroyo pequeño de lecho Parejo y liso	0.65	Mala
Arroyo rápido y turbulento	0.45	Muy mala
Arroyo muy poco profundo De lecho rocoso	0.25	Muy mala.

Fuente: Universidad Santo Tomás

El factor de corrección tomado fue 0.25 ya que la quebrada es poco profunda y rocosa. El caudal obtenido fue de 0.207 m^3/s, los datos que se obtuvieron en cuenta se evidencian en la siguiente tabla:

Tabla 5. Caudal Rio Nechi – Zaragoza

AFORO RIO NECHI - ECOSONDA EPOCA2018.0												
Point Id	GEODÉSICAS			PLANAS GAUSS ORIGEN CENTRAL		CTM12		Altura Ortométrica	Profundidad (m)	Descriptor	Área m^2 Transversal
	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ellip. Height [m]	Este	Norte	Este	Norte				
1	7°30'0.97724"N	74°51'59.17564"W	64.891	912920.493	1321230.288	4794124.39	2387208.34	57.391	2.23	K3+170	
2	7°30'0.98965"N	74°51'59.12991"W	64.892	912921.896	1321230.667	4794125.79	2387208.71	57.392	2.23	K3+170	
3	7°30'1.01532"N	74°51'59.08391"W	64.916	912923.308	1321231.453	4794127.21	2387209.5	57.416	2.52	K3+170	
4	7°30'1.04564"N	74°51'59.03667"W	64.910	912924.758	1321232.382	4794128.66	2387210.42	57.410	2.63	K3+170	
5	7°30'1.08072"N	74°51'58.98876"W	64.911	912926.229	1321233.457	4794130.13	2387211.49	57.411	2.21	K3+170	
6	7°30'1.11729"N	74°51'58.94085"W	64.909	912927.700	1321234.578	4794131.61	2387212.61	57.409	2.63	K3+170	
7	7°30'1.1563"N	74°51'58.89363"W	64.914	912929.150	1321235.774	4794133.06	2387213.8	57.414	2.207	K3+170	
8	7°30'1.19672"N	74°51'58.84534"W	64.906	912930.633	1321237.013	4794134.54	2387215.04	57.406	2.63	K3+170	
9	7°30'1.23574"N	74°51'58.79554"W	64.906	912932.162	1321238.209	4794136.07	2387216.23	57.406	2.215	K3+170	
10	7°30'1.23574"N	74°51'58.79554"W	64.906	912932.162	1321238.209	4794136.07	2387216.23	57.406	2.215	K3+170	
11	7°30'1.23574"N	74°51'58.79554"W	64.906	912932.162	1321238.209	4794136.07	2387216.23	57.406	2.215	K3+170	
12	7°30'1.27785"N	74°51'58.74474"W	64.906	912933.722	1321239.500	4794137.64	2387217.51	57.406	2.215	K3+170	
13	7°30'1.40464"N	74°51'58.58823"W	64.917	912938.528	1321243.387	4794142.45	2387221.39	57.417	2.204	K3+170	
14	7°30'1.44956"N	74°51'58.53564"W	64.927	912940.143	1321244.764	4794144.07	2387222.76	57.427	2.194	K3+170	
15	7°30'1.49288"N	74°51'58.4837"W	64.910	912941.738	1321246.092	4794145.67	2387224.08	57.410	2.211	K3+170	
16	7°30'1.53818"N	74°51'58.43277"W	64.920	912943.302	1321247.481	4794147.23	2387225.47	57.420	2.201	K3+170	
17	7°30'1.58312"N	74°51'58.38214"W	64.928	912944.857	1321248.859	4794148.79	2387226.84	57.428	2.193	K3+170	
18	7°30'1.63076"N	74°51'58.33259"W	64.907	912946.379	1321250.320	4794150.32	2387228.3	57.407	2.214	K3+170	
19	7°30'1.67971"N	74°51'58.28392"W	64.893	912947.874	1321251.821	4794151.81	2387229.8	57.393	2.228	K3+170	
20	7°30'1.67971"N	74°51'58.28392"W	64.893	912947.874	1321251.821	4794151.81	2387229.8	57.393	2.228	K3+170	
21	7°30'1.78445"N	74°51'58.19103"W	64.887	912950.728	1321255.034	4794154.67	2387233	57.387	2.234	K3+170	
22	7°30'1.83635"N	74°51'58.14833"W	64.876	912952.040	1321256.626	4794155.99	2387234.59	57.376	2.245	K3+170	
23	7°30'1.88788"N	74°51'58.10704"W	64.894	912953.309	1321258.207	4794157.26	2387236.17	57.394	2.54	K3+170	
24	7°30'1.93381"N	74°51'58.06782"W	64.900	912954.514	1321259.616	4794158.47	2387237.57	57.400	3.66	K3+170	
25	7°30'1.97248"N	74°51'58.03078"W	64.898	912955.652	1321260.802	4794159.61	2387238.75	57.398	3.48	K3+170	
26	7°30'2.00718"N	74°51'57.99549"W	64.903	912956.736	1321261.866	4794160.7	2387239.82	57.403	3.48	K3+170	
27	7°30'2.04024"N	74°51'57.96218"W	64.905	912957.759	1321262.880	4794161.72	2387240.83	57.405	3.34	K3+170	
28	7°30'2.07392"N	74°51'57.93038"W	64.890	912958.736	1321263.913	4794162.7	2387241.86	57.390	3.34	K3+170	
29	7°30'2.1102"N	74°51'57.89956"W	64.903	912959.683	1321265.026	4794163.65	2387242.97	57.403	2.218	K3+170	
30	7°30'2.14769"N	74°51'57.86992"W	64.897	912960.594	1321266.176	4794164.56	2387244.11	57.397	3.29	K3+170	2053.434
31	7°30'2.18637"N	74°51'57.84171"W	64.906	912961.461	1321267.363	4794165.43	2387245.3	57.406	3.29	K3+170	
32	7°30'2.22525"N	74°51'57.81435"W	64.908	912962.302	1321268.556	4794166.28	2387246.49	57.408	2.93	K3+170	
33	7°30'2.26475"N	74°51'57.78807"W	64.896	912963.110	1321269.768	4794167.09	2387247.7	57.396	2.93	K3+170	
34	7°30'2.30317"N	74°51'57.76231"W	64.914	912963.902	1321270.947	4794167.88	2387248.88	57.414	3.2	K3+170	
35	7°30'2.3356"N	74°51'57.73853"W	64.925	912964.633	1321271.942	4794168.62	2387249.87	57.425	3.12	K3+170	
36	7°30'2.39636"N	74°51'57.68831"W	64.930	912966.176	1321273.806	4794170.16	2387251.73	57.430	3.3	K3+170	
37	7°30'2.42766"N	74°51'57.65987"W	64.914	912967.050	1321274.766	4794171.04	2387252.69	57.414	3.34	K3+170	
38	7°30'2.46299"N	74°51'57.62859"W	64.909	912968.011	1321275.850	4794172	2387253.77	57.409	3.5	K3+170	
39	7°30'2.49944"N	74°51'57.5961"W	64.920	912969.009	1321276.968	4794173	2387254.88	57.420	3.54	K3+170	
40	7°30'2.53439"N	74°51'57.56362"W	64.920	912970.007	1321278.040	4794174	2387255.95	57.420	3.54	K3+170	
41	7°30'2.56684"N	74°51'57.53146"W	64.916	912970.995	1321279.035	4794174.99	2387256.94	57.416	3.54	K3+170	
42	7°30'2.59844"N	74°51'57.49838"W	64.955	912972.011	1321280.004	4794176.01	2387257.91	57.455	3.56	K3+170	
43	7°30'2.62544"N	74°51'57.46653"W	64.938	912972.989	1321280.832	4794176.99	2387258.73	57.438	3.56	K3+170	
44	7°30'2.65291"N	74°51'57.43341"W	64.943	912974.006	1321281.674	4794178.01	2387259.57	57.443	2.178	K3+170	
45	7°30'2.67862"N	74°51'57.40029"W	64.937	912975.023	1321282.462	4794179.03	2387260.36	57.437	3.55	K3+170	
46	7°30'2.70722"N	74°51'57.36564"W	64.949	912976.087	1321283.339	4794180.09	2387261.23	57.449	3.55	K3+170	
47	7°30'2.73245"N	74°51'57.33072"W	64.962	912977.159	1321284.112	4794181.17	2387262	57.462	3.77	K3+170	
48	7°30'2.75425"N	74°51'57.29645"W	64.959	912978.211	1321284.780	4794182.22	2387262.67	57.459	3.77	K3+170	
49	7°30'2.7755"N	74°51'57.2613"W	64.972	912979.290	1321285.431	4794183.3	2387263.32	57.472	3.77	K3+170	
50	7°30'2.795"N	74°51'57.2253"W	64.942	912980.395	1321286.028	4794184.41	2387263.91	57.442	3.82	K3+170	
51	7°30'2.82052"N	74°51'57.18585"W	64.977	912981.606	1321286.810	4794185.62	2387264.69	57.477	3.99	K3+170	
52	7°30'2.84181"N	74°51'57.1474"W	64.962	912982.786	1321287.462	4794186.8	2387265.34	57.462	4.02	K3+170	
53	7°30'2.86424"N	74°51'57.11212"W	64.968	912983.869	1321288.149	4794187.88	2387266.02	57.468	4.06	K3+170	
54	7°30'2.88902"N	74°51'57.08441"W	64.941	912984.720	1321288.909	4794188.74	2387266.78	57.441	4.29	K3+170	
55	7°30'2.9238"N	74°51'57.06038"W	64.962	912985.459	1321289.976	4794189.48	2387267.84	57.462	4.27	K3+170	
56	7°30'2.96821"N	74°51'57.03267"W	64.983	912986.311	1321291.339	4794190.33	2387269.2	57.483	4.79	K3+170	
57	7°30'3.00923"N	74°51'57.01255"W	64.962	912986.930	1321292.598	4794190.96	2387270.46	57.462	4.79	K3+170	
58	7°30'3.04704"N	74°51'56.99971"W	64.987	912987.326	1321293.759	4794191.35	2387271.62	57.487	5.21	K3+170	

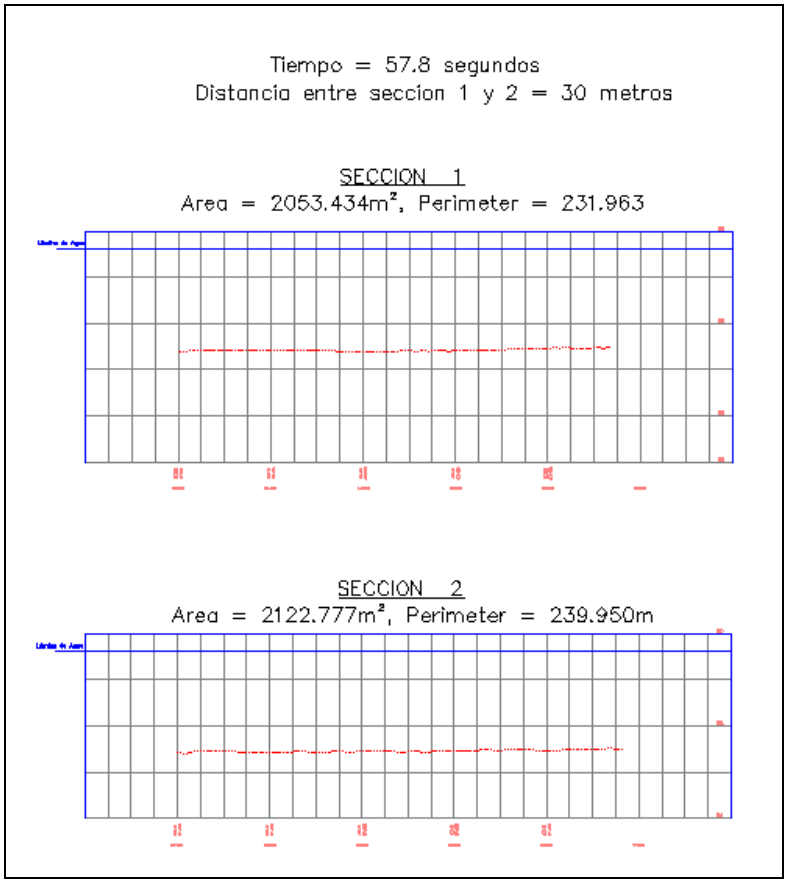
59	7°30'2.15493"N	74°51'56.17164"W	64.980	913012.667	1321266.305	4794216.62	2387244.12	57.480	2.141	K3+200	
60	7°30'2.12821"N	74°51'56.20532"W	64.996	913011.633	1321265.486	4794215.58	2387243.3	57.496	2.125	K3+200	
61	7°30'2.10263"N	74°51'56.23942"W	65.022	913010.586	1321264.702	4794214.53	2387242.52	57.522	2.099	K3+200	
62	7°30'2.07655"N	74°51'56.28023"W	64.995	913009.333	1321263.903	4794213.28	2387241.72	57.495	5.46	K3+200	
63	7°30'2.04607"N	74°51'56.3262"W	65.001	913007.922	1321262.969	4794211.87	2387240.79	57.501	5.46	K3+200	
64	7°30'2.01154"N	74°51'56.37783"W	65.003	913006.337	1321261.911	4794210.28	2387239.74	57.503	5.3	K3+200	
65	7°30'1.97431"N	74°51'56.4303"W	65.001	913004.726	1321260.770	4794208.67	2387238.6	57.501	5.15	K3+200	
66	7°30'1.93551"N	74°51'56.48486"W	64.978	913003.051	1321259.581	4794206.99	2387237.42	57.478	2.143	K3+200	
67	7°30'1.89368"N	74°51'56.53938"W	64.973	913001.377	1321258.299	4794205.31	2387236.14	57.473	2.148	K3+200	
68	7°30'1.84919"N	74°51'56.59181"W	64.971	912999.767	1321256.935	4794203.7	2387234.78	57.471	4.91	K3+200	
69	7°30'1.8022"N	74°51'56.64025"W	64.957	912998.279	1321255.494	4794202.21	2387233.34	57.457	2.164	K3+200	
70	7°30'1.75219"N	74°51'56.68592"W	64.988	912996.876	1321253.960	4794200.8	2387231.81	57.488	2.133	K3+200	
71	7°30'1.75219"N	74°51'56.68592"W	64.988	912996.876	1321253.960	4794200.8	2387231.81	57.488	2.133	K3+200	
72	7°30'1.6463"N	74°51'56.78582"W	64.990	912993.807	1321250.712	4794197.73	2387228.57	57.490	4.81	K3+200	
73	7°30'1.59157"N	74°51'56.84919"W	64.953	912991.861	1321249.034	4794195.78	2387226.9	57.453	2.168	K3+200	
74	7°30'1.53619"N	74°51'56.91059"W	64.984	912989.975	1321247.336	4794193.89	2387225.21	57.484	2.137	K3+200	
75	7°30'1.48146"N	74°51'56.97364"W	64.944	912988.039	1321245.658	4794191.95	2387223.54	57.444	2.177	K3+200	
76	7°30'1.42647"N	74°51'57.03583"W	64.958	912986.129	1321243.972	4794190.04	2387221.86	57.458	2.163	K3+200	
77	7°30'1.37216"N	74°51'57.09874"W	64.959	912984.197	1321242.307	4794188.1	2387220.2	57.459	2.162	K3+200	
78	7°30'1.31876"N	74°51'57.16495"W	64.951	912982.164	1321240.670	4794186.06	2387218.56	57.451	2.17	K3+200	
79	7°30'1.26613"N	74°51'57.23504"W	64.928	912980.012	1321239.057	4794183.91	2387216.96	57.428	2.193	K3+200	
80	7°30'1.21319"N	74°51'57.3034"W	64.946	912977.913	1321237.434	4794181.81	2387215.34	57.446	2.175	K3+200	2122.777
81	7°30'1.15942"N	74°51'57.37316"W	64.935	912975.771	1321235.786	4794179.66	2387213.7	57.435	2.186	K3+200	
82	7°30'1.10364"N	74°51'57.43894"W	64.968	912973.751	1321234.076	4794177.64	2387211.99	57.468	4.55	K3+200	
83	7°30'1.04549"N	74°51'57.50722"W	64.952	912971.654	1321232.293	4794175.54	2387210.22	57.452	2.169	K3+200	
84	7°30'0.98512"N	74°51'57.57136"W	64.964	912969.684	1321230.442	4794173.56	2387208.37	57.464	2.157	K3+200	
85	7°30'0.92313"N	74°51'57.63733"W	64.925	912967.658	1321228.541	4794171.53	2387206.48	57.425	2.196	K3+200	
86	7°30'0.85942"N	74°51'57.69742"W	64.949	912965.812	1321226.587	4794169.68	2387204.53	57.449	2.172	K3+200	
87	7°30'0.79402"N	74°51'57.75819"W	64.940	912963.945	1321224.581	4794167.81	2387202.53	57.440	2.181	K3+200	
88	7°30'0.72648"N	74°51'57.81622"W	64.930	912962.162	1321222.509	4794166.02	2387200.46	57.430	4.55	K3+200	
89	7°30'0.65636"N	74°51'57.87222"W	64.945	912960.441	1321220.358	4794164.3	2387198.31	57.445	2.98	K3+200	
90	7°30'0.58382"N	74°51'57.9244"W	64.936	912958.837	1321218.132	4794162.69	2387196.09	57.436	2.98	K3+200	
91	7°30'0.50861"N	74°51'57.97191"W	64.940	912957.376	1321215.824	4794161.22	2387193.79	57.440	2.98	K3+200	
92	7°30'0.43188"N	74°51'58.0159"W	64.922	912956.023	1321213.469	4794159.87	2387191.44	57.422	3.11	K3+200	
93	7°30'0.36075"N	74°51'58.05553"W	64.936	912954.804	1321211.286	4794158.64	2387189.26	57.436	3.16	K3+200	
94	7°30'0.29773"N	74°51'58.09393"W	64.930	912953.623	1321209.352	4794157.46	2387187.33	57.430	2.8	K3+200	
95	7°30'0.24228"N	74°51'58.12778"W	64.972	912952.582	1321207.650	4794156.41	2387185.63	57.472	2.75	K3+200	
96	7°30'0.19082"N	74°51'58.16066"W	64.973	912951.571	1321206.071	4794155.4	2387184.05	57.473	2.74	K3+200	
97	7°30'0.14071"N	74°51'58.19038"W	64.968	912950.657	1321204.533	4794154.48	2387182.52	57.468	2.69	K3+200	
98	7°30'0.09047"N	74°51'58.21938"W	64.954	912949.765	1321202.991	4794153.58	2387180.98	57.454	2.69	K3+200	
99	7°30'0.04101"N	74°51'58.24359"W	64.948	912949.020	1321201.473	4794152.84	2387179.46	57.448	2.69	K3+200	
100	7°29'59.94449"N	74°51'58.27349"W	64.898	912948.098	1321198.509	4794151.91	2387176.5	57.398	2.69	K3+200	
101	7°29'59.89869"N	74°51'58.2753"W	64.938	912948.040	1321197.102	4794151.85	2387175.1	57.438	2.65	K3+200	

TIEMPO (seg)								
Margen derecha			Centro			Margen Izquierda		
57.80''	57.81''	57.79''	57.80''	57.80''	57.81''	57.79''	57.78''	57.80''

Promedio	Distancia recorrida (m)	Profundidad Promedio	Ancho del río (m)	Área m^2	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)
57.80''	30	3.083	100	2053.434	0.519	799.378

Fuente: SIGLA-SAS

Figura 8. Secciones Aforo Rio Nechi – Zaragoza

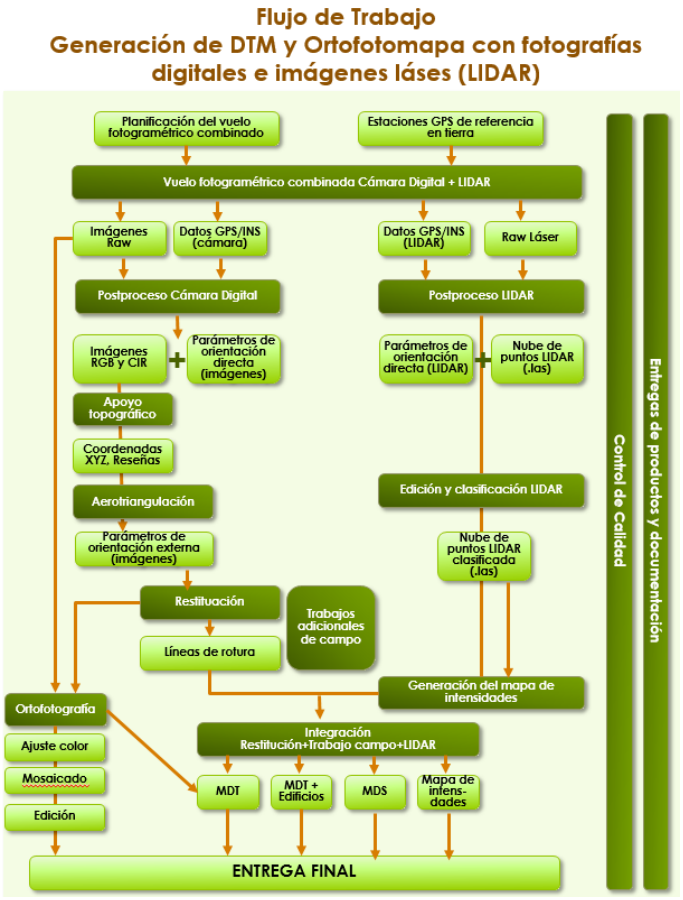


Fuente: SIGLA-SAS

4. METODOLOGÍA CAPTURA DE INFORMACIÓN VUELOS FOTOGRAMÉTRICO - CÁMARA DIGITAL Y LIDAR.

La siguiente figura muestra el diagrama de flujo seguido por nuestro personal técnico, e incluye los procesos desde la Planificación hasta la obtención de Modelos Digitales y ortofotografías digitales y demás entregables objeto del proyecto.

Figura 9. Diagrama de flujo SIGLA para vuelos combinados Lidar-Camara



Fuente: Elaboración Propia

En el diseño de una misión de vuelo combinado (Cámara digital-LiDAR) se tuvieron en cuenta de manera conjunta las especificaciones relativas tanto a la captura de imagen como de captura de datos LiDAR, garantizando que el vuelo cumpla con las exigencias impuestas en las especificaciones técnicas.

5. PLANIFICACIÓN DEL VUELO EN BASE A LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS EXIGIDAS Y LA ZONA DE TRABAJO.

Dada la delimitación de la zona a sobrevolar y apoyándonos en la cartografía existente, así como en datos de campo, se realizó una planificación inicial del vuelo fotogramétrico, teniendo presente las condiciones geométricas proporcionadas por el cliente.

5.1. COMPONENTES DEL SISTEMA

El sistema a utilizar es un conjunto combinado de cámara fotogramétrica de medio formato Phase One iXM-RS 150F, LiDAR Riegl VQ 580ii, ambos de última generación.

Este sistema, de reciente fabricación está siendo utilizado tanto en proyectos LiDAR que implican estudios de corredores, como en estudios que abarcan áreas extensas y entre sus ventajas respecto a otros equipos podemos citar la posibilidad de instalación en diversas aeronaves como helicópteros, con STC y certificaciones disponibles, Eurocopter AS350 BA, B2, B3 y AS355N biturbina, Bell 206, Robinson R44, Huges 500, aviones Cessna 180, 182, 206 y 402, Piper PA23 y PA31.

Para la realización del proyecto garantizando la calidad y como margen de seguridad sobre las condiciones técnicas establecidas se diseñó un plan de vuelo en el cual se tomaran 8 Puntos/m2 y el tamaño mínimo de Píxel es de 0.15 GSD.

Figura 10. Sistema Combinado de Captura LiDAR- Cámara Alta resolución



Fuente: SIGLA-SAS

5.2. PARAMETROS DE VUELO COMBINADO LIDAR/CAMARA

La parametrización del sensor LiDAR se realizó con la aplicación del Software AeroPlan de la casa Leica Geosystems. Los parámetros generales del vuelo fotogramétrico y LiDAR planificado se resumen en la siguiente tabla.

Figura 11. Plan de vuelo

IXM-RS 150F - VQ580

PLAN DE VUELO: FOTOGRAMETRÍA

SIGLA
Sistemas de Información Geográfica de Latino América S.A.S

Proyecto: 304_PolitecnicoColombiano_SI-2023-1026
Lugar: Colombia

SGR: WGS84 — EPSG
Proyección: UTM 18N

CÁMARA: Phase One IXM-RS 150F
Tamaño de píxel: 0.00376 mm — Formato de cámara: 67 mm — FOV: 60 °
Tamaño del sensor: 14,204 píxeles — 53.4 mm (ancho) — 151 MP — FOV alto: 53 °
10,652 píxeles — 40.1 mm (alto) — FOV ancho: 67 °

OBJETIVO: Rodenstock 100 mm f/4.0
Distancia focal: 40 mm

CONDICIONES TOMA:
- Velocidad de obturación (inverso): 1600 s
- FMC: 0.5 píxeles — Altura mínima: 410 m — Para evitar el arrastre de píxel (desenfoque)
- Velocidad aeronave: 60 nudos — 111 km/h — 31 m/s
- Recubrimientos: Longitudinal: 70%; Transversal: 40%
- Margen seguridad ancho: 10%
  - Ancho pasada segura: 895 m — Ancho de pasada a dibujar
  - Altura de vuelo ancho seguro: 670 m — Límite inferior de la AGL

CONDICIONES RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA:
- Para zum 1:2. Diferencial de paralaje: 0.5 píxeles
- Apreciación planimétrica: 0.035 m
- Apreciación altimétrica: 0.056 m (Con pares de fotos alternas)
- Relación B/H: 0.60 (Con pares de fotos alternas)

PARAMETROS:

GSD	AGL	M	Imagen terreno		Superficie cubierta	Base aérea	Intervalo pasadas	Intervalo disparo
			Avance	Lateral				
0.070	745	18,617	746	994	74	224	597	7.247

ZONA A VOLAR:
- Tipo: Corredor (Valores: Polígono, Corredor)
- Eje largo: 3,600,000 m
- Eje corto: 200 m
- Número de pasadas: 1
- Fotos longitud zona: 16095

EQUIVALENCIA VUELO ANALÓGICO:

M	u
2,500	28
5,000	14
8,000	9
16,000	4

PLAN DE VUELO: LIDAR

SIGLA
Sistemas de Información Geográfica de Latino América S.A.S

Proyecto: 304_PolitecnicoColombiano_SI-2023-1026
Lugar: Colombia

SGR: WGS84 — EPSG
Proyección: UTM 18N — 0

ESCÁNER: RIEGL VQ-580II

PRR kHz	Alcance máximo		Máx. AGL	Máx. AGL	Dist. sin ambigüed.
	ρ ≥ 20%	ρ ≥ 60%	ρ ≥ 20%	ρ ≥ 60%	
150	1,850	2,850	1,350	2100	1,000
300	1,350	2,150	1,000	1600	500
600	1,000	1,600	750	1200	250
1200	750	1,200	550	900	125
2000	550	950	400	700	75

Densidad LIDAR: 10.0 puntos/m2
Ancho efectivo barrido: 597 m
Prec. est. roll, pitch: 0.15 °
Prec. est. heading: 0.40 °
Errores LIDAR (1σ):
Borde de pasada Eh: 1.59 m
Borde pas. efectiva Eh: 0.00 m
Centro de pasada Eh: 0.05 m
Ev: 0.02 m

- AGL: 745 m
- Dist. extremo: 939 m
- Vel. aeronave: 60 nudos 111 km/h
- FOV: 75 ° (+37,5° / -37,5°)
- PRR: 600 kHz
- Increm. ángulo: 0.030 ° — Dif. Res.: 0.141 °
- Ancho barrido: 1143 m
- Solape ejes: 45%

- Puntos por línea: 2,466 puntos
- Intervalo extremo: 0.5 m
- Intervalo nadir: 0.4 m
- Velocidad barrido: 122 líneas/s
- Distancia líneas: 0.25 m
- Divergencia rayo: 0.3 mrad
- Huella nadir: 0.22 m
- Máxima AGL: 900 m

Cambiar la altura de vuelo sólo cambia la resolución de la línea
Cambiar la velocidad sólo cambia la separación entre líneas
Cambiar el incremento de ángulo cambia resolución y separación
El incremento de ángulo debe estar entre los 0,003º y los 0,36º
Tener en cuenta que el número de líneas por segundo admitido por este modelo es entre 10 y 150
Ángulo LIDAR: 75 ° cross FD
Ángulo CÁMARA: 67.5 ° cross FD
Ángulo CÁMARA: 53.2 ° FD

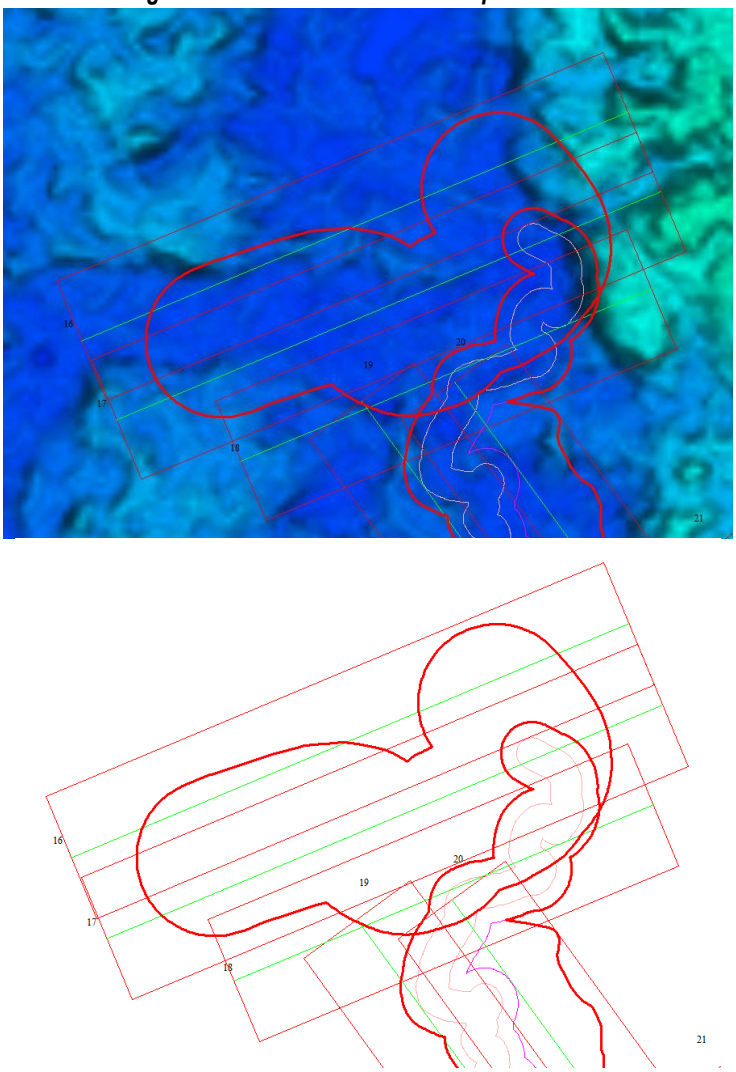
Fuente: Elaboración Propia

5.3. CONTROL DE CALIDAD DEL VUELO PLANIFICADO

Tras realizar la planificación, ésta se sometió a un exhaustivo control de calidad para garantizar que se cumplan las características geométricas exigidas. En este proceso las líneas de vuelo planificadas son proyectados sobre un Modelo Digital de Elevaciones Global (SRTM *Shuttle Radar Topography Mission*), obteniendo una base de datos con información alfanumérica y un gráfico CAD que permite realizar un análisis visual de la planificación. La base de datos ofrece además información de las escalas o resoluciones máximas, media y mínima de cada fotograma y pasada, de los recubrimientos reales entre fotogramas consecutivos y recubrimientos entre pasadas consecutivas. De igual forma, se proyectan las pasadas LIDAR para garantizar los recubrimientos laterales y que no se exceden los límites de variación de cota para garantizar la densidad media y el registro continuo de pulsos.

A partir del análisis conjunto de la base de datos y del gráfico de huellas se determinó el grado de aptitud de la planificación, procediendo, en su caso, a realizar las modificaciones necesarias.

Figura 12. Gráfico líneas de vuelo planificadas



Fuente: Elaboración Propia

5.4. SELECCIÓN DE LA AERONAVE A UTILIZAR

Debido a la orografía y condiciones de relieve encontradas, la aeronave seleccionada para la captura de información fue el Helicóptero Huges 500, este helicóptero cuenta con todos los requisitos exigidos para el montaje de Sensores Remotos debidamente aprobadas.

Figura 13. Montaje aeronave Huges 500



Fuente: Elaboración Propia

5.5. ENVÍO DE LA PLANIFICACIÓN A LA UNIDAD DE VUELOS Y SOLICITUD DE LOS PERMISOS DE VUELO

Una vez sea aceptada la planificación, las trayectorias de las pasadas y las coordenadas de los centros de proyección obtenidas, estas quedan almacenadas en un fichero que se transfiere a la unidad de vuelo e integrado en el sistema de navegación de la Aeronave. Así mismo, en este instante se realizó la gestión para la obtención de los permisos de vuelo, teniendo en cuenta las restricciones civiles y militares aplicables en la zona. Los permisos para la realización de los vuelos fotogramétricos fueron solicitados, enviando la delimitación de la zona de trabajo, fechas de actividad, aeropuertos de despegue y aterrizaje, aeronaves participantes y datos de la compañía de vuelo.

5.6. MONTAJE E INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Se llevó a cabo el montaje e instalación del sistema Riegl Phase One iXM-RS 150F, LiDAR Riegl VQ 580ii. Esta actividad será realizó por personal técnico de la empresa en instalaciones localizadas en el aeropuerto.

El montaje se realizó en el helicóptero Hughes. En las siguientes imágenes se muestran diversos detalles de la instalación del sistema.

Figura 14. Instalación Phase One iXM-RS 150F, LiDAR Riegl VQ 580ii



Fuente: Elaboración Propia

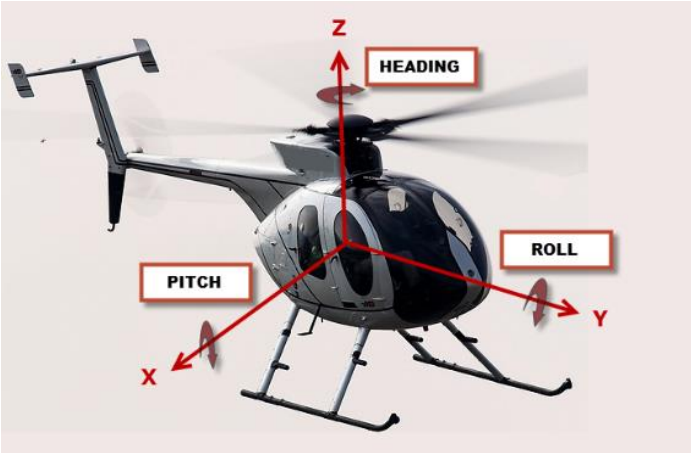
6. TRABAJOS DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA INERCIAL – CÁMARA Y/O TECNOLOGÍA LIDAR

Los parámetros de calibración del sistema inercial se determinaron mediante comparación entre los giros omega, phi y kappa obtenidos del sistema GPS/INS según su orientación nativa y los obtenidos a través de la Aerotriangulación (AT) del vuelo de calibración.

En el caso del sensor LiDAR, se hacen necesarias calibraciones frecuentes, con el fin de corregir la desalineación entre el sensor y el sistema inercial, ya que esta desalineación provoca un registro erróneo de los datos. La desalineación del sistema inercial con respecto a la óptica del escáner es descrita por los parámetros "Roll", "Pitch", "Heading". Además de este desajuste angular, el procedimiento de calibración implica el cálculo de una constante de torsión de rotación del espejo del sensor y una compensación en cota debida a errores electrónicos/mecánicos internos del propio equipo y a la influencia de la atmósfera sobre la trayectoria del haz. La calibración del sensor LiDAR se realizó siguiendo el procedimiento establecido por el fabricante del sistema (RIEGL).

Para garantizar la calidad de los parámetros de orientación externa, se realiza de forma periódica y siempre después de la manipulación de la cámara/LiDAR, una calibración del sistema inercial.

Figura 2. Diagrama giros de la aeronave



Fuente: Elaboración Propia

Mediante el vuelo de calibración se calculó la desalineación entre el sistema de coordenadas de la IMU y los ejes de cada sistema. Estos parámetros se obtuvieron mediante la realización de un vuelo de calibración diseñado expresamente para tal propósito, sobre el campo establecido en la zona de trabajo.

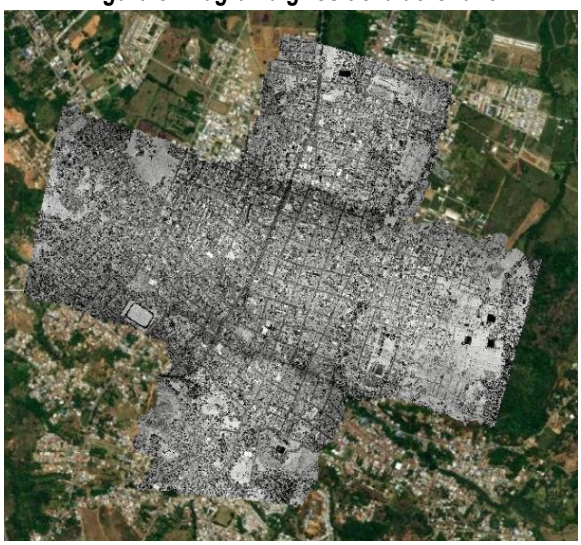
De forma general, se realiza la calibración del sistema inercial para cada combinación cámara/Helicóptero en los siguientes momentos:

- Previa al inicio de los trabajos.
- Después de la manipulación de la Cámara/LiDAR (cambio de Helicóptero, cambio de lentes de la cámara, etc.)
- En el caso de que entre campañas de vuelo haya transcurrido un intervalo de tiempo considerable.
- Al final del trabajo en caso de que se estime oportuno.

Para ejecución del vuelo de calibración, se realizaron cuatro ejes de vuelo. Para cada eje se planifico un eje volado en sentido contrario y un eje perpendicular.

El vuelo de calibración del proyecto fue realizado sobre el municipio de Chía.

Figura 3. Diagrama giros de la aeronave



Fuente: Elaboración Propia

6.1. Cálculo de corrección roll, pitch y Heading

El proceso de ajuste a la calibración se hace mediante el uso del programa MicroStation con el módulo de TerraMatch el cual genera un reporte de alineación inicial el cual es introducido al momento de realizar el proceso de matching de las pasadas individuales.

Figura 4. Mapa de sombras calibración



Fuente: Elaboración Propia

El programa genera TILES para cada una de las líneas de vuelo y encuentra correcciones individuales a cada una buscando la mejor solución posible.

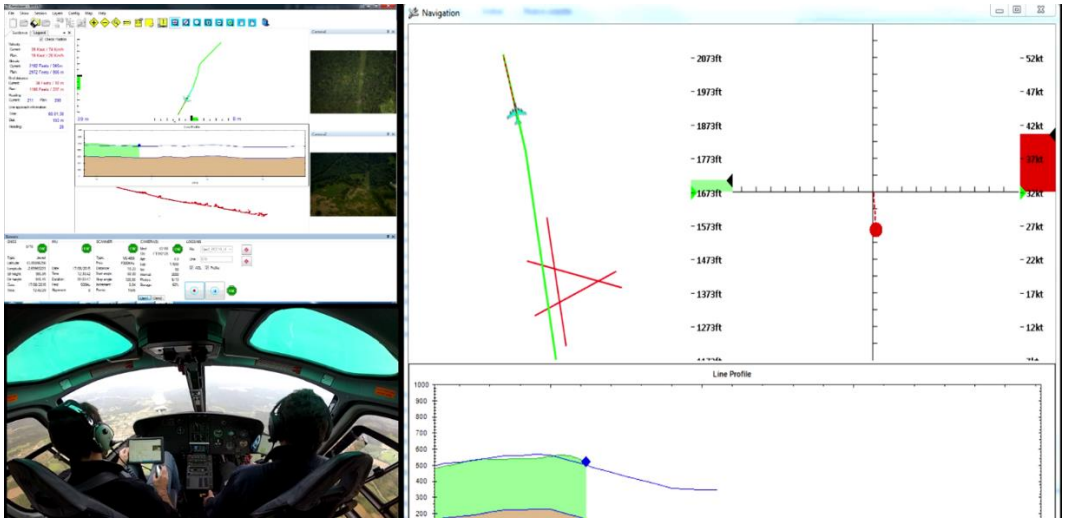
7. EJECUCIÓN DEL VUELO

En este apartado se presenta de forma esquemática el procedimiento seguido en la ejecución del vuelo fotogramétrico realizado.

7.1. RECEPCIÓN DE PLANIFICACIÓN DEPARTAMENTOS DE VUELOS

Posterior a un último control de calidad de la planificación realizada, el jefe de proyectos envió la planificación y los permisos necesarios al departamento de vuelos, allí los planes de vuelo fueron integrados tanto en el sistema de navegación del Helicóptero como en los sistemas de control de la cámara fotogramétrica y LiDAR, quedando disponibles para el momento de ejecución del vuelo.

Figura 15. Integración de planificaciones al sistema de navegación de la aeronave



Fuente: Elaboración Propia

7.2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Dado que la meteorología constituye un factor condicionante, esta fue constantemente analizada con el fin de realizar las operaciones de vuelo en condiciones meteorológicas óptimas para la realización de vuelos fotogramétricos, es decir: Cielo limpio, ausencia de vientos fuertes, ausencia de nubes, brumas, sombras, humo o cualquier elemento que pudiera afectar la calidad radiométrica de las fotografías.

Las incidencias detectadas durante el vuelo son reportadas al jefe de proyectos, quien se encarga de tomar las medidas pertinentes. Durante varios días se presentaron condiciones climáticas adversas que ocasionaron retrasos en la planificación del proyecto.

7.3. COMPROBACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y SISTEMAS

Antes de comenzar cada misión de vuelo se realizan una serie de comprobaciones para garantizar la exitosa realización de los trabajos de captura. Es necesario comprobar que se dispone de toda la información necesaria (Bases de datos de planificación, permisos de vuelo en regla, etc.) y el correcto estado de los equipos fotogramétricos (Cámara y/o LiDAR, Sistemas GPS/INS, IMU, etc.). Así mismo, para garantizar la seguridad del equipo humano encargado de realizar el vuelo fotogramétrico se realizó una revisión del buen funcionamiento de los sistemas aeronáuticos previa a cada misión de vuelo.

Durante el vuelo fotogramétrico la tripulación del helicóptero está formada por un piloto y un operador. El operador es el encargado del manejo de la cámara fotogramétrica y el sensor LiDAR, siendo el responsable de comprobar el correcto funcionamiento de todos los sistemas implicados en el vuelo y de anotar en un informe de vuelo cualquier incidencia ocurrida durante el mismo.

Figura 16. Sistema de control en vuelo



Fuente: Elaboración Propia

7.4. REALIZACIÓN DEL VUELO

Una vez verificado el correcto funcionamiento de los sistemas en el Helicóptero y el correcto funcionamiento de las estaciones GPS terrestres, se procedió a la realización del vuelo. En este caso las correcciones propias de la toma fotográfica originadas por la ejecución del vuelo se realizarán mediante la unidad de sincronización y control mediante la Aplicación SIGLALASER MISION. Este sistema se encarga de poner en común las informaciones provenientes tanto de la cámara digital-Laser y los sensores GPS e IMU.

En vuelos combinados (LiDAR-Cámara fotogramétrica), el helicóptero dispone sobre el fuselaje de dos antenas GPS bifrecuencia, uno de los sistemas GPS conectado al sistema inercial de la cámara digital y el otro al sistema inercial del sensor LiDAR. Ambos receptores captan información sobre la trayectoria desde el momento en que se conectan los motores del helicóptero hasta que se apagan en el aeropuerto de llegada. El sistema GPS de la cámara digital captura asimismo información sobre los eventos de la toma de imágenes. Adicionalmente, con ambas triadas de parámetros (x,y,z) y (ω,φ,κ), calculadas en post-proceso, se conocen las posiciones de los centros de proyección de las imágenes con gran precisión, en poco tiempo tras el vuelo, del mismo modo se calcula la posición sobre el terreno de cada punto de la nube de puntos LiDAR.

Para garantizar la estabilidad del sistema inercial el Helicóptero permanece parado al menos cinco minutos antes de despegar y después de aterrizar, durante este tiempo el sistema GPS/IMU almacena datos.

Para este proyecto, los giros registrados fueron compensados en vuelo, reduciendo al máximo los efectos de estos sobre la trayectoria seguida por el centro de proyección de la cámara y el sensor LiDAR.

El producto final de la ejecución de la misión de vuelo es el conjunto de imágenes digitales y/o datos brutos LiDAR, fichero de observaciones GPS e IMU y fichero final de la trayectoria seguida por el Helicóptero.

Finalizada la sesión de vuelo se realizó el control de calidad mediante la generación de imágenes de intensidad con las cuales se verifica que el dato adquirido cubre la zona objetivo.

7.5. VOLCADO DE LA INFORMACIÓN

Una vez ejecutada la misión de vuelo, se realizó la descarga de datos. Se obtienen los datos de los sistemas GPS/IMU, datos brutos LiDAR e imágenes brutas. Esto datos son almacenados en discos duros externos, realizando una copia de seguridad adicional para su posterior envío a las oficinas centrales de SIGLA, donde se realizará el procesado de la información.

7.6. ENVÍO DE INFORMACIÓN A OFICINA

Finalizada cada misión de vuelo, la información capturada fue enviada a gabinete para su procesamiento. Dicha información está compuesta por:

- Rawdatas. Datos brutos formato 3FR y IIQ captados por la cámara digital.
- RawLaser. Datos brutos captados con el sistema LiDAR en sistema UTM Zona 18 Norte
- Base de datos de vuelo (Incluye información sobre el momento de captura de cada imagen, coordenadas de navegación, etc.).
- Datos inerciales GPS/IMU de la cámara digital y del sistema LiDAR.
- Informe de incidencias detectadas por el operador durante el vuelo.
- Thumbnails (Imágenes miniatura de baja resolución).

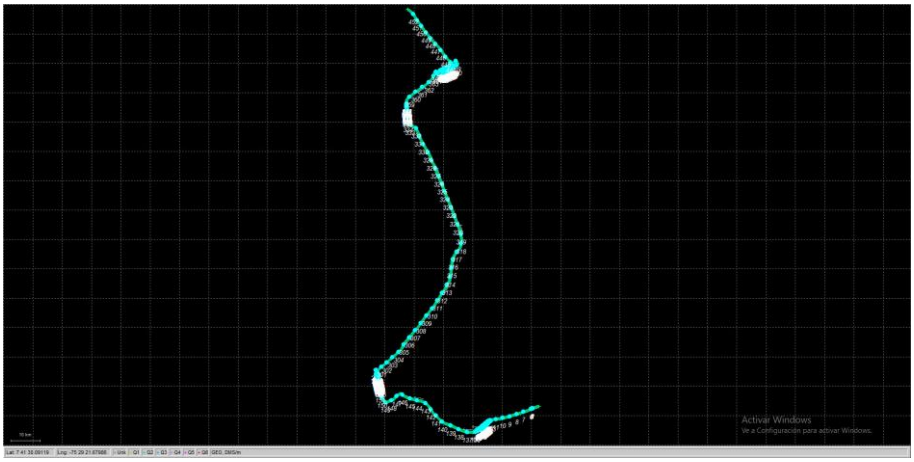
7.7. CONTROL DE CALIDAD DE CADA MISIÓN DE VUELO EJECUTADO

Al finalizar cada jornada de vuelo se ha realizado un control de calidad, comprobando la integridad de la información capturada durante cada día y sesión de vuelo. En este control se analizaron:

- Integridad de los ficheros de imágenes: comprobando la correcta adquisición de las imágenes, verificando el número de imágenes capturadas y su correspondencia con el número de disparos realizados durante el vuelo.
- Integridad de los datos brutos LiDAR:
    - Se realizó una comparación entre el vuelo ejecutado contra la planificación, a partir del fichero *.txt generado por la unidad de control.
    - Se analizó la correcta estructura de almacenamiento de datos: una carpeta por cada una de las pasadas registradas secuencialmente.
    - Se hizo una comprobación análoga para los datos inerciales asociados al instrumento LiDAR.
    - Número de satélites disponibles durante el vuelo
    - Ángulos respecto de la vertical durante las pasadas
    - Balanceo durante los giros del Helicóptero (Que deben ser inferiores a 20º)
    - Continuidad en la captura GPS/IMU

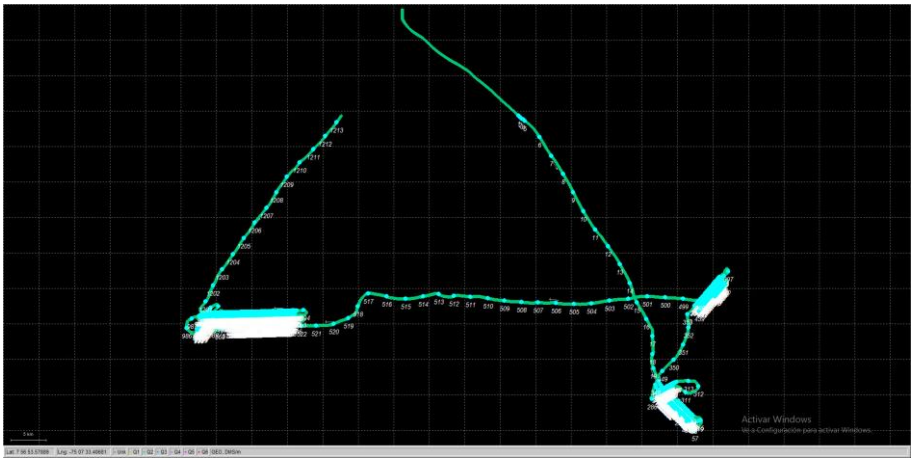
Al recibir de conformidad esta información, el jefe de proyecto realizó una revisión de los informes de vuelo y de las imágenes, analizando las incidencias reportadas comprobando la existencia de problemas en cuanto a nubes, clima, deriva, etc.

Figura 17. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230705 Sesión 1



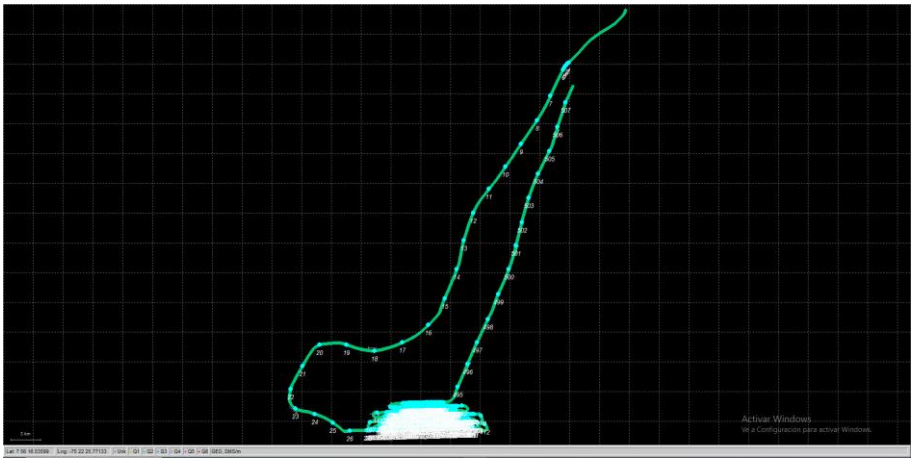
Fuente: Inertial Explorer

Figura 18. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230706 Sesión 1



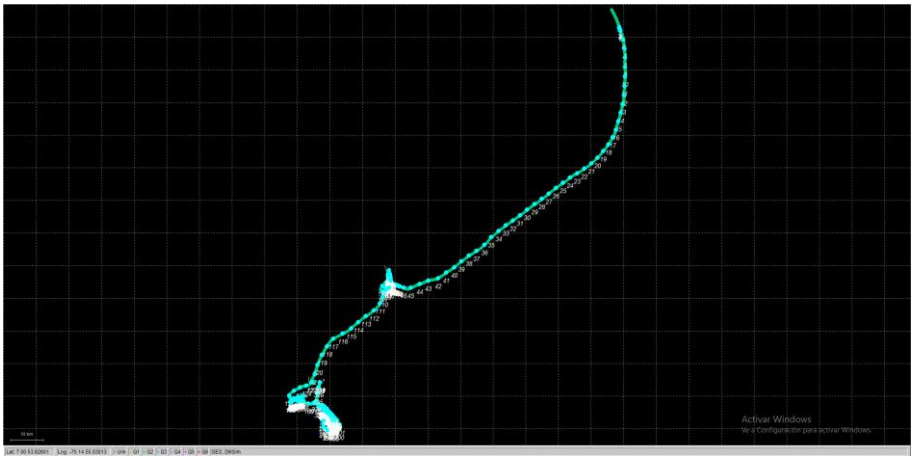
Fuente: Inertial Explorer

Figura 19. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230707 Sesión 1



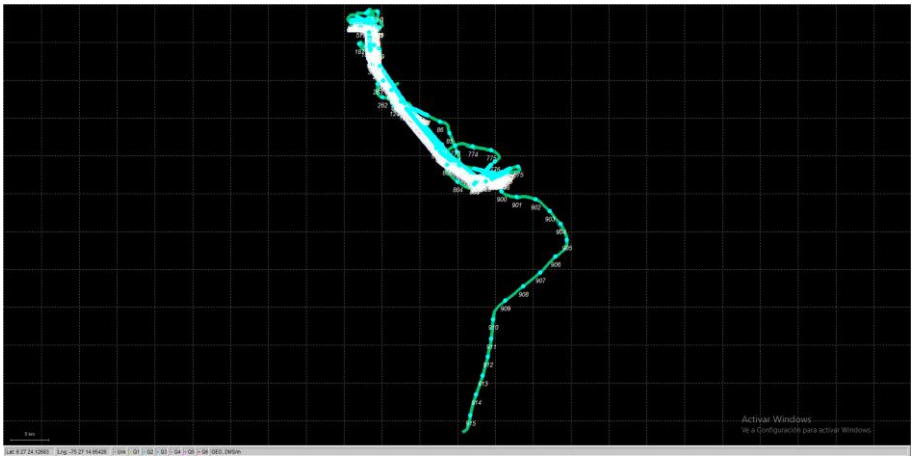
Fuente: Inertial Explorer

Figura 20. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230708 Sesión 1



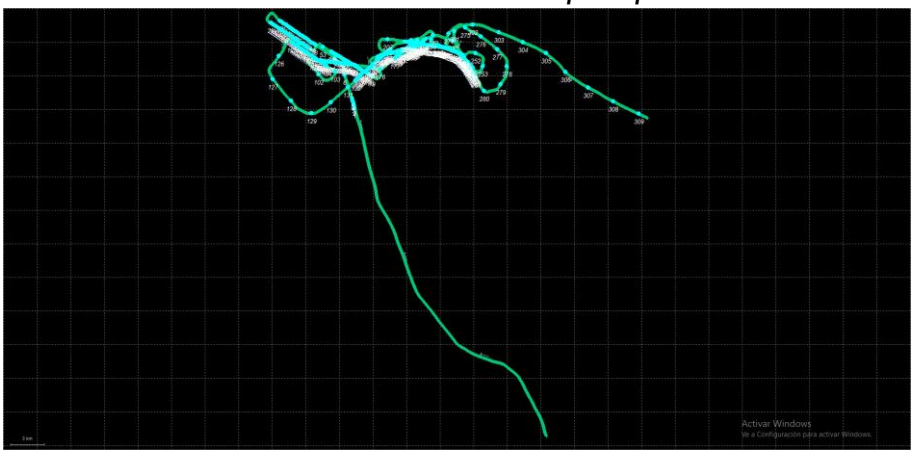
Fuente: Inertial Explorer

Figura 21. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230709 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Figura 22. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230710 Sesión 1



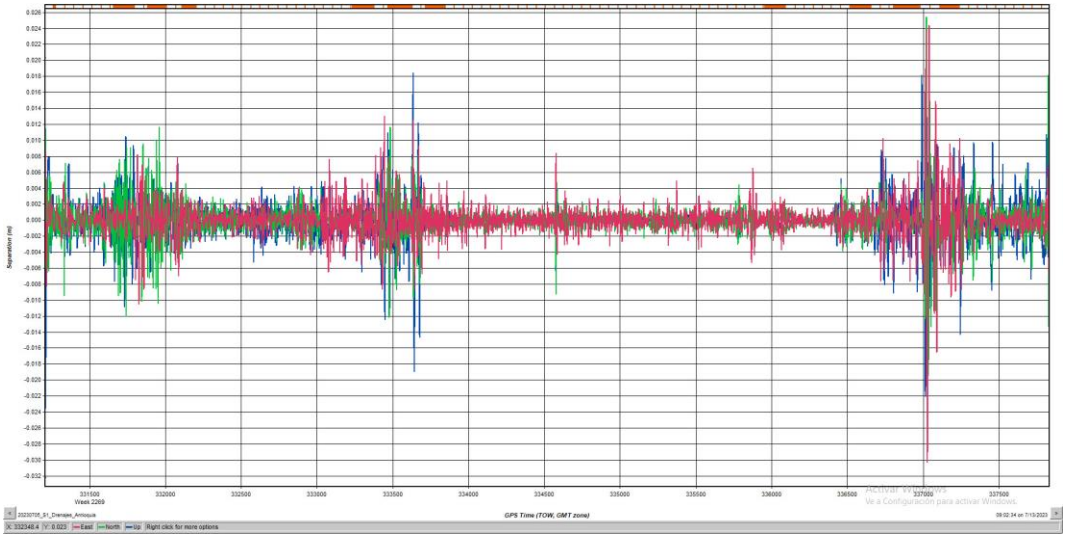
Fuente: Inertial Explorer

El procesamiento geodésico de la información se realizó empleando el método denominado "PPP" (Precise Point Positioning), el uso de esta metodología permite obtener una adecuada precisión posicional de los datos sin contar con información geodésica de estaciones GNSS o puntos de control en terreno preliminares.

Los resultados del cálculo GPS/INS fueron sometidos a un control de calidad directo mediante la evaluación de las precisiones resultantes, garantizando precisiones inferiores a 10 cm (X, Y, Z)

El siguiente gráfico muestra el error medio cuadrático posicional en las coordenadas X, Y, Z de la información geodésica del vuelo al ser procesado con PPP.

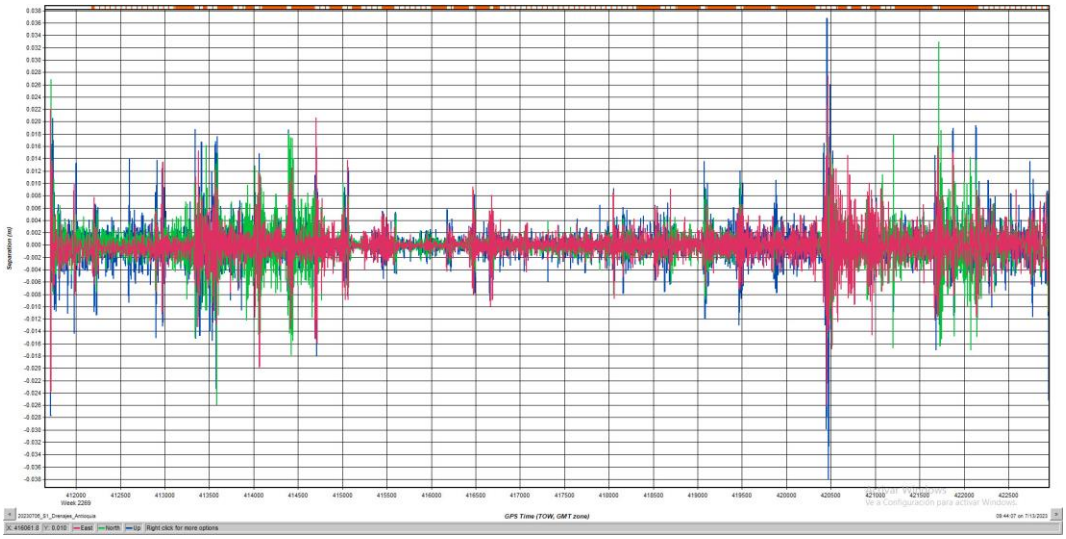
Figura 23.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230705 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de 0.010m en X (coordenadas Este), 0.012m en Y (coordenadas Norte) y de 0.011m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

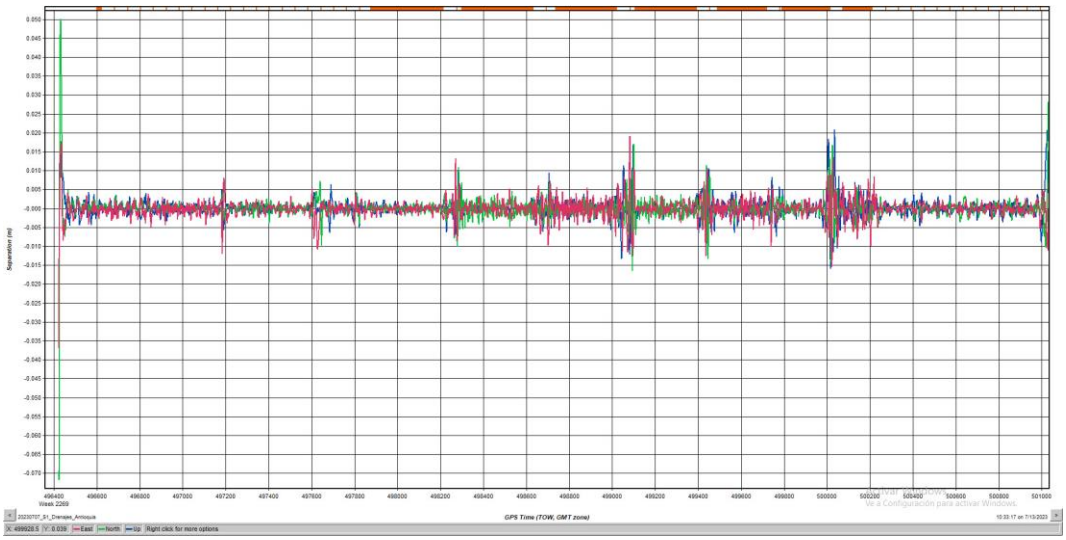
Figura 24.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230706 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de 0.015m en X (coordenadas Este), -0.017m en Y (coordenadas Norte) y de 0.019m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

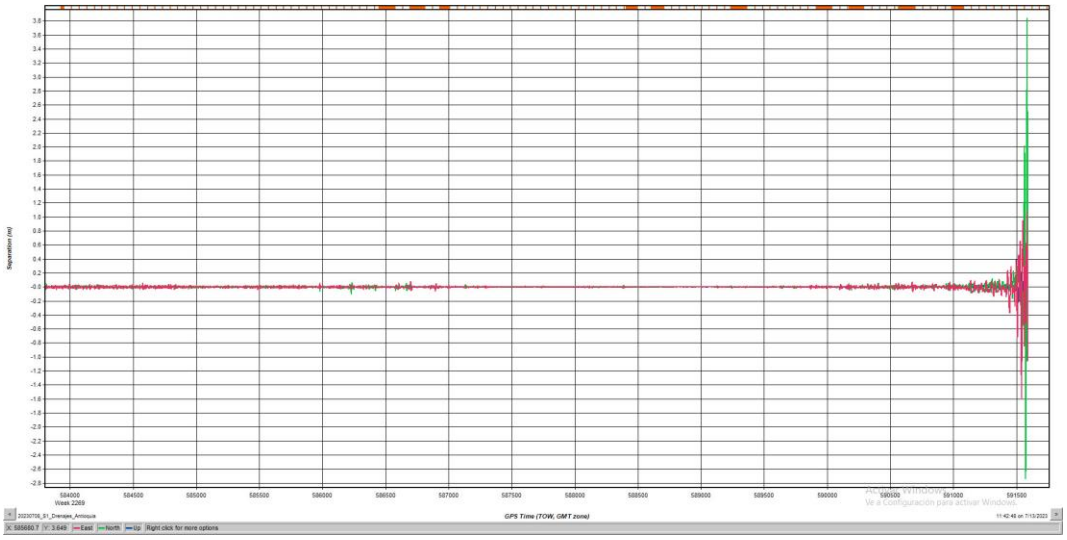
Figura 25.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230707 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de --0.010m en X (coordenadas Este), 0.006m en Y (coordenadas Norte) y de 0.007m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

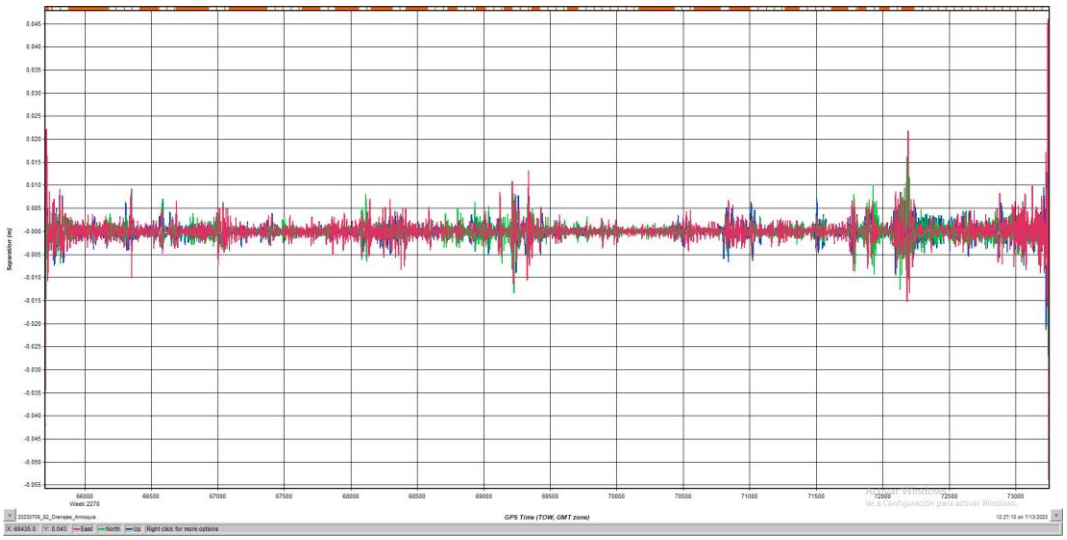
Figura 26.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230708 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de 0.005m en X (coordenadas Este), 0.003m en Y (coordenadas Norte) y de -0.005m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

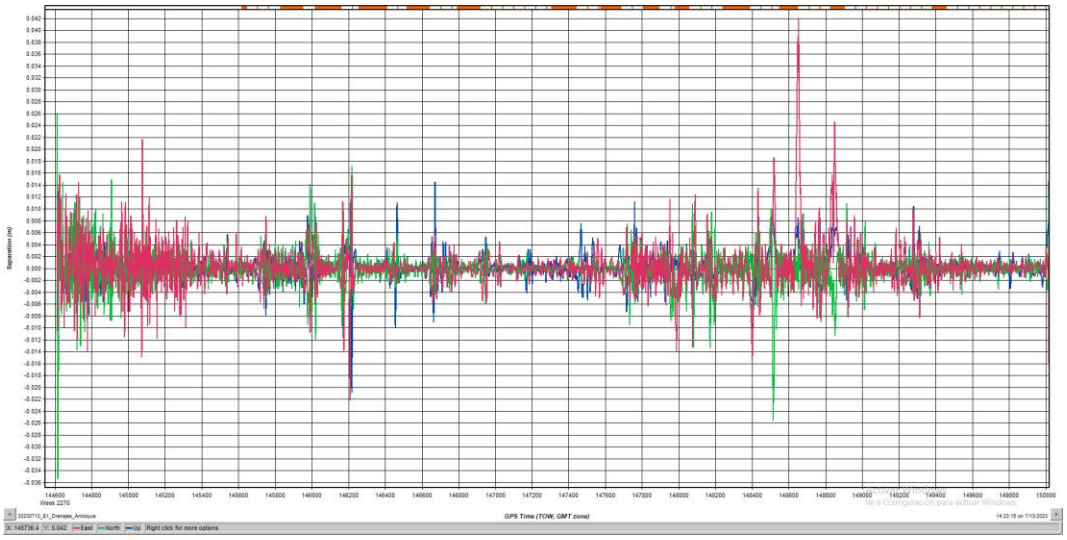
Figura 27.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230709 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de 0.022m en X (coordenadas Este), 0.01m en Y (coordenadas Norte) y de 0.011m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

Figura 28.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230710 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de 0.025m en X (coordenadas Este), -0.011m en Y (coordenadas Norte) y de 0.007m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

El PDOP (Posicional Diluvian of Precision) hace referencia a la configuración geométrica de los satélites en el momento de la captura de los datos por la antena del receptor GNSS en el helicóptero. Si este error se encuentra por debajo de 4 se considera un dato confiable.

Para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.48

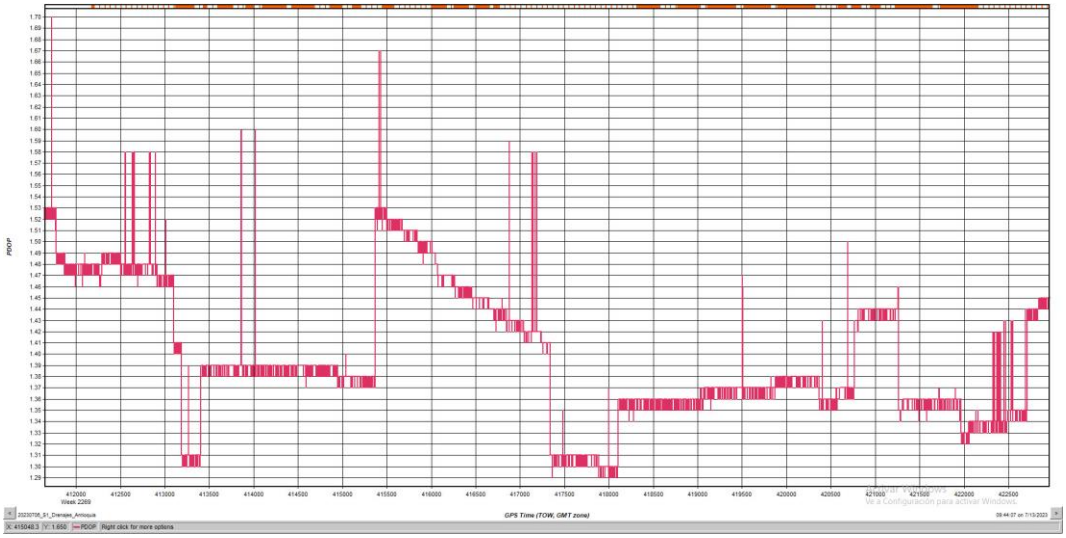
Figura 29. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.53

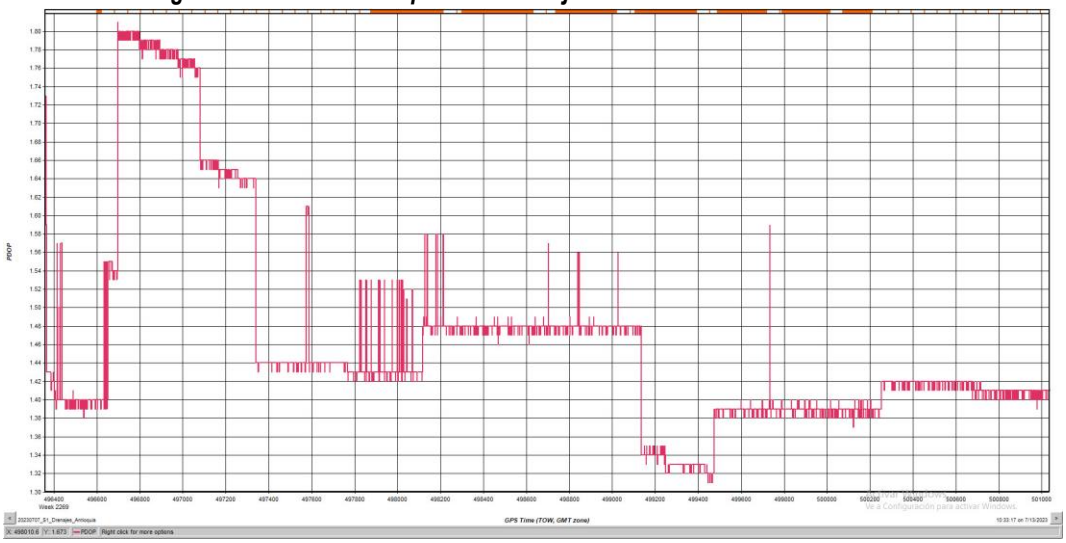
Figura 30. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.58

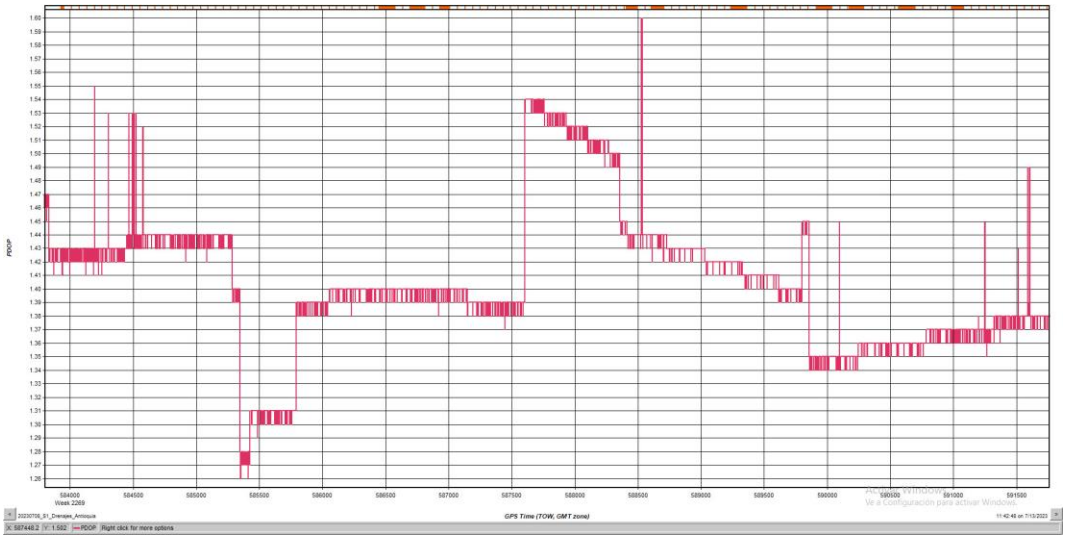
Figura 31. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.44

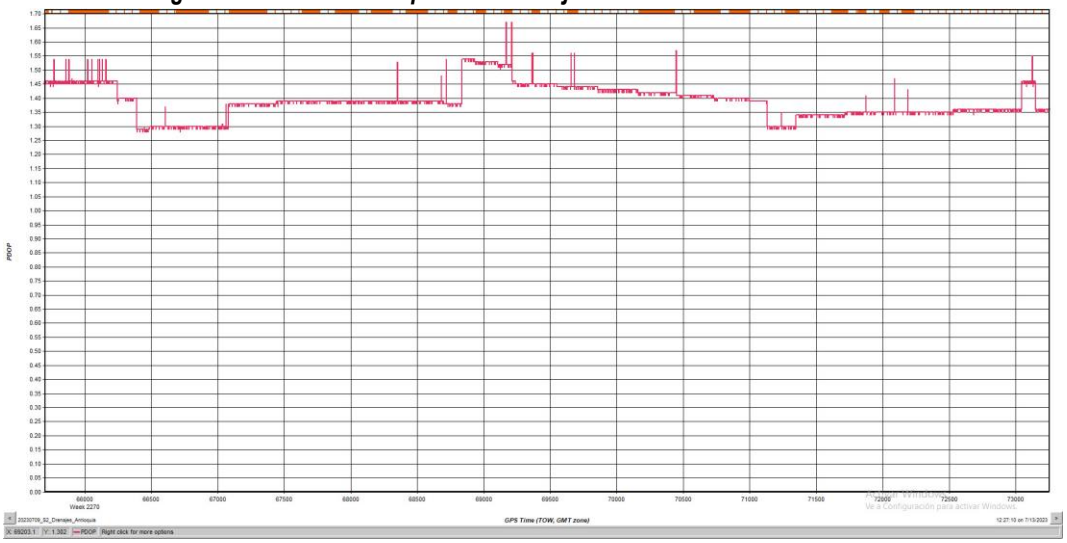
Figura 32. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.53

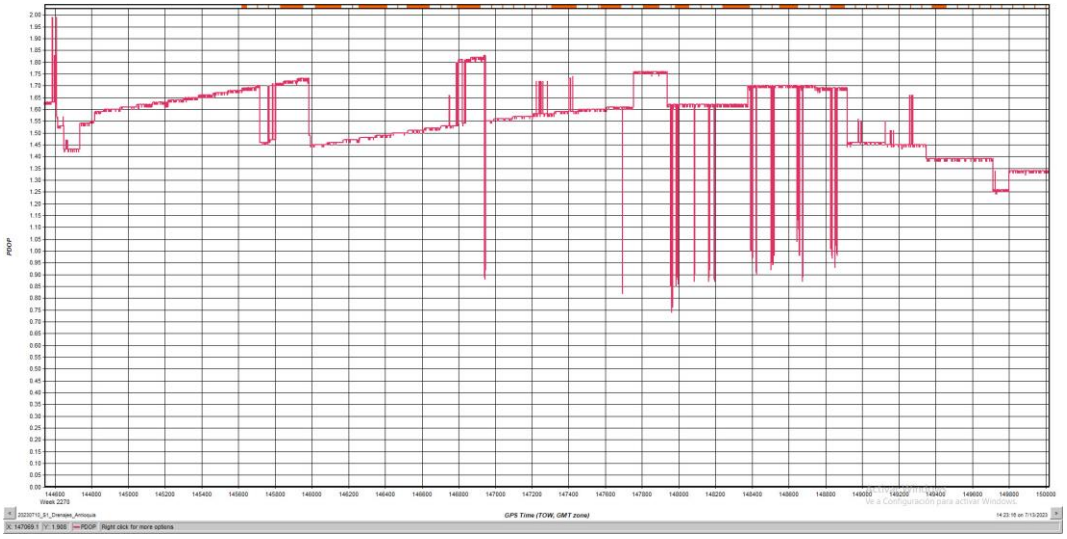
Figura 33. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.82

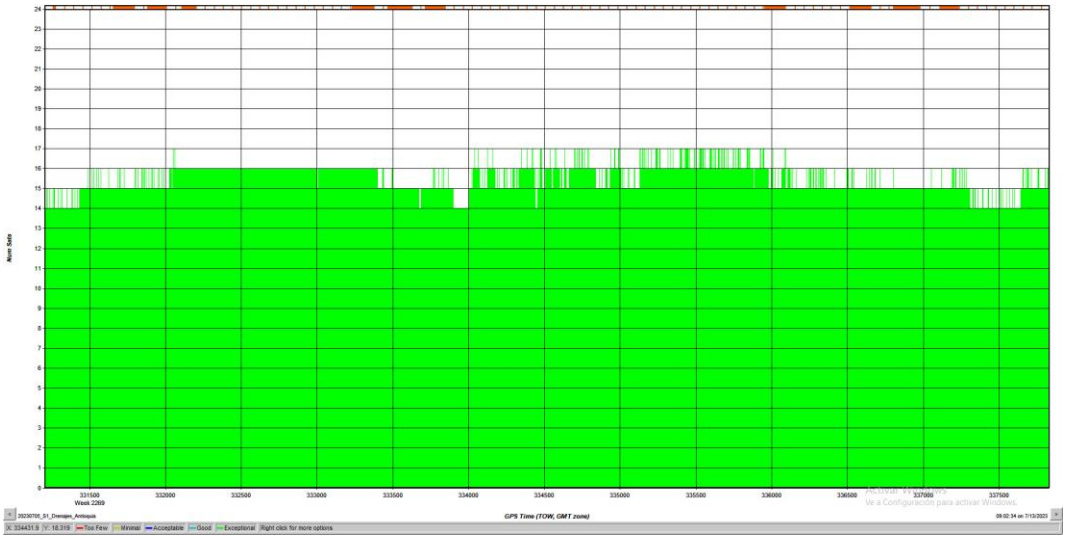
Figura 34. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230705 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 15, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

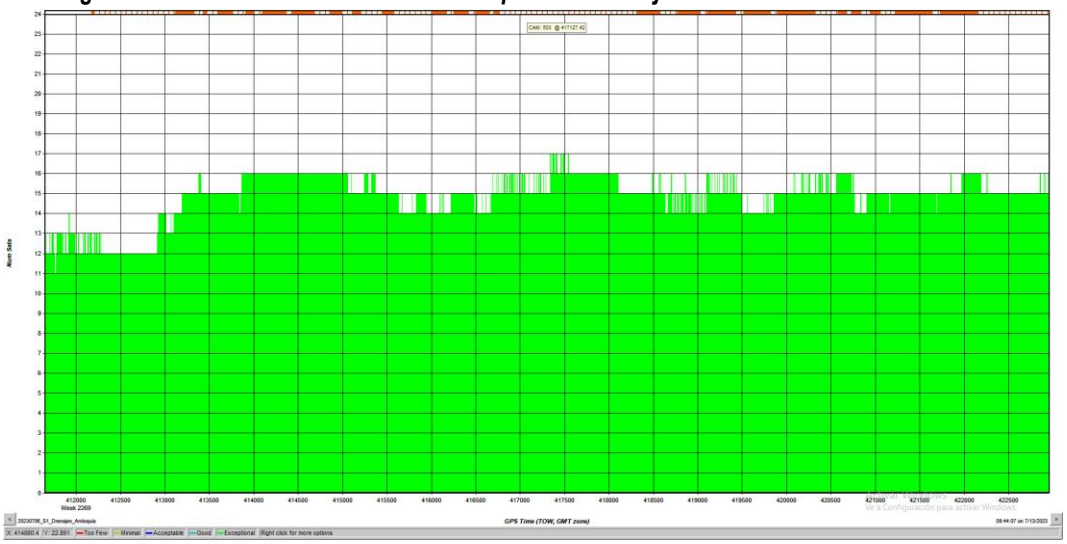
Figura 35. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230706 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 14, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

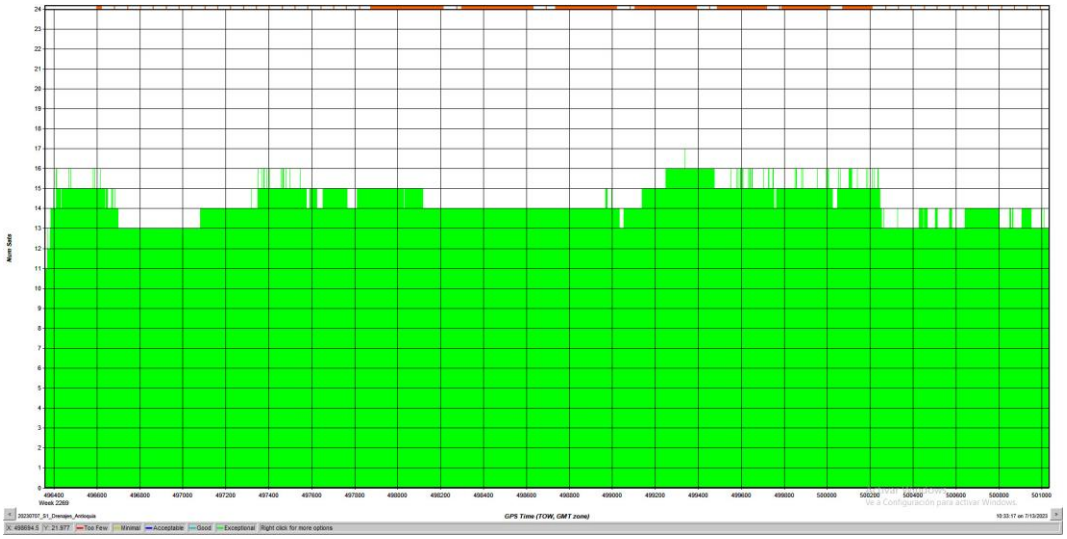
Figura 36. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230707 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 14, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

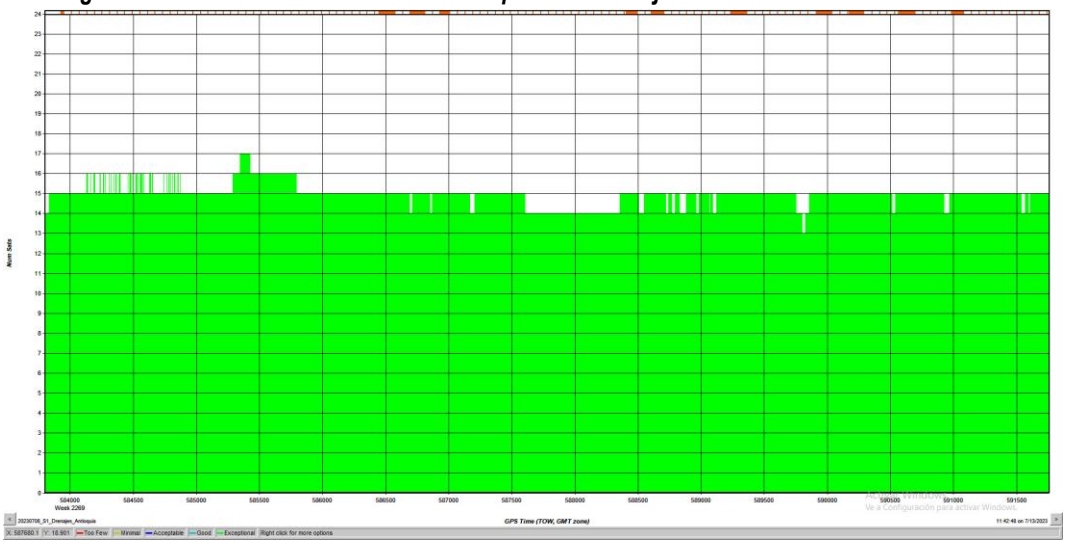
Figura 37. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230708 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 15, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

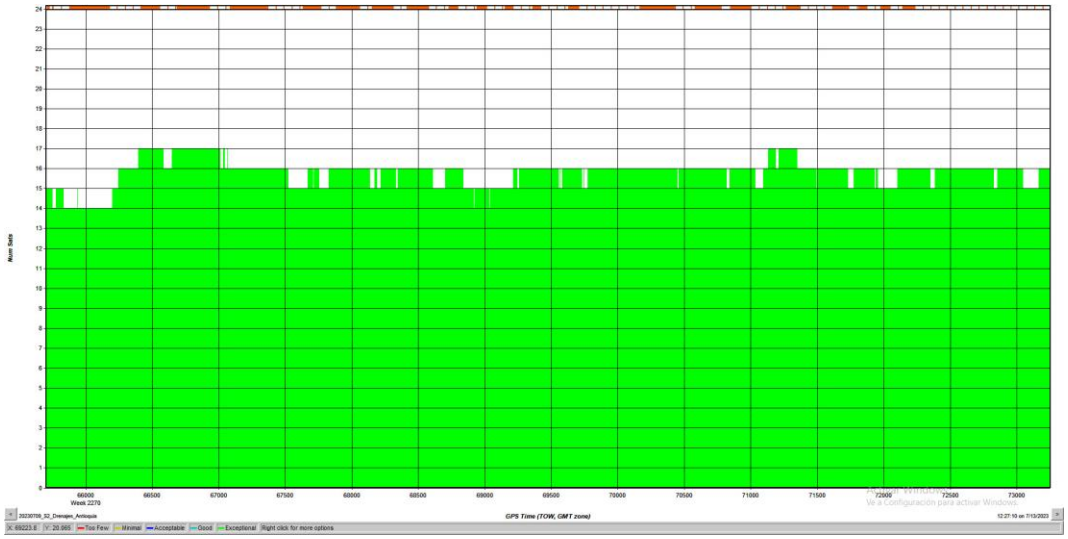
Figura 38. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230708 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 15, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

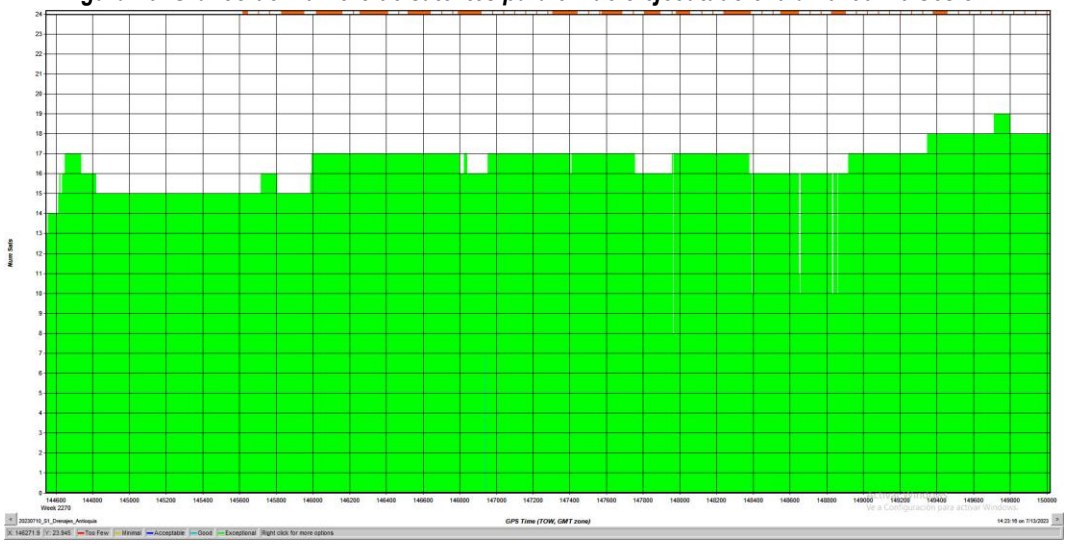
Figura 39. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230710 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 16, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

Figura 40. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

8. POST – PROCESO DE LOS DATOS LIDAR

La información LiDAR registrada para misión de vuelo se compone de:

- Raw Laser: datos brutos procedentes del sensor en sistema WGS84.1.
- Datos inerciales (GPS-IMU), procedentes del sistema inercial.

El postproceso de los datos brutos de sensor procedentes de vuelo se realizó a partir del software RI Process de la casa RIEGL.

Los ficheros que formaron parte del cálculo son:

- Configuración del ajuste del sensor, este fichero proviene de la calibración previa al inicio del proyecto y contiene toda la información referente a los giros (Roll, Pitch, Heading), constante de Torsión, corrección de rango, compensación en altura, ángulo de corrección del escáner y parámetros de temperatura y presión.
- Fichero solución procedente del cálculo de trayectoria DGPS/IMU.
- SDCLaser, datos brutos procedentes del sensor en formato *.sdc (scanning), estos datos vienen almacenados de forma secuencial y organizados en carpetas. Cada una de estas carpetas contienen todos los ficheros correspondientes a cada línea de vuelo escaneada.

Para procesar los datos brutos a partir de la solución obtenida de la trayectoria, se definio previamente el sistema de proyección sobre el que queremos obtener los datos proyectados.

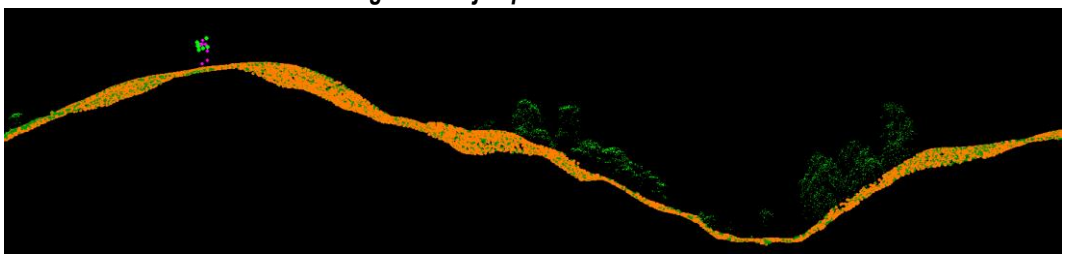
Del procesado de datos, se obtienen ficheros binarios en formato *.LAS (Laser Airborne Scanner), los cuales contienen información referente a coordenadas planimétricas y altimétricas, intensidad, número e información de retorno, ángulo de escaneo y marca de tiempo de cada uno de los puntos.

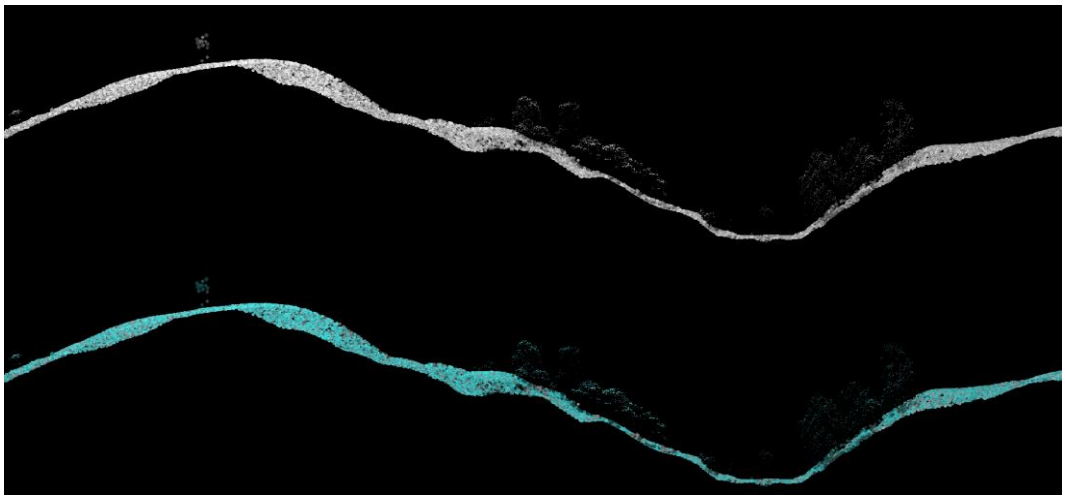
8.1. EDICIÓN DE DATOS LIDAR.

Previo a la edición de los datos LiDAR se llevó a cabo un análisis las pasadas o flightlines capturadas, con el fin de asegurar que estos cumplen las características y condiciones mínimas del proyecto tales como la cobertura y densidad de puntos. Para ello se visualizaron todos los puntos por línea de vuelo y se comprueba la cobertura global sobre el área de trabajo.

Una vez analizados los datos, se generaron un proyecto por bloques que divide la información en tiles o áreas más pequeñas, facilitando de esta manera el proceso de edición y generación de productos finales.

Figura 41. Ejemplo dato del terreno





Fuente: MicroStation

8.2. AJUSTE AL TERRENO DE LOS DATOS LIDAR

El proceso de ajuste de las pasadas LiDAR se realizó mediante el programa BayesMap - Strip Alignment. El programa Strip Alignment es una herramienta que permite realizar el ajuste de las pasadas LiDAR, comparando las zonas con traslapo de información y corrigiendo las diferencias encontradas haciendo uso de una parametrización rigurosa basado en el tiempo de captura.

En el proceso de ajuste se corrigen errores geométricos relativos y absolutos, así como las discrepancias entre las fajas debido a la posición de la IMU y errores posiciónales. Las correcciones individuales se combinan de manera óptima minimizando los errores relativos como absolutos.

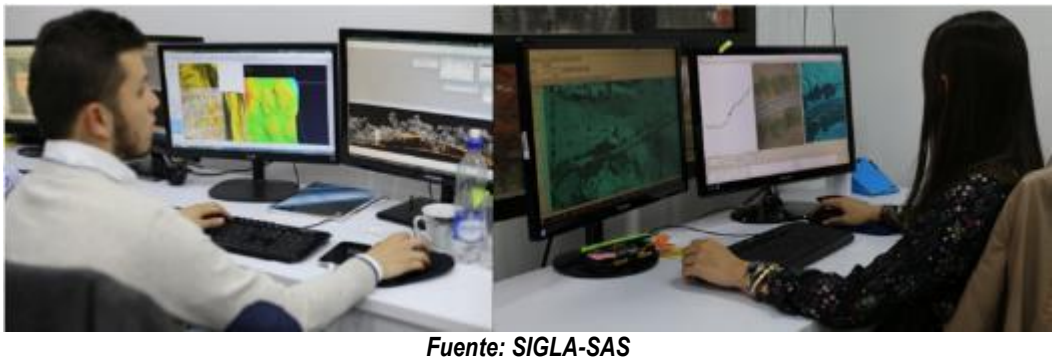
El algoritmo de corrección hace uso de todos los retornos, filtrando valores atípicos permitiendo hacer uso de la mayor cantidad de información disponible que permita comparar y corregir los errores. La trayectoria y la posición se ajustan para cada una de las líneas de vuelo compensando las ambigüedades de la IMU, siendo posible a través de la comparación de nubes de puntos densas en las zonas de solape.

8.3. CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS LIDAR

Para la clasificación automática inicial de los puntos LiDAR fue necesario definir rutinas de búsqueda de los principales parámetros del relieve, esta labor se realizaó con apoyo del modelo SRTM (Modelo global altimétrico) y de las imágenes de intensidad de los datos LiDAR.

Una vez establecidos los parámetros idóneos para cada una de las zonas del proyecto (zonas llanas, zonas de montaña, zonas urbanas, etc.), diferenciadas según las características orográficas, se procedio con la clasificación automática, de tal forma que se obtenga una clasificación preliminar de los puntos LiDAR, diferenciando entre los que pertenecen al terreno y los que pertenecen a la superficie (Ground y Default)

Figura 42. Estación de trabajo de edición datos LiDAR



Fuente: SIGLA-SAS

La depuración de datos se realizó para cada bloque o tile 500x500 metros en los que se ha dividido la nube de puntos, clasificando los puntos en la capa correspondiente, tanto si el producto a generar es un modelo digital de terreno como si se trata de un modelo digital de superficie.

La lista de clases que intervienen durante la clasificación manual son:

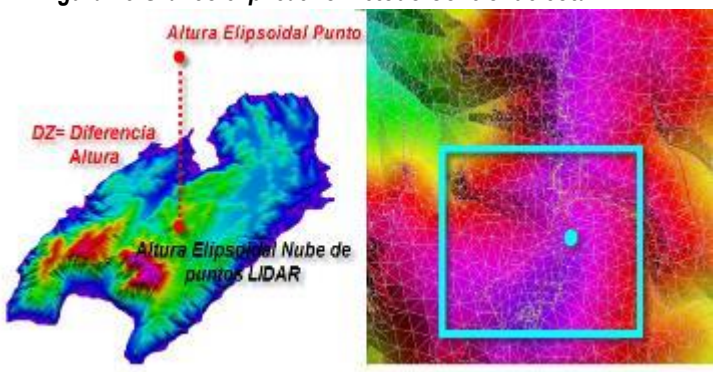
- Default
- Terreno – Ground
- Puentes
- Batimetrias

9. CONTROL DE CALIDAD ALTIMÉTRICO DE LA NUBE DE PUNTOS LIDAR.

Una vez editados los datos en formato *.las, se realizó un control de cota de la nube de puntos generada con la ayuda de puntos de control de la Red geodésica local levantada en campo.

El control altimétrico consiste en analizar las diferencias entre puntos con coordenadas planimétricas y altimétricas de la RED con los puntos de la nube LiDAR.

Figura 43.Gráfico explicativo método Control de cota LiDAR



Fuente: Elaboración Propia

Es necesario resaltar que para realizar el control de cotas altimétrico entre la información fotogramétrica en altura elipsoidal Vs. la nube de puntos LiDAR, es necesario descontar la altura del elemento dado que este

control se realiza comparando la cota del terreno de la nube de puntos Vs la proyección de la cota al terreno de la topografía de campo.

Figura 44. Ejemplo de los levantamientos mediante topografía convencional

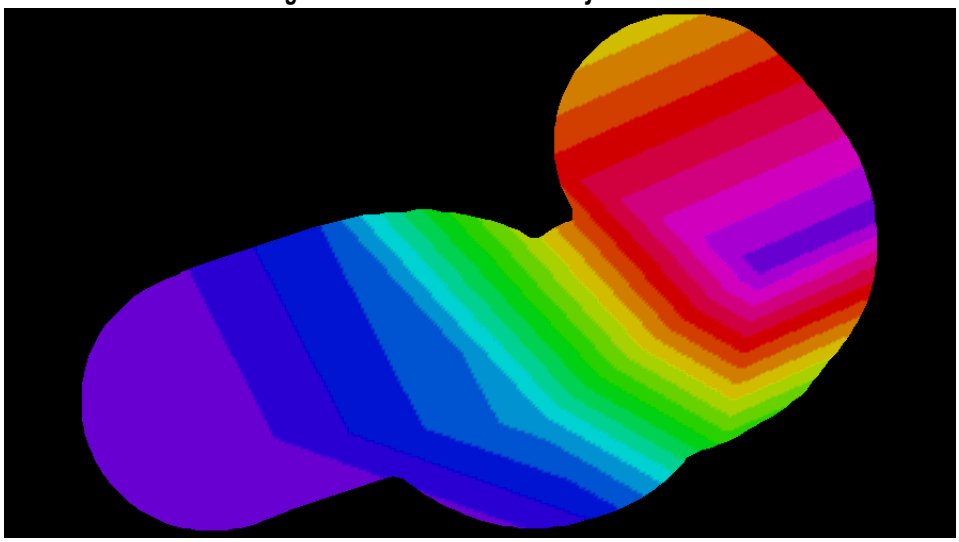


Fuente: SIGLA-SAS

9.1. CALCULO DEL MODELO DE AJUSTE LOCAL DE ONDULACIÓN.

Posterior al análisis de la información y de realizar el Control de Cotas de la nube de puntos en cota elipsoidal vs la cota geométrica, se realizó el Cálculo de la Ondulación (diferencias entre la altura Elipsoidal y Local) a partir de las mediciones realizadas por las actividades de topografía convencional.

Figura 45. Gráfico Modelo de Ajuste local



Fuente: Elaboración Propia

A partir de estas diferencias, se realizó un modelo de ajuste local a cota. La metodología de ajuste a cota local se basa en aplicar el modelo de ajuste a cota local con las alturas procesadas en la red topográfica, obteniendo de esta manera una nube de puntos LiDAR en altura local consistente con la red levantada en campo.

Tabla 6. Tabla de Coordenadas de la RED Geodésica

PROYECTO CUENCAS POLITECNICO											
	GEODÉSICAS MAGNA SIRGAS		MAGNA SIRGAS ORIGEN CENTRAL		PLANAS ORIGEN NACIONAL					AJUSTES_EN COTA	
ID	lat	lon	X	Y	X	Y	Z elip	Z Geom	Altura mojon/placa	Zelip_terreno	ZGeom_terreno
DELTA01	7°29'16.94895742	74°51'56.569750246	912997.968	1319877.457	4794198.517	2385855.820	85.743	78.146	0.000	85.743	78.146
DELTA02	7°28'58.97896" N	74°52'0.89565" W	912864.332	1319325.600	4794063.579	2385304.495	74.010	66.358	0.000	74.010	66.358
DELTA03	7°27'58.36916121	74°51'18.907738675	914148.530	1317461.189	4795342.735	2383437.639	120.606	112.832	0.000	120.606	112.832
DELTA04	7°27'48.41133300	74°50'33.294288561	915546.706	1317152.808	4796739.629	2383125.958	109.118	101.366	0.000	109.118	101.366
DELTA05	7°27'32.37464094	74°50'18.494470599	915999.685	1316659.329	4797191.231	2382631.560	119.116	111.336	0.000	119.116	111.336
DELTA06	7°29'48.41091092	74°51'50.016236857	913200.648	1320843.707	4794403.492	2386821.213	68.605	61.103	0.000	68.605	61.103

Fuente: Elaboración Propia

9.2. CONTROL DE COTAS CON AJUSTE A COTA GEOMETRICA

Tras realizar el modelo de ajuste a cota local según la topografía levantada en campo y con el objetivo de determinar la bondad del modelo de ajuste local realizado, se ejecuta el control de cotas ortométrico, comparando la nube de puntos LiDAR ajustada al modelo de alturas local con las coordenadas de la Red.

Tabla 7. Tabla estadística resultado del control de cotas Ortométrica

Average dz	0.004
Minimum dz	-0.002
Maximum dz	0.014
Average magnitude	0.006
Root mean square	0.008
Std deviation	0.009

Fuente: Elaboración Propia

Posterior al ajuste cota Ortométrica del dato LiDAR se obtuvo que las diferencias promedio comparado con levantamiento topográfico convencional son de 0.004m con diferencias máximas entre 0.014m y -0.002m. Lo cual demuestra que el dato se encuentra correctamente en posición y altura.

10. POST – PROCESO DE IMÁGENES DIGITALES.

El post-proceso de imágenes consiste en la normalización y corrección de las imágenes brutas captadas por el sensor aerotransportado. Mediante el post-proceso, las imágenes se hacen útiles para su posterior explotación. Los procesos que se siguen para tal fin engloban:

- *Correcciones radiométricas: Consiste en la corrección de píxeles defectuosos y en la posterior ecualización del histograma de frecuencias, balanceado y contraste de la imagen.*
- *Correcciones geométricas: Se basan en la corrección de las distorsiones de imagen de cada sensor óptico y la corrección entre el centro geométrico y el centro óptico de cada CCD.*
- *Mosaicado de imágenes: Apoyándose en la búsqueda de puntos homólogos entre imágenes, se consiguen ensamblar las mismas de manera que se obtiene la imagen virtual. Esta imagen virtual es sometida a un nuevo proceso de corrección radiométrica que iguala el brillo y el contraste.*

En este caso, al aplicar a las imágenes los parámetros previos de orientación externa obtenidos por georreferenciación directa se obtendran las imágenes preliminares Fase 1, que no poseen correcciones radiométricas.

El procedimiento de obtención de las imágenes finales requerirá de la realización previa de las paletas de color para ser aplicadas a las imágenes. Para realizar las paletas de color se seleccionaran diferentes imágenes a partir de los thumbnails. Las imágenes seleccionadas seran representativas de toda el área volada durante la misión a procesar.

Antes de procesar todas las imágenes del vuelo, se comprobará que la paleta generada cumple con las especificaciones marcadas en el pliego de prescripciones técnicas. Para ello, se procesarán las imágenes seleccionadas anteriormente (aplicando en este caso las paletas generadas previamente) y una vez procesadas serán sometidas a un control de calidad radiométrico, donde se analizará el histograma comprobando los niveles de saturación, niveles digitales sin representación en la imagen, valores medios del histograma, etc.

10.1. APOYO FOTOGRAMÉTRICO.

La fase de Apoyo Fotogramétrico comprenderá todos los trabajos de planificación, señalización observación y procesado que se requieren para determinar la posición altimétrica y planimétrica de los Puntos de Apoyo (PA) Fotogramétricos, necesarios para la aerotriangulación de los fotogramas obtenidos en el vuelo.

Figura 46.Flujo de trabajo Apoyo en Campo



Fuente: Elaboración Propia

En esta etapa aún no se incluyen puntos extraídos del MDS LIDAR con coordenadas x, y, z de detalles visibles e identificables en el MDS y en las imágenes, actividad que se completó al finalizar la Fase 2 del proyecto.

10.2. AEROTRIANGULACIÓN.

La aerotriangulación es el proceso por el que se obtiene la orientación externa precisa de fotogramas aéreos en el sistema de referencia establecido para el proyecto, materializado por los puntos de apoyo.

La principal ventaja del empleo de técnicas de aerotriangulación es la reducción del número de puntos de apoyo necesarios para orientar un bloque fotogramétrico. Esta necesidad de apoyo, aún se reduce más, si se añaden al cálculo datos GPS/IMU, hasta el extremo que, para ciertos proyectos y aplicaciones, la orientación se puede obtener directamente del sistema inercial.

La combinación de información de partida de gran calidad (imágenes digitales, datos IMU, apoyo) junto con las más avanzadas estaciones digitales fotogramétricas de aerotriangulación del mercado, proporcionan resultados altamente fiables y precisos.

El proceso de aerotriangulación automática se realizó mediante la utilización del software Agisoft PhotoScan.

Figura 47.Flujo de trabajo de Aerotriangulación



Fuente: Elaboración Propia

10.3. PLANIFICACIÓN DE TRABAJOS DE AEROTRIANGULACIÓN.

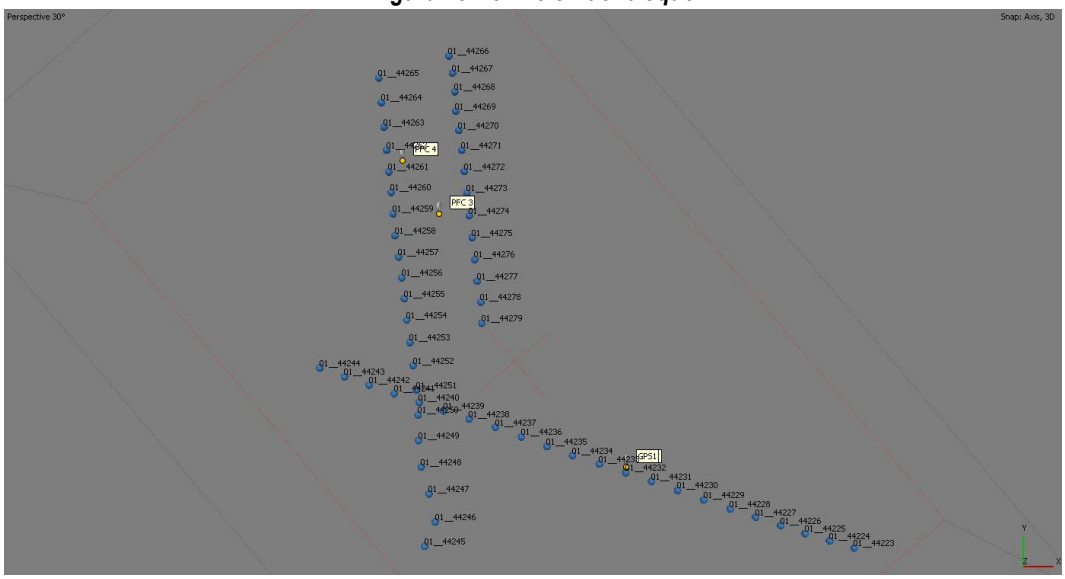
Antes de comenzar con el proceso de cálculo de una aerotriangulación, es preciso establecer una serie de pautas y definiciones que marcan el desarrollo del proceso. La planificación tiene el fin fundamental de asegurar la calidad del producto desde antes que comience su producción hasta que esté terminado, así como diseñar un plan de trabajo tal que garantice, en la medida de los posible, que el producto responde a las necesidades.

En este sentido, la planificación de un trabajo de aerotriangulación, contempla los siguientes aspectos:

- Definición del bloque. Un primer paso es configurar los parámetros generales del bloque de trabajo:
  - Localización y tamaño del bloque.
  - Datos de vuelo: escala o resolución, cámara, GPS, IMU, etc.
  - Número de pasadas y longitud de estas.
  - Situación de pasadas trasversales (en caso de que existan).
  - Indicación del sistema de referencia.
  - Establecimiento de las tolerancias de precisión.

- Localización y características de las imágenes.

Figura 48.Definición del bloque



Fuente: Elaboración Propia

- Elección de la estrategia (modo de correlación, algoritmo de ajuste, etc.) Idónea en relación con las exigencias del contrato. Una vez conocidas las prescripciones técnicas y las características del bloque de aerotriangulación, conviene seleccionar la estrategia de trabajo, entendidas como el conjunto enlazado de soluciones a cada una de las fases de aerotriangulación (modo de orientación interna, método de correlación, algoritmo de ajuste)
- Decisión del software más adecuado para llevar a cabo los pasos configurados por la estrategia. La disponibilidad de varias estaciones de aerotriangulación con software Trimble Inpho y Agisoft PhotoScan, provee una amplia capacidad de solución de trabajos de diferentes naturalezas, lo que permite garantizar, a priori, la correcta ejecución del trabajo.
- Creación de los gráficos de seguimiento del trabajo. Se trata de una herramienta fundamental, tanto en formato digital como en papel, para llevar el control del estado del trabajo y poder localizar e inspeccionar las posibles incidencias.

10.4. EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE AEROTRIANGULACION.

El proceso de la aerotriangulación se realizó tras la finalización del post-procesado y validación de datos GPS/IMU e imágenes. Igualmente será necesario el completar la fase de apoyo fotogramétrico en cada uno de los bloques para comenzar con esta actividad.

La aerotriangulación se realizó por métodos completamente digitales y empleando parámetros de apoyo aerotransportado GPS y/o GPS/IMU, para ello se utilizaron los más modernos equipos y software de aerotriangulación.

10.5. ORIENTACIÓN INTERNA.

En este caso en el que las imágenes proceden de cámara digital, la fase de orientación interna es innecesaria, puesto que la cámara digital posee la ventaja de tener una geometría rígida e idéntica para cada imagen, y carece de errores geométricos debidos a deformaciones de película.

10.6. DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS ENLACE.

La medición y transferencia de puntos de enlace y de paso, se llevó a cabo, en primer lugar, de forma Semi-automática por técnicas de correlación espacial de imágenes. Se deben medir, al menos, nueve áreas por fotograma, coincidiendo las áreas centrales con la posición de los puntos de Von Gruber, y cada una de estas áreas debe contener, al menos, dos puntos de paso o enlace (según corresponda).

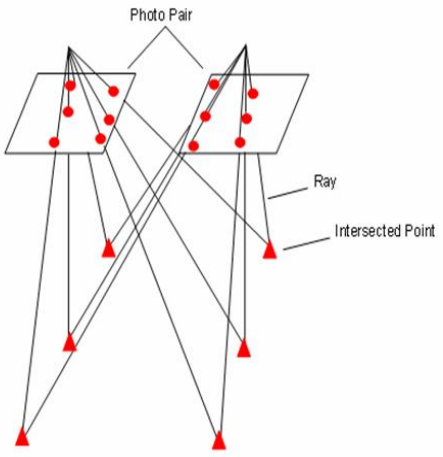
En la correlación se utilizaron las imágenes digitales a las que se les ha creado una estructura piramidal, con el fin de optimizar los procesos. En los primeros niveles de la piramidal (menos resolución) se usa un algoritmo de cálculo basado en la extracción de formas características (Feature-Based Matching, FBM) que da una precisión de 0,3 píxeles. En los últimos niveles de la pirámide, se emplea el método de correlación de mínimos cuadrados (Least-Squares Matching, LSM), que permite obtener precisión de 0,1 píxeles.

Los puntos de enlace y de paso obtenidos tras la correlación, son depurados por dos vías paralelas e interrelacionadas:

- Por un lado, se ejecutaron algoritmos de detección automática de errores que eliminan aquellos puntos cuyo error supera una tolerancia prefijada.

- Por otro lado, se comprobaron el enlace de forma interactiva, con el fin de asegurar que existe, al menos, dos puntos en cada zona de Von Gruber, y que, al menos, hay punto de enlace entre pasadas en cada área de enlace. En caso de ser necesario, se miden manualmente cuantos puntos sean necesarios.

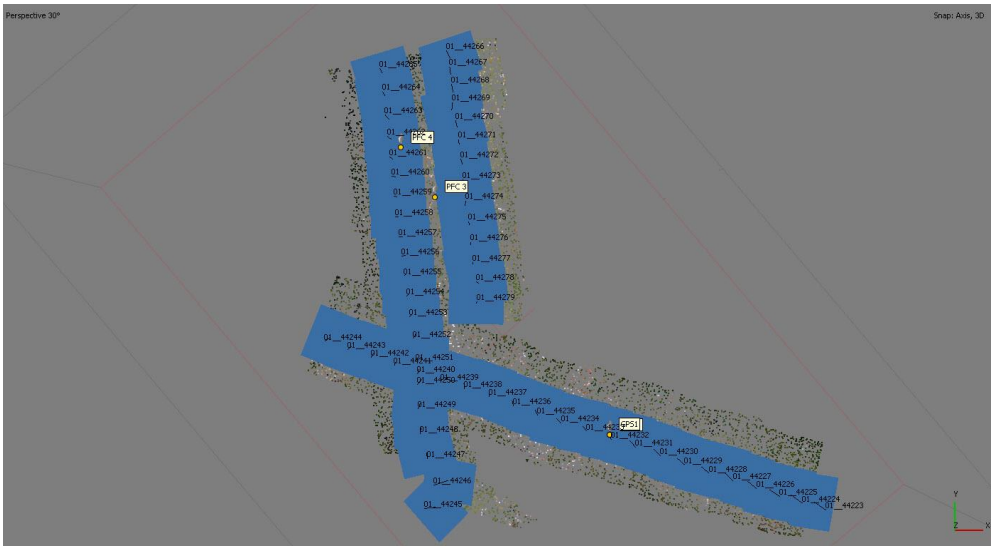
Figura 49.Multimedición de puntos de Amarre



Fuente: Elaboración Propia

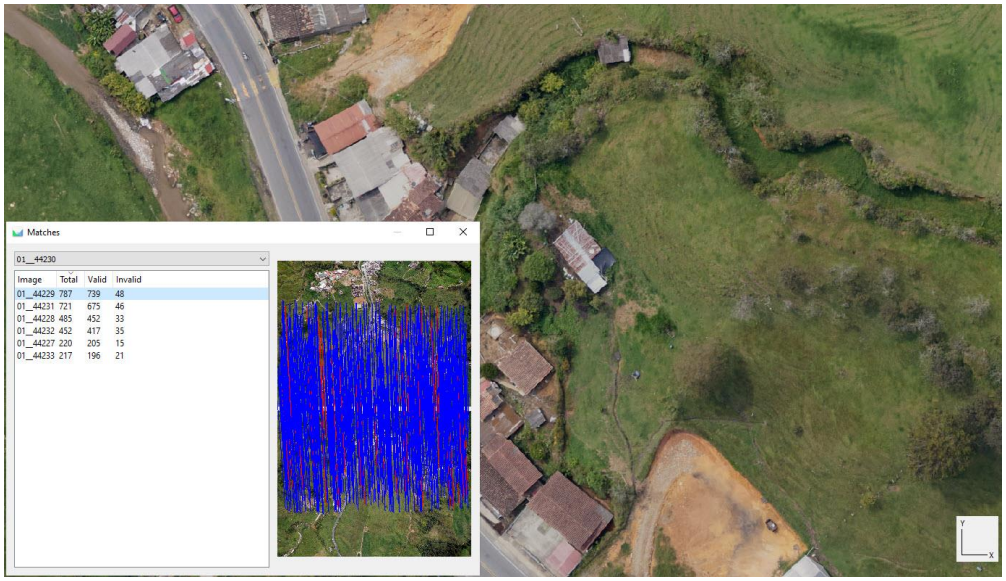
Ambos procesos fueron repetidos tantas veces como fue necesario hasta cumplir con las exigencias de precisión y de enlace del bloque. Como resultado, se obtuvo la orientación relativa del bloque y su precisión interna.

Figura 50.Precisión y enlace del bloque



Fuente: Elaboración Propia

Figura 51.Proceso de correlación y depuración



Fuente: Elaboración Propia

10.7. OBTENCIÓN DE PUNTOS HOMÓLOGOS DE APOYO (MULTIMEDICIÓN) PARA EL PROYECTO.

Este procedimiento tuvo como objetivos:

- La multimedición de las líneas de vuelo.

- Generar los empalmes de líneas de vuelo.
- Garantizar que cada punto de paso esté presente en por lo menos 3 imágenes.
- Garantizar que cada punto de paso fue visitado y corresponde al mismo elemento y posición en cada una de las imágenes.
- Obtener un modelo consistente para la realización de la respectiva triangulación.

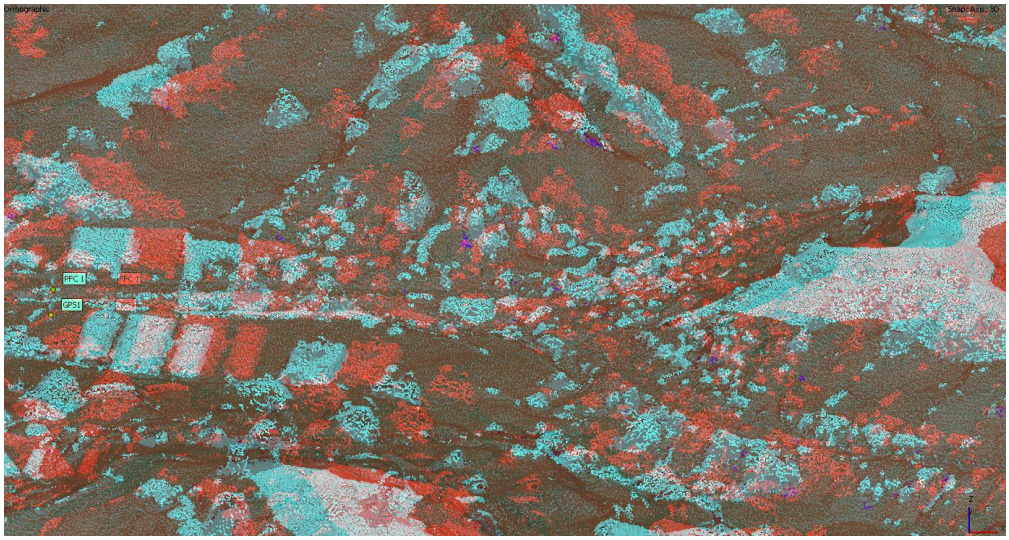
Al construir el bloque se analizaron los siguientes parámetros:

- Altimetría de la zona de interés.
- Recubrimientos que debe tener las imágenes según estándares
- Tipo de terreno.
- Escala objetivo de captura para el desarrollo de la misión.

Mediante software Agisoft PhotoScan el trabajo se realizó por medio del proceso de búsqueda de cada uno de los puntos homólogos en las diferentes imágenes bajo los siguientes parámetros:

- Cada punto debe estar como mínimo en 3 imágenes.
- La distribución de los puntos debe cubrir la totalidad de la imagen (no pueden estar en una sola zona).
- Cada punto debe corresponder al mismo elemento y posición (x, y, z) en cada una de las imágenes.
- Entre fajas deben existir puntos homólogos.
- No se deben tomar sombras como punto homologo.
- Los puntos homólogos deben tratar de estar siempre sobre el terreno (piso).

Figura 52.Interfaz gráfica Estéreo digital (Distribución de puntos)



Fuente: Elaboración Propia

Al realizar la multimedición (obtención de puntos homólogos de apoyo) se generó un bloque consistente en el cual, y con ayuda del fotocontrol, se inició el proceso de Aerotriangulación.

10.8. CÁLCULO Y AJUSTE DEL BLOQUE.

El cálculo y ajuste del bloque es un proceso iterativo en conjunto con la medición del apoyo topográfico. Se realizó por el método de ajuste de haces con parámetros de apoyo aerotransportado, por lo que en el ajuste

final se dispuso de información acerca de las precisiones tanto de los puntos de apoyo, como de los de paso y enlace, y de los parámetros GPS-IMU.

La desviación estándar a priori de los puntos de apoyo será de entre 1/3 y 1/ 2 del tamaño del píxel y la de los centros de proyección de entre 0.10 m y 0.15 m.

Una vez el cálculo se dio por bueno (se han obtenido los parámetros de orientación exterior con las precisiones requeridas), se llevó a cabo el último paso: obtención de la red densificada topográfica, en la que se calcularon las coordenadas terreno de cada punto de paso y de enlace.

Como comprobación del cálculo del aerotriangulación, se incluyeron puntos de chequeo de precisión al menos 1/3 del RMS final del producto.

10.9. PRECISIONES DE LA AEROTRIANGULACIÓN.

- Error estándar para la orientación interior 0,7 píxel.
- Error estándar para el ajuste relativo, 1 píxel.
- Error estándar para el ajuste absoluto, 3 píxel.

10.10. RESULTADOS FINALES.

Para la generación de las ortofotos se usó el método correlación automática de imágenes en Agisoft Photoscan, el cual incluye para Fase 2 un total de 57 fotografías en RGB

Como resultado de esta fase2 se obtuvieron los siguientes productos:

- 21 imágenes RGB, a resolución 7cm Formatos TIFF, ECW y PNG.
- Fichero AUX de georreferenciación.

Figura 53.Ortofotomosaico Fase 2



Fuente: Global Mapper

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO DE UN MODELO DIGITAL DE TERRENO MEDIANTE TECNOLOGÍA LIDAR

"CONSULTORÍA PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO DE UN MODELO DIGITAL DE TERRENO MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍA LIDAR CON EL ACOTAMIENTO Y DELIMITACIÓN DE LAS FUENTES HÍDRICAS DETERMINADAS, EN EL MARCO DEL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 040-COV2210-86 DE 2022 SUSCRITO CON CORANTIOQUIA"

POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID
2023

POLITÉCNICO COLOMBIANO
JAIME ISAZA CADAVID

SIGLA
Sistemas de Información Geográfica de Latino América S.A.S

Bogotá D.C., 2023

Señores:
POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID
CRISTHER AMELA ESCOBAR GUZMAN
cpescobar@elpoli.edu.co

Estimados señores:

Reciban un cordial saludo, por medio de la presente se hace entrega del plan de trabajo para el proyecto "CONSULTORÍA PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO DE UN MODELO DIGITAL DE TERRENO MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍA LIDAR CON EL ACOTAMIENTO Y DELIMITACIÓN DE LAS FUENTES HÍDRICAS DETERMINADAS, EN EL MARCO DEL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 040-COV2210-86 DE 2022 SUSCRITO CON CORANTIOQUIA" específicamente en el área solicitada en la cuenca del Río Taraza.

Quedamos atentos a sus comentarios.

Reciba un cordial saludo,

Equipo de proyectos SIGLA

SIGLA Sistemas de Información Geográfica de Latino América S.A.S		**INFORME FINAL RIO TARAZA**
Tipo de documento: **CONTROLADO**		Versión: Primera (01)
Profesional Topografía	Profesional SIG	Director Soluciones de Ingeniería
Jhoan Macias Revisó	Raúl Andres Valencia Morales Elaboró	JUAN GONZALO Aprobó

OBJETO CONTRATO:

"CONSULTORÍA PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO DE UN MODELO DIGITAL DE TERRENO MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍA LIDAR CON EL ACOTAMIENTO Y DELIMITACIÓN DE LAS FUENTES HÍDRICAS DETERMINADAS, EN EL MARCO DEL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 040-COV2210-86 DE 2022 SUSCRITO CON CORANTIOQUIA"

REGISTRO DE CAMBIOS DE LA PRESENTE VERSIÓN

Versión	Página	Naturaleza del cambio	Fecha

CONTENIDO

1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 8

2. TOPOGRAFÍA 8

2.1. GEORREFERENCIACIÓN 9

2.1.1. MATERIALIZACIÓN 9

2.1.2. METODOLOGÍA DE CAPTURA Y PROCESADO DE POSICIONAMIENTO GPS Y FOTOCONTROL 11

2.1.3. POSICIONAMIENTO GPS 11

2.1.4. LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL CON RTK 12

2.1.5. PROCESAMIENTO DE DATOS TOPOGRÁFICOS 12

2.1.6. AFORO 13

3. BATIMETRIAS 14

3.1. METODOLOGIA DE CAPTURA 14

3.1.1. Plan de trabajo: 14

3.1.2. Labores previas 15

3.1.3. Labores en terreno 15

3.1.4. Labores posteriores de oficina 15

3.2. PROCESAMIENTO DE DATOS. 15

3.2.1. Aforo Quebrada Rio Taraza 16

4. METODOLOGÍA CAPTURA DE INFORMACIÓN VUELOS FOTOGRAMÉTRICO - CÁMARA DIGITAL Y LIDAR. 18

5. PLANIFICACIÓN DEL VUELO EN BASE A LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS EXIGIDAS Y LA ZONA DE TRABAJO 18

5.1. COMPONENTES DEL SISTEMA 19

5.2. PARAMETROS DE VUELO COMBINADO LIDAR/CAMARA 19

5.3. CONTROL DE CALIDAD DEL VUELO PLANIFICADO 21

5.4. SELECCIÓN DE LA AERONAVE A UTILIZAR 22

5.5. ENVÍO DE LA PLANIFICACIÓN A LA UNIDAD DE VUELOS Y SOLICITUD DE LOS PERMISOS DE VUELO 22

5.6. MONTAJE E INSTALACIÓN DEL SISTEMA 22

6. TRABAJOS DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA INERCIAL – CÁMARA Y/O TECNOLOGÍA LIDAR. 23

6.1. Cálculo de corrección roll, pitch y Heading 24

7. EJECUCIÓN DEL VUELO 25

7.1. RECEPCIÓN DE PLANIFICACIÓN DEPARTAMENTOS DE VUELOS 25
7.2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA 26
7.3. COMPROBACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y SISTEMAS 26
7.4. REALIZACIÓN DEL VUELO 27
7.5. VOLCADO DE LA INFORMACIÓN 28
7.6. ENVÍO DE INFORMACIÓN A OFICINA 28
7.7. CONTROL DE CALIDAD DE CADA MISIÓN DE VUELO EJECUTADO 28
8. POST – PROCESO DE LOS DATOS LIDAR 41
8.1. EDICIÓN DE DATOS LIDAR. 41
8.2. AJUSTE AL TERRENO DE LOS DATOS LIDAR 42
8.3. CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS LIDAR 42
9. CONTROL DE CALIDAD ALTIMÉTRICO DE LA NUBE DE PUNTOS LIDAR. 43
9.1. CALCULO DEL MODELO DE AJUSTE LOCAL DE ONDULACIÓN 44
9.2. CONTROL DE COTAS CON AJUSTE A COTA GEOMETRICA 45
10. POST – PROCESO DE IMÁGENES DIGITALES. 45
10.1. APOYO FOTOGRAMÉTRICO. 46
10.2. AEROTRIANGULACIÓN. 46
10.3. PLANIFICACIÓN DE TRABAJOS DE AEROTRIANGULACIÓN. 47
10.4. EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE AEROTRIANGULACION. 48
10.5. ORIENTACIÓN INTERNA. 49
10.6. DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS ENLACE. 49
10.7. OBTENCIÓN DE PUNTOS HOMÓLOGOS DE APOYO (MULTIMEDICIÓN) PARA EL PROYECTO. 50
10.8. CÁLCULO Y AJUSTE DEL BLOQUE. 51
10.9. PRECISIONES DE LA AEROTRIANGULACIÓN. 52
10.10. RESULTADOS FINALES. 52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. DELTA Rio Taraza 9
Figura 2. Punto de Fotocontrol Rio Taraza 10
Figura 3. Equipos de posicionamiento 11
Figura 4. Levantamiento con RTK Rio Taraza 12
Figura 5. Aforo Rio Taraza 14
Figura 6. Esquema Rio Taraza 15

Figura 7. Secciones Rio Taraza 16
Figura 8. Secciones Aforo Rio Taraza 17
Figura 9. Diagrama de flujo SIGLA para vuelos combinados Lidar-Camara 18
Figura 10. Sistema Combinado de Captura LiDAR- Cámara Alta resolución 19
Figura 11. Plan de vuelo 20
Figura 12. Gráfico líneas de vuelo planificadas 21
Figura 13. Montaje aeronave Huges 500 22
Figura 14. Instalación Phase One iXM-RS 150F, LiDAR Riegl VQ 580ii 23
Figura 15. Integración de planificaciones al sistema de navegación de la aeronave 26
Figura 16. Sistema de control en vuelo 27
Figura 17. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230705 Sesión 1 29
Figura 18. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230706 Sesión 1 29
Figura 19. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230707 Sesión 1 30
Figura 20. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230708 Sesión 1 30
Figura 21. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230709 Sesión 1 30
Figura 22. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230710 Sesión 1 31
Figura 23.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1 31
Figura 24.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1 32
Figura 25.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1 32
Figura 26.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1 33
Figura 27.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1 33
Figura 28.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 34
Figura 29. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1 35
Figura 30. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1 35
Figura 31. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1 36
Figura 32. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1 36
Figura 33. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1 37
Figura 34. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 37
Figura 35. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1 38
Figura 36. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1 38
Figura 37. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1 39
Figura 38. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1 39

Figura 39. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 40
Figura 40. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 40
Figura 41. Ejemplo dato del terreno 41
Figura 42. Estación de trabajo de edición datos LiDAR 43
Figura 43.Gráfico explicativo método Control de cota LiDAR 43
Figura 44. Ejemplo de los levantamientos mediante topografía convencional 44
Figura 45. Gráfico Modelo de Ajuste local 44
Figura 46.Flujo de trabajo Apoyo en Campo 46
Figura 47.Flujo de trabajo de Aerotriangulación 47
Figura 48.Definición del bloque 48
Figura 49.Multimedición de puntos de Amarre 49
Figura 50.Precisión y enlace del bloque 50
Figura 51.Proceso de correlación y depuración 50
Figura 52.Interfaz gráfica Estéreo digital (Distribución de puntos) 51
Figura 53.Ortofotomosaico Fase 2 53

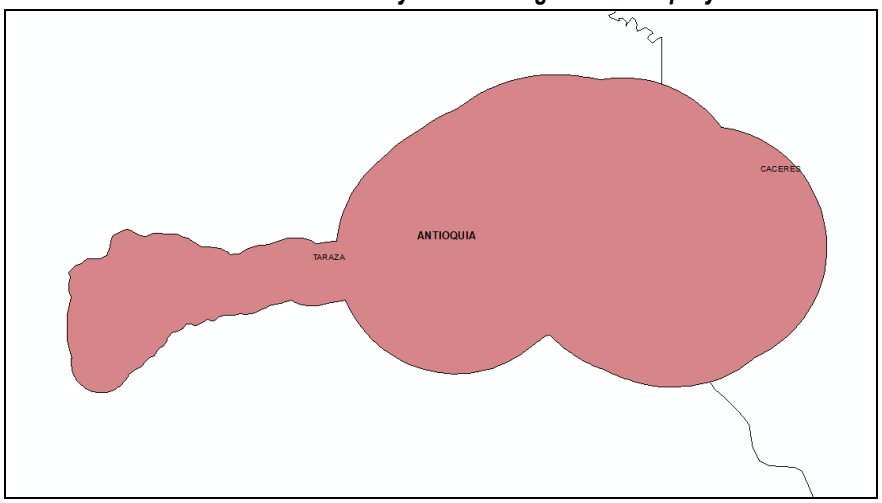
INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos Topográficos 8
Tabla 2. Coordenadas puntos GPS proyecto Politécnico Rio Taraza- época 2018.0 12
Tabla 3. Coordenadas puntos Fotocontrol proyecto Politécnico Rio Taraza - época 2018.0 13
Tabla 4. Factor de Corrección de Velocidad del Caudal 17
Tabla 5. Caudal Quebrada Rio Taraza 17
Tabla 6. Tabla de Coordenadas de la RED Geodésica 45
Tabla 7. Tabla estadística resultado del control de cotas Ortométrica 45

1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El polígono de interés se encuentra ubicado en los municipios de Taraza y Cáceres en el departamento de Antioquia con un área total de 3957.18Ha. Basados en la delimitación dada de la zona a sobrevolar, así como en datos de campo, se realiza la planificación del vuelo fotogramétrico teniendo presente las condiciones geométricas

Ilustración 1. Localización y áreas de segmentos del proyecto



Fuente: SIGLA-SAS

2. TOPOGRAFÍA

En este capítulo se describe la metodología que fue utilizada en la realización de las labores de campo necesarias para la posterior actividad de ajuste y control de calidad de los productos Topográficos entregados.

La disponibilidad de Equipos de Topografía se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Equipos Topográficos

GPS/GNSS/RTK			
ITEM	**MARCA**	**MODELO**	**SERIAL**
1	Leica	ATX 1230	185688
2	Leica	ATX 1230	186111
3	Leica	ATX 1230	195196
4	Leica	ATX 1230	195200
5	Leica	GX 1230	110640
6	Stonex	850A	1477
BATIMÉTRICOS			
ITEM	**NOMBRE**	**VERSIÓN**	
1	SonarMite	SonarMiteV5 BTX/SPX	

Fuente: SIGLA-SAS

2.1. GEORREFERENCIACIÓN

2.1.1. MATERIALIZACIÓN

Puntos GNSS

Se realizará la materialización y posicionamiento de puntos GNSS en el área de estudio con el fin de ajustar el levantamiento, mediante la incrustación de placa de aluminio en el pavimento, cada placa se marca con el nombre de la empresa contratante, el número del contrato, el identificador del punto y la fecha de Monumentación.

Figura 1. DELTA Rio Taraza



Fuente: SIGLA-SAS

Durante la etapa de materialización se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Perdurabilidad: Por la necesidad de mantener en el tiempo el grado de precisión de los mojones materializados que conforman la Posicionamiento de puntos, se requiere que el sitio elegido garantice que estos no sufrirán ningún deterioro o desplazamiento que implique el cambio de los valores en las coordenadas obtenidas. Para evitar a futuro la destrucción de los vértices se recomienda buscar terrenos que hagan parte de la infraestructura de instalaciones escolares, de las administraciones locales como hospitales, parques, entidades corporativas entre otras.

- Confiabilidad: Que el sitio elegido permita contar con un horizonte despejado, libre de obstáculos como: cuerpos de agua, vegetación tupida, fuentes de energía (transformadores, motores, transmisores), antenas de comunicación receptoras y emisoras, dentro de un radio de 50 metros de distancia, construcciones y todo aquello que interfiera o desvíe (generando multi-retorno) la señal transmitida por la constelación de satélites GNSS NAVSTAR.

- Intervisibilidad: Se pretende la materialización de la Posicionamiento de tal forma que los puntos tengan Intervisibilidad por parejas de modo que uno haga las veces de señal de azimut de su pareja

correspondiente, permitiendo de esta manera la ejecución de trabajos de topográficos con equipos óptico-mecánicos.

- Estabilidad: El sitio seleccionado debe contener formación rocosa, que no presente suelos con problemas de estabilidad, carentes de deslizamientos por pendientes fuertes, terrenos inestables por presencia de flujo de líquidos, sedimentos, pantanos, fallas geológicas, terrenos fangosos, riveras de los ríos o hundimientos.

- Seguridad: Que el sitio elegido sea de fácil acceso, que permita la ocupación con equipos de medición (estación total y/o GNSS) sin riesgo de integridad o pérdida de los mismos.

Puntos Fotocontrol

Un punto de fotocontrol es un punto de referencia o marcador físico que se coloca en el terreno o en una superficie específica para servir como punto de referencia geodésico en trabajos de fotogrametría y cartografía. Estos puntos se utilizan para medir y establecer con precisión las coordenadas geográficas de lugares específicos en la superficie de la Tierra. Estos puntos pueden ser físicos, como marcas en el suelo o monumentos, o pueden consistir en placas metálicas con coordenadas grabadas. También pueden ser puntos naturales, como características geográficas bien definidas y fácilmente identificables en las imágenes, como esquinas de edificios, intersecciones de carreteras o picos de montañas.

Se materializaron tres puntos de fotocontrol en la zona

Figura 2. Punto de Fotocontrol Rio Taraza



Fuente: SIGLA-SAS

2.1.2. METODOLOGÍA DE CAPTURA Y PROCESADO DE POSICIONAMIENTO GPS Y FOTOCONTROL

Los puntos del Posicionamiento GPS permiten referenciar todos los productos topográficos, entre los que se encuentran: Levantamientos Topográficos, nubes de puntos, Nivelación trigonométrica de precisión y trabajos de topografía convencional adicional que se haya realizado previamente a la ejecución del contrato marco.

2.1.3. POSICIONAMIENTO GPS

Este método de posicionamiento GPS consiste en calcular las coordenadas Lat, Long, X, Y, Altura elipsoidal de los monumentos materializados, utilizando GPS sub centimetrito y apoyándose en el Posicionamiento de puntos geoestacionarios de Primer Orden o bases permanentes IGAC Magna - Sirgas Certificadas.

La longitud máxima de los vectores entre los puntos a posicionar y de amarre a las placas certificadas no deberá superar 30 kilómetros como máximo. Este procedimiento beneficia la georreferenciación del proyecto en cuanto a exactitud.

- Equipos de GPS doble frecuencia propuestos para labores de posicionamiento GPS.

  Los equipos de rastreo satelital GPS a utilizar serán equipos doble frecuencia (L1-L2) de precisión subcentimétrica. Se plantea el uso de equipos Leica 1200, receptores que permiten el Posicionamiento libre de influencias ionosféricas con 12 canales L1 fase y código C/A, 12 canales L2 fase y código P, más respaldo de cuadratura (squaring) mediante código, rastreo continuo de todos los satélites disponibles y antena construida para minimizar los efectos multitrayecto.

Figura 3. Equipos de posicionamiento



Fuente: SIGLA-SAS

El equipo GPS seleccionado, ha de permitir la captura de constelaciones satelitales GPS y GLONASS, además de poseer memoria de almacenamiento y duración de baterías suficientes y adecuadas para los trabajos de campo.

El rastreo de cada punto se realizará con el tiempo de necesario para asegurar la exactitud y precisión de los resultados, esto como es sabido, depende de los puntos de apoyo y la distancia a que se encuentran; durante este tiempo estimado los equipo estarán registrando datos con dos bases conocidas y certificadas a partir del sistema de referencia del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

2.1.4. LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL CON RTK

RTK es una técnica avanzada de posicionamiento que utiliza señales de satélite (como las del sistema GPS) para obtener correcciones de alta precisión en tiempo real. Con RTK, se emplean al menos dos receptores GNSS: uno en una estación base con coordenadas conocidas con precisión y otro en un receptor móvil. La estación base calcula correcciones en tiempo real para las señales GNSS y las transmite al receptor móvil, lo que permite al receptor móvil determinar su ubicación con gran precisión en tiempo real, a menudo centimétrica.

Figura 4. Levantamiento con RTK Rio Taraza



Fuente: SIGLA-SAS

2.1.5. PROCESAMIENTO DE DATOS TOPOGRÁFICOS

En el procesamiento de cada uno de los puntos de Posicionamiento se seguirán las recomendaciones del IGAC en relación al "Procesamiento de Información de GPS considerando la variación de las Coordenadas en el Tiempo (Velocidades) por efectos Geodinámicos".

Las coordenadas de las secciones obtenidas por RTK son mediciones de alta precisión en tiempo real, que se ajustan con los puntos de control.

Las coordenadas obtenidas de GPS y Fotocontroles se evidencian en las siguientes tablas.

Tabla 2. Coordenadas puntos GPS proyecto Politécnico Rio Taraza- época 2018.0

COORDENADAS PUNTOS GPS PROYECTO POLITECNICO Río Taraza - EPOCA 2018.0											
Point Id	GEODÉSICAS			GEOCENTRICAS			GAUSS (CENTRAL)		CTM12		ALTURA
	WGS84 Latitude [°N]	WGS84 Longitude [°W]	WGS84 Ellip. Height [m]	WGS84 Cartesian X	WGS84 Cartesian Y	WGS84 Cartesian Z	Easting [m]	Northing [m]	Easting [m]	Northing [m]	Ortométrica
Delta-1	7°34'57.02295"N	75°24'8.63756"W	107.117	1593538.109	-6118737.428	836047.805	853782.218	1330469.773	4735025.790	2396591.230	96.419
Delta-2	7°34'49.2609"N	75°25'54.13109"W	107.106	1590416.401	-6119582.077	835811.430	850546.871	1330241.235	4731790.501	2396370.771	96.133
Delta-3	7°34'30.46547"N	75°26'26.3365"W	111.717	1589481.183	-6119908.447	835239.667	849557.576	1329666.762	4730799.965	2395798.861	100.584
Delta-4	7°34'59.15287"N	75°20'54.0046"W	103.080	1599307.887	-6117218.805	836112.133	859750.075	1330517.380	4740992.530	2396624.004	92.819

Fuente: SIGLA-SAS

Tabla 3. Coordenadas puntos Fotocontrol proyecto Politécnico Rio Taraza - época 2018.0

COORDENADAS FOTOCONTROL POLITECNICO RÍO TARAZÁ - EPOCA2018.0											
Point Id	GEODÉSICAS			GEOCENTRICAS			PLANAS (BOGOTA MAGNA)		CTM12		Altura Ortométrica
	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ellip. Height [m]	WGS84 Cartesian X [m]	WGS84 Cartesian Y [m]	WGS84 Cartesian Z [m]	Este	Norte	Este	Norte	
FC-1	7°33'47.71193"N	75°27'10.78928"W	123.262	1588208.5556	-6120429.4000	833939.2008	848190.387	1328357.282	4729429.780	2394493.011	111.825
FC-2	7°34'56.74187"N	75°24'7.22026"W	103.086	1593579.4320	-6118723.7143	836038.7132	853825.648	1330461.003	4735069.190	2396582.353	92.390
FC-3	7°35'5.18026"N	75°20'56.01533"W	107.531	1599243.189	-6117215.020	836296.268	859688.967	1330702.769	4740931.896	2396809.505	97.287

Fuente: SIGLA-SAS

2.1.6. AFORO

Un aforo es el proceso de medir y calcular el caudal o flujo de agua que circula a través de un cuerpo de agua natural o un sistema de conducción de agua, como un río, arroyo, canal, lago o embalse. El aforo de un cuerpo de agua implica la medición de varios parámetros, como la velocidad del flujo del agua, la profundidad del agua, la anchura de la corriente y la geometría de la sección transversal del cuerpo de agua. Estos datos se recopilan en diferentes puntos a lo largo del cuerpo de agua para tener una imagen completa del caudal. Luego, se utilizan fórmulas y métodos matemáticos para calcular el caudal total que fluye en el cuerpo de agua en un momento dado.

Existen diferentes metodologías para determinarlo entre ellos el método del flotador que consiste en lo siguiente:

- Selección del punto de medición: Se elige un punto en el cuerpo de agua donde se desee medir el caudal. Este punto debe tener una sección transversal representativa del flujo y ser seguro para realizar las mediciones.

- Elección del flotador: Se selecciona un objeto flotante que sea fácilmente visible y siga el flujo del agua sin hundirse ni volcarse. Ejemplos comunes de flotadores son troncos, botes o botellas.

- Medición de la profundidad: Se utiliza un equipo de medición adecuado, como una sonda de profundidad o una cinta métrica, para medir la profundidad del agua en varios puntos a lo largo de la sección transversal del cuerpo de agua en el punto de medición. Estas mediciones se realizan generalmente en intervalos regulares.

- Lanzamiento y seguimiento: El flotador se lanza al agua aguas arriba del punto de medición y se sigue visualmente a medida que fluye con la corriente.

- Cálculo de la velocidad promedio: Utilizando el tiempo de viaje del flotador y la distancia conocida entre los puntos de medición de la profundidad, se calcula la velocidad promedio del flujo del agua en cada punto. Esto se hace dividiendo la distancia entre dos mediciones de profundidad por el tiempo que tarda el flotador en recorrer esa distancia.

- Cálculo del caudal: Con las velocidades promedio calculadas y las áreas correspondientes de la sección transversal del cuerpo de agua (profundidad x ancho), se puede estimar el caudal (volumen de agua que pasa por ese punto en un período de tiempo específico).

Figura 5. Aforo Rio Taraza



Fuente: SIGLA-SAS

3. BATIMETRIAS

El levantamiento topográfico de la quebrada se efectuó utilizando tecnología RTK (Real-Time Kinematic), con el propósito de capturar puntos de interés que incluyeron los contornos del terreno, los bordes de la quebrada y su lecho, obteniendo valores en X,Y y Z. Posteriormente, se procedió a la generación de un modelo digital del terreno, con curvas de nivel a intervalos de dos metros. A partir de este modelo, se obtuvieron secciones transversales de la quebrada con un espaciamiento de 50 metros entre cada una.

Para cuantificar el caudal de la quebrada, se implementó un aforo con el método del flotador en secciones estratégicamente seleccionadas, lo que permitió la medición precisa del flujo de agua en puntos clave a lo largo de su curso.

3.1. METODOLOGIA DE CAPTURA

3.1.1. Plan de trabajo:

A continuación, se hace una descripción:

- Determinación de vértices de control topográfico para cada sección.
- Determinación de la geometría de cada una de las secciones mediante levantamiento topográfico-RTK convencional.
- Aforo para la determinación del caudal por medio de la metodología con flotador.

3.1.2. Labores previas

- • Planificación logística y técnica del levantamiento con base en la cartografía existente.

3.1.3. Labores en terreno

- A partir de los vértices de amarre se realiza el levantamiento topográfico de secciones transversales con GPS usando el método de RTK convencional.
- Registro fotográfico de los diferentes procedimientos
- Aforo por método de flotador, las secciones se levantaron con RTK obteniendo su ubicación en Norte, Este y Cota, la profundidad de la lámina de agua se toma con cinta métrica, y se realizó varias tomas de tiempo para determinar un promedio.

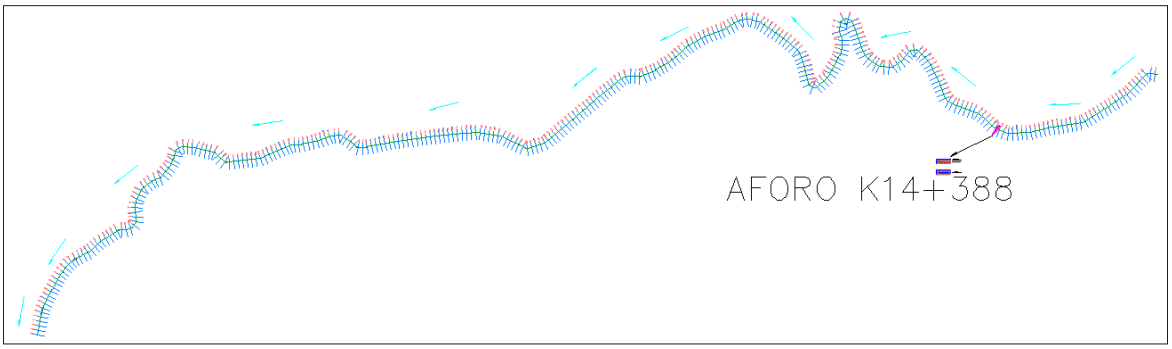
3.1.4. Labores posteriores de oficina

- Reducción de datos de RTK
- Cálculo y dibujo de secciones transversales.
- Calculo de datos de aforo y caudal de la quebrada.

3.2. PROCESAMIENTO DE DATOS.

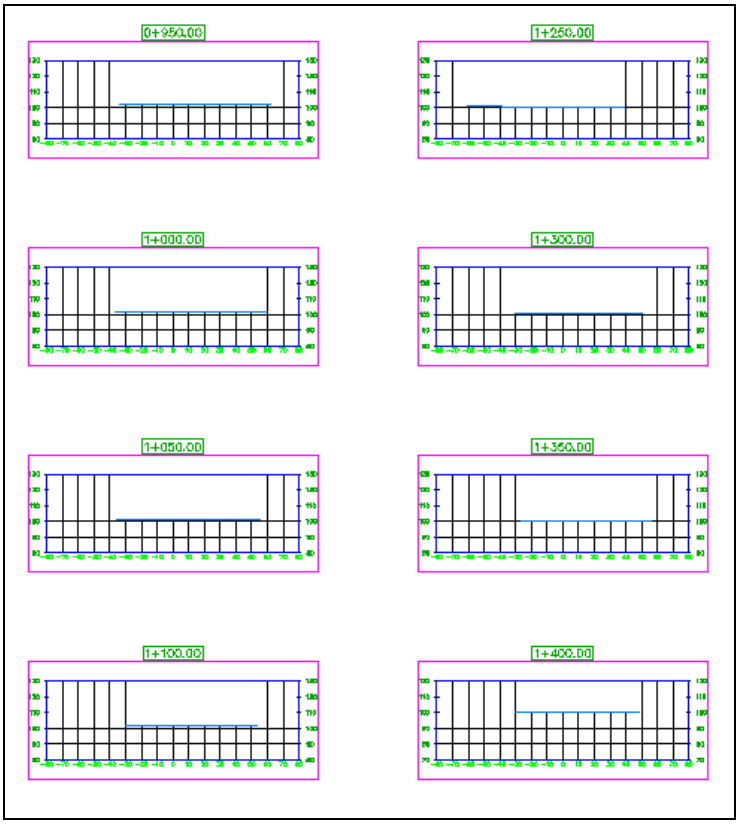
Se procedió a la determinación de las coordenadas planas del levantamiento de la quebrada, utilizando el sistema de referencia Magna Gauss-Krüger Origen Central y el Origen nacional CTM12. Se ha realizó una representación gráfica de la información del levantamiento, con dos archivos distintos, uno para cada sistema de referencia, que contienen curvas de nivel generadas a intervalos de 2 metros y secciones transversales establecidas a intervalos de 50 metros

Figura 6. Esquema Rio Taraza



Fuente: SIGLA-SAS

Figura 7. Secciones Rio Taraza



Fuente: SIGLA-SAS

3.2.1. Aforo Quebrada Rio Taraza

Se obtuvieron coordenadas planas en los Sistemas de referencia Magna Gauss Central y CTM12 de las secciones tomadas para el aforo con una separación de 10 metros entre cada sección. En cada punto de la sección, se realizó la medición de la lámina de agua con flexómetro, lo que permitió determinar la profundidad promedio de la sección; así mismo llevó a cabo la medición del tiempo que el objeto flotante tardó en recorrer la distancia entre cada una de las secciones en nueve ocasiones, y se obtuvo así el tiempo promedio. El calculo del caudal se obtiene mediante la fórmula:

Caudal (m^3/s) = A x V x Factor de corrección

A=Área
V= Velocidad

Tabla 4. Factor de Corrección de Velocidad del Caudal

Tipos de Arroyo	Factor de Corrección De Velocidad (C)	Precisión
Canal rectangular Con lados y lechos lisos	0.85	Buena
Río profundo y lento	0.75	Razonable
Arroyo pequeño de lecho Parejo y liso	0.65	Mala
Arroyo rápido y turbulento	0.45	Muy mala
Arroyo muy poco profundo De lecho rocoso	0.25	Muy mala.

Fuente: Universidad Santo Tomás

El factor de corrección tomado fue 0.25 ya que la quebrada es poco profunda y rocosa. El caudal obtenido fue de 0.207 m^3/s, los datos que se obtuvieron en cuenta se evidencian en la siguiente tabla:

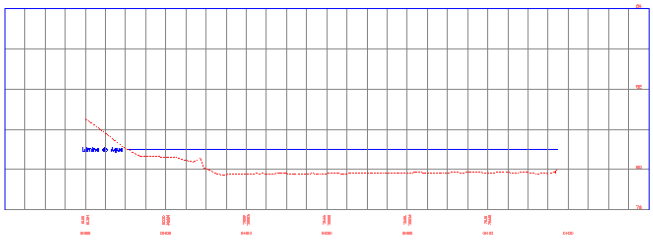
Tabla 5. Caudal Quebrada Rio Taraza

TIEMPO (seg)								
Margen derecha			Centro			Margen Izquierda		
19.60''	19.59''	19.58''	19.61''	19.60''	19.59''	19.60''	19.61''	19.60''

Promedio	Distancia recorrida (m)	Profundidad Promedio	Ancho del río (m)	Área m^2	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)
19.60''	10	0.569	120	549.930	0.510	210.456

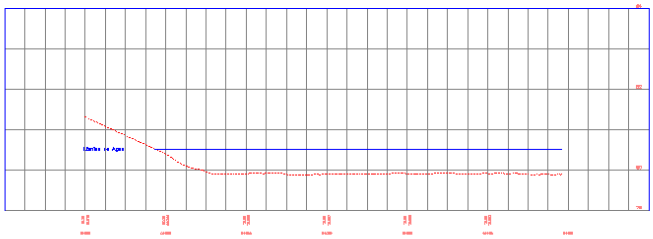
Fuente: SIGLA-SAS

Figura 8. Secciones Aforo Rio Taraza



Tiempo = 19.6 segundos
Distancia entre seccion 1 y 2 = 10 metros

SECCION 1
Area = 549.93m^2, Perimeter = 222.401



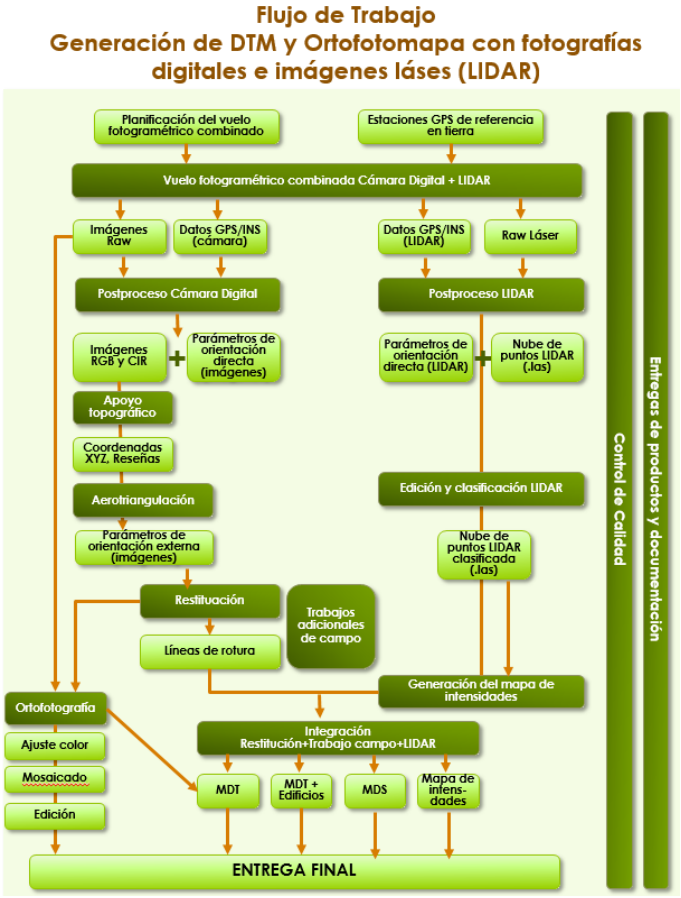
SECCION 2
Area = 567.67m^2, Perimeter = 209.209m

Fuente: SIGLA-SAS

4. METODOLOGÍA CAPTURA DE INFORMACIÓN VUELOS FOTOGRAMÉTRICO - CÁMARA DIGITAL Y LIDAR.

La siguiente figura muestra el diagrama de flujo seguido por nuestro personal técnico, e incluye los procesos desde la Planificación hasta la obtención de Modelos Digitales y ortofotografías digitales y demás entregables objeto del proyecto.

Figura 9. Diagrama de flujo SIGLA para vuelos combinados Lidar-Camara



Fuente: Elaboración Propia

En el diseño de una misión de vuelo combinado (Cámara digital-LiDAR) se tuvieron en cuenta de manera conjunta las especificaciones relativas tanto a la captura de imagen como de captura de datos LiDAR, garantizando que el vuelo cumpla con las exigencias impuestas en las especificaciones técnicas.

5. PLANIFICACIÓN DEL VUELO EN BASE A LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS EXIGIDAS Y LA ZONA DE TRABAJO.

Dada la delimitación de la zona a sobrevolar y apoyándonos en la cartografía existente, así como en datos de campo, se realizó una planificación inicial del vuelo fotogramétrico, teniendo presente las condiciones geométricas proporcionadas por el cliente.

5.1. COMPONENTES DEL SISTEMA

El sistema a utilizar es un conjunto combinado de cámara fotogramétrica de medio formato Phase One iXM-RS 150F, LiDAR Riegl VQ 580ii, ambos de última generación.

Este sistema, de reciente fabricación está siendo utilizado tanto en proyectos LiDAR que implican estudios de corredores, como en estudios que abarcan áreas extensas y entre sus ventajas respecto a otros equipos podemos citar la posibilidad de instalación en diversas aeronaves como helicópteros, con STC y certificaciones disponibles, Eurocopter AS350 BA, B2, B3 y AS355N biturbina, Bell 206, Robinson R44, Huges 500, aviones Cessna 180, 182, 206 y 402, Piper PA23 y PA31.

Para la realización del proyecto garantizando la calidad y como margen de seguridad sobre las condiciones técnicas establecidas se diseñó un plan de vuelo en el cual se tomaran 8 Puntos/m2 y el tamaño mínimo de Píxel es de 0.15 GSD.

Figura 10. Sistema Combinado de Captura LiDAR- Cámara Alta resolución



Fuente: SIGLA-SAS

5.2. PARAMETROS DE VUELO COMBINADO LIDAR/CAMARA

La parametrización del sensor LiDAR se realizó con la aplicación del Software AeroPlan de la casa Leica Geosystems. Los parámetros generales del vuelo fotogramétrico y LiDAR planificado se resumen en la siguiente tabla.

Figura 11. Plan de vuelo

IXM-RS 150F - VQ580

PLAN DE VUELO: FOTOGRAMETRÍA

SIGLA
Sistemas de Información Geográfica de Latino América S.A.S

Proyecto: 304_PolitecnicoColombiano_SI-2023-1026
Lugar: Colombia

SGR: WGS84 — EPSG
Proyección: UTM 18N

CÁMARA: Phase One IXM-RS 150F
Tamaño de píxel: 0.00376 mm — Formato de cámara: 67 mm — FOV: 60 °
Tamaño del sensor: 14,204 píxeles — 53.4 mm (ancho) — 151 MP — FOV alto: 53 °
10,652 píxeles — 40.1 mm (alto) — FOV ancho: 67 °

OBJETIVO: Rodenstock 100 mm f/4.0
Distancia focal: 40 mm

CONDICIONES TOMA:
- Velocidad de obturación (inverso): 1600 s
- FMC: 0.5 píxeles — Altura mínima: 410 m — Para evitar el arrastre de píxel (desenfoque)
- Velocidad aeronave: 60 nudos — 111 km/h — 31 m/s
- Recubrimientos: Longitudinal: 70% / Transversal: 40%
- Margen seguridad ancho: 10%
  - Ancho pasada segura: 895 m — Ancho de pasada a dibujar
  - Altura de vuelo ancho seguro: 670 m — Límite inferior de la AGL

CONDICIONES RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA:
- Para zum 1:2. Diferencial de paralaje: 0.5 píxeles
- Apreciación planimétrica: 0.035 m
- Apreciación altimétrica: 0.056 m (Con pares de fotos alternas)
- Relación B/H: 0.60 (Con pares de fotos alternas)

PARAMETROS:

GSD	AGL	M	Imagen terreno		Superficie cubierta	Base aérea	Intervalo pasadas	Intervalo disparo
			Avance	Lateral				
0.070	745	18,617	746	994	74	224	597	7.247

ZONA A VOLAR:
- Tipo: Corredor (Valores: Polígono, Corredor)
- Eje largo: 3,600,000 m
- Eje corto: 200 m
- Número de pasadas: 1
- Fotos longitud zona: 16095

EQUIVALENCIA VUELO ANALÓGICO:

M	≅
2,500	26
5,000	14
8,000	9
16,000	4

PLAN DE VUELO: LIDAR

SIGLA
Sistemas de Información Geográfica de Latino América S.A.S

Proyecto: 304_PolitecnicoColombiano_SI-2023-1026
Lugar: Colombia

SGR: WGS84 — EPSG
Proyección: UTM 18N — 0

ESCÁNER: RIEGL VQ-580II

PRR kHz	Alcance máximo		Máx. AGL	Máx. AGL	Dist. sin ambigüed.
	ρ ≥ 20%	ρ ≥ 60%	ρ ≥ 20%	ρ ≥ 60%	
150	1,850	2,850	1,350	2100	1,000
300	1,350	2,150	1,000	1600	500
600	1,000	1,600	750	1200	250
1200	750	1,200	550	900	125
2000	550	950	400	700	75

Densidad LIDAR: 10.0 puntos/m2
Ancho efectivo barrido: 597 m
Prec. est. roll, pitch: 0.15 °
Prec. est. heading: 0.40 °
Errores LIDAR (1σ):
Borde de pasada Eh: 1.59 m
Borde pas. efectiva Eh: 0.00 m
Centro de pasada Eh: 0.05 m
Ev: 0.02 m

- AGL: 745 m
- Dist. extremo: 939 m
- Vel. aeronave: 60 nudos 111 km/h
- FOV: 75 ° (+37,5° / -37,5°)
- PRR: 600 kHz
- Increm. ángulo: 0.030 ° — Dif. Res.: 0.141 °
- Ancho barrido: 1143 m
- Solape ejes: 48%

- Puntos por línea: 2,466 puntos
- Intervalo extremo: 0.5 m
- Intervalo nadir: 0.4 m
- Velocidad barrido: 122 líneas/s
- Distancia líneas: 0.25 m
- Divergencia rayo: 0.3 mrad
- Huella nadir: 0.22 m
- Máxima AGL: 900 m

Cambiar la altura de vuelo sólo cambia la resolución de la línea
Cambiar la velocidad sólo cambia la separación entre líneas
Cambiar el incremento de ángulo cambia resolución y separación
El incremento de ángulo debe estar entre los 0,003º y los 0,36º
Tener en cuenta que el número de líneas por segundo admitido por este modelo es entre 10 y 150
Ángulo LIDAR: 75 ° cross FD
Ángulo CÁMARA: 67.5 ° cross FD
Ángulo CÁMARA: 53.2 ° FD

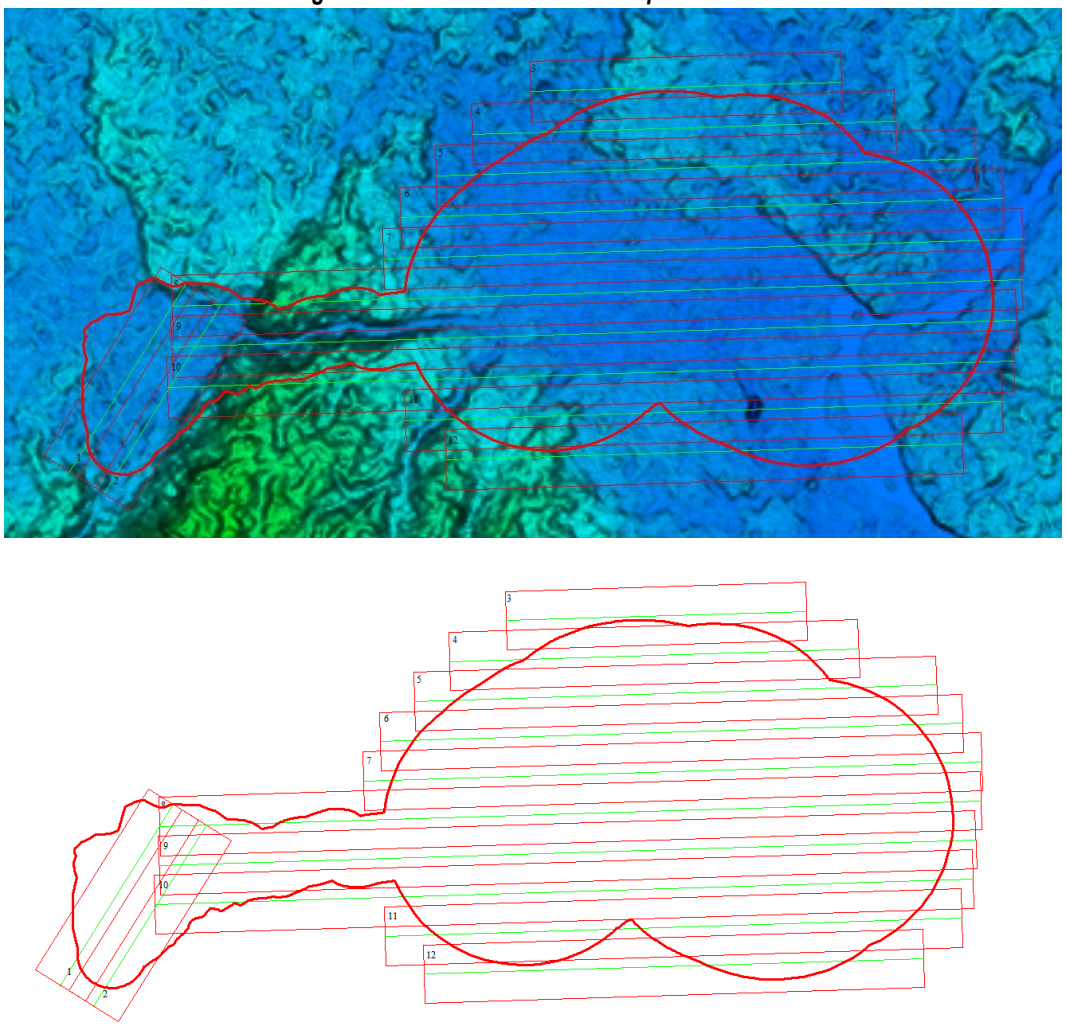
Fuente: Elaboración Propia

5.3. CONTROL DE CALIDAD DEL VUELO PLANIFICADO

Tras realizar la planificación, ésta se sometió a un exhaustivo control de calidad para garantizar que se cumplan las características geométricas exigidas. En este proceso las líneas de vuelo planificadas son proyectados sobre un Modelo Digital de Elevaciones Global (SRTM *Shuttle Radar Topography Mission*), obteniendo una base de datos con información alfanumérica y un gráfico CAD que permite realizar un análisis visual de la planificación. La base de datos ofrece además información de las escalas o resoluciones máximas, media y mínima de cada fotograma y pasada, de los recubrimientos reales entre fotogramas consecutivos y recubrimientos entre pasadas consecutivas. De igual forma, se proyectan las pasadas LIDAR para garantizar los recubrimientos laterales y que no se exceden los límites de variación de cota para garantizar la densidad media y el registro continuo de pulsos.

A partir del análisis conjunto de la base de datos y del gráfico de huellas se determinó el grado de aptitud de la planificación, procediendo, en su caso, a realizar las modificaciones necesarias.

Figura 12. Gráfico líneas de vuelo planificadas



Fuente: Elaboración Propia

5.4. SELECCIÓN DE LA AERONAVE A UTILIZAR

Debido a la orografía y condiciones de relieve encontradas, la aeronave seleccionada para la captura de información fue el Helicóptero Huges 500, este helicóptero cuenta con todos los requisitos exigidos para el montaje de Sensores Remotos debidamente aprobadas.

Figura 13. Montaje aeronave Huges 500



Fuente: Elaboración Propia

5.5. ENVÍO DE LA PLANIFICACIÓN A LA UNIDAD DE VUELOS Y SOLICITUD DE LOS PERMISOS DE VUELO

Una vez sea aceptada la planificación, las trayectorias de las pasadas y las coordenadas de los centros de proyección obtenidas, estas quedan almacenadas en un fichero que se transfiere a la unidad de vuelo e integrado en el sistema de navegación de la Aeronave. Así mismo, en este instante se realizó la gestión para la obtención de los permisos de vuelo, teniendo en cuenta las restricciones civiles y militares aplicables en la zona. Los permisos para la realización de los vuelos fotogramétricos fueron solicitados, enviando la delimitación de la zona de trabajo, fechas de actividad, aeropuertos de despegue y aterrizaje, aeronaves participantes y datos de la compañía de vuelo.

5.6. MONTAJE E INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Se llevó a cabo el montaje e instalación del sistema Riegl Phase One iXM-RS 150F, LiDAR Riegl VQ 580ii. Esta actividad será realizó por personal técnico de la empresa en instalaciones localizadas en el aeropuerto.

El montaje se realizó en el helicóptero Hughes. En las siguientes imágenes se muestran diversos detalles de la instalación del sistema.

Figura 14. Instalación Phase One iXM-RS 150F, LiDAR Riegl VQ 580ii



Fuente: Elaboración Propia

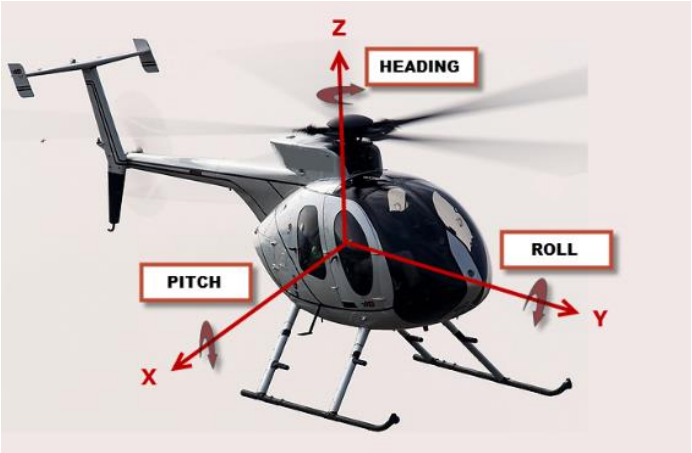
6. TRABAJOS DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA INERCIAL – CÁMARA Y/O TECNOLOGÍA LIDAR

Los parámetros de calibración del sistema inercial se determinaron mediante comparación entre los giros omega, phi y kappa obtenidos del sistema GPS/INS según su orientación nativa y los obtenidos a través de la Aerotriangulación (AT) del vuelo de calibración.

En el caso del sensor LiDAR, se hacen necesarias calibraciones frecuentes, con el fin de corregir la desalineación entre el sensor y el sistema inercial, ya que esta desalineación provoca un registro erróneo de los datos. La desalineación del sistema inercial con respecto a la óptica del escáner es descrita por los parámetros "Roll", "Pitch", "Heading". Además de este desajuste angular, el procedimiento de calibración implica el cálculo de una constante de torsión de rotación del espejo del sensor y una compensación en cota debida a errores electrónicos/mecánicos internos del propio equipo y a la influencia de la atmósfera sobre la trayectoria del haz. La calibración del sensor LiDAR se realizó siguiendo el procedimiento establecido por el fabricante del sistema (RIEGL).

Para garantizar la calidad de los parámetros de orientación externa, se realiza de forma periódica y siempre después de la manipulación de la cámara/LiDAR, una calibración del sistema inercial.

Figura 2. Diagrama giros de la aeronave



Fuente: Elaboración Propia

Mediante el vuelo de calibración se calculó la desalineación entre el sistema de coordenadas de la IMU y los ejes de cada sistema. Estos parámetros se obtuvieron mediante la realización de un vuelo de calibración diseñado expresamente para tal propósito, sobre el campo establecido en la zona de trabajo.

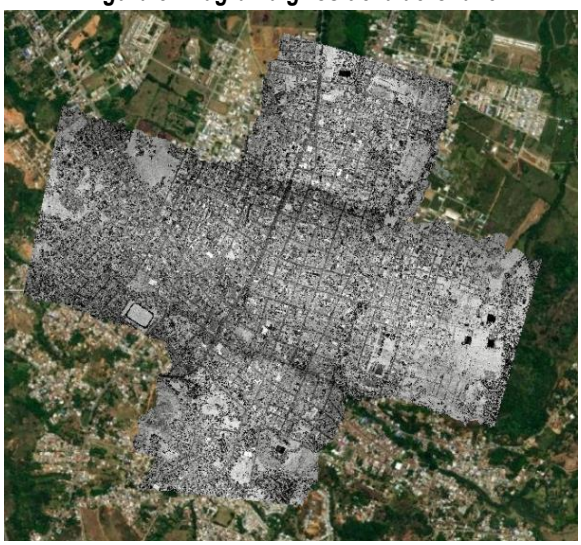
De forma general, se realiza la calibración del sistema inercial para cada combinación cámara/Helicóptero en los siguientes momentos:

- Previa al inicio de los trabajos.
- Después de la manipulación de la Cámara/LiDAR (cambio de Helicóptero, cambio de lentes de la cámara, etc.)
- En el caso de que entre campañas de vuelo haya transcurrido un intervalo de tiempo considerable.
- Al final del trabajo en caso de que se estime oportuno.

Para ejecución del vuelo de calibración, se realizaron cuatro ejes de vuelo. Para cada eje se planifico un eje volado en sentido contrario y un eje perpendicular.

El vuelo de calibración del proyecto fue realizado sobre el municipio de Chía.

Figura 3. Diagrama giros de la aeronave



Fuente: Elaboración Propia

6.1. Cálculo de corrección roll, pitch y Heading

El proceso de ajuste a la calibración se hace mediante el uso del programa MicroStation con el módulo de TerraMatch el cual genera un reporte de alineación inicial el cual es introducido al momento de realizar el proceso de matching de las pasadas individuales.

Figura 4. Mapa de sombras calibración



Fuente: Elaboración Propia

El programa genera TILES para cada una de las líneas de vuelo y encuentra correcciones individuales a cada una buscando la mejor solución posible.

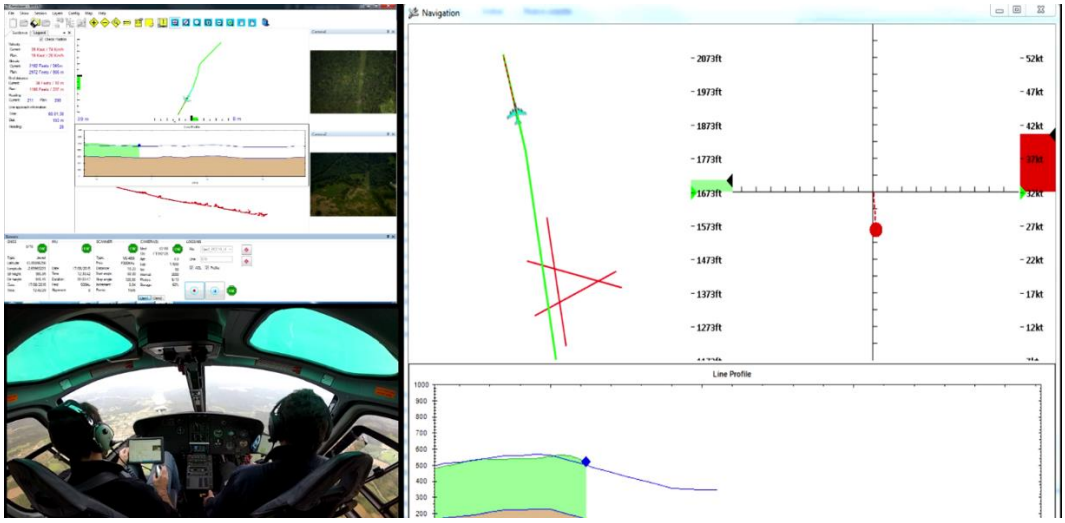
7. EJECUCIÓN DEL VUELO

En este apartado se presenta de forma esquemática el procedimiento seguido en la ejecución del vuelo fotogramétrico realizado.

7.1. RECEPCIÓN DE PLANIFICACIÓN DEPARTAMENTOS DE VUELOS

Posterior a un último control de calidad de la planificación realizada, el jefe de proyectos envió la planificación y los permisos necesarios al departamento de vuelos, allí los planes de vuelo fueron integrados tanto en el sistema de navegación del Helicóptero como en los sistemas de control de la cámara fotogramétrica y LiDAR, quedando disponibles para el momento de ejecución del vuelo.

Figura 15. Integración de planificaciones al sistema de navegación de la aeronave



Fuente: Elaboración Propia

7.2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Dado que la meteorología constituye un factor condicionante, esta fue constantemente analizada con el fin de realizar las operaciones de vuelo en condiciones meteorológicas óptimas para la realización de vuelos fotogramétricos, es decir: Cielo limpio, ausencia de vientos fuertes, ausencia de nubes, brumas, sombras, humo o cualquier elemento que pudiera afectar la calidad radiométrica de las fotografías.

Las incidencias detectadas durante el vuelo son reportadas al jefe de proyectos, quien se encarga de tomar las medidas pertinentes. Durante varios días se presentaron condiciones climáticas adversas que ocasionaron retrasos en la planificación del proyecto.

7.3. COMPROBACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y SISTEMAS

Antes de comenzar cada misión de vuelo se realizan una serie de comprobaciones para garantizar la exitosa realización de los trabajos de captura. Es necesario comprobar que se dispone de toda la información necesaria (Bases de datos de planificación, permisos de vuelo en regla, etc.) y el correcto estado de los equipos fotogramétricos (Cámara y/o LiDAR, Sistemas GPS/INS, IMU, etc.). Así mismo, para garantizar la seguridad del equipo humano encargado de realizar el vuelo fotogramétrico se realizó una revisión del buen funcionamiento de los sistemas aeronáuticos previa a cada misión de vuelo.

Durante el vuelo fotogramétrico la tripulación del helicóptero está formada por un piloto y un operador. El operador es el encargado del manejo de la cámara fotogramétrica y el sensor LiDAR, siendo el responsable de comprobar el correcto funcionamiento de todos los sistemas implicados en el vuelo y de anotar en un informe de vuelo cualquier incidencia ocurrida durante el mismo.

Figura 16. Sistema de control en vuelo



Fuente: Elaboración Propia

7.4. REALIZACIÓN DEL VUELO

Una vez verificado el correcto funcionamiento de los sistemas en el Helicóptero y el correcto funcionamiento de las estaciones GPS terrestres, se procedió a la realización del vuelo. En este caso las correcciones propias de la toma fotográfica originadas por la ejecución del vuelo se realizarán mediante la unidad de sincronización y control mediante la Aplicación SIGLALASER MISION. Este sistema se encarga de poner en común las informaciones provenientes tanto de la cámara digital-Laser y los sensores GPS e IMU.

En vuelos combinados (LiDAR-Cámara fotogramétrica), el helicóptero dispone sobre el fuselaje de dos antenas GPS bifrecuencia, uno de los sistemas GPS conectado al sistema inercial de la cámara digital y el otro al sistema inercial del sensor LiDAR. Ambos receptores captan información sobre la trayectoria desde el momento en que se conectan los motores del helicóptero hasta que se apagan en el aeropuerto de llegada. El sistema GPS de la cámara digital captura asimismo información sobre los eventos de la toma de imágenes. Adicionalmente, con ambas triadas de parámetros (x,y,z) y (ω,φ,κ), calculadas en post-proceso, se conocen las posiciones de los centros de proyección de las imágenes con gran precisión, en poco tiempo tras el vuelo, del mismo modo se calcula la posición sobre el terreno de cada punto de la nube de puntos LiDAR.

Para garantizar la estabilidad del sistema inercial el Helicóptero permanece parado al menos cinco minutos antes de despegar y después de aterrizar, durante este tiempo el sistema GPS/IMU almacena datos.

Para este proyecto, los giros registrados fueron compensados en vuelo, reduciendo al máximo los efectos de estos sobre la trayectoria seguida por el centro de proyección de la cámara y el sensor LiDAR.

El producto final de la ejecución de la misión de vuelo es el conjunto de imágenes digitales y/o datos brutos LiDAR, fichero de observaciones GPS e IMU y fichero final de la trayectoria seguida por el Helicóptero.

Finalizada la sesión de vuelo se realizó el control de calidad mediante la generación de imágenes de intensidad con las cuales se verifica que el dato adquirido cubre la zona objetivo.

7.5. VOLCADO DE LA INFORMACIÓN

Una vez ejecutada la misión de vuelo, se realizó la descarga de datos. Se obtienen los datos de los sistemas GPS/IMU, datos brutos LiDAR e imágenes brutas. Esto datos son almacenados en discos duros externos, realizando una copia de seguridad adicional para su posterior envío a las oficinas centrales de SIGLA, donde se realizará el procesado de la información.

7.6. ENVÍO DE INFORMACIÓN A OFICINA

Finalizada cada misión de vuelo, la información capturada fue enviada a gabinete para su procesamiento. Dicha información está compuesta por:

- Rawdatas. Datos brutos formato 3FR y IIQ captados por la cámara digital.
- RawLaser. Datos brutos captados con el sistema LiDAR en sistema UTM Zona 18 Norte
- Base de datos de vuelo (Incluye información sobre el momento de captura de cada imagen, coordenadas de navegación, etc.).
- Datos inerciales GPS/IMU de la cámara digital y del sistema LiDAR.
- Informe de incidencias detectadas por el operador durante el vuelo.
- Thumbnails (Imágenes miniatura de baja resolución).

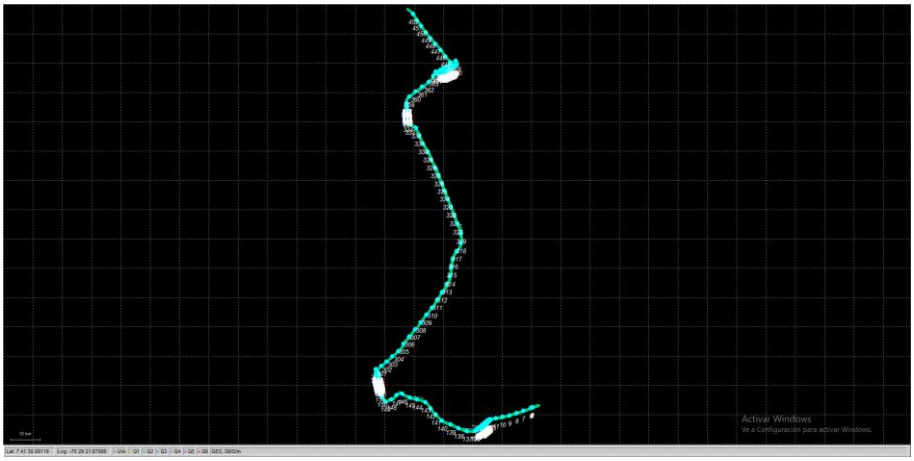
7.7. CONTROL DE CALIDAD DE CADA MISIÓN DE VUELO EJECUTADO

Al finalizar cada jornada de vuelo se ha realizado un control de calidad, comprobando la integridad de la información capturada durante cada día y sesión de vuelo. En este control se analizaron:

- Integridad de los ficheros de imágenes: comprobando la correcta adquisición de las imágenes, verificando el número de imágenes capturadas y su correspondencia con el número de disparos realizados durante el vuelo.
- Integridad de los datos brutos LiDAR:
    - Se realizó una comparación entre el vuelo ejecutado contra la planificación, a partir del fichero *.txt generado por la unidad de control.
    - Se analizó la correcta estructura de almacenamiento de datos: una carpeta por cada una de las pasadas registradas secuencialmente.
    - Se hizo una comprobación análoga para los datos inerciales asociados al instrumento LiDAR.
    - Número de satélites disponibles durante el vuelo
    - Ángulos respecto de la vertical durante las pasadas
    - Balanceo durante los giros del Helicóptero (Que deben ser inferiores a 20º)
    - Continuidad en la captura GPS/IMU

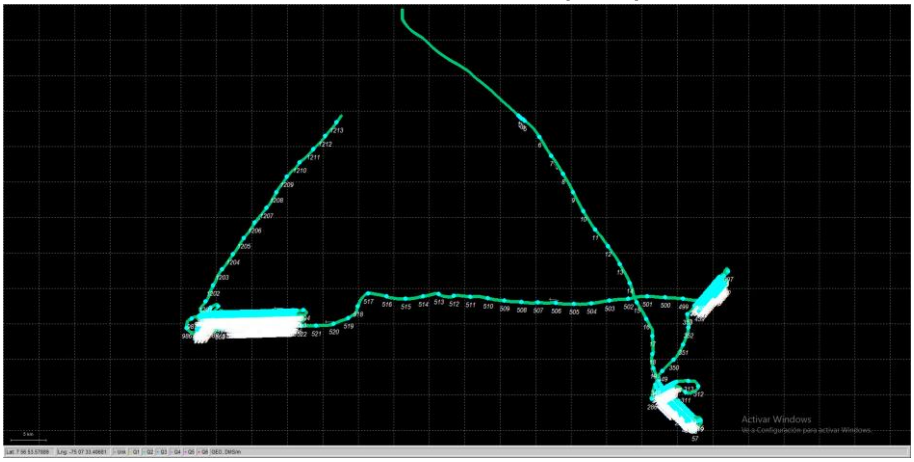
Al recibir de conformidad esta información, el jefe de proyecto realizó una revisión de los informes de vuelo y de las imágenes, analizando las incidencias reportadas comprobando la existencia de problemas en cuanto a nubes, clima, deriva, etc.

Figura 17. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230705 Sesión 1



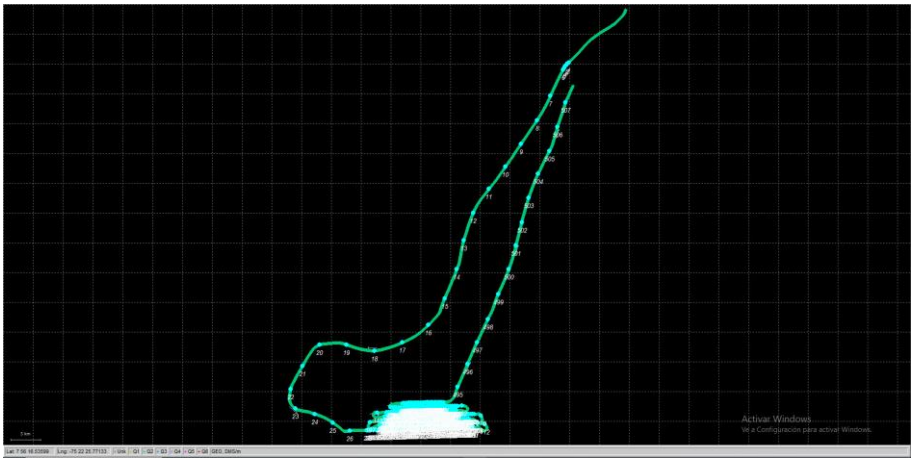
Fuente: Inertial Explorer

Figura 18. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230706 Sesión 1



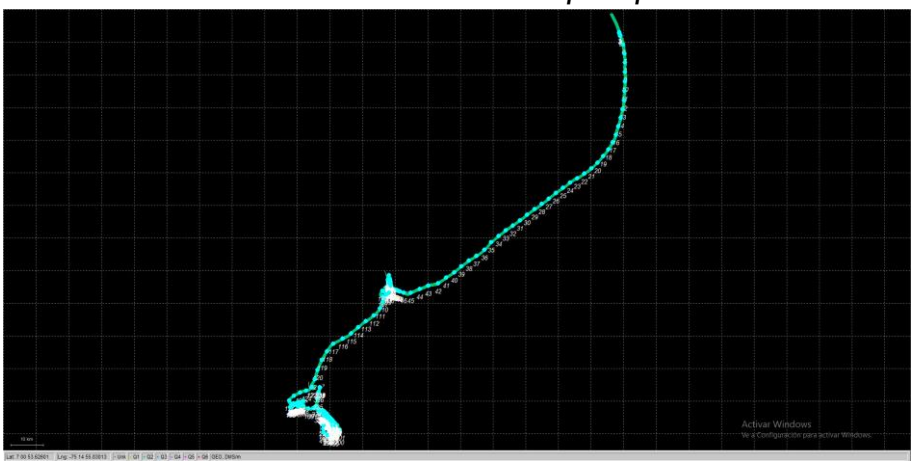
Fuente: Inertial Explorer

Figura 19. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230707 Sesión 1



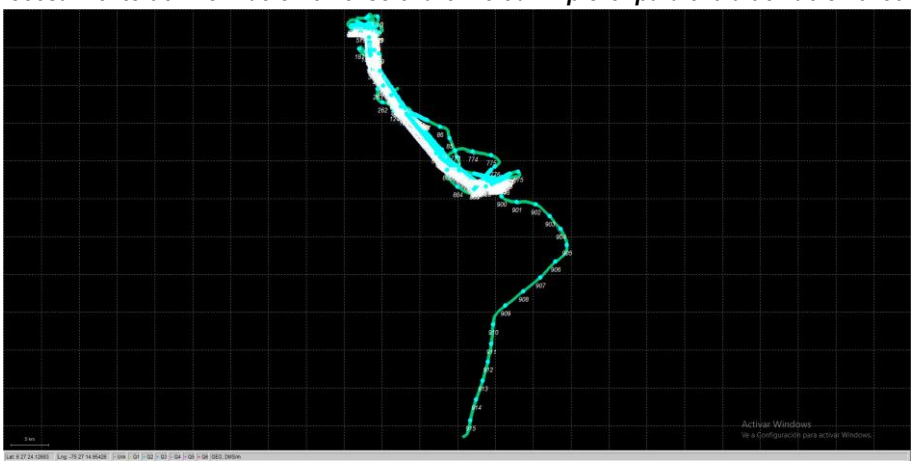
Fuente: Inertial Explorer

Figura 20. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230708 Sesión 1



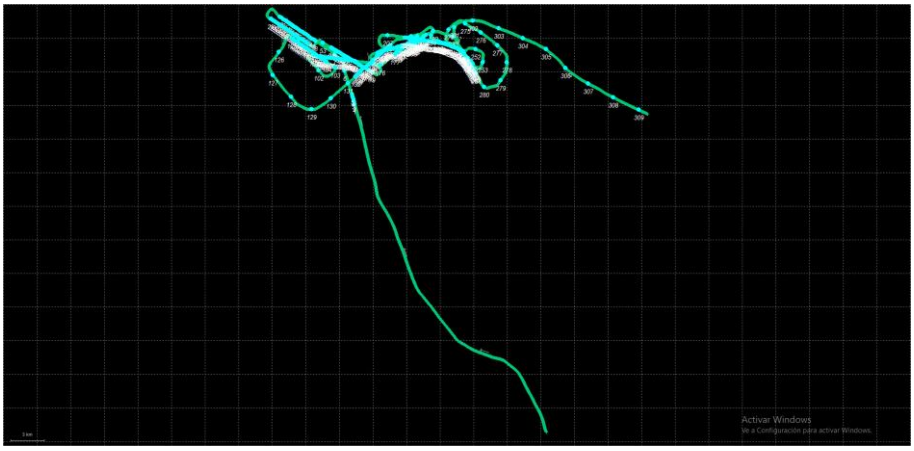
Fuente: Inertial Explorer

Figura 21. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230709 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Figura 22. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230710 Sesión 1



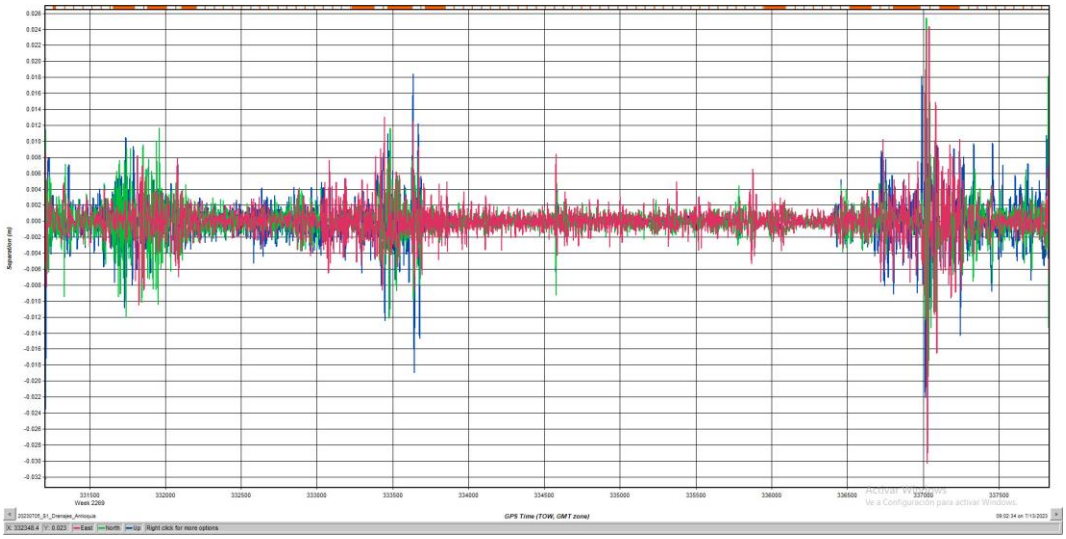
Fuente: Inertial Explorer

El procesamiento geodésico de la información se realizó empleando el método denominado "PPP" (Precise Point Positioning), el uso de esta metodología permite obtener una adecuada precisión posicional de los datos sin contar con información geodésica de estaciones GNSS o puntos de control en terreno preliminares.

Los resultados del cálculo GPS/INS fueron sometidos a un control de calidad directo mediante la evaluación de las precisiones resultantes, garantizando precisiones inferiores a 10 cm (X, Y, Z)

El siguiente gráfico muestra el error medio cuadrático posicional en las coordenadas X, Y, Z de la información geodésica del vuelo al ser procesado con PPP.

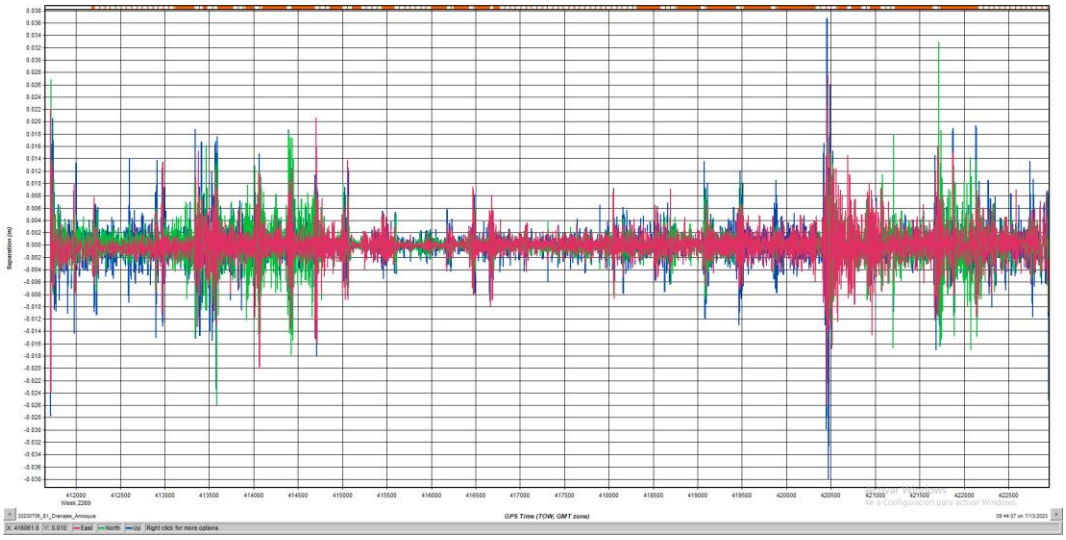
Figura 23.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230705 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de 0.010m en X (coordenadas Este), 0.012m en Y (coordenadas Norte) y de 0.011m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

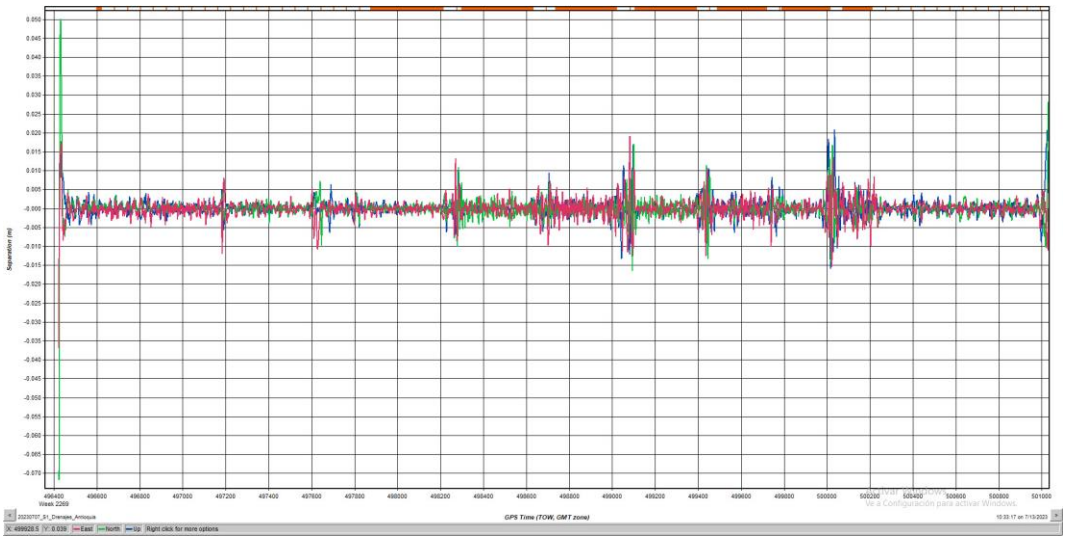
Figura 24.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230706 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de 0.015m en X (coordenadas Este), -0.017m en Y (coordenadas Norte) y de 0.019m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

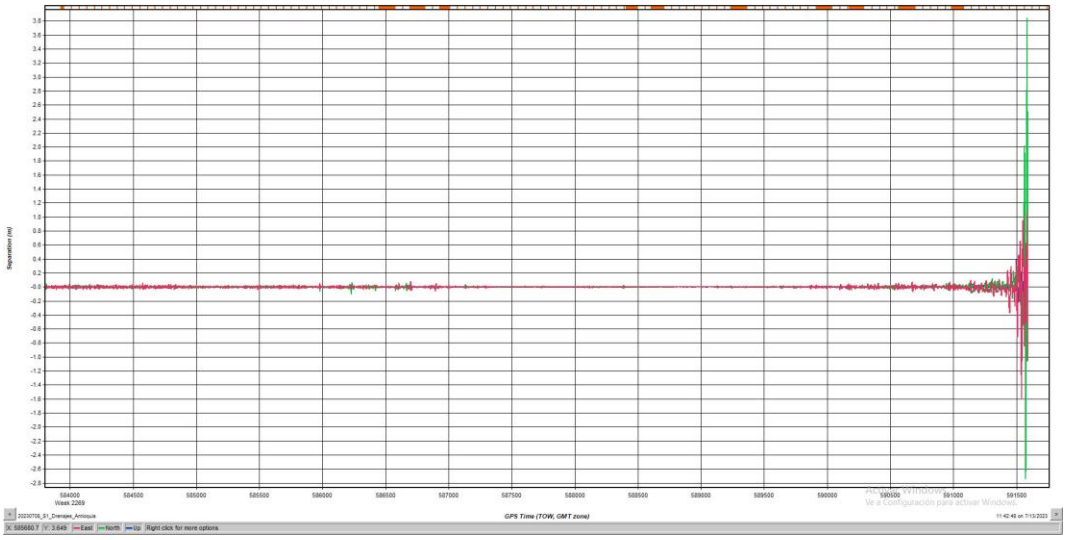
Figura 25.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230707 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de --0.010m en X (coordenadas Este), 0.006m en Y (coordenadas Norte) y de 0.007m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

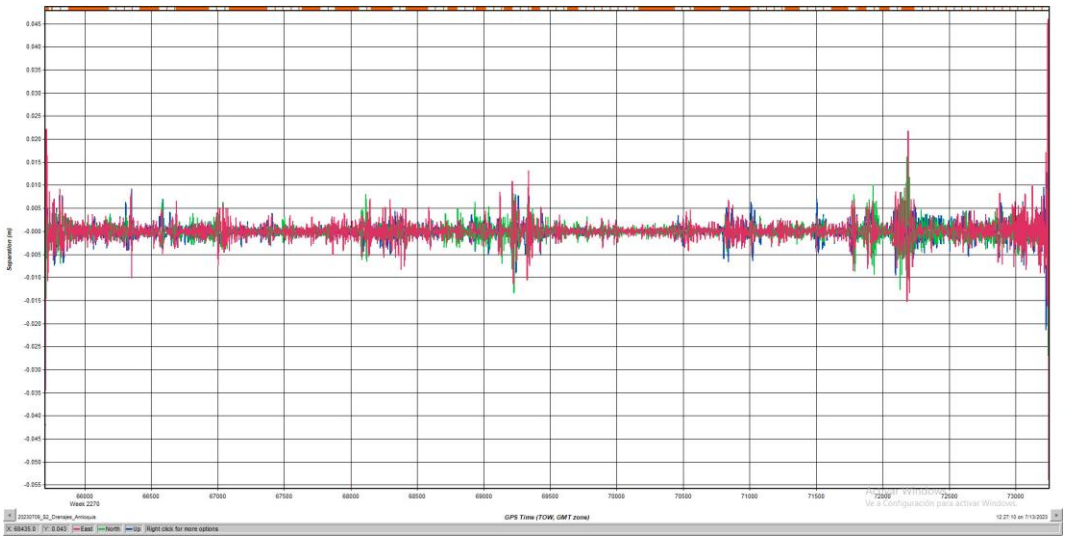
Figura 26.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230708 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de 0.005m en X (coordenadas Este), 0.003m en Y (coordenadas Norte) y de -0.005m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

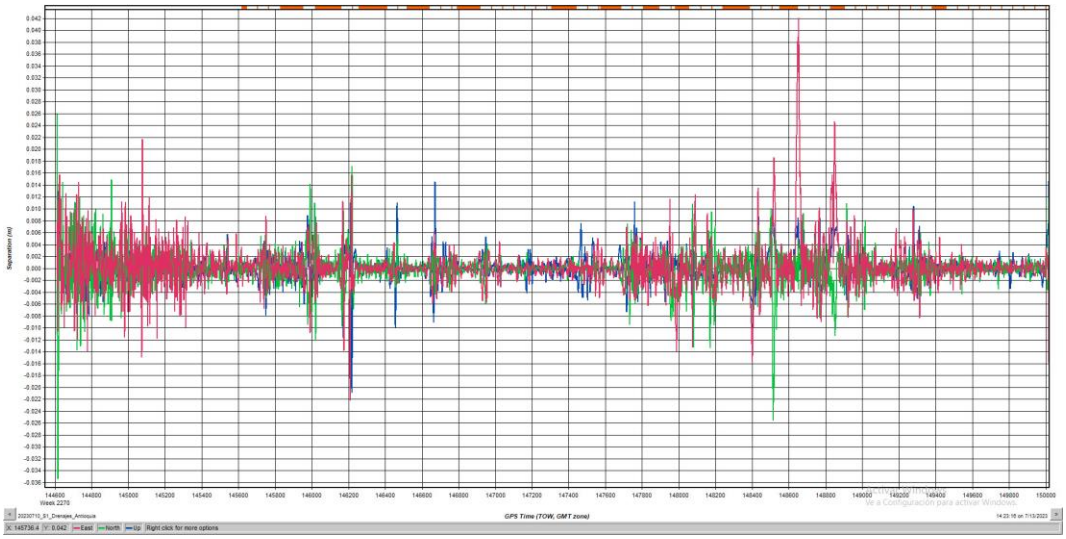
Figura 27.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230709 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de 0.022m en X (coordenadas Este), 0.01m en Y (coordenadas Norte) y de 0.011m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

Figura 28.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Los errores máximos encontrados el día 20230710 Sesión 1 durante todo el periodo del vuelo fueron de 0.025m en X (coordenadas Este), -0.011m en Y (coordenadas Norte) y de 0.007m en Z (Altura) en momentos de ocupación.

El PDOP (Posicional Diluvian of Precision) hace referencia a la configuración geométrica de los satélites en el momento de la captura de los datos por la antena del receptor GNSS en el helicóptero. Si este error se encuentra por debajo de 4 se considera un dato confiable.

Para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.48

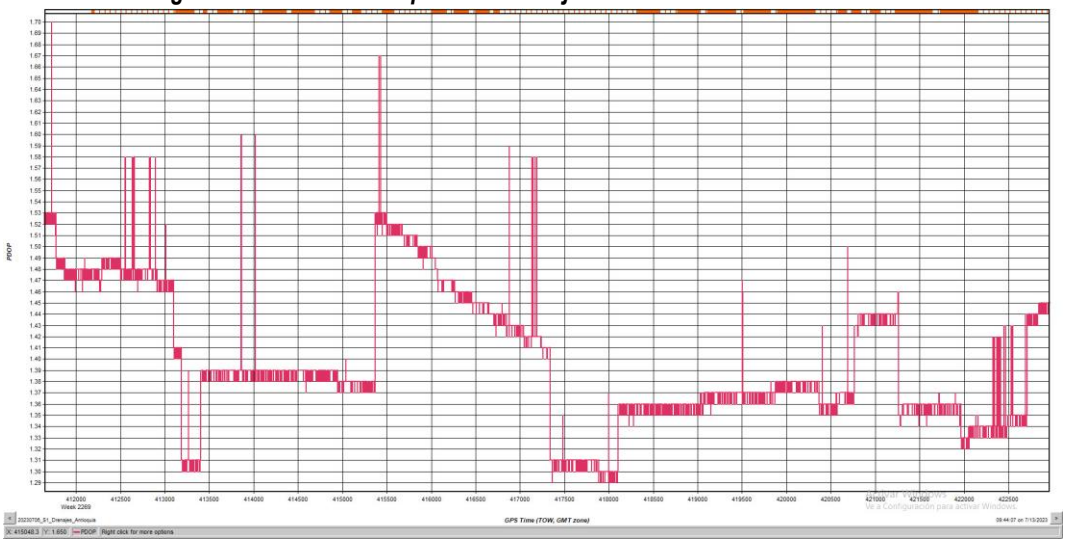
Figura 29. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.53

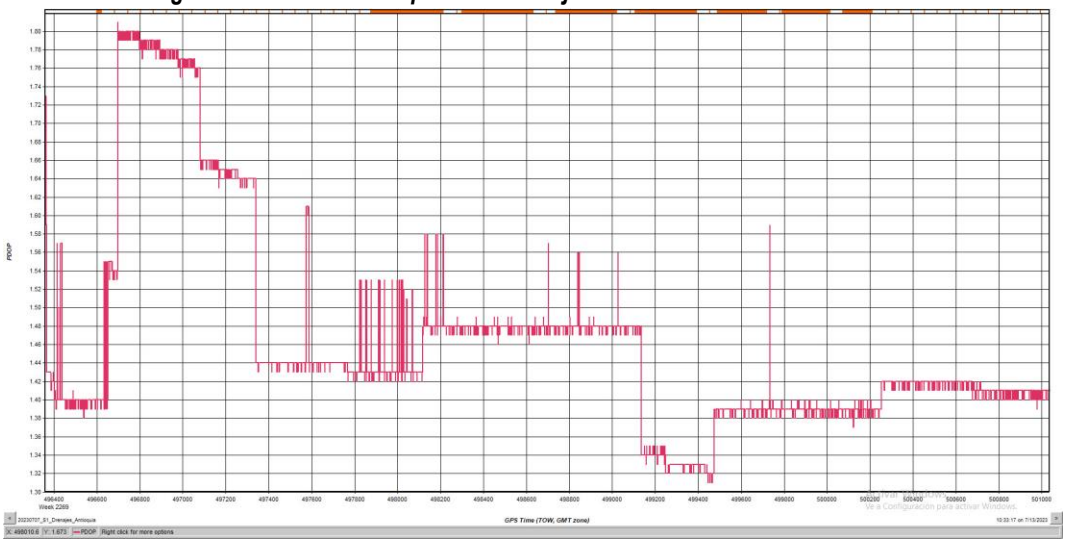
Figura 30. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.58

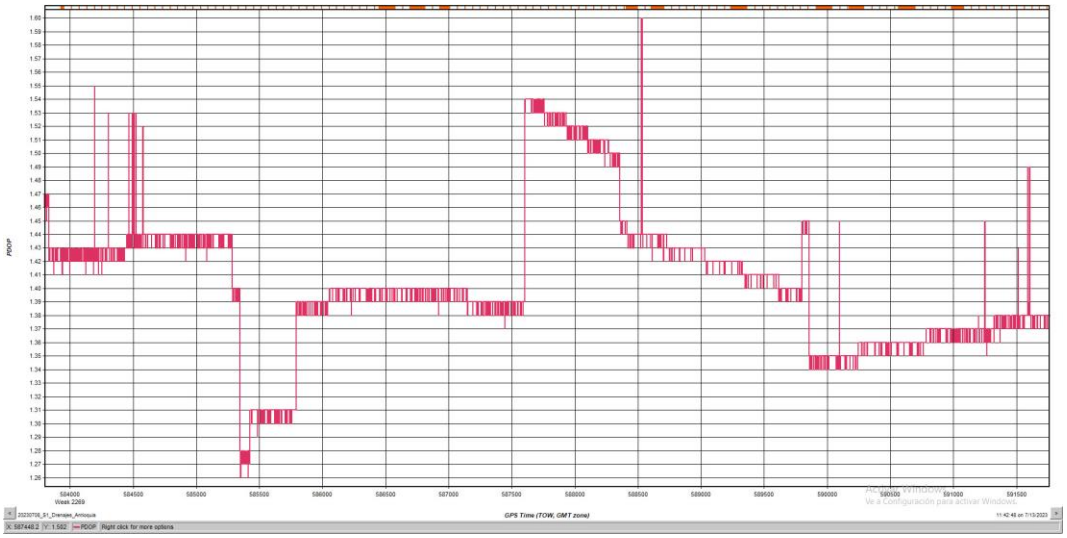
Figura 31. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.44

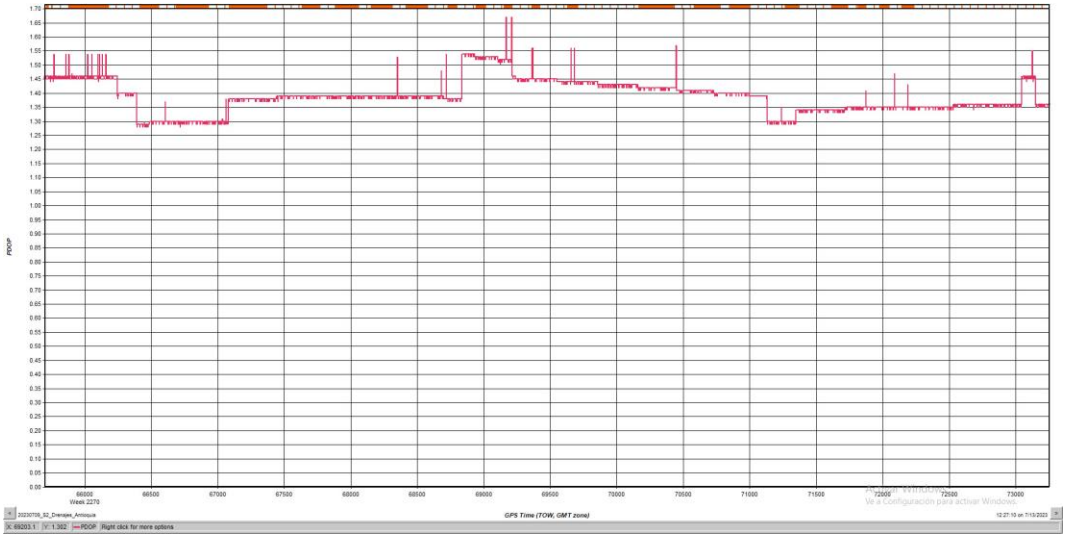
Figura 32. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.53

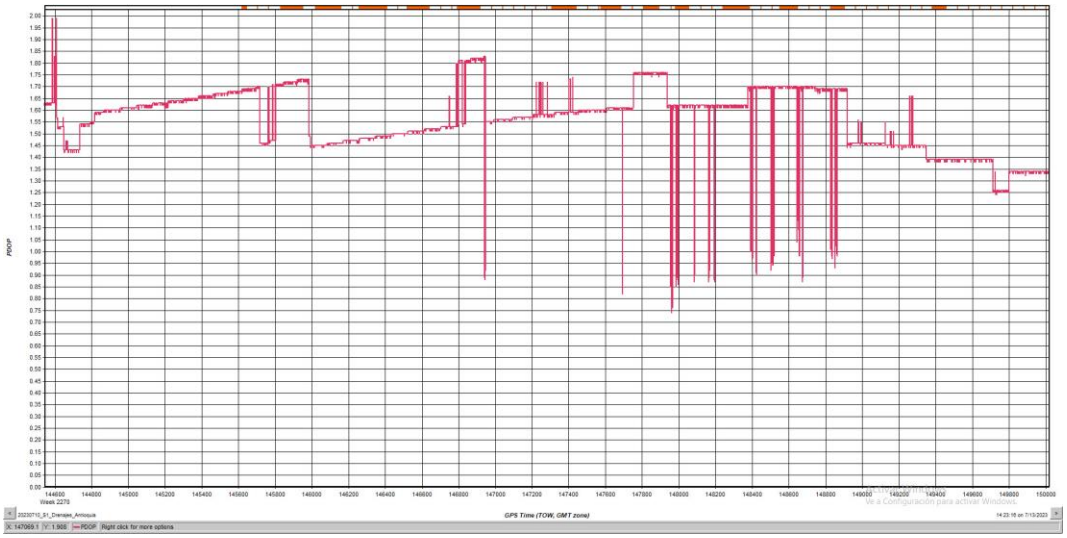
Figura 33. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 el PDOP máximo que se obtuvo fue de 1.82

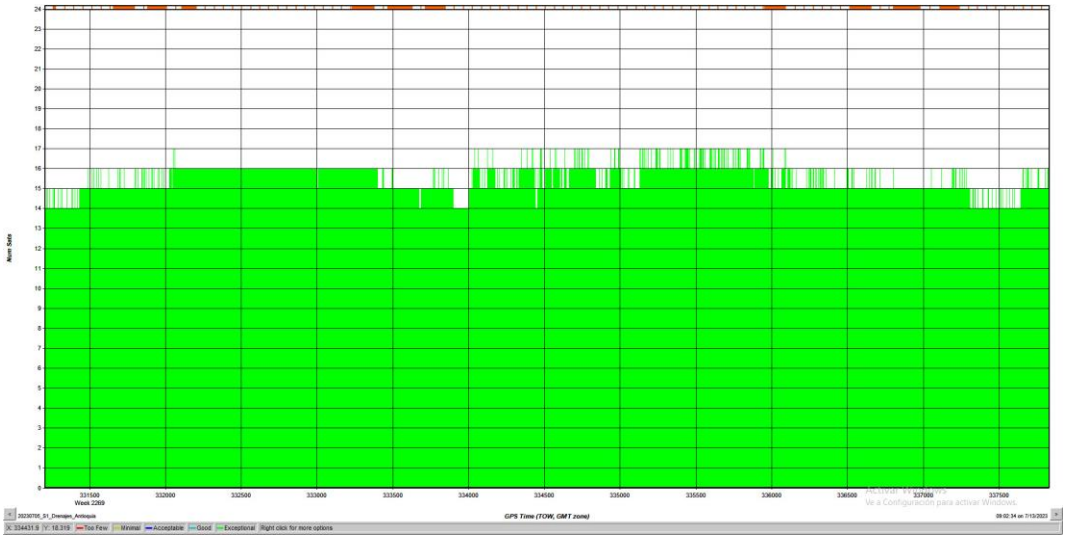
Figura 34. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230705 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 15, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

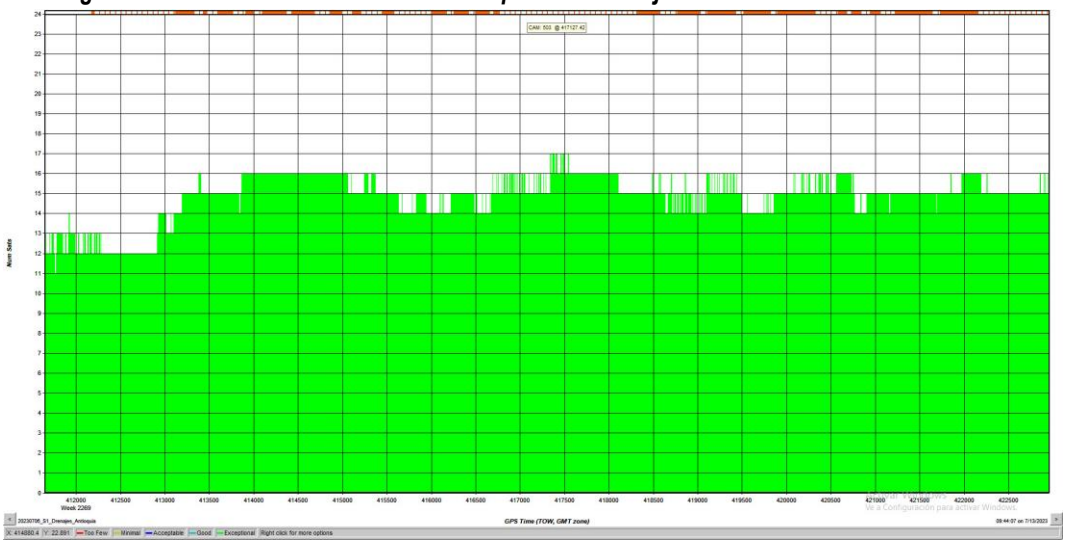
Figura 35. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230706 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 14, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

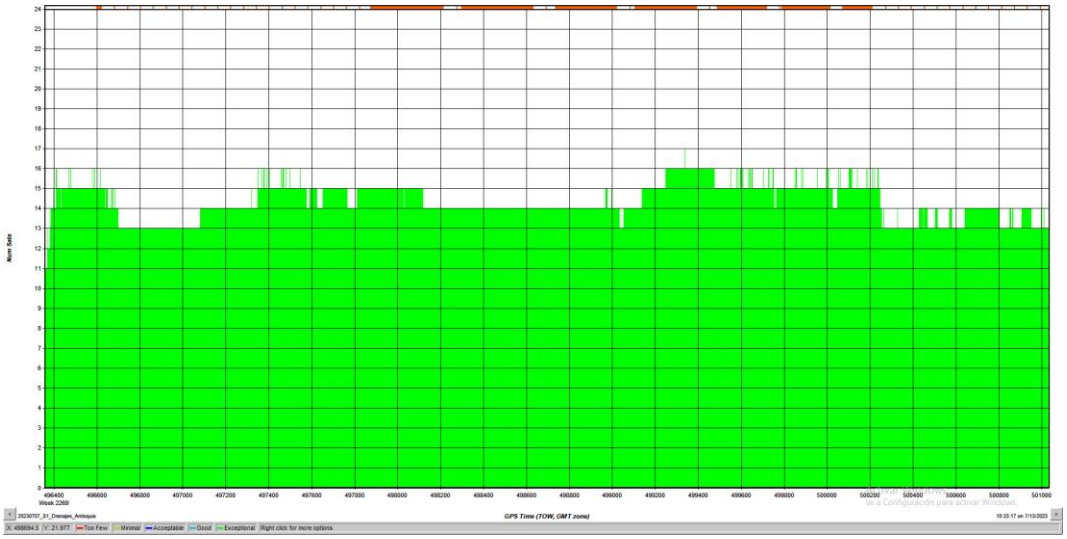
Figura 36. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230707 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 14, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

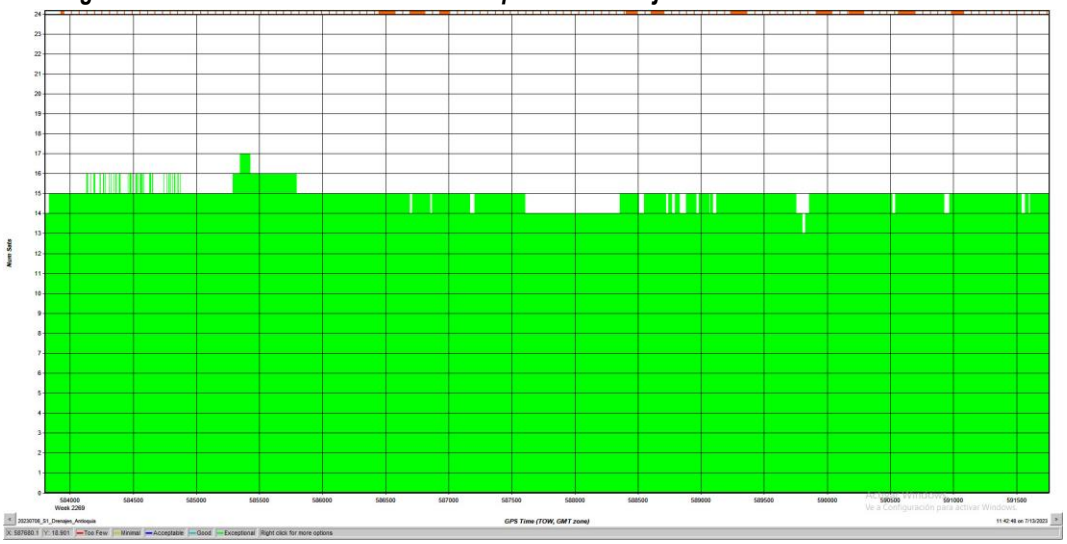
Figura 37. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230708 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 15, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

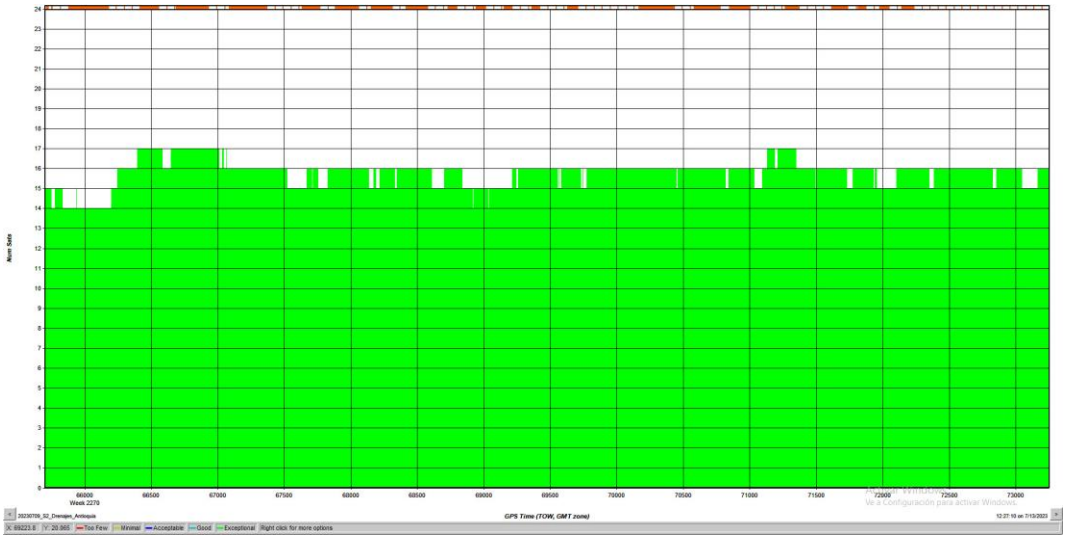
Figura 38. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230708 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 15, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

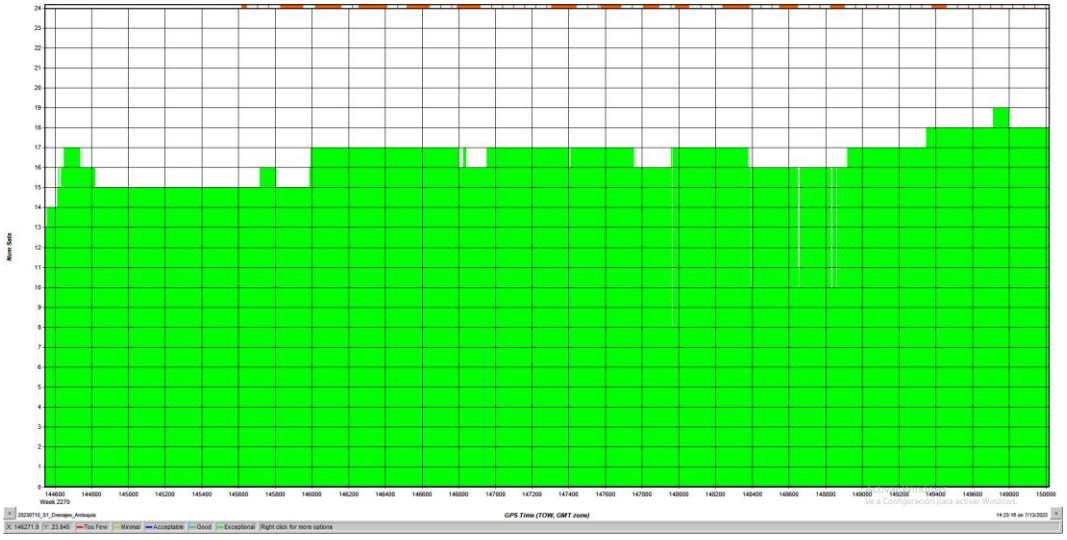
Figura 39. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Para el vuelo ejecutado el 20230710 Sesión 1 el número mínimo de satélites observados por el sensor GNSS en algún momento del vuelo fue de 16, lo cual proporciona información suficiente para los cálculos de coordenadas.

Figura 40. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

8. POST – PROCESO DE LOS DATOS LIDAR

La información LiDAR registrada para misión de vuelo se compone de:

- Raw Laser: datos brutos procedentes del sensor en sistema WGS84.1.
- Datos inerciales (GPS-IMU), procedentes del sistema inercial.

El postproceso de los datos brutos de sensor procedentes de vuelo se realizó a partir del software RI Process de la casa RIEGL.

Los ficheros que formaron parte del cálculo son:

- Configuración del ajuste del sensor, este fichero proviene de la calibración previa al inicio del proyecto y contiene toda la información referente a los giros (Roll, Pitch, Heading), constante de Torsión, corrección de rango, compensación en altura, ángulo de corrección del escáner y parámetros de temperatura y presión.
- Fichero solución procedente del cálculo de trayectoria DGPS/IMU.
- SDCLaser, datos brutos procedentes del sensor en formato *.sdc (scanning), estos datos vienen almacenados de forma secuencial y organizados en carpetas. Cada una de estas carpetas contienen todos los ficheros correspondientes a cada línea de vuelo escaneada.

Para procesar los datos brutos a partir de la solución obtenida de la trayectoria, se definio previamente el sistema de proyección sobre el que queremos obtener los datos proyectados.

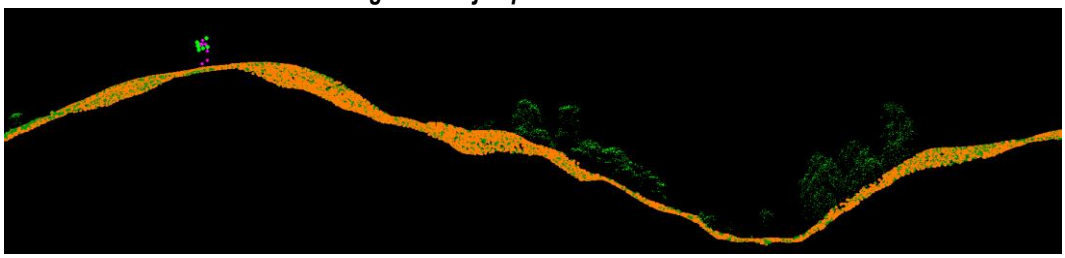
Del procesado de datos, se obtienen ficheros binarios en formato *.LAS (Laser Airborne Scanner), los cuales contienen información referente a coordenadas planimétricas y altimétricas, intensidad, número e información de retorno, ángulo de escaneo y marca de tiempo de cada uno de los puntos.

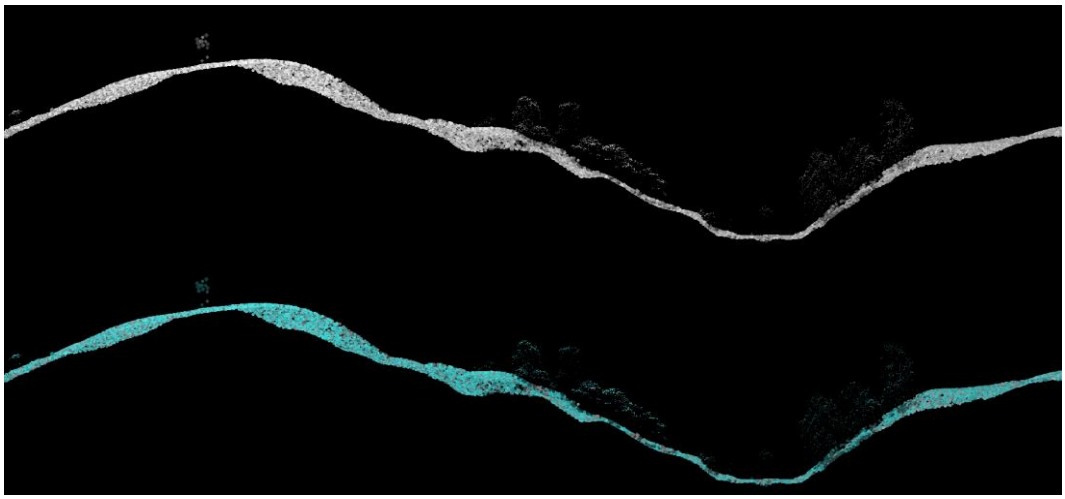
8.1. EDICIÓN DE DATOS LIDAR.

Previo a la edición de los datos LiDAR se llevó a cabo un análisis las pasadas o flightlines capturadas, con el fin de asegurar que estos cumplen las características y condiciones mínimas del proyecto tales como la cobertura y densidad de puntos. Para ello se visualizaron todos los puntos por línea de vuelo y se comprueba la cobertura global sobre el área de trabajo.

Una vez analizados los datos, se generaron un proyecto por bloques que divide la información en tiles o áreas más pequeñas, facilitando de esta manera el proceso de edición y generación de productos finales.

Figura 41. Ejemplo dato del terreno





Fuente: MicroStation

8.2. AJUSTE AL TERRENO DE LOS DATOS LIDAR

El proceso de ajuste de las pasadas LiDAR se realizó mediante el programa BayesMap - Strip Alignment. El programa Strip Alignment es una herramienta que permite realizar el ajuste de las pasadas LiDAR, comparando las zonas con traslapo de información y corrigiendo las diferencias encontradas haciendo uso de una parametrización rigurosa basado en el tiempo de captura.

En el proceso de ajuste se corrigen errores geométricos relativos y absolutos, así como las discrepancias entre las fajas debido a la posición de la IMU y errores posiciónales. Las correcciones individuales se combinan de manera óptima minimizando los errores relativos como absolutos.

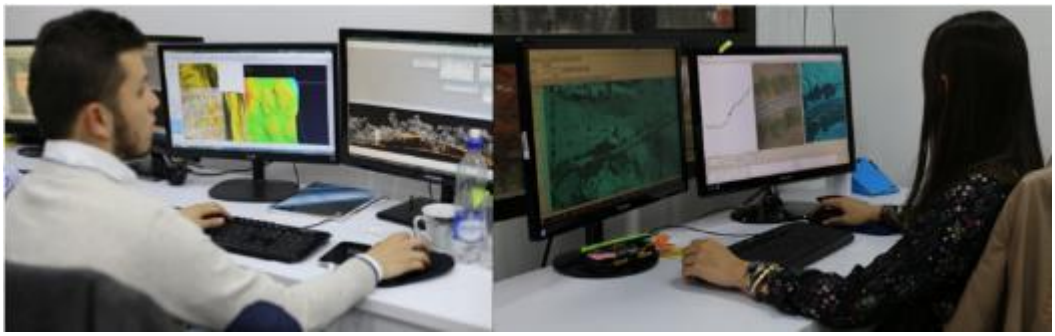
El algoritmo de corrección hace uso de todos los retornos, filtrando valores atípicos permitiendo hacer uso de la mayor cantidad de información disponible que permita comparar y corregir los errores. La trayectoria y la posición se ajustan para cada una de las líneas de vuelo compensando las ambigüedades de la IMU, siendo posible a través de la comparación de nubes de puntos densas en las zonas de solape.

8.3. CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS LIDAR

Para la clasificación automática inicial de los puntos LiDAR fue necesario definir rutinas de búsqueda de los principales parámetros del relieve, esta labor se realizaó con apoyo del modelo SRTM (Modelo global altimétrico) y de las imágenes de intensidad de los datos LiDAR.

Una vez establecidos los parámetros idóneos para cada una de las zonas del proyecto (zonas llanas, zonas de montaña, zonas urbanas, etc.), diferenciadas según las características orográficas, se procedio con la clasificación automática, de tal forma que se obtenga una clasificación preliminar de los puntos LiDAR, diferenciando entre los que pertenecen al terreno y los que pertenecen a la superficie (Ground y Default)

Figura 42. Estación de trabajo de edición datos LiDAR



Fuente: SIGLA-SAS

La depuración de datos se realizó para cada bloque o tile 500x500 metros en los que se ha dividido la nube de puntos, clasificando los puntos en la capa correspondiente, tanto si el producto a generar es un modelo digital de terreno como si se trata de un modelo digital de superficie.

La lista de clases que intervienen durante la clasificación manual son:

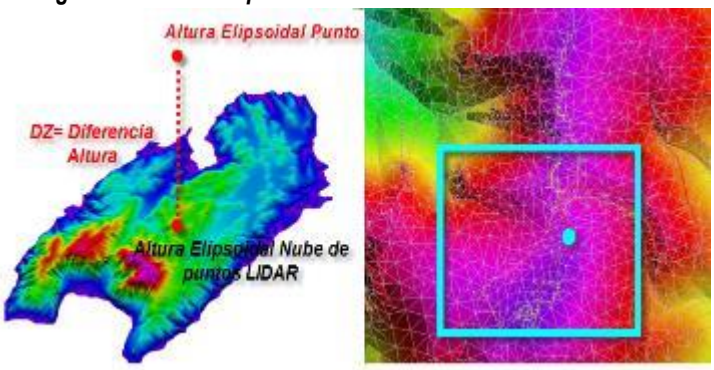
- Default
- Terreno – Ground
- Puentes
- Batimetrias

9. CONTROL DE CALIDAD ALTIMÉTRICO DE LA NUBE DE PUNTOS LIDAR.

Una vez editados los datos en formato *.las, se realizó un control de cota de la nube de puntos generada con la ayuda de puntos de control de la Red geodésica local levantada en campo.

El control altimétrico consiste en analizar las diferencias entre puntos con coordenadas planimétricas y altimétricas de la RED con los puntos de la nube LiDAR.

Figura 43.Gráfico explicativo método Control de cota LiDAR



Fuente: Elaboración Propia

Es necesario resaltar que para realizar el control de cotas altimétrico entre la información fotogramétrica en altura elipsoidal Vs. la nube de puntos LiDAR, es necesario descontar la altura del elemento dado que este control se realiza comparando la cota del terreno de la nube de puntos Vs la proyección de la cota al terreno de la topografía de campo.

Figura 44. Ejemplo de los levantamientos mediante topografía convencional

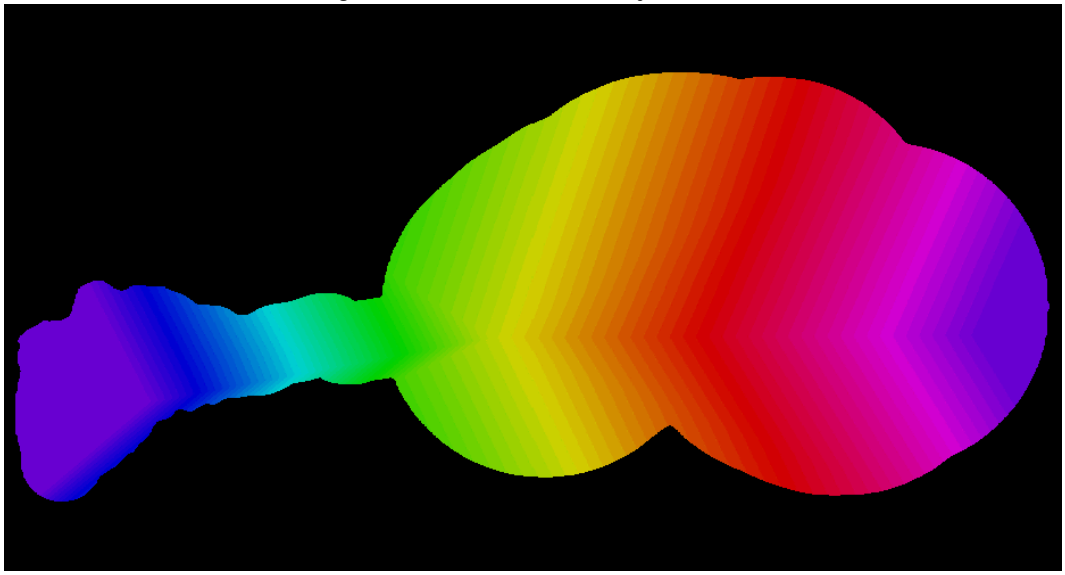


Fuente: SIGLA-SAS

9.1. CALCULO DEL MODELO DE AJUSTE LOCAL DE ONDULACIÓN.

Posterior al análisis de la información y de realizar el Control de Cotas de la nube de puntos en cota elipsoidal vs la cota geométrica, se realizó el Cálculo de la Ondulación (diferencias entre la altura Elipsoidal y Local) a partir de las mediciones realizadas por las actividades de topografía convencional.

Figura 45. Gráfico Modelo de Ajuste local



Fuente: Elaboración Propia

A partir de estas diferencias, se realizó un modelo de ajuste local a cota. La metodología de ajuste a cota local se basa en aplicar el modelo de ajuste a cota local con las alturas procesadas en la red topográfica,

obteniendo de esta manera una nube de puntos LiDAR en altura local consistente con la red levantada en campo.

Tabla 6. Tabla de Coordenadas de la RED Geodésica

PROYECTO CUENCAS POLITECNICO											
	GEODÉSICAS MAGNA SIRGAS		MAGNA SIRGAS ORIGEN CENTRAL		PLANAS ORIGEN NACIONAL					AJUSTES_EN COTA	
ID	lat	lon	X	Y	X	Y	Z elip	Z Geom	Altura mojon/placa	Zelip_terreno	ZGeom_terreno
Delta01	7°34'57.02295"N	75°24'8.63756"W	853782.218	1330469.773	4735025.790	2396591.230	107.117	96.419	0.000	107.117	96.419
Delta02	7°34'49.2609"N	75°25'54.13109"W	850546.871	1330241.235	4731790.501	2396370.771	107.106	96.133	0.000	107.106	96.133
Delta03	7°34'30.46547"N	75°26'26.3365"W	849557.576	1329666.762	4730799.965	2395798.861	111.717	100.584	0.000	111.717	100.584
Delta04	7°34'59.15287"N	75°20'54.0046"W	859750.075	1330517.380	4740992.530	2396624.004	103.080	92.819	0.000	103.080	92.819

Fuente: Elaboración Propia

9.2. CONTROL DE COTAS CON AJUSTE A COTA GEOMETRICA

Tras realizar el modelo de ajuste a cota local según la topografía levantada en campo y con el objetivo de determinar la bondad del modelo de ajuste local realizado, se ejecuta el control de cotas ortométrico, comparando la nube de puntos LiDAR ajustada al modelo de alturas local con las coordenadas de la Red.

Tabla 7. Tabla estadística resultado del control de cotas Ortométrica

Average dz	-0.019
Minimum dz	-0.043
Maximum dz	0.001
Average magnitude	0.019
Root mean square	0.026
Std deviation	0.022

Fuente: Elaboración Propia

Posterior al ajuste cota Ortométrica del dato LiDAR se obtuvo que las diferencias promedio comparado con levantamiento topográfico convencional son de -0.019m con diferencias máximas entre 0.001m y -0.043m. Lo cual demuestra que el dato se encuentra correctamente en posición y altura.

10. POST – PROCESO DE IMÁGENES DIGITALES.

El post-proceso de imágenes consiste en la normalización y corrección de las imágenes brutas captadas por el sensor aerotransportado. Mediante el post-proceso, las imágenes se hacen útiles para su posterior explotación. Los procesos que se siguen para tal fin engloban:

- *Correcciones radiométricas: Consiste en la corrección de píxeles defectuosos y en la posterior ecualización del histograma de frecuencias, balanceado y contraste de la imagen.*
- *Correcciones geométricas: Se basan en la corrección de las distorsiones de imagen de cada sensor óptico y la corrección entre el centro geométrico y el centro óptico de cada CCD.*
- *Mosaicado de imágenes: Apoyándose en la búsqueda de puntos homólogos entre imágenes, se consiguen ensamblar las mismas de manera que se obtiene la imagen virtual. Esta imagen virtual es sometida a un nuevo proceso de corrección radiométrica que iguala el brillo y el contraste.*

En este caso, al aplicar a las imágenes los parámetros previos de orientación externa obtenidos por georreferenciación directa se obtendran las imágenes preliminares Fase 1, que no poseen correcciones radiométricas.

El procedimiento de obtención de las imágenes finales requerirá de la realización previa de las paletas de color para ser aplicadas a las imágenes. Para realizar las paletas de color se seleccionaran diferentes imágenes a partir de los thumbnails. Las imágenes seleccionadas seran representativas de toda el área volada durante la misión a procesar.

Antes de procesar todas las imágenes del vuelo, se comprobará que la paleta generada cumple con las especificaciones marcadas en el pliego de prescripciones técnicas. Para ello, se procesarán las imágenes seleccionadas anteriormente (aplicando en este caso las paletas generadas previamente) y una vez procesadas serán sometidas a un control de calidad radiométrico, donde se analizará el histograma comprobando los niveles de saturación, niveles digitales sin representación en la imagen, valores medios del histograma, etc.

10.1. APOYO FOTOGRAMÉTRICO.

La fase de Apoyo Fotogramétrico comprenderá todos los trabajos de planificación, señalización observación y procesado que se requieren para determinar la posición altimétrica y planimétrica de los Puntos de Apoyo (PA) Fotogramétricos, necesarios para la aerotriangulación de los fotogramas obtenidos en el vuelo.

Figura 46.Flujo de trabajo Apoyo en Campo



Fuente: Elaboración Propia

En esta etapa aún no se incluyen puntos extraídos del MDS LIDAR con coordenadas x, y, z de detalles visibles e identificables en el MDS y en las imágenes, actividad que se completó al finalizar la Fase 2 del proyecto.

10.2. AEROTRIANGULACIÓN.

La aerotriangulación es el proceso por el que se obtiene la orientación externa precisa de fotogramas aéreos en el sistema de referencia establecido para el proyecto, materializado por los puntos de apoyo.

La principal ventaja del empleo de técnicas de aerotriangulación es la reducción del número de puntos de apoyo necesarios para orientar un bloque fotogramétrico. Esta necesidad de apoyo, aún se reduce más, si se añaden al cálculo datos GPS/IMU, hasta el extremo que, para ciertos proyectos y aplicaciones, la orientación se puede obtener directamente del sistema inercial.

La combinación de información de partida de gran calidad (imágenes digitales, datos IMU, apoyo) junto con las más avanzadas estaciones digitales fotogramétricas de aerotriangulación del mercado, proporcionan resultados altamente fiables y precisos.

El proceso de aerotriangulación automática se realizó mediante la utilización del software Agisoft PhotoScan.

Figura 47.Flujo de trabajo de Aerotriangulación



Fuente: Elaboración Propia

10.3. PLANIFICACIÓN DE TRABAJOS DE AEROTRIANGULACIÓN.

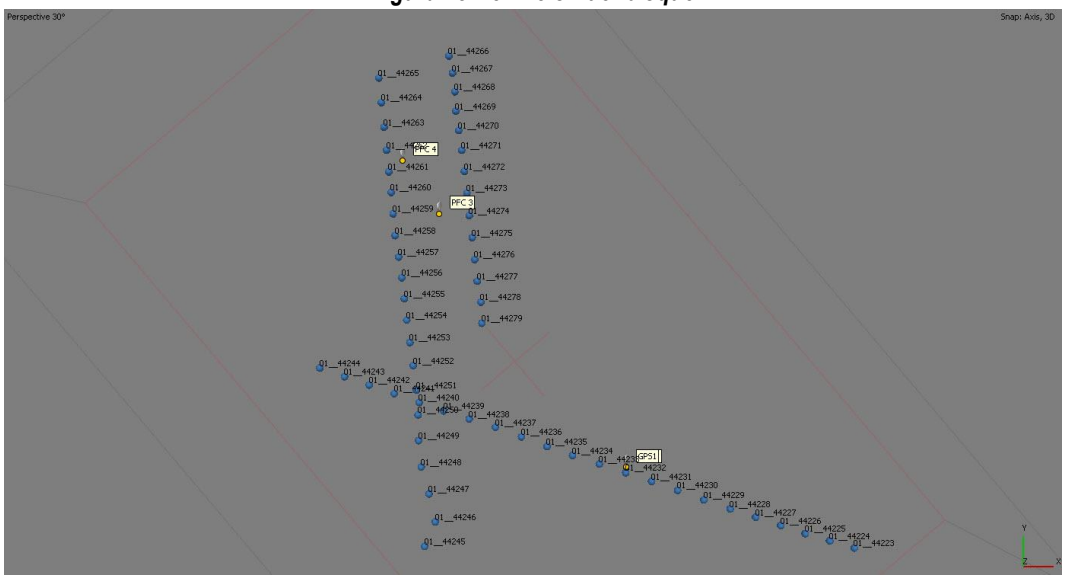
Antes de comenzar con el proceso de cálculo de una aerotriangulación, es preciso establecer una serie de pautas y definiciones que marcan el desarrollo del proceso. La planificación tiene el fin fundamental de asegurar la calidad del producto desde antes que comience su producción hasta que esté terminado, así como diseñar un plan de trabajo tal que garantice, en la medida de los posible, que el producto responde a las necesidades.

En este sentido, la planificación de un trabajo de aerotriangulación, contempla los siguientes aspectos:

- Definición del bloque. Un primer paso es configurar los parámetros generales del bloque de trabajo:
  - Localización y tamaño del bloque.
  - Datos de vuelo: escala o resolución, cámara, GPS, IMU, etc.
  - Número de pasadas y longitud de estas.
  - Situación de pasadas trasversales (en caso de que existan).
  - Indicación del sistema de referencia.
  - Establecimiento de las tolerancias de precisión.

- Localización y características de las imágenes.

Figura 48.Definición del bloque



Fuente: Elaboración Propia

- Elección de la estrategia (modo de correlación, algoritmo de ajuste, etc.) Idónea en relación con las exigencias del contrato. Una vez conocidas las prescripciones técnicas y las características del bloque de aerotriangulación, conviene seleccionar la estrategia de trabajo, entendidas como el conjunto enlazado de soluciones a cada una de las fases de aerotriangulación (modo de orientación interna, método de correlación, algoritmo de ajuste)
- Decisión del software más adecuado para llevar a cabo los pasos configurados por la estrategia. La disponibilidad de varias estaciones de aerotriangulación con software Trimble Inpho y Agisoft PhotoScan, provee una amplia capacidad de solución de trabajos de diferentes naturalezas, lo que permite garantizar, a priori, la correcta ejecución del trabajo.
- Creación de los gráficos de seguimiento del trabajo. Se trata de una herramienta fundamental, tanto en formato digital como en papel, para llevar el control del estado del trabajo y poder localizar e inspeccionar las posibles incidencias.

10.4. EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE AEROTRIANGULACION.

El proceso de la aerotriangulación se realizó tras la finalización del post-procesado y validación de datos GPS/IMU e imágenes. Igualmente será necesario el completar la fase de apoyo fotogramétrico en cada uno de los bloques para comenzar con esta actividad.

La aerotriangulación se realizó por métodos completamente digitales y empleando parámetros de apoyo aerotransportado GPS y/o GPS/IMU, para ello se utilizaron los más modernos equipos y software de aerotriangulación.

10.5. ORIENTACIÓN INTERNA.

En este caso en el que las imágenes proceden de cámara digital, la fase de orientación interna es innecesaria, puesto que la cámara digital posee la ventaja de tener una geometría rígida e idéntica para cada imagen, y carece de errores geométricos debidos a deformaciones de película.

10.6. DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS ENLACE.

La medición y transferencia de puntos de enlace y de paso, se llevó a cabo, en primer lugar, de forma Semi-automática por técnicas de correlación espacial de imágenes. Se deben medir, al menos, nueve áreas por fotograma, coincidiendo las áreas centrales con la posición de los puntos de Von Gruber, y cada una de estas áreas debe contener, al menos, dos puntos de paso o enlace (según corresponda).

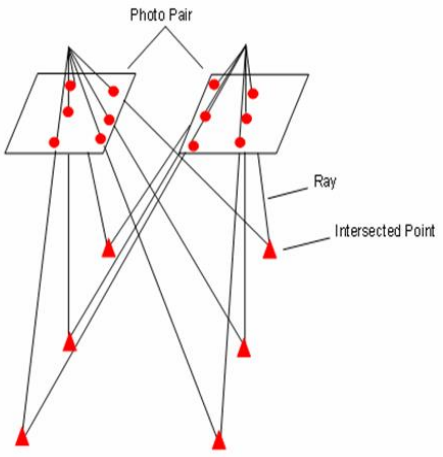
En la correlación se utilizaron las imágenes digitales a las que se les ha creado una estructura piramidal, con el fin de optimizar los procesos. En los primeros niveles de la piramidal (menos resolución) se usa un algoritmo de cálculo basado en la extracción de formas características (Feature-Based Matching, FBM) que da una precisión de 0,3 píxeles. En los últimos niveles de la pirámide, se emplea el método de correlación de mínimos cuadrados (Least-Squares Matching, LSM), que permite obtener precisión de 0,1 píxeles.

Los puntos de enlace y de paso obtenidos tras la correlación, son depurados por dos vías paralelas e interrelacionadas:

- Por un lado, se ejecutaron algoritmos de detección automática de errores que eliminan aquellos puntos cuyo error supera una tolerancia prefijada.

- Por otro lado, se comprobaron el enlace de forma interactiva, con el fin de asegurar que existe, al menos, dos puntos en cada zona de Von Gruber, y que, al menos, hay punto de enlace entre pasadas en cada área de enlace. En caso de ser necesario, se miden manualmente cuantos puntos sean necesarios.

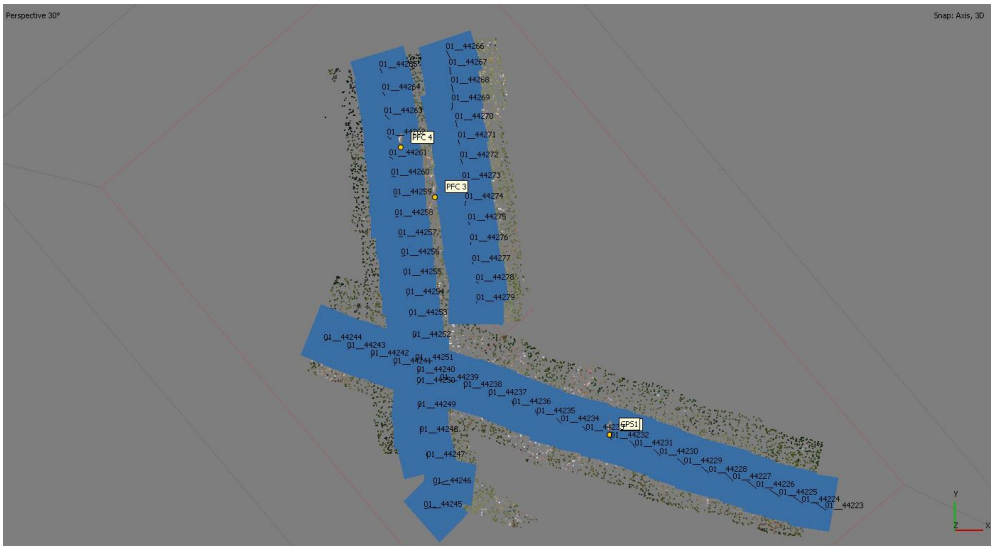
Figura 49.Multimedición de puntos de Amarre



Fuente: Elaboración Propia

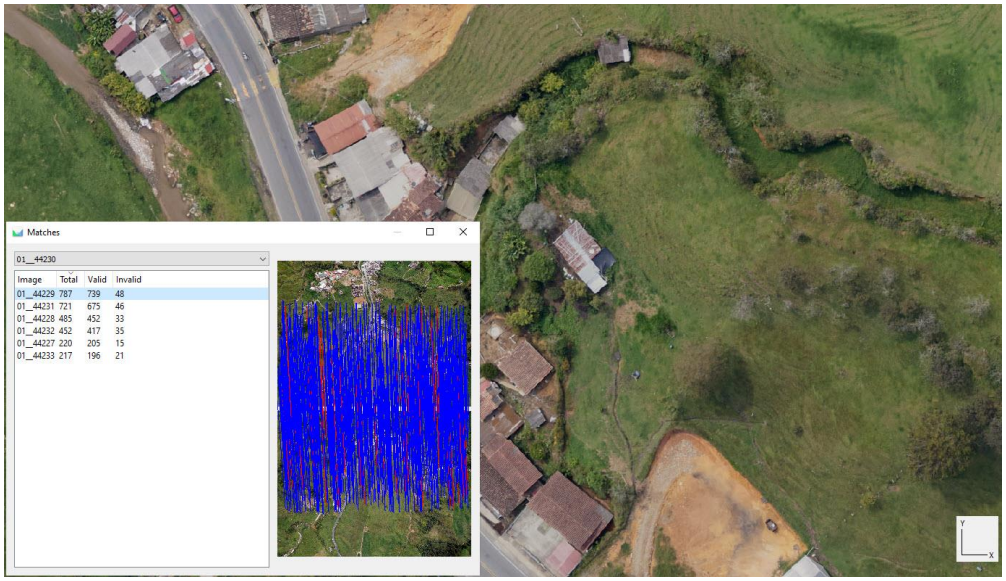
Ambos procesos fueron repetidos tantas veces como fue necesario hasta cumplir con las exigencias de precisión y de enlace del bloque. Como resultado, se obtuvo la orientación relativa del bloque y su precisión interna.

Figura 50.Precisión y enlace del bloque



Fuente: Elaboración Propia

Figura 51.Proceso de correlación y depuración



Fuente: Elaboración Propia

10.7. OBTENCIÓN DE PUNTOS HOMÓLOGOS DE APOYO (MULTIMEDICIÓN) PARA EL PROYECTO.

Este procedimiento tuvo como objetivos:

- La multimedición de las líneas de vuelo.

- Generar los empalmes de líneas de vuelo.
- Garantizar que cada punto de paso esté presente en por lo menos 3 imágenes.
- Garantizar que cada punto de paso fue visitado y corresponde al mismo elemento y posición en cada una de las imágenes.
- Obtener un modelo consistente para la realización de la respectiva triangulación.

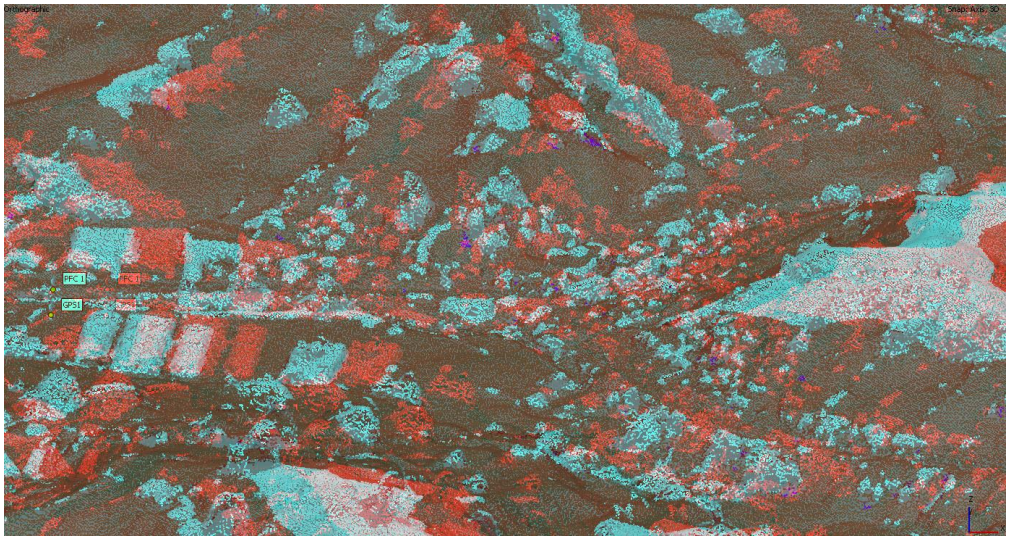
Al construir el bloque se analizaron los siguientes parámetros:

- Altimetría de la zona de interés.
- Recubrimientos que debe tener las imágenes según estándares
- Tipo de terreno.
- Escala objetivo de captura para el desarrollo de la misión.

Mediante software Agisoft PhotoScan el trabajo se realizó por medio del proceso de búsqueda de cada uno de los puntos homólogos en las diferentes imágenes bajo los siguientes parámetros:

- Cada punto debe estar como mínimo en 3 imágenes.
- La distribución de los puntos debe cubrir la totalidad de la imagen (no pueden estar en una sola zona).
- Cada punto debe corresponder al mismo elemento y posición (x, y, z) en cada una de las imágenes.
- Entre fajas deben existir puntos homólogos.
- No se deben tomar sombras como punto homologo.
- Los puntos homólogos deben tratar de estar siempre sobre el terreno (piso).

Figura 52.Interfaz gráfica Estéreo digital (Distribución de puntos)



Fuente: Elaboración Propia

Al realizar la multimedición (obtención de puntos homólogos de apoyo) se generó un bloque consistente en el cual, y con ayuda del fotocontrol, se inició el proceso de Aerotriangulación.

10.8. CÁLCULO Y AJUSTE DEL BLOQUE.

El cálculo y ajuste del bloque es un proceso iterativo en conjunto con la medición del apoyo topográfico. Se realizó por el método de ajuste de haces con parámetros de apoyo aerotransportado, por lo que en el ajuste

final se dispuso de información acerca de las precisiones tanto de los puntos de apoyo, como de los de paso y enlace, y de los parámetros GPS-IMU.

La desviación estándar a priori de los puntos de apoyo será de entre 1/3 y 1/ 2 del tamaño del píxel y la de los centros de proyección de entre 0.10 m y 0.15 m.

Una vez el cálculo se dio por bueno (se han obtenido los parámetros de orientación exterior con las precisiones requeridas), se llevó a cabo el último paso: obtención de la red densificada topográfica, en la que se calcularon las coordenadas terreno de cada punto de paso y de enlace.

Como comprobación del cálculo del aerotriangulación, se incluyeron puntos de chequeo de precisión al menos 1/3 del RMS final del producto.

10.9. PRECISIONES DE LA AEROTRIANGULACIÓN.

- Error estándar para la orientación interior 0,7 píxel.
- Error estándar para el ajuste relativo, 1 píxel.
- Error estándar para el ajuste absoluto, 3 píxel.

10.10. RESULTADOS FINALES.

Para la generación de las ortofotos se usó el método correlación automática de imágenes en Agisoft Photoscan, el cual incluye para Fase 2 un total de 57 fotografías en RGB

Como resultado de esta fase2 se obtuvieron los siguientes productos:

- 21 imágenes RGB, a resolución 7cm Formatos TIFF, ECW y PNG.
- Fichero AUX de georreferenciación.

Figura 53.Ortofotomosaico Fase 2



Fuente: Global Mapper

POLITÉCNICO COLOMBIANO	**INFORME DE SUPERVISIÓN Y/O INTERVENTORÍA PARA CONTRATOS DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS**	**Código: FLG66** **Versión: 02**

Fecha Elaboración del Informe:	1/12/2023	**Informe No:**	4	**Periodo de Seguimiento:**	Septiembre 30 a diciembre 01 de 2023
Contrato No:	PS-441081 DE 2023	**Fecha de Inicio:**	3/05/2023	**Fecha de Finalización: 31/12/2023**	**Valor del Contrato:** 950.207.988

Objeto del Contrato:
CONSULTORÍA PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y BATIMÉTRICO DE UN MODELO DIGITAL DE TERRENO MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍA LIDAR CON EL ACOTAMIENTO Y DELIMITACIÓN DE LAS FUENTES HÍDRICAS DETERMINADAS, EN EL MARCO DEL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 040-COV2210-86 DE 2022 SUSCRITO CON CORANTIOQUIA.

Nombre del Contratista:	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LATINO AMÉRICA SIGLA S.A.S	**Documento de Identificación:**	900.641.409-3

PORCENTAJE DEL AVANCE DEL CONTRATO

59,07%

CUMPLIMIENTO OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA AL PERIODO DE REPORTE:

ACTIVIDAD	DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD	MEDIOS DE VERIFICACIÓN
Levantamiento topográfico y batimétrico de un modelo digital de terreno mediante el uso de tecnología LIDAR con el acotamiento y delimitación de las fuentes hídricas determinadas	El levantamiento topográfico del río Nechi urbano en Zaragoza y El Bagre y río Tarazá se efectuó utilizando tecnología RTK (Real-Time Kinematic), con el propósito de capturar puntos de interés que incluyeron los contornos del terreno, los bordes de la quebrada y su lecho, obteniendo valores en X,Y y Z. Posteriormente, se procedió a la generación de un modelo digital del terreno, con curvas de nivel a intervalos de dos metros. A partir de este modelo, se obtuvieron secciones transversales de la quebrada con un espaciamiento de 20 metros entre cada una. OBTENCIÓN DE PUNTOS HOMÓLOGOS DE APOYO (MULTIMEDICIÓN) PARA EL PROYECTO. Este procedimiento tuvo como objetivos: • La multimedición de las líneas de vuelo. • Generar los empalmes de líneas de vuelo. • Garantizar que cada punto de paso esté presente en por lo menos 3 imágenes. • Garantizar que cada punto de paso fue visitado y corresponde al mismo elemento y posición en cada una de las imágenes. • Obtener un modelo consistente para la realización de la respectiva triangulación. Al construir el bloque se analizaron los siguientes parámetros: • Altimetría de la zona de interés. • Recubrimientos que debe tener las imágenes según estándares • Tipo de terreno. • Escala objetivo de captura para el desarrollo de la misión. Mediante software Agisoft PhotoScan el trabajo se realizó por medio del proceso de búsqueda de cada uno de los puntos homólogos en las diferentes imágenes bajo los siguientes parámetros: • Cada punto debe estar como mínimo en 3 imágenes. • La distribución de los puntos debe cubrir la totalidad de la imagen (no pueden estar en una sola zona). • Cada punto debe corresponder al mismo elemento y posición (x, y, z) en cada una de las imágenes. • Entre fajas deben existir puntos homólogos. • No se deben tomar sombras como punto homologo. • Los puntos homólogos deben tratar de estar siempre sobre el terreno (piso).RESULTADOS FINALES. **RIO NECHI ZARAGOZA** Para la generación de las ortofotos se usó el método correlación automática de imágenes en Agisoft Photoscan, el cual incluye para Fase 2 un total de 265 fotografías en RGB 21 imágenes RGB, a resolución 7cm Formatos TIFF, ECW y PNG. • Fichero AUX de georreferenciación. **RIO NECHI EL BAGRE:** Para la generación de las ortofotos se usó el método correlación automática de imágenes en Agisoft Photoscan, el cual incluye para Fase 2 un total de 57 fotografías en RGB Como resultado de esta fase2 se obtuvieron los siguientes productos: • 21 imágenes RGB, a resolución 7cm Formatos TIFF, ECW y PNG. • Fichero AUX de georreferenciación. **RIO TARAZA**: Para la generación de las ortofotos se usó el método correlación automática de imágenes en Agisoft Photoscan, el cual incluye para Fase 2 un	Informes escritos y digitales entregados a la supervision del Politécnico y la coordinacion del proyecto con los siguientes rótulos y que se anexan al presente informe: 20231002_304_PolitecnicoColombiano_SI-2023-1026_RioNechi-El Bagre . 20231002_304_PolitecnicoColombiano_SI-2023-1026_RioNechi-Zaragoza. 20231002_304_PolitecnicoColombiano_SI-2023-1026_RioTaraza

	de imágenes en Agisoft Photoscan, el cual incluye para Fase 2 un total de 57 fotografías en RGB Como resultado de esta fase2 se obtuvieron los siguientes productos: • 21 imágenes RGB, a resolución 7cm Formatos TIFF, ECW y PNG. • Fichero AUX de georreferenciación	

ANEXOS

- [ ] **Lista de Chequeo Informe de Supervisión y/o Interventoría**
- [ ] **Acta de entrega del producto del bien y/o servicio adquirido.**
- [ ] **Acta de liquidación del contrato.**
- [ ] **Otros: Especificar**

DOCUMENTOS VERIFICABLES POR EL SUPERVISOR PARA EL PAGO

- [X] **Informe de avance de las actividades realizadas por parte del contratista en el periodo reportado.**
- [X] **Cumplimiento de pagos realizados al Sistema de Seguridad Social Integral y Parafiscales si aplica**
- [X] **Cumplimiento de la calidad de los bienes y/o servicios que se estipulen en el contrato.**
- [ ] **Otros: Especificar.**

Ordenador de Gasto: VICERRECTOR DE EXTENSIÓN	**RODRIGO ORLANDO OSORIO MONTOYA**

Firma

SUPERVISOR (A) / INTERVENTOR (A)

NOMBRE: Leidy Carolina Toloza Rivera
CORREO ELECTRÓNICO: leidytoloza@elpoli.edu.co
EXTENSIÓN TEL.: 3197913

VoBo Coordinación

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet

POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID	FORMATO PARA PAGAR PROVEEDORES Y CONVENIOS POR CUOTAS	Código: FFN54 Versión: 07

NOMBRE O RAZÓN SOCIAL: SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LATINO AMÉRICA SIGLA S A S

C.C. ó N.I.T.: 900641409-3 **FECHA:** 03/05/2023

NÚMERO DE C.R.P: 4300038103 **CONTRATO** 441081 -2023 **VALOR C.R.P:** 950.207.988

NÚMERO CUOTA	NUMERO DE FACTURA Y/O CUENTA DE COBRO	CENTRO DE COSTOS	RUBRO PRESUPUESTAL	VALOR A PAGAR	SALDO	FECHA DE REMISIÓN	FIRMA DEL INTERVENTOR RESPONSABLE
1	1	2544111304	2-3-2-02-02-008	74.837.118,35	875.370.870	19/10/2023	
2	2	2544111304	2-3-2-02-02-008	100.100.250,76	775.270.619	01/12/2023	
3	3	2544111304	2-3-2-02-02-008	180.520.601,94	594.750.017	01/12/2023	
4	4	2544111304	2-3-2-02-02-008	205.874.475,52	388.875.541	01/12/2023	

NOTA: Los centros de costos y los rubros presupuestales son unicamente los asignados en el Certificado de Registro Presupuestal. Si el saldo final es mayor que 0 (Cero), el interventor debe autorizar liberar dichos recursos mediante razonero o correo electronico, indicando el rubro presupuestal o centro de costos del cual se van a liberar los recursos. (los pagos autorizados no pueden superar el valor del C.R.P.).

icontec ISO 9001 SC5206-1 IQNet