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 422 del contrato 441081-2023,en Ejecucion del convenio C.I. 040-COV2210-86-2022, suscrito con CORANTIOQUIA RPC N°: 4300038103	
Valor en letras: CIENTO NOVENTA Y CINCO MILLONES VEINTICUATRO MIL QUINIENTOS VEINTISIETE PESOS	$ 195.024.527
 Firma y cédula del Responsable RODRIGO ORLANDO OSORIO MONTOYA Vicerrector de Extensión Cédula 71.777.749	$ 195.024.527

	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

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

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

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

FACTURA ELECTRONICA DE VENTA
FE 422

Fecha y Hora de Factura

Generación	2023-12-01	10:48:26
Expedición	2023-12-01	10:54:25
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	163,886,157.00	163,886,157.00

Total Items 1

Total Bruto	163,886,157.00
RETEFUENTE 6%	9,833,169.42
IVA	31,138,369.83
Retenc. IVA	4,670,755.47
Total a Pagar	**$ 180.520.601,94**

CONDICION DE PAGO

Credito Credito Clientes Nacionales Efectivo Cuota 1 F - 002- 422 Vence el 2024-01-01 180.520.601,94

VALOR EN LETRAS

Ciento Ochenta Millones Quinientos Veinte Mil Seiscientos Un Pesos M/Cte Con 94/100

OBSERVACIONES

ACTA DE PAGO SEGUN AUTORIZACION CORRESPONDINETE DEL CONTRATO No 441081-2023 DERIVADO DEL PROCESO DE SELECCION CONCURSO DE MERITOS CM-P29697-2023.SE AUTORIZA A FACTURAR 100% DE LA QUEBRADA LA SOPETRANA.CONSUL PARA EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO Y BATRIMETRICO DE UN MODELO DIGITAL DE TERRENO MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGIA LIDAR CON EL ACOTAMIENTO Y CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No 040-COV22210-86 DE 2022 SUSCRITO CORANTIOQUIA.

VoBo supervisora

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 :922c54ac13350a167ba83d0cc5600eaf60feed54259194e1278038f626405f7ee269535e1d05f763b01f1f82aed7ebd4

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 Don Matias.

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 SOPETRANA**
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. RADIACIÓN SIMPLE CON ESTACIÓN 13

2.1.6. PROCESAMIENTO DE DATOS TOPOGRÁFICOS 13

2.1.7. AFORO 14

3. BATIMETRIAS 15

3.1. METODOLOGIA DE CAPTURA 16

3.1.1. Plan de trabajo: 16

3.1.2. Labores previas 16

3.1.3. Labores en terreno 16

3.1.4. Labores posteriores de oficina 17

3.2. PROCESAMIENTO DE DATOS. 17

3.2.1. Aforo Quebrada Sopetrana 18

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 20

5.1. COMPONENTES DEL SISTEMA 21

5.2. PARAMETROS DE VUELO COMBINADO LIDAR/CAMARA 21

5.3. CONTROL DE CALIDAD DEL VUELO PLANIFICADO 23

5.4. SELECCIÓN DE LA AERONAVE A UTILIZAR 23

5.5. ENVÍO DE LA PLANIFICACIÓN A LA UNIDAD DE VUELOS Y SOLICITUD DE LOS PERMISOS DE VUELO 24

5.6. MONTAJE E INSTALACIÓN DEL SISTEMA 24

6. TRABAJOS DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA INERCIAL – CÁMARA Y/O TECNOLOGÍA LIDAR. 25

6.1. Cálculo de corrección roll, pitch y Heading 26

7. EJECUCIÓN DEL VUELO 27
7.1. RECEPCIÓN DE PLANIFICACIÓN DEPARTAMENTOS DE VUELOS 27
7.2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA 27
7.3. COMPROBACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y SISTEMAS 28
7.4. REALIZACIÓN DEL VUELO 28
7.5. VOLCADO DE LA INFORMACIÓN 29
7.6. ENVÍO DE INFORMACIÓN A OFICINA 29
7.7. CONTROL DE CALIDAD DE CADA MISIÓN DE VUELO EJECUTADO 29
8. POST – PROCESO DE LOS DATOS LIDAR 42
8.1. EDICIÓN DE DATOS LIDAR. 42
8.2. AJUSTE AL TERRENO DE LOS DATOS LIDAR 43
8.3. CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS LIDAR 43
9. CONTROL DE CALIDAD ALTIMÉTRICO DE LA NUBE DE PUNTOS LIDAR. 44
9.1. CALCULO DEL MODELO DE AJUSTE LOCAL DE ONDULACIÓN 45
9.2. CONTROL DE COTAS CON AJUSTE A COTA GEOMETRICA 46
10. POST – PROCESO DE IMÁGENES DIGITALES. 46
10.1. APOYO FOTOGRAMÉTRICO. 47
10.2. AEROTRIANGULACIÓN. 48
10.3. PLANIFICACIÓN DE TRABAJOS DE AEROTRIANGULACIÓN. 48
10.4. EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS DE AEROTRIANGULACION. 49
10.5. ORIENTACIÓN INTERNA. 50
10.6. DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS ENLACE. 50
10.7. OBTENCIÓN DE PUNTOS HOMÓLOGOS DE APOYO (MULTIMEDICIÓN) PARA EL PROYECTO. 52
10.8. CÁLCULO Y AJUSTE DEL BLOQUE. 53
10.9. PRECISIONES DE LA AEROTRIANGULACIÓN. 53
10.10. RESULTADOS FINALES. 54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización y áreas de segmentos del proyecto 8
Figura 1. GPS1 Quebrada Sopetrana 9
Figura 2. Punto de Fotocontrol Quebrada Sopetrana 11
Figura 3. Equipos de posicionamiento 12
Figura 4. Levantamiento con RTK de la Quebrada Sopetrana 13

Figura 5. Radiación con Estación Total en la Quebrada Sopetrana 13
Figura 5. Aforos en la Quebrada Sopetrana..... 15
Figura 8. Zonas que se imposibilitaron levantar en la Quebrada Sopetrana 15
Figura 9. Zonas inseguras en la Quebrada Sopetrana..... 16
Figura 10. Esquema Quebrada Sopetrana..... 17
Figura 11. Secciones Quebrada Sopetrana 17
Figura 12. Secciones Aforo Q. Sopetrana..... 19
Figura 13. Diagrama de flujo SIGLA para vuelos combinados Lidar-Camara..... 20
Figura 14. Sistema Combinado de Captura LiDAR- Cámara Alta resolución 21
Figura 15. Plan de vuelo 22
Figura 16. Gráfico líneas de vuelo planificadas..... 23
Figura 17. Montaje aeronave Huges 500 24
Figura 18. Instalación Phase One iXM-RS 150F, LiDAR Riegl VQ 580ii 24
Figura 16. Integración de planificaciones al sistema de navegación de la aeronave..... 27
Figura 17. Sistema de control en vuelo..... 28
Figura 18. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230705 Sesión 1 30
Figura 19. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230706 Sesión 1 30
Figura 20. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230707 Sesión 1 31
Figura 21. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230708 Sesión 1 31
Figura 22. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230709 Sesión 1 31
Figura 23. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230710 Sesión 1 32
Figura 24.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1..... 32
Figura 25.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1..... 33
Figura 26.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1..... 33
Figura 27.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1..... 34
Figura 28.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1..... 34
Figura 29.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1..... 35
Figura 30. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1..... 36
Figura 31. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1..... 36
Figura 32. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1..... 37
Figura 33. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1..... 37
Figura 34. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1..... 38
Figura 35. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1..... 38
Figura 36. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1 39
Figura 37. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1 39

Figura 38. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1 40
Figura 39. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1 40
Figura 40. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 41
Figura 41. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1 41
Figura 42. Ejemplo dato del terreno 43
Figura 43. Estación de trabajo de edición datos LiDAR 44
Figura 44.Gráfico explicativo método Control de cota LiDAR 45
Figura 45. Ejemplo de los levantamientos mediante topografía convencional 45
Figura 46. Gráfico Modelo de Ajuste local 46
Figura 47.Flujo de trabajo Apoyo en Campo 47
Figura 48.Flujo de trabajo de Aerotriangulación 48
Figura 49.Definición del bloque 49
Figura 50.Multimedición de puntos de Amarre 51
Figura 51.Precisión y enlace del bloque 51
Figura 52.Proceso de correlación y depuración 52
Figura 53.Interfaz gráfica Estéreo digital (Distribución de puntos) 53
Figura 54.Ortofotomosaico Fase 2 54

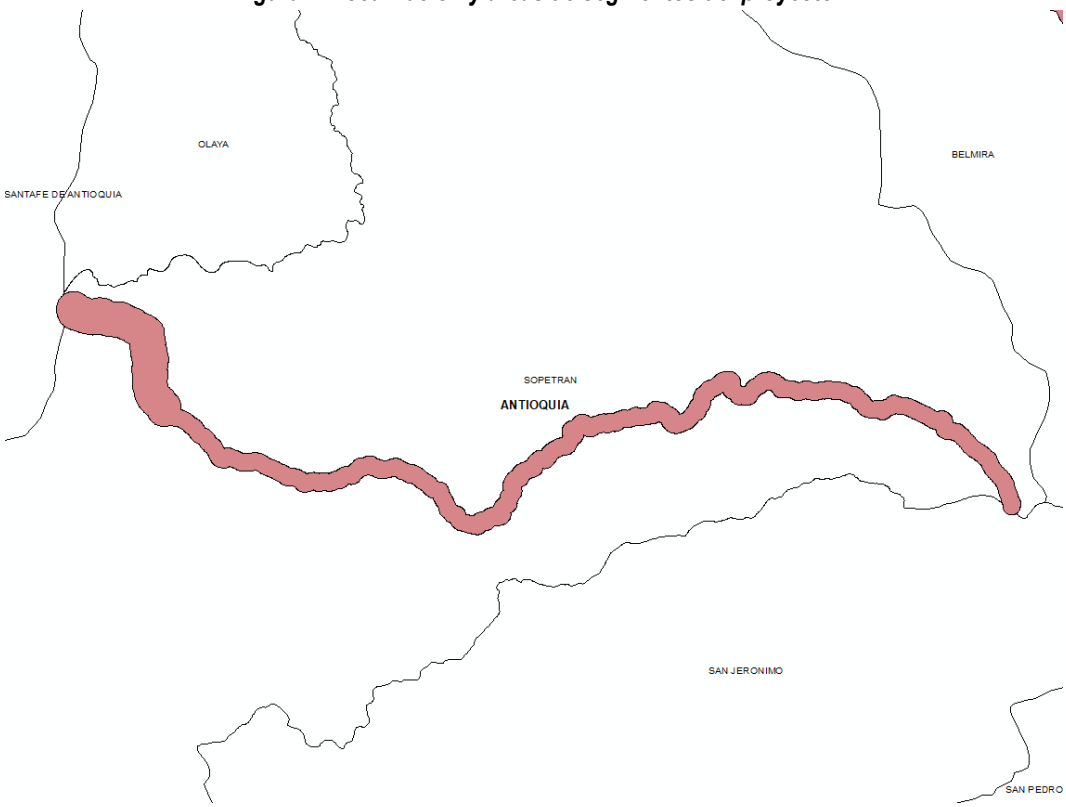
INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos Topográficos 9
Tabla 2. Coordenadas puntos GPS proyecto Politécnico Q. Sopetrana - época 2018.0 .. 14
Tabla 3. Coordenadas puntos Fotocontrol proyecto Politécnico Q. Sopetrana - época 2018.0 14
Tabla 4. Factor de Corrección de Velocidad del Caudal 18
Tabla 5. Caudal Quebrada Sopetrana sección K3+940 18
Tabla 6. Caudal Quebrada Sopetrana sección K10+303.20 18
Tabla 7. Tabla de Coordenadas de la RED Geodésica 46

1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El polígono de interés se encuentra ubicado en el municipio de Sopetran en el departamento de Antioquia con un área total de 778.04Ha. 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

Figura 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
RADIACIONES			
ITEM	**MARCA**	**MODELO**	**SERIAL**
1	Stonex	R1 PLUS	DL11694
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, la incrustación de una placa de aluminio en una estructura de concreto de 30 cm * 30 cm, de 60 cm de profundidad, sobresaliendo de la rasante 20 cm. Cada placa se marcó con el nombre de la empresa contratante, el número del contrato, el identificador del punto y la fecha de monumentación.

Figura 2. GPS1 Quebrada Sopetrana



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 cinco puntos de fotocontrol en la zona que debidamente marcados que permitan su visualización desde las fotografías aéreas.

Figura 3. Punto de Fotocontrol Quebrada Sopetrana



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 4. 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 5. Levantamiento con RTK de la Quebrada Sopetrana



Fuente: SIGLA-SAS

2.1.5. RADIACIÓN SIMPLE CON ESTACIÓN

La radiación simple es el método utilizado en topografía para determinar las coordenadas de un punto de interés a partir de un punto conocido y mediante la medición de la distancia y el ángulo horizontal desde el punto conocido al punto de interés. Este método se basa en el principio de triangulación, donde se establece un triángulo entre el punto conocido (punto de partida), el punto de interés y una referencia adicional si es necesario.

Figura 6. Radiación con Estación Total en la Quebrada Sopetrana



Fuente: SIGLA-SAS

2.1.6. 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 por radiación se obtuvieron mediante deltas amarrados al punto posicionado GPS01.

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

Tabla 2. Coordenadas puntos GPS proyecto Politécnico Q. Sopetrana - época 2018.0

Point Id	GEODÉSICAS			GEOCENTRICAS			GAUSS (Origen Oeste)		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	Altura del mojón (m)
GPS01	6° 30' 58.99906" N	75° 43' 26.63480" W	1201.108	1562997.958	-6142663.607	719159.883	1149711.284	1212544.307	4698834.303	2278862.095	1175.908	0.120

Tabla 3. Coordenadas puntos Fotocontrol proyecto Politécnico Q. Sopetrana - época 2018.0

Point Id	GEODÉSICAS			GEOCENTRICAS			GAUSS (Origen Oeste)		CTM12		Altura Ortométrica	Altura del objeto (m)	Descripción punto fotocontrol
	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ellip. Height [m]	WGS84 Cartesian X [m]	WGS84 Cartesian Y [m]	WGS84 Cartesian Z [m]	Este	Norte	Este	Norte			
GCP3	6° 31' 54.73749" N	75° 47' 30.47737" W	481.168	1555511.801	-6143625.045	720779.452	1142213.237	1214237.372	4691349.544	2280615.922	456.768	0.330	Roca en quebrada
GCP4	6° 30' 24.38249" N	75° 44' 40.64812" W	725.853	1560707.132	-6142883.305	718049.299	1147439.519	1211474.585	4696553.841	2277810.690	701.453	0.250	Borde de andén
GCP5	6° 30' 38.63831" N	75° 46' 38.19908" W	543.351	1557149.282	-6143547.868	718463.757	1143825.796	1211903.212	4692943.365	2278268.514	518.851	0.370	Aleta de Puente
GCP6	6° 31' 11.69778" N	75° 42' 04.72822" W	1358.453	1565464.722	-6142151.032	719565.394	1152227.387	1212941.317	4701353.614	2279238.765	1332.853	0.000	Campo abierto
GCP7	6° 30' 40.83394" N	75° 39' 18.53535" W	2574.952	1570739.216	-6142162.925	718761.159	1157337.566	1212007.088	4706456.023	2278263.289	2548.552	0.000	Campo abierto

Fuente: SIGLA-SAS

2.1.7. 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 7. Aforos en la Quebrada Sopetrana



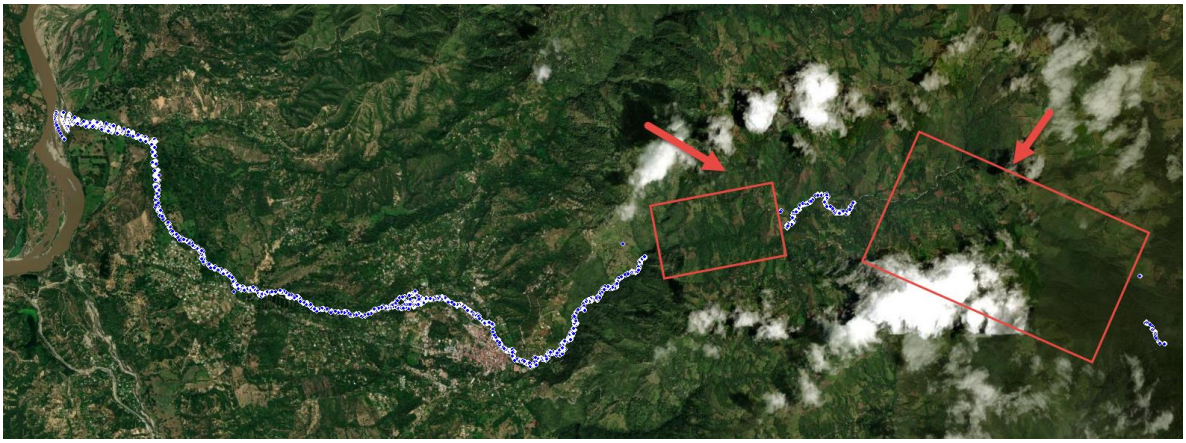
Fuente: SIGLA-SAS

3. BATIMETRIAS

El levantamiento topográfico de la quebrada se efectuó utilizando dos tecnologías tecnología RTK (Real-Time Kinematic), y estación total con el método de radiación simple 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 2.0 metros. A partir de este modelo, se obtuvieron secciones transversales de la quebrada con un espaciamiento de 20 metros entre cada una.

Debido a las dificultades del terreno y por cuestiones de seguridad del personal debido a que se presentaron caídas de hasta 20 metros, no se pudo capturar ciertas zonas del sector que se señalan en la siguiente imagen.

Figura 8. Zonas que se imposibilitaron levantar en la Quebrada Sopetrana



Fuente: SIGLA-SAS

Figura 9. Zonas inseguras en la Quebrada Sopetrana



Fuente: SIGLA-SAS

Para cuantificar el caudal de la quebrada, se implementaron dos aforos 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 y radiación simple con estación total.
- Aforos 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.

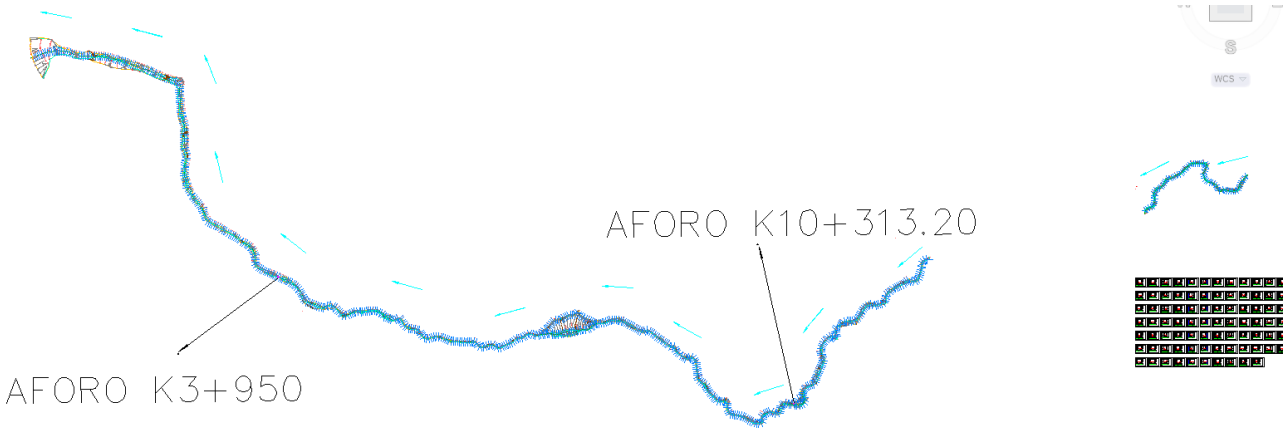
3.1.4. Labores posteriores de oficina

- Reducción de datos de estación total y RTK
- Cálculo y dibujo de secciones transversales.
- Cálculo de datos de los aforos y caudal de la quebrada.

3.2. PROCESAMIENTO DE DATOS.

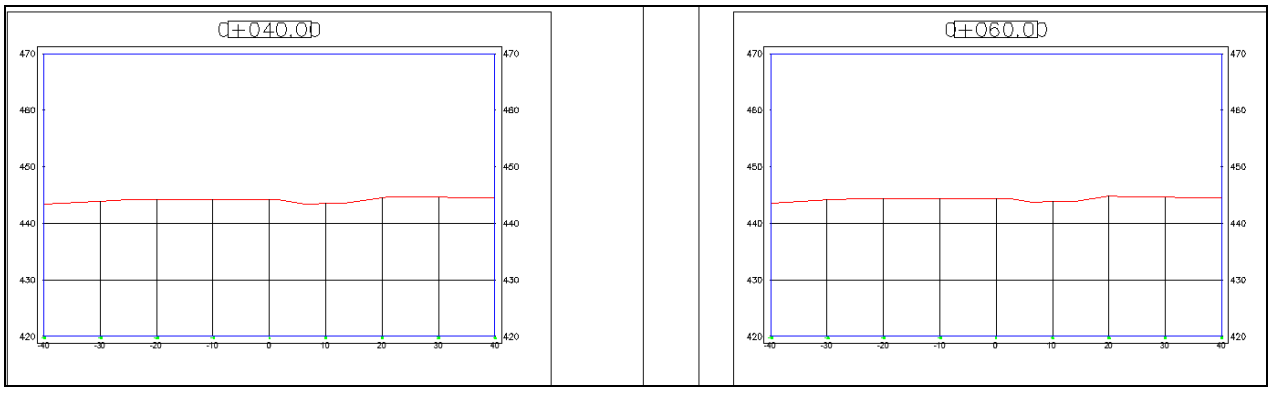
Se procedió a la determinación de las coordenadas planas del levantamiento de la quebrada, utilizando el sistema de referencia Magna Gauss-Krüger Origen Oeste y el Origen nacional CTM12. Se ha realizó una representación gráfica de la información del levantamiento, con dos archivos distintos, uno para cada sistema de referencia, que contienen curvas de nivel generadas a intervalos de 2 metros y secciones transversales establecidas a intervalos de 20 metros

Figura 10. Esquema Quebrada Sopetrana



Fuente: SIGLA-SAS

Figura 11. Secciones Quebrada Sopetrana



Fuente: SIGLA-SAS

3.2.1. Aforo Quebrada Sopetrana

Se obtuvieron coordenadas planas en los Sistemas de referencia Magna Gauss Oeste 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 ocho ocasiones para el aforo de la sección K3+940 y en seis ocasiones para el aforo de la sección K10+303.20, obteniendo así el tiempo promedio en cada aforo. El cálculo 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 0.395 m^3/s para el aforo de la sección K3+940 y de 0.223 m^3/s para el aforo de la sección K10+303.20, los datos que se tuvieron en cuenta se evidencian en la siguiente tabla:

Tabla 5. Caudal Quebrada Sopetrana sección K3+940

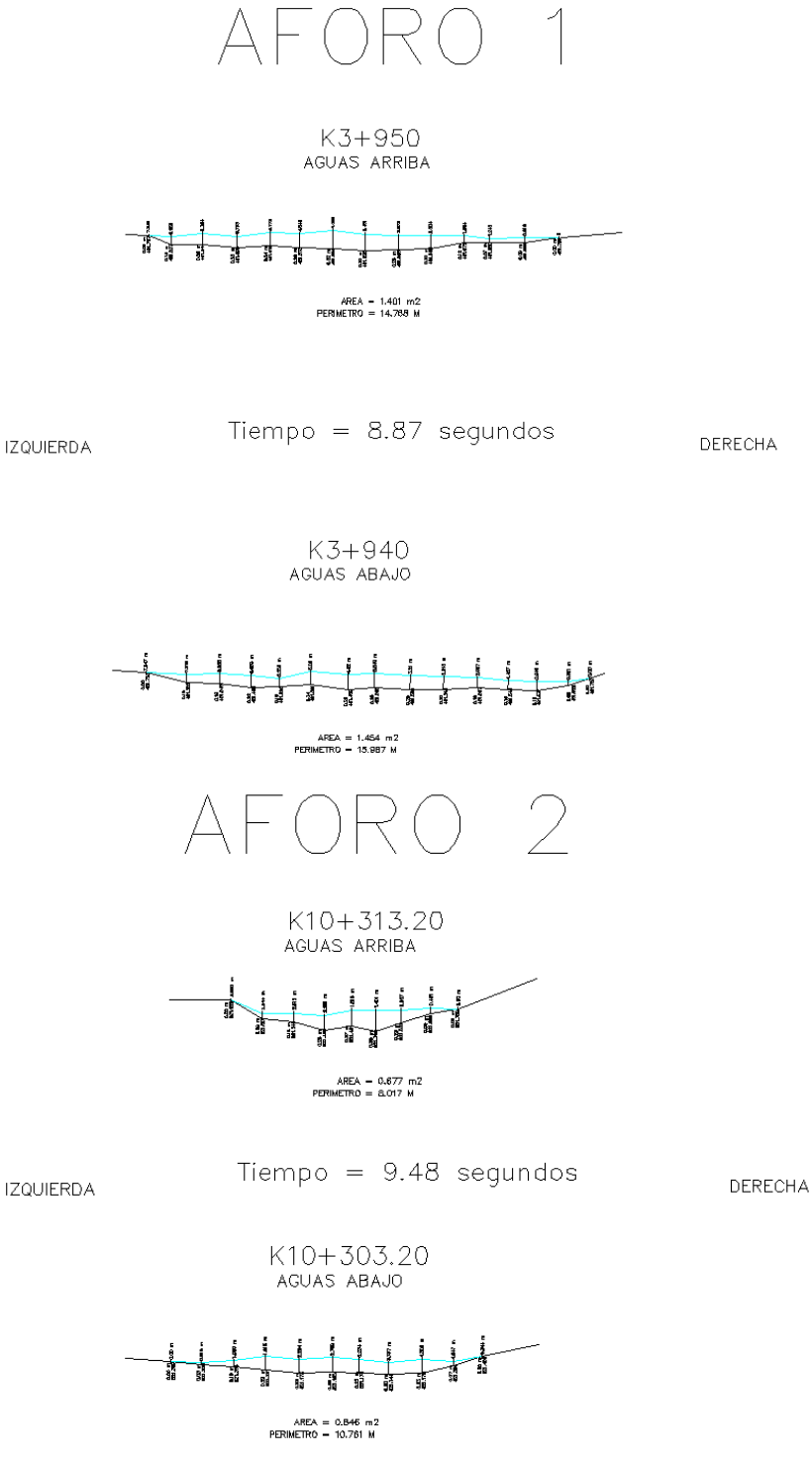
TIEMPO (seg)									Distancia recorrida (m)	Profundidad Promedio	Ancho del río (m)	Área m^2	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)
Margen derecha			Centro			Margen Izquierda		Promedio						
9.18"	8.23"	9.98"	7.52"	8.33"	9.51"	10.02"	8.18"	8.87"	10	0.174	8	1.401	1.128	0.395

Fuente: SIGLA-SAS

Tabla 6. Caudal Quebrada Sopetrana sección K10+303.20

TIEMPO (seg)							Distancia recorrida (m)	Profundidad Promedio	Ancho del río (m)	Área m^2	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)
Margen derecha		Centro		Margen Izquierda		Promedio						
9.12"	11.40"	7.95"	8.59"	10.49"	9.32"	9.48"	10	0.143	5	0.84411	1.055	0.223

Figura 12. Secciones Aforo Q. Sopetrana

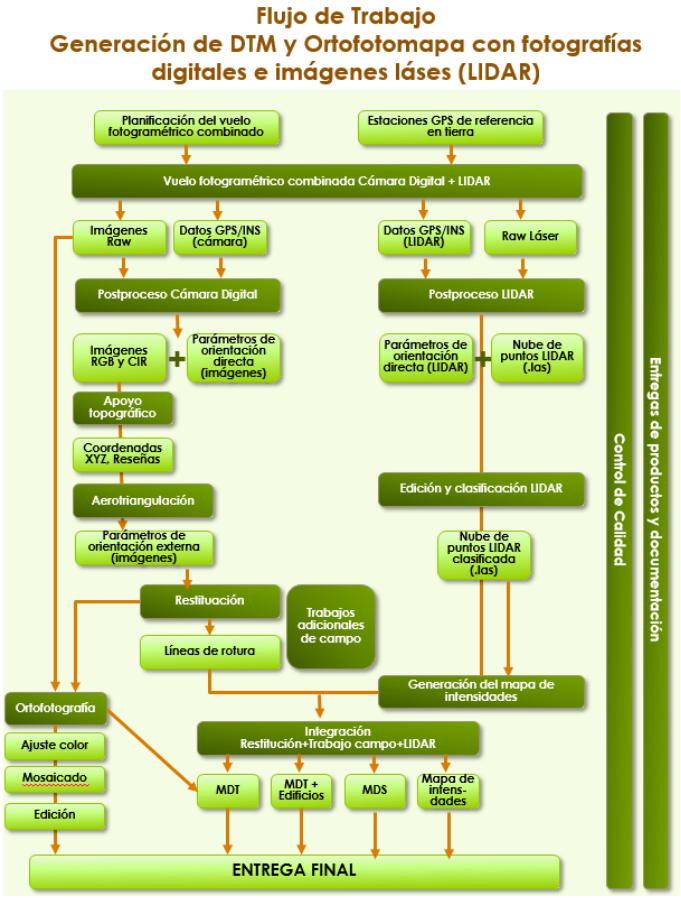


Fuente: SIGLA-SAS

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 13. 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 tomarán 8 Puntos/m2 y el tamaño mínimo de Píxel es de 0.15 GSD.

Figura 14. 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 15. 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

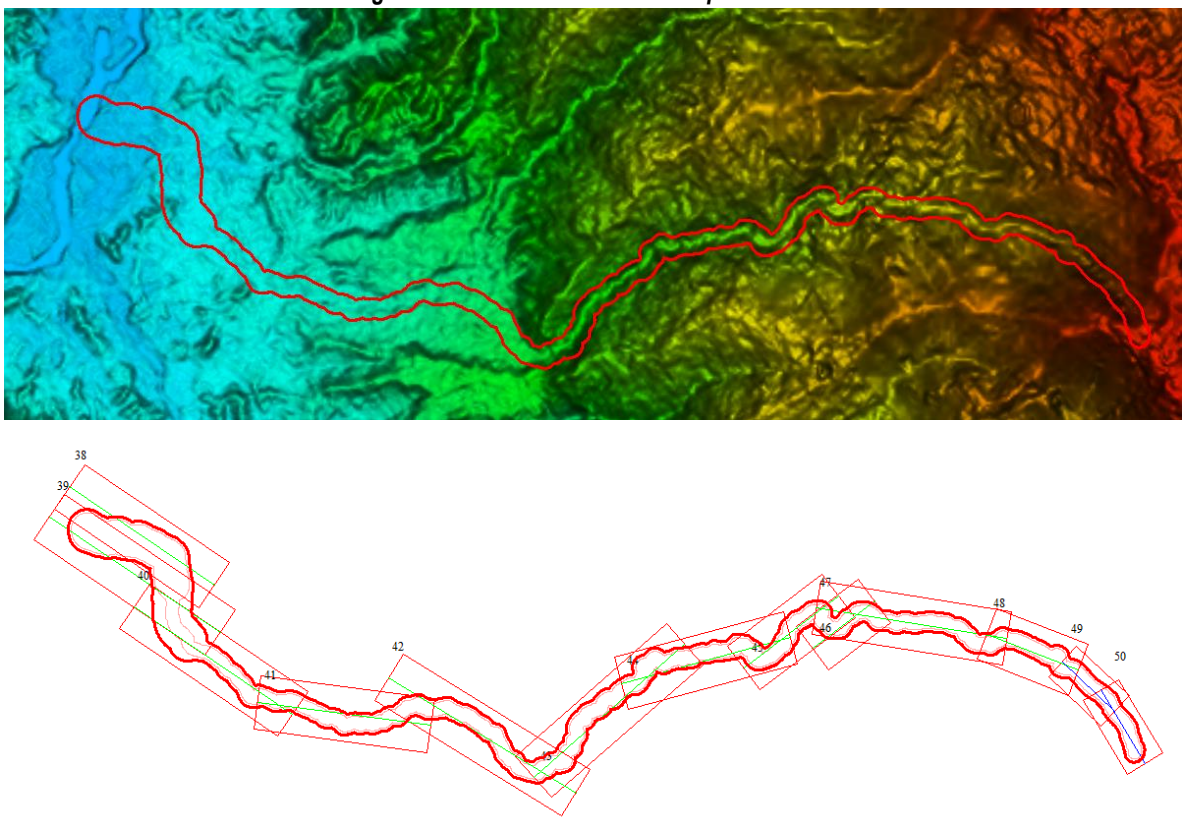
Fuente: Elaboración Propia

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 16. 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 17. 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 18. Instalación Phase One iXM-RS 150F, LiDAR Riegl VQ 580ii



Fuente: Elaboración Propia

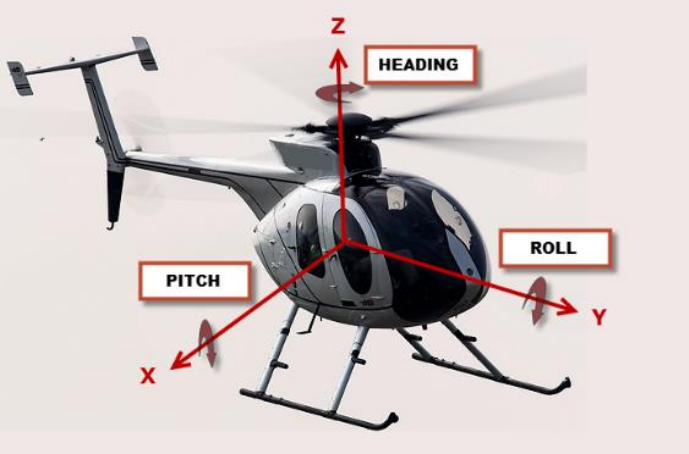
6. TRABAJOS DE CALIBRACIÓN DEL SISTEMA INERCIAL – CÁMARA Y/O TECNOLOGÍA LIDAR

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 1. 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.

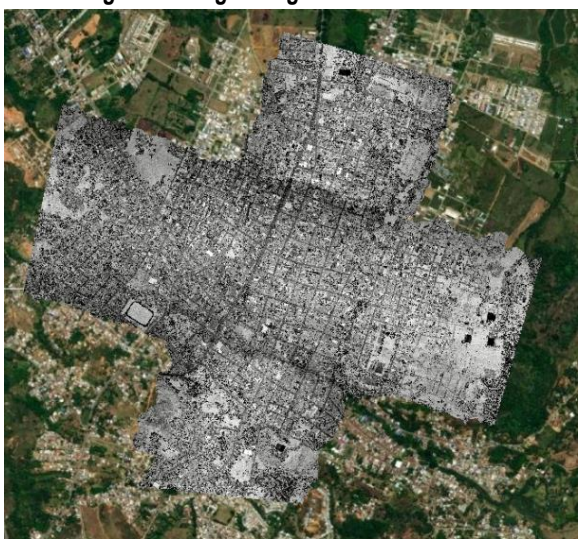
De forma general, se realiza la calibración del sistema inercial para cada combinación cámara/Helicóptero en los siguientes momentos:

- 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 2. Diagrama giros de la aeronave

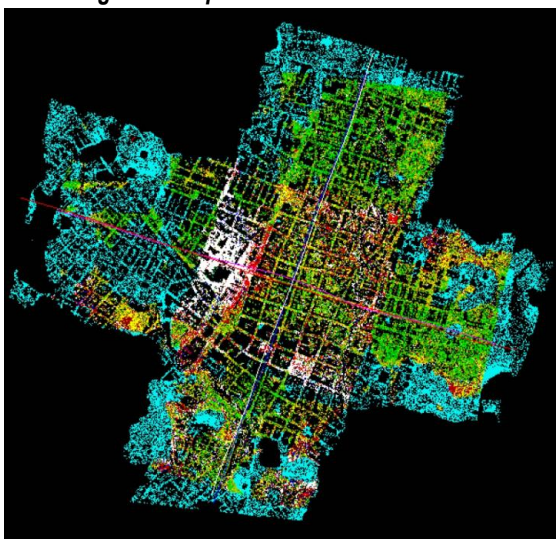


Fuente: Elaboración Propia

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 3. 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.

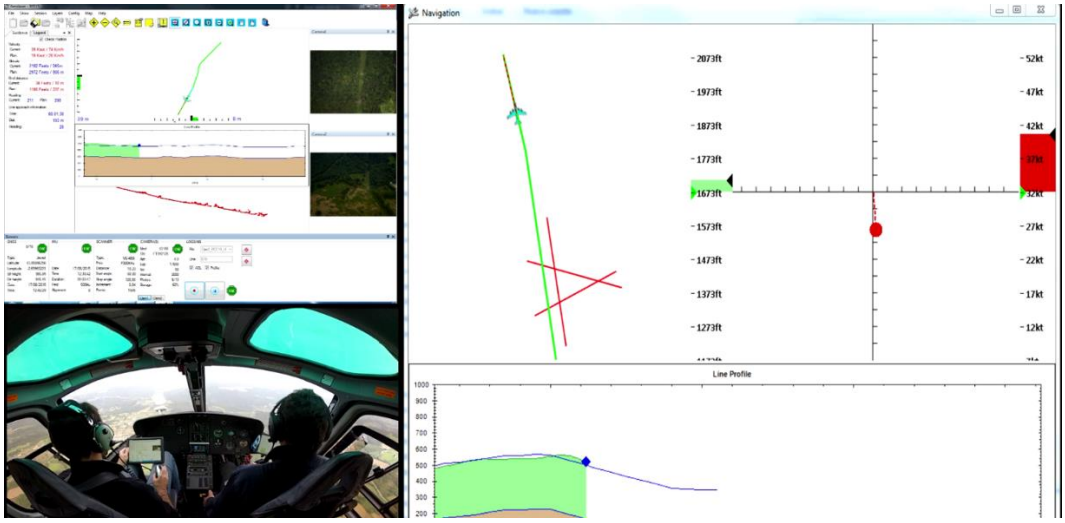
7. EJECUCIÓN DEL VUELO

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 19. 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 20. 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

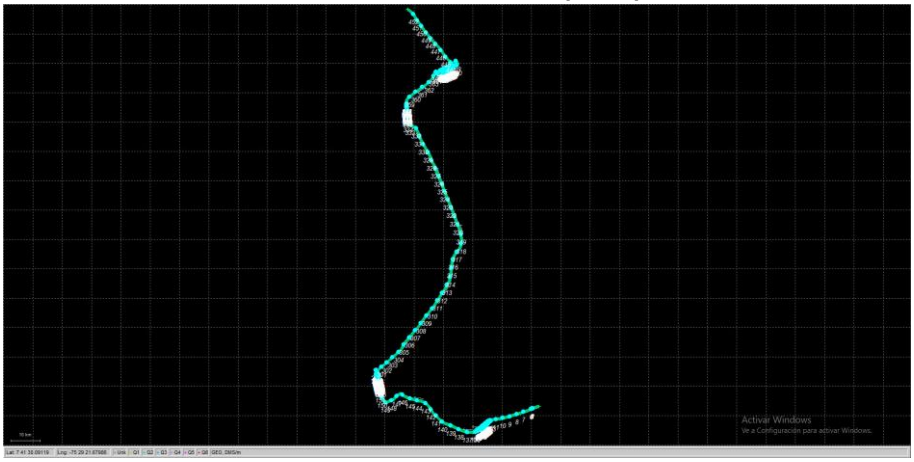
Al finalizar cada jornada de vuelo se ha realizado un control de calidad, comprobando la integridad de la información capturada durante cada día y sesión de vuelo. En este control se analizaron:

- 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

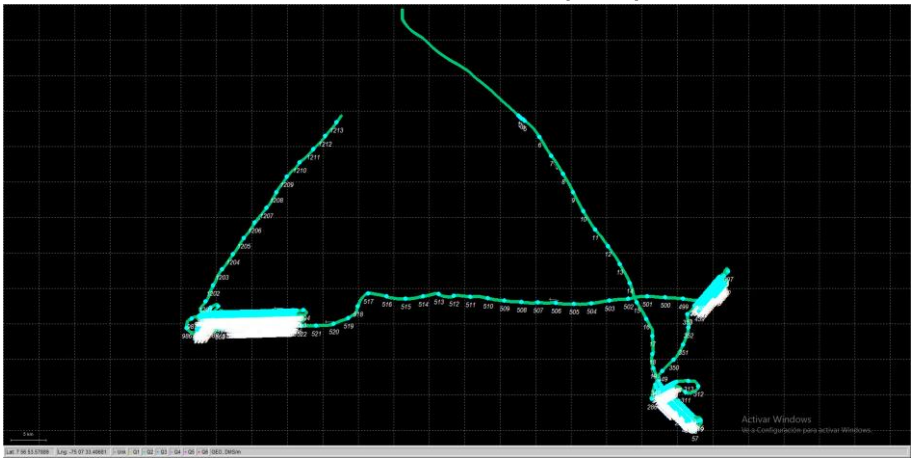
Al recibir de conformidad esta información, el jefe de proyecto realizó una revisión de los informes de vuelo y de las imágenes, analizando las incidencias reportadas comprobando la existencia de problemas en cuanto a nubes, clima, deriva, etc.

Figura 21. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230705 Sesión 1



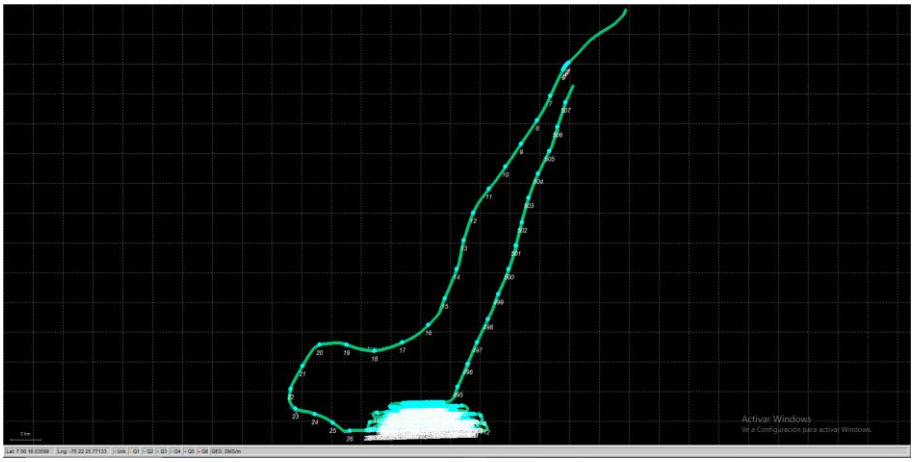
Fuente: Inertial Explorer

Figura 22. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230706 Sesión 1



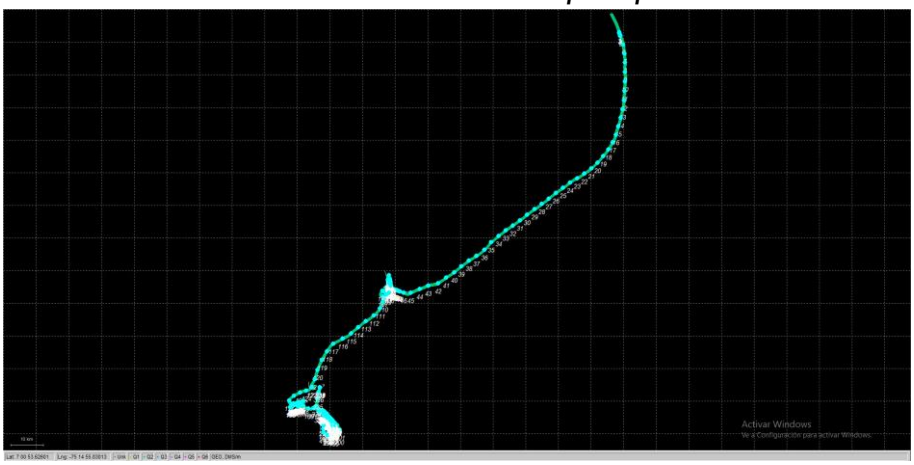
Fuente: Inertial Explorer

Figura 23. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230707 Sesión 1



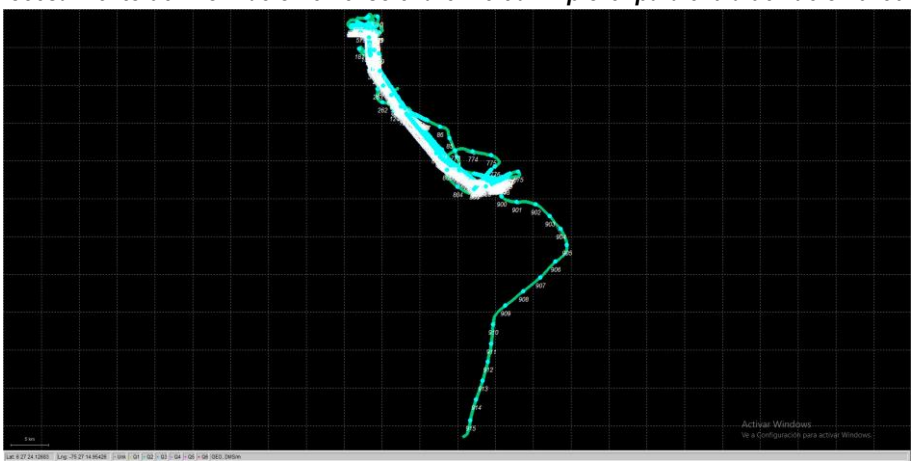
Fuente: Inertial Explorer

Figura 24. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230708 Sesión 1



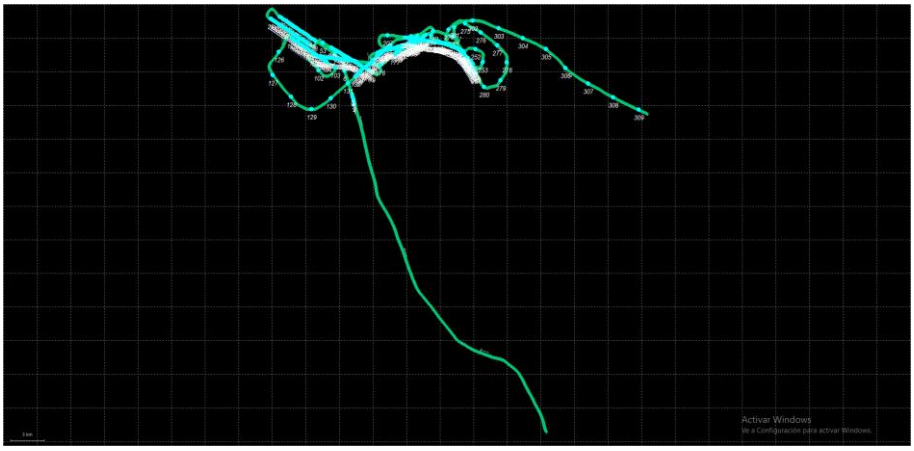
Fuente: Inertial Explorer

Figura 25. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230709 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

Figura 26. Procesamiento de información en el software Inertial Explorer para el día de vuelo 20230710 Sesión 1



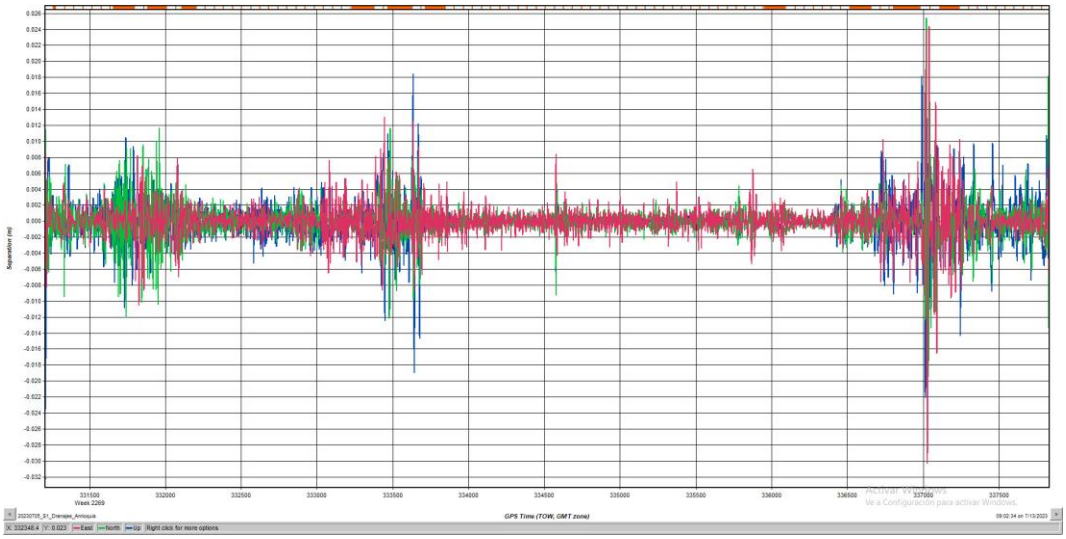
Fuente: Inertial Explorer

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.

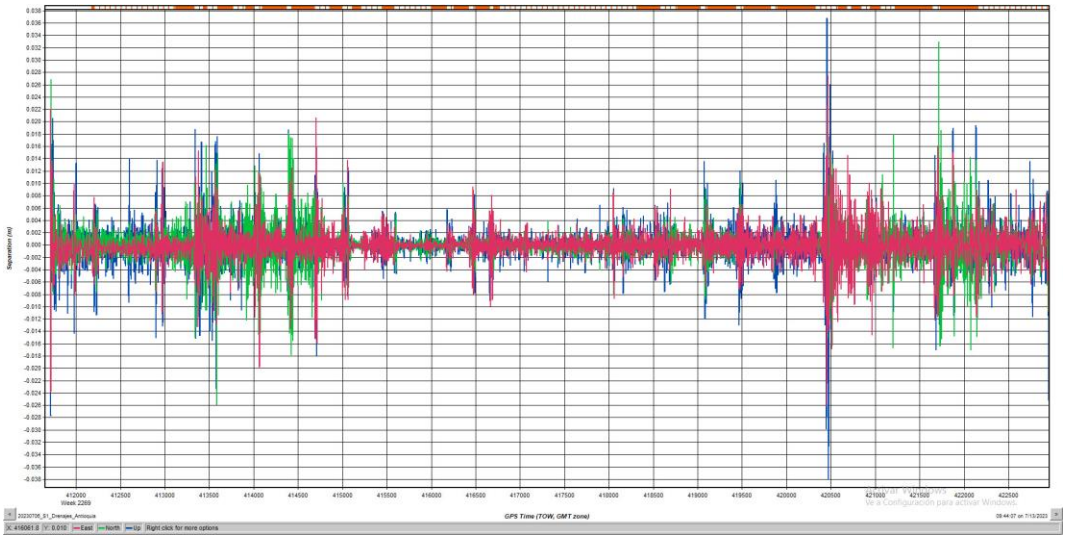
Figura 27.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1



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.

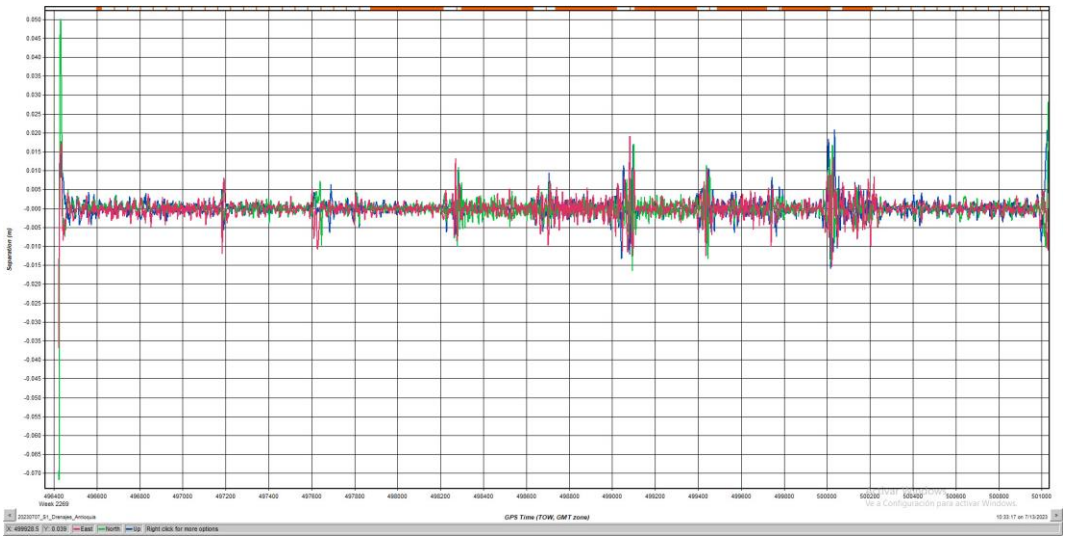
Figura 28.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1



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.

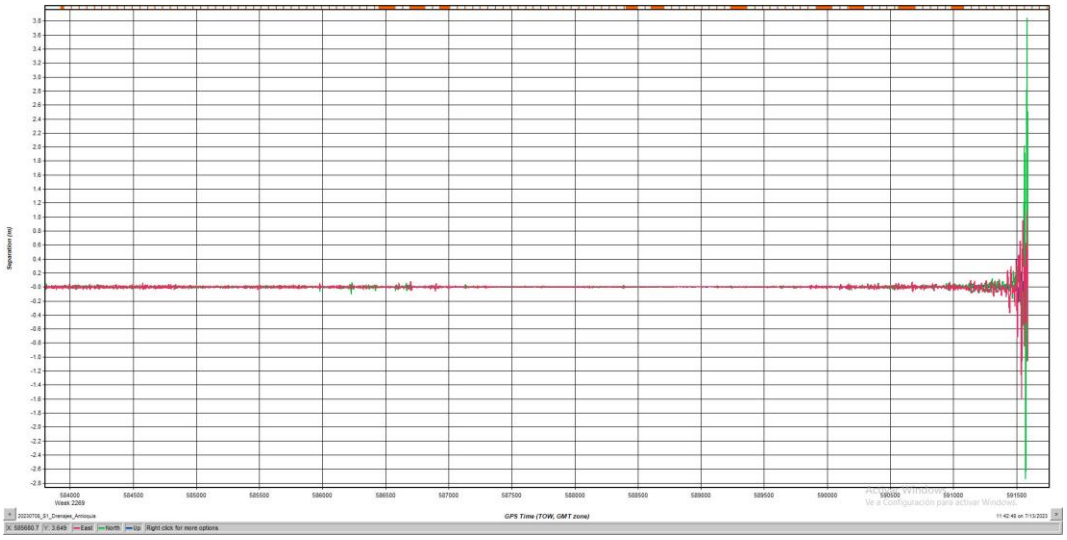
Figura 29.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1



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.

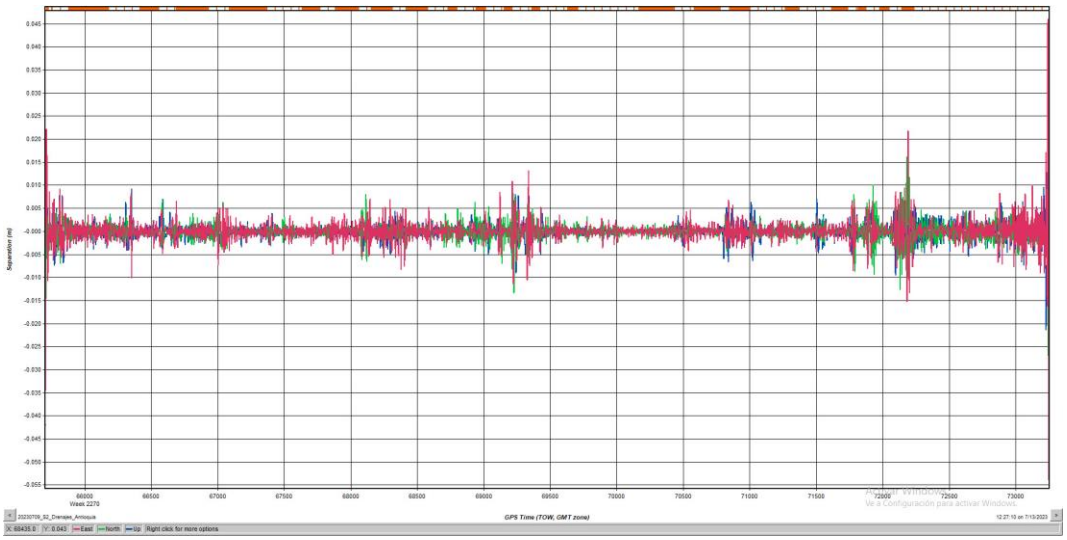
Figura 30.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1



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.

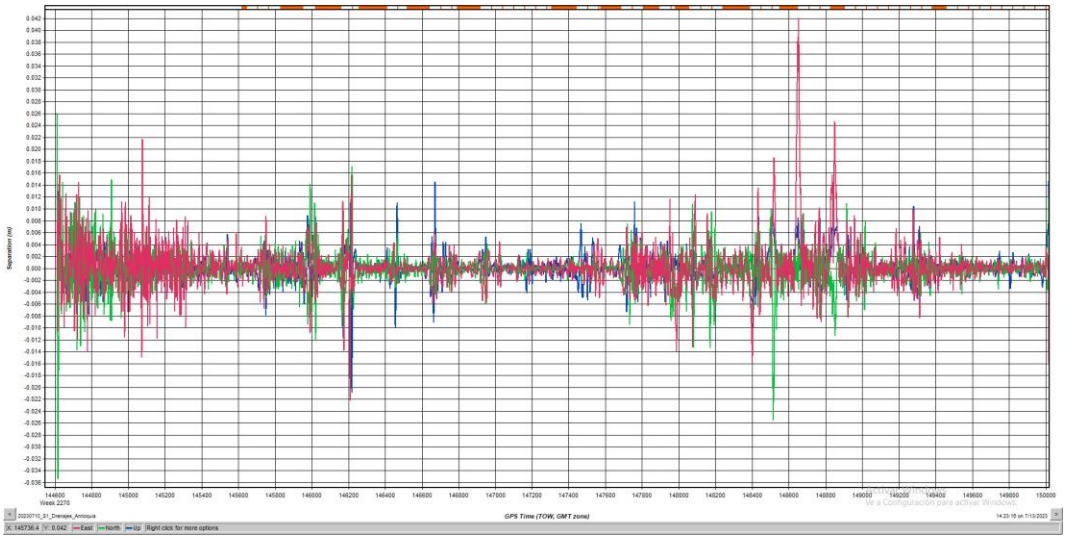
Figura 31.Gráfico de los errores en coordenadas Norte, Este y Altura (Combined RMS) para el vuelo ejecutado el día 20230709 Sesión 1



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



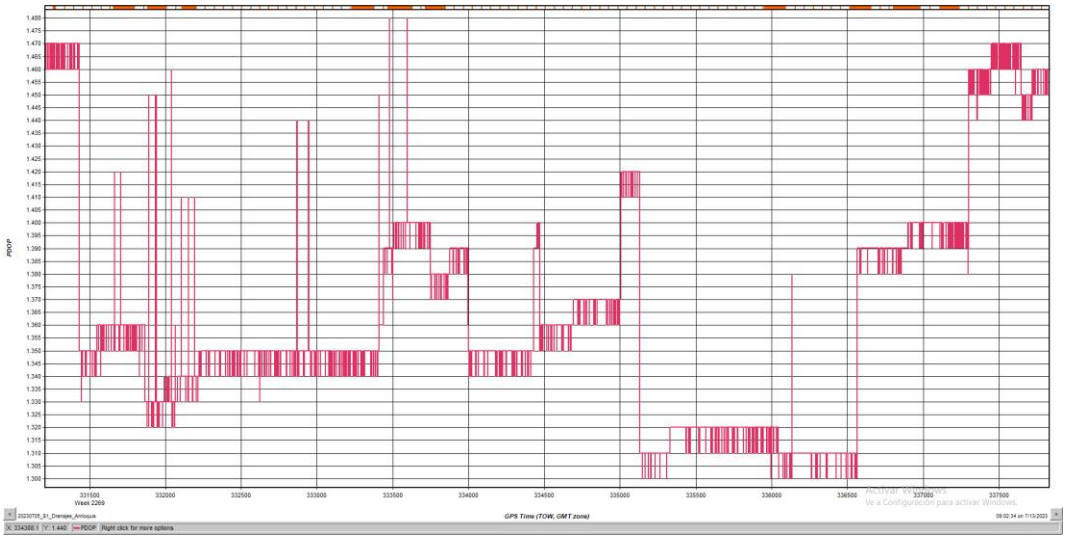
Fuente: Inertial Explorer

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

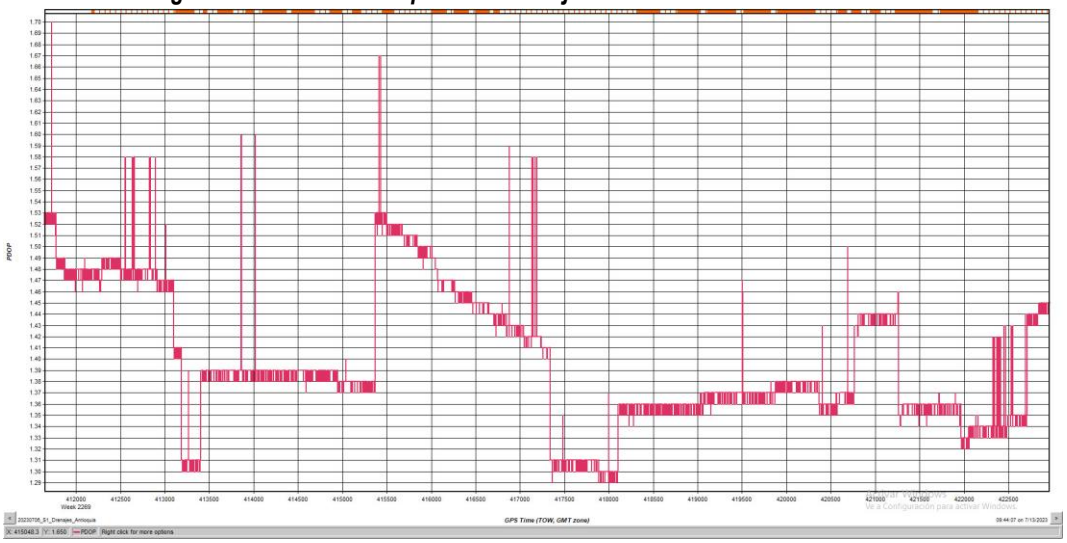
Figura 33. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

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

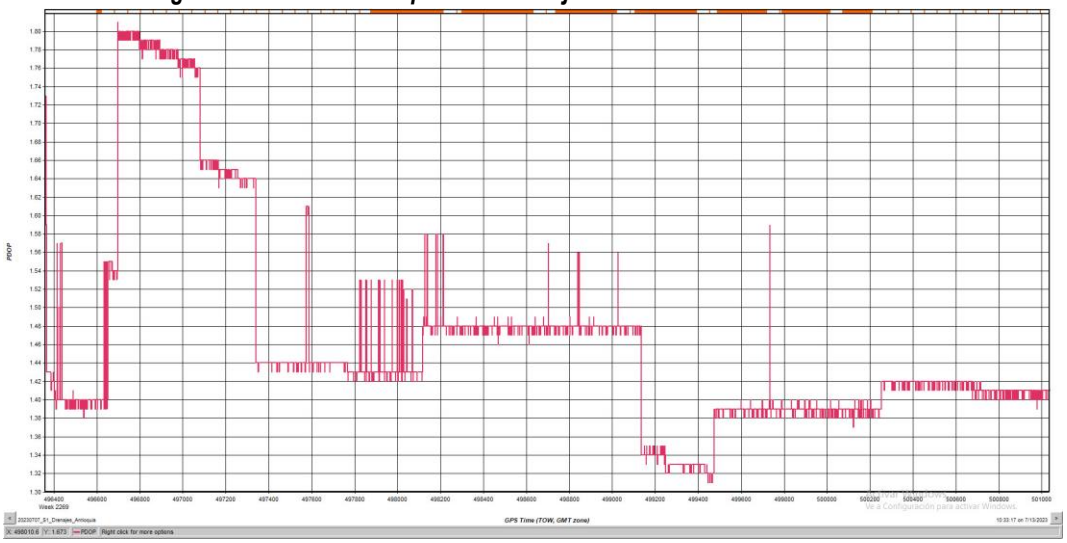
Figura 34. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

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

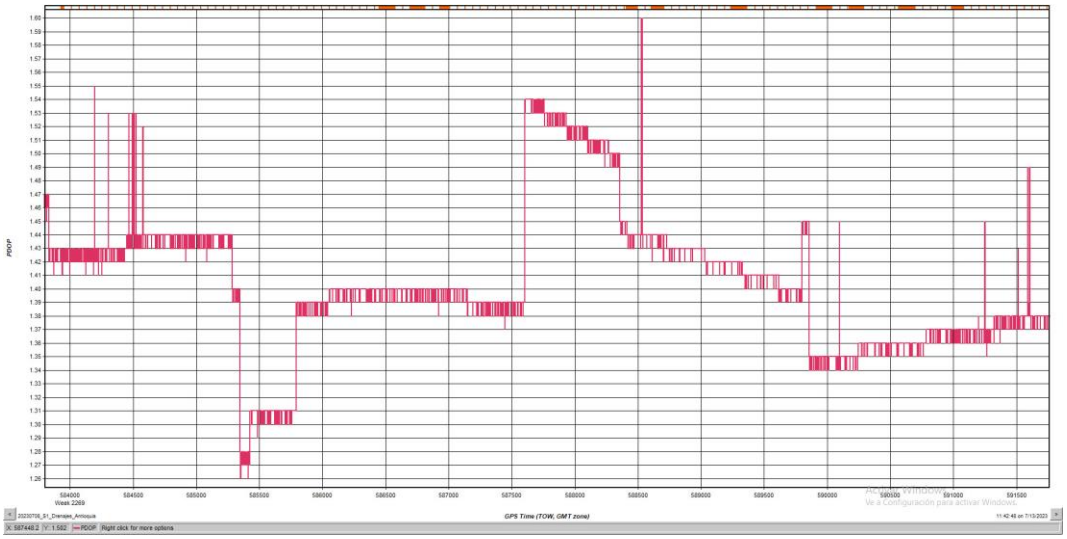
Figura 35. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

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

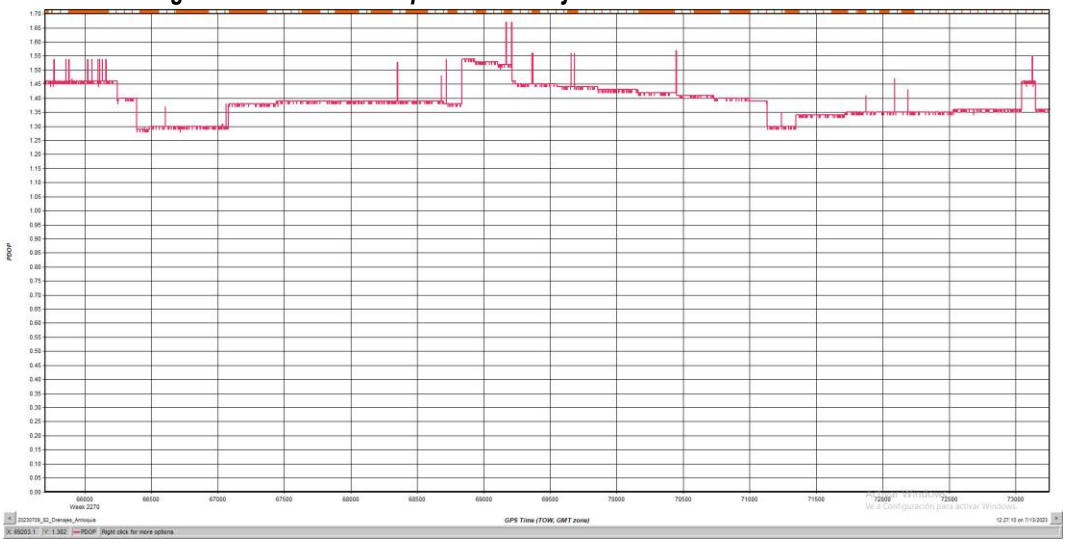
Figura 36. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1



Fuente: Inertial Explorer

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

Figura 37. 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

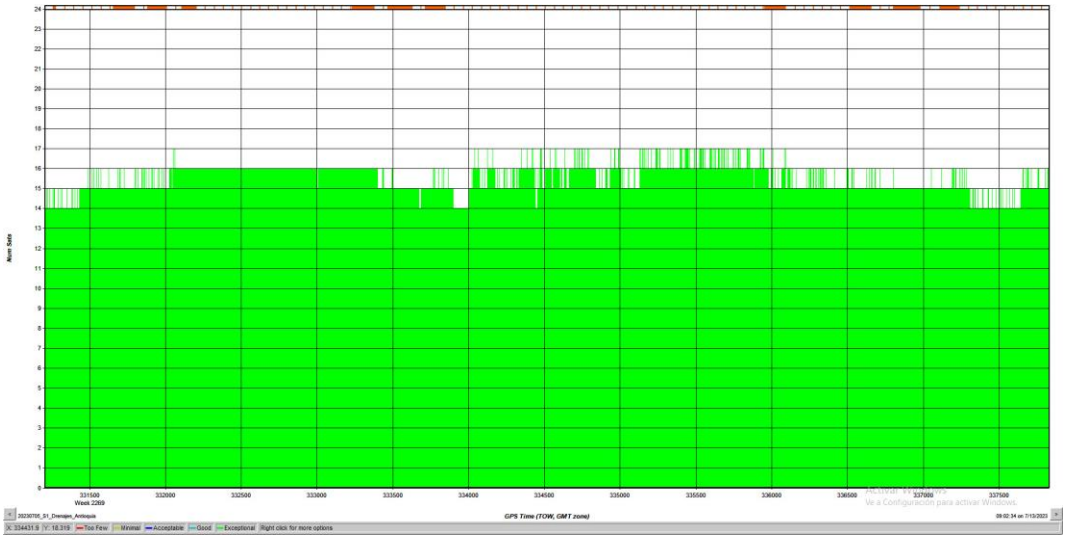
Figura 38. Gráfico PDOP para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1



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.

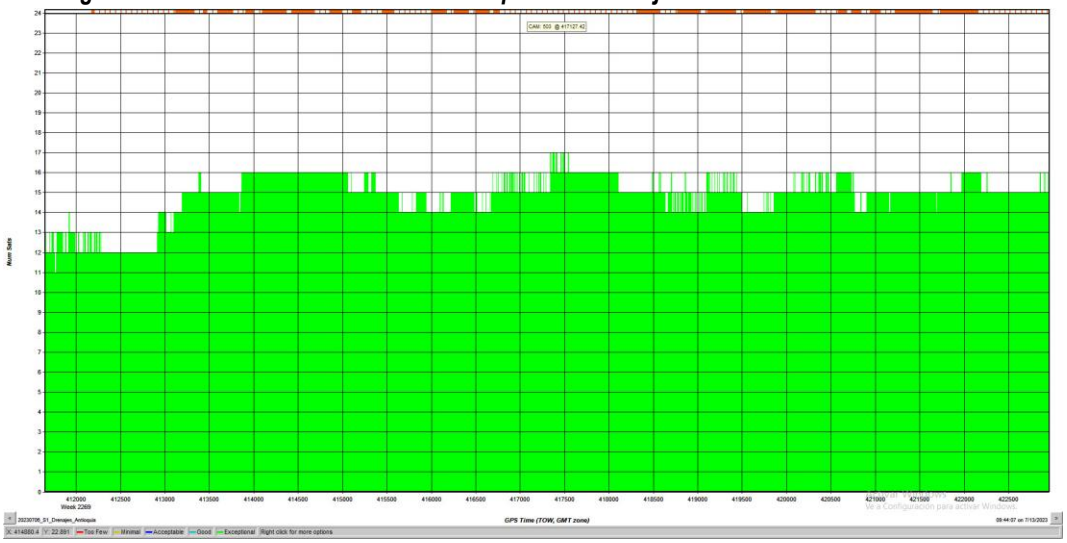
Figura 39. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230705 Sesión 1



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.

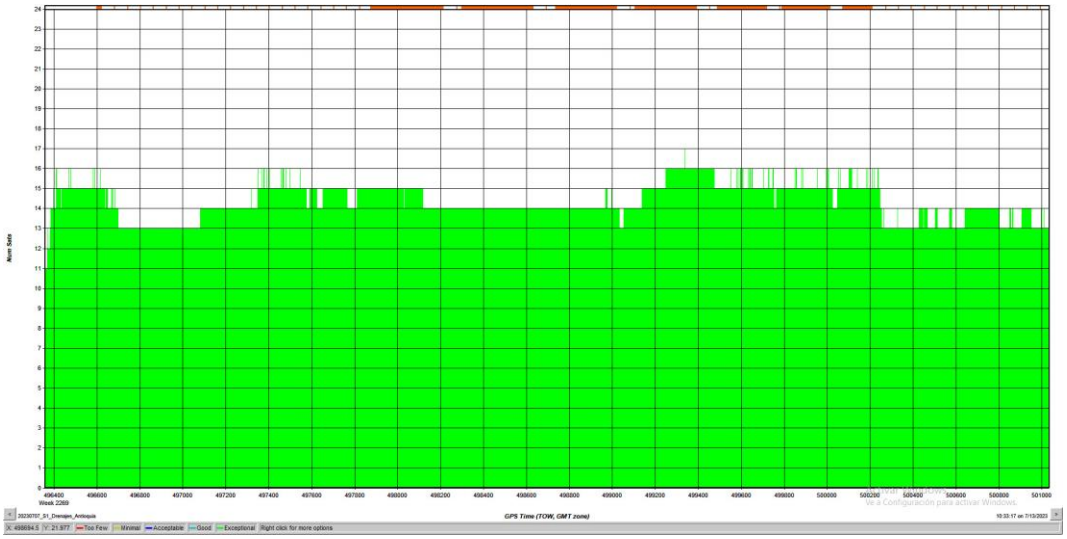
Figura 40. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230706 Sesión 1



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.

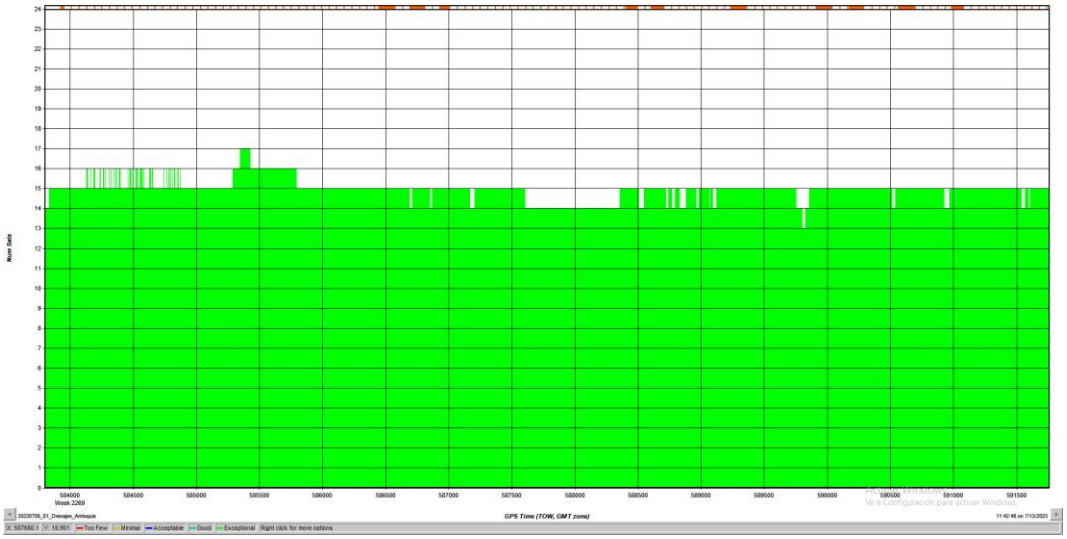
Figura 41. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230707 Sesión 1



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.

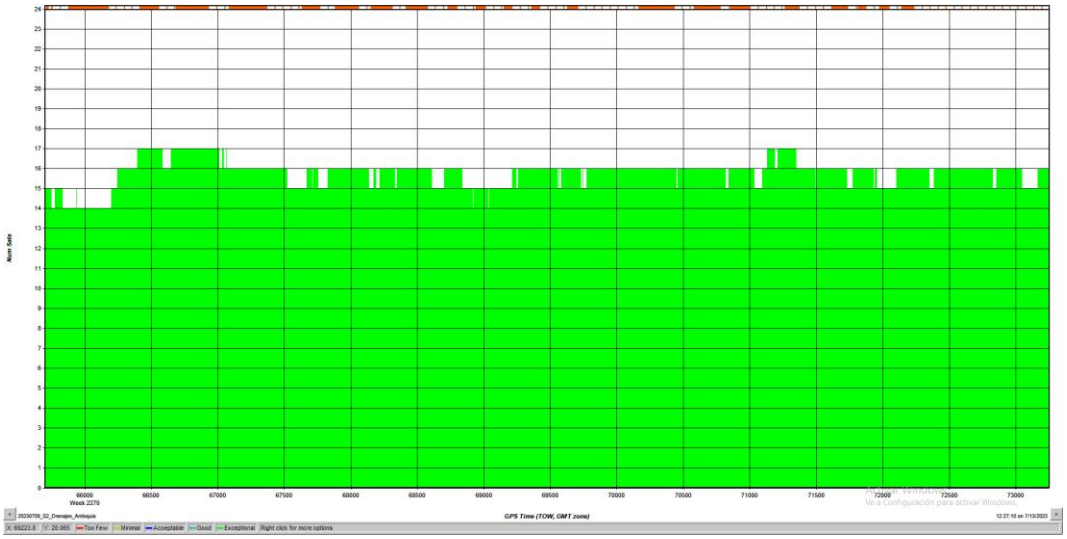
Figura 42. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230708 Sesión 1



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.

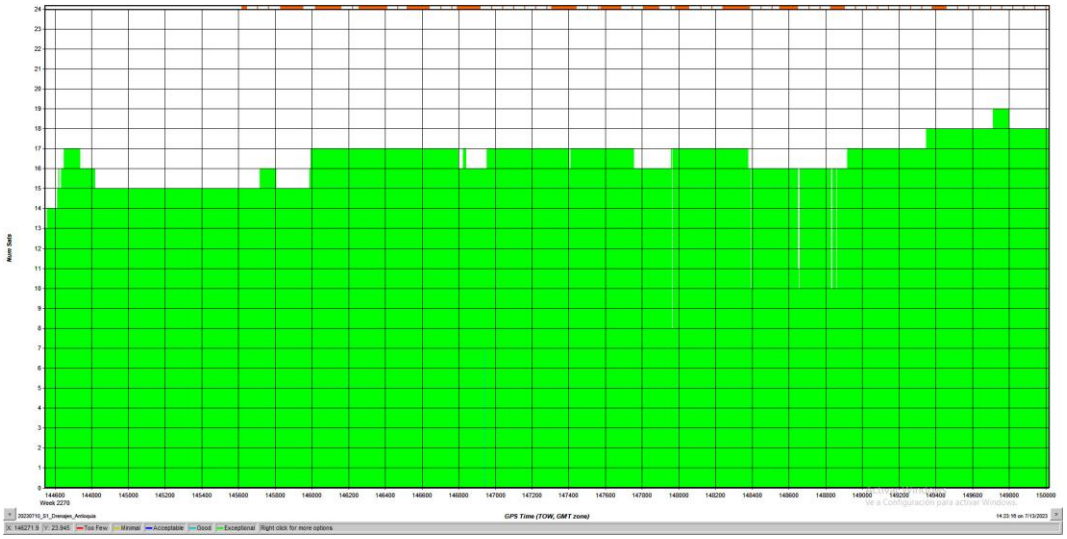
Figura 43. Gráfico del número de satélites para el vuelo ejecutado el día 20230710 Sesión 1



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 44. 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.

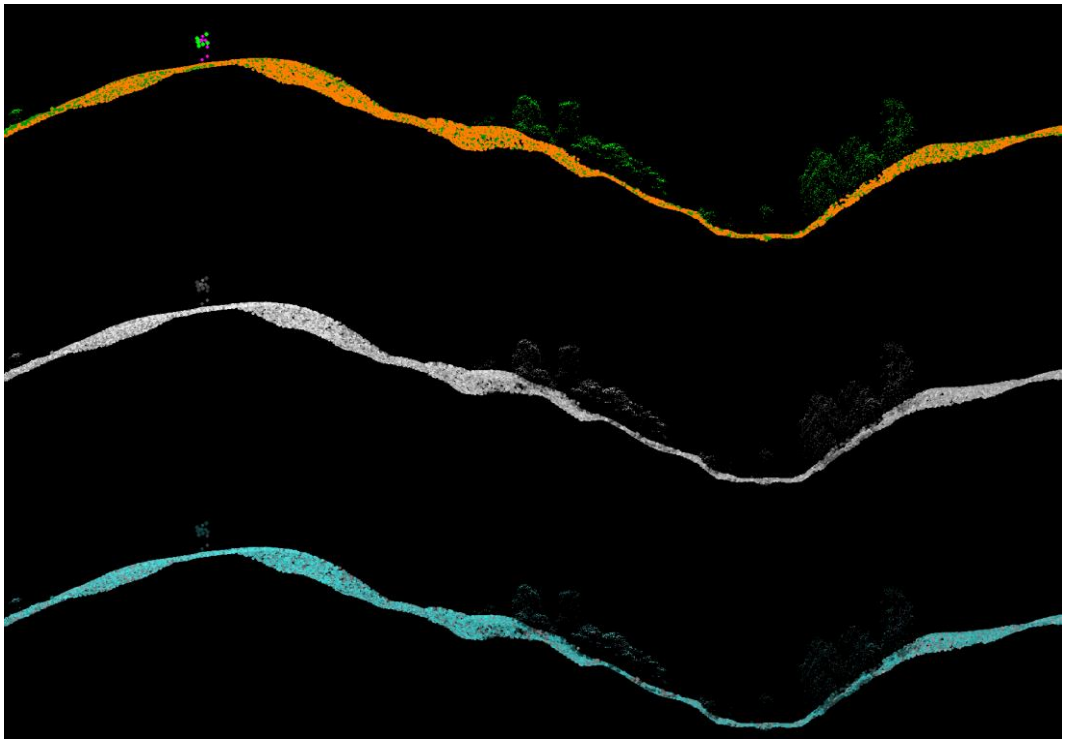
Del procesado de datos, se obtienen ficheros binarios en formato *.LAS (Laser Airborne Scanner), los cuales contienen información referente a coordenadas planimétricas y altimétricas, intensidad, número e información de retorno, ángulo de escaneo y marca de tiempo de cada uno de los puntos.

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 45. 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.

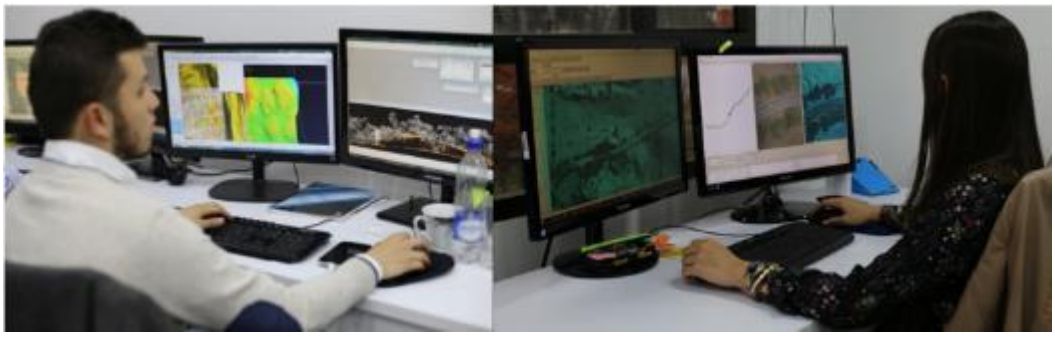
El algoritmo de corrección hace uso de todos los retornos, filtrando valores atípicos permitiendo hacer uso de la mayor cantidad de información disponible que permita comparar y corregir los errores. La trayectoria y la posición se ajustan para cada una de las líneas de vuelo compensando las ambigüedades 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 46. 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:

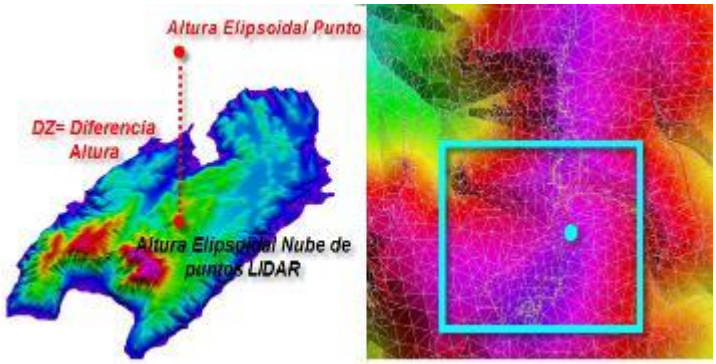
- Default
- Terreno – Ground
- Puentes
- Batimetrias

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 47.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 48. Ejemplo de los levantamientos mediante topografía convencional

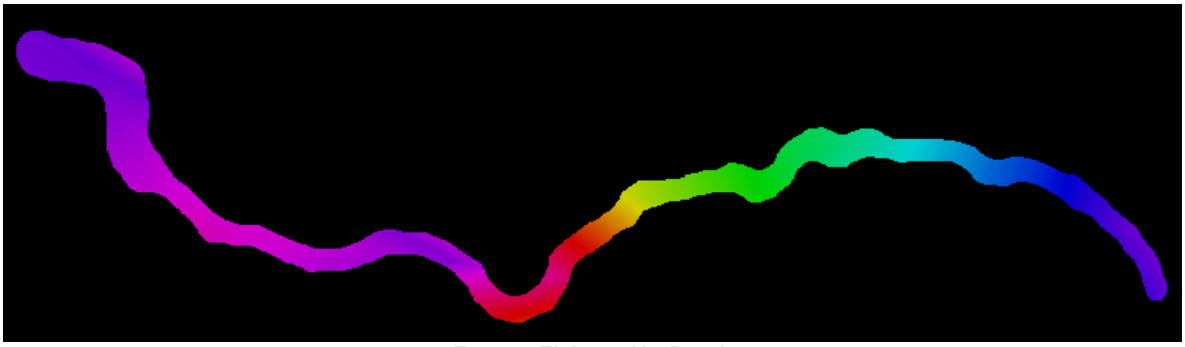


Fuente: SIGLA-SAS

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 49. 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 7. Tabla de Coordenadas de la RED Geodésica

	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
GPS01	6° 30' 58.99906" N	75° 43' 26.63480" W	1149711.284	1212544.307	4698834.303	2278862.095	1201.108	1175.908	0.120	1200.988	1175.788
GCP3	6° 31' 54.73749" N	75° 47' 30.47737" W	1142213.237	1214237.372	4691349.544	2280615.922	481.168	456.768	0.000	481.168	456.768
GCP4	6° 30' 24.38249" N	75° 44' 40.64812" W	1147439.519	1211474.585	4696553.841	2277810.690	725.853	701.453	0.000	725.853	701.453
GCP5	6° 30' 38.63831" N	75° 46' 38.19908" W	1143825.796	1211903.212	4692943.365	2278268.514	543.351	518.851	0.370	542.981	518.481
GCP6	6° 31' 11.69778" N	75° 42' 04.72822" W	1152227.387	1212941.317	4701353.614	2279238.765	1358.453	1332.853	0.000	1358.453	1332.853
GCP7	6° 30' 40.83394" N	75° 39' 18.53535" W	1157337.566	1212007.088	4706456.023	2278263.289	2574.952	2548.552	0.000	2574.952	2548.552

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 geométrico, comparando la nube de puntos LiDAR ajustada al modelo de alturas local con las coordenadas de la Red.

Posterior al ajuste, para la nube de puntos se obtuvo un error medio de diferencia en cota de 0.0042m.

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 50.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.

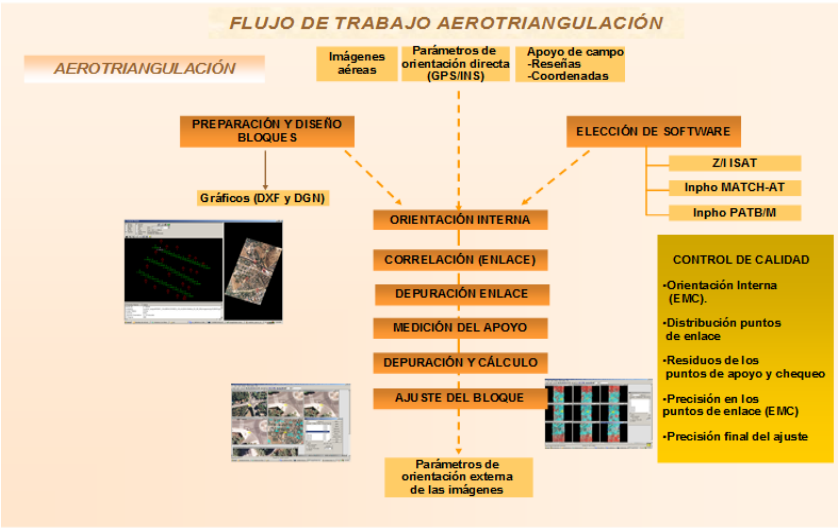
La aerotriangulación es el proceso por el que se obtiene la orientación externa precisa de fotogramas aéreos en el sistema de referencia establecido para el proyecto, materializado por los puntos de apoyo.

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 51.Flujo de trabajo de Aerotriangulación



Fuente: Elaboración Propia

10.3. PLANIFICACIÓN DE TRABAJOS DE AEROTRIANGULACIÓN.

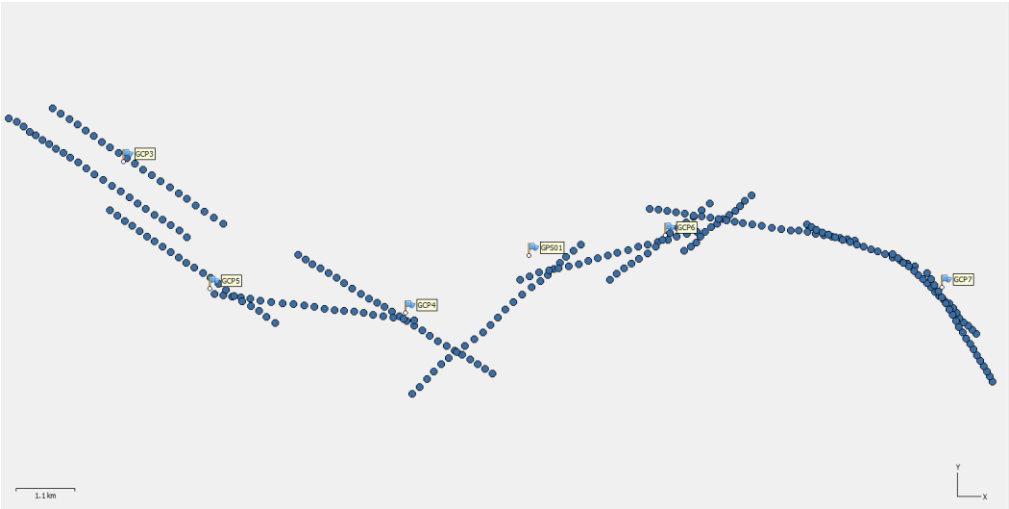
Antes de comenzar con el proceso de cálculo de una aerotriangulación, es preciso establecer una serie de pautas y definiciones que marcan el desarrollo del proceso. La planificación tiene el fin fundamental de asegurar la calidad del producto desde antes que comience su producción hasta que esté terminado, 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 52.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).

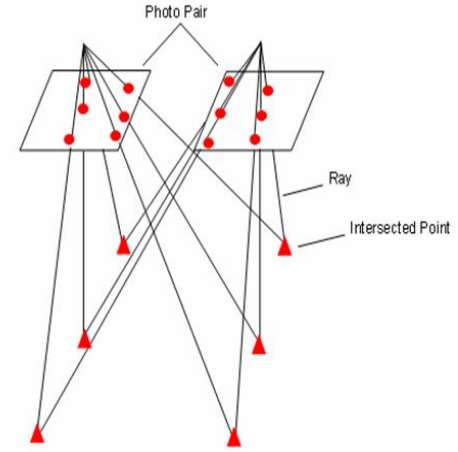
En la correlación se utilizaron las imágenes digitales a las que se les ha creado una estructura piramidal, con el fin de optimizar los procesos. En los primeros niveles de la piramidal (menos resolución) se usa un algoritmo de cálculo basado en la extracción de formas características (Feature-Based 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.

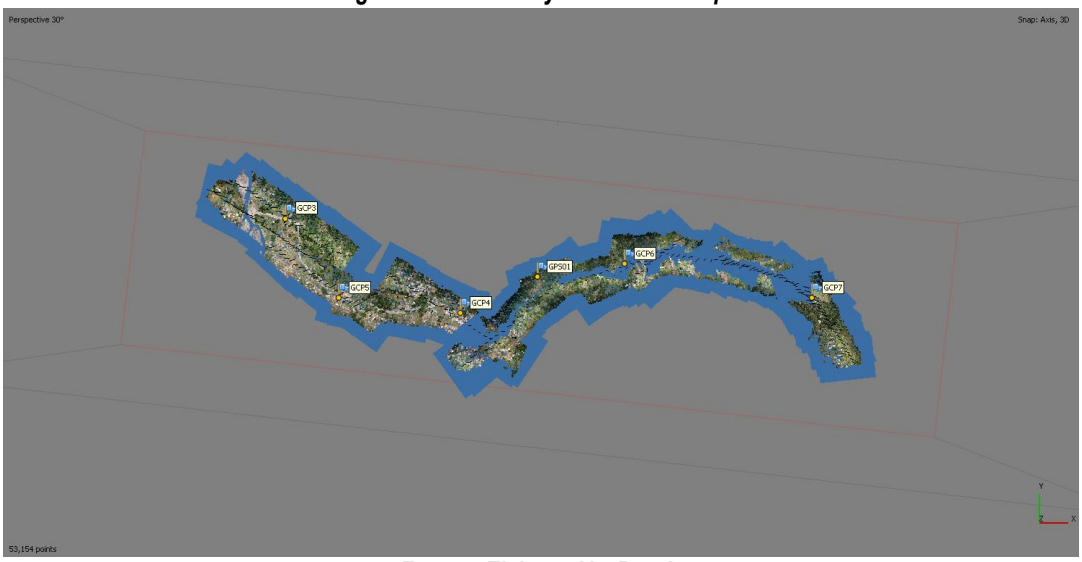
Figura 53.Multimedición de puntos de Amarre



Fuente: Elaboración Propia

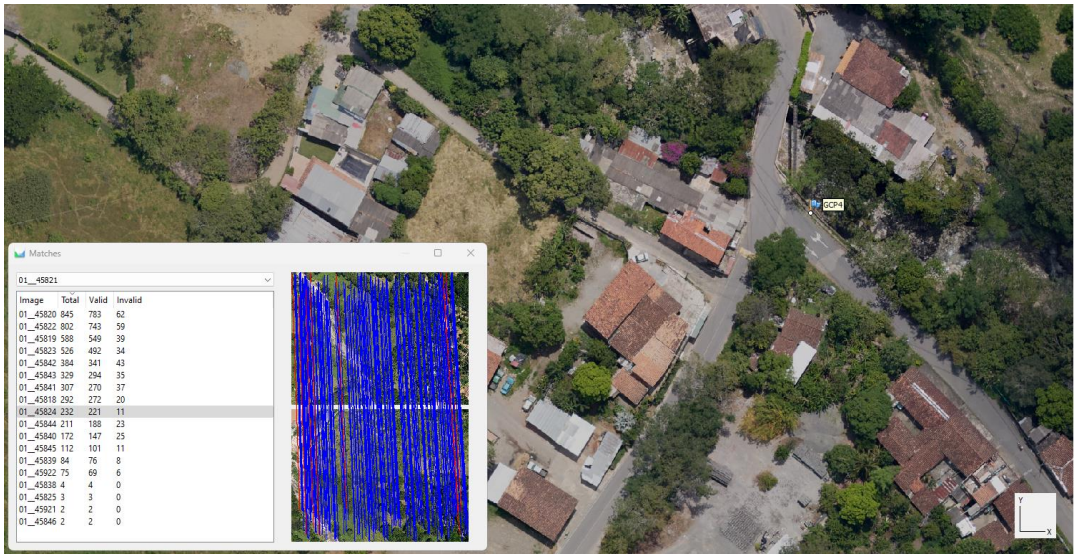
Ambos procesos fueron repetidos tantas veces como fue necesario hasta cumplir con las exigencias de precisión y de enlace del bloque. Como resultado, se obtuvo la orientación relativa del bloque y su precisión interna.

Figura 54.Precisión y enlace del bloque



Fuente: Elaboración Propia

Figura 55.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.

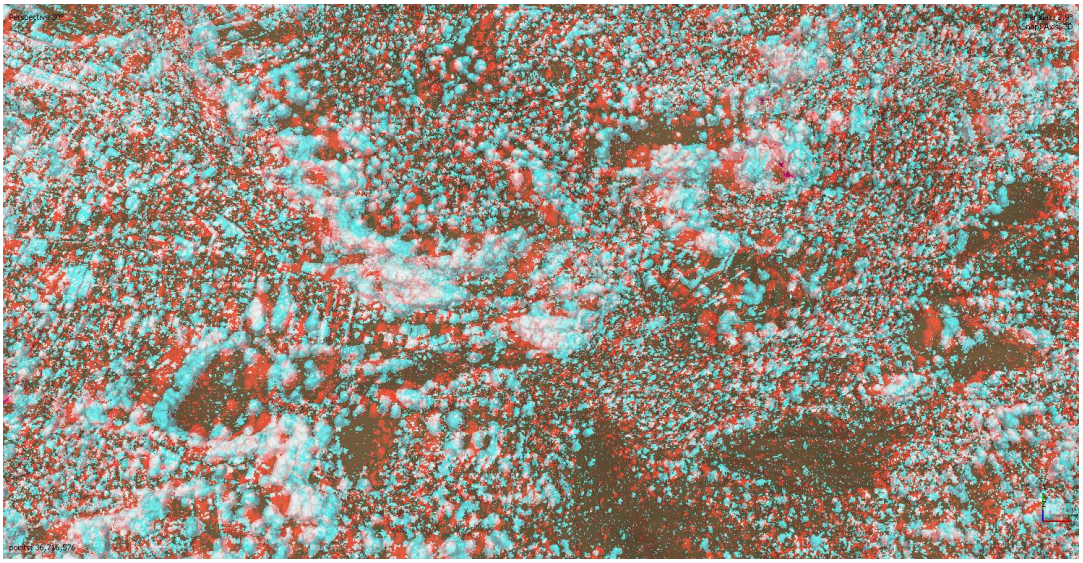
Al construir el bloque se analizaron los siguientes parámetros:

- 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 56.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 265 fotografías en RGB

Como resultado de esta fase2 se obtuvieron los siguientes productos:

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

Figura 57.Ortofotomosaico Fase 2



Fuente: Global Mapper

POLITÉCNICO COLOMBIANO JAIME ISAZA CADAVID	**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:**	3		**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

37,41%

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 de la quebrada LA SOPETRANA 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. 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 Como resultado de esta fase2 se obtuvieron los siguientes productos: • 88 imágenes RGB, a resolución 7cm Formatos TIFF, ECW y PNG. • Fichero AUX de georreferenciación	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_Sopetrana

OBSERVACIONES

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
☒ **Informe de avance de las actividades realizadas por parte del contratista en el periodo reportado.**
☒ **Cumplimiento de pagos realizados al Sistema de Seguridad Social Integral y Parafiscales si aplica**
☒ **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

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	

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