



**REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y
FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1
HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON
LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE
CONCESIÓN NO. 163 DE 2019**

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA

Documento No. EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

CONTROL DE CAMBIOS

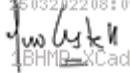
ÍNDICE DE MODIFICACIONES (Para uso de la Asesoría)

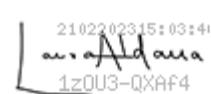
Versión	Fecha	Sección modificada	Observaciones
A	25-03-2022	-	Versión inicial para revisión de FDN / EMB.
B	22-04-2022	-	Ajustado según comentarios de Interventoría (Informe PLMBX-INT-03-01-TOPO-IFR-004_00) y EMB (correo electrónico del 06-04-2022).
C	17-05-2022	Capítulo 1, 5 y Anexos	Ajustado según comentarios de Interventoría (Informe PLMBX-INT-03-01-TOPO-IFR-005_00) y EMB (Rad. EXTS22-0002599).
D	08-06-2022	Anexo 2, Anexo 3.1, Anexo 17	Ajustado según comentarios de Interventoría (Informe PLMBX-INT-03-01-TOPO-IFR-006_00) y EMB (correo electrónico del 26-05-2022).
E	05-07-2022	Numeral 1.1 Anexos 2 y 14	Ajustado según comentarios de EMB (EXTS22-0003440 del 21-06-2022).
F	01-08-2022	Anexo 14	Ajustado según comentarios de EMB (EXTS22-0004066 del 25-07-2022).
0	12-08-2022	-	Versión aprobada según Rad. EXTS22-0004400 del 11-08-2022.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

REVISIÓN Y APROBACIÓN (Para uso de la Asesoría)

<p>Preparó:</p> <p>2503202208:09:0:  1BHM8-XCadA</p> <p>F. Castellanos 12-08-2022</p>	<p>Revisó:</p> <p>2204022218:49:4:  1PVB8-t_1kc</p> <p>J. Fernandez 12-08-2022</p>	<p>Aprobó:</p> <p>2204022218:50:0:  1PVB8-t_1kc</p> <p>J. Fernandez 12-08-2022</p>	<p>Aprobó:</p> <p>2508202214:07:1:  1aCf--2Wr88</p> <p>I. Dussan 12-08-2022</p>
VoBo. Ingeniero ejecutor	VoBo. Coordinador Técnico	VoBo. Especialista	VoBo. Director de la División

<p>Revisó:</p> <p>2102202315:03:4:  1z0U3-QXAF4</p> <p>L. Aldana 12-08-2022</p>	<p>Revisó:</p> <p></p> <p>A. Alves 12-08-2022</p>	<p>Revisó:</p> <p>0908202215:57:4:  1NPhC-zdEf4</p> <p>F. Sánchez C. 12-08-2022</p>	<p>Revisó:</p> <p></p> <p>M. Cermesoni 12-08-2022</p>
VoBo. Coordinación INGETEC	VoBo. Coordinación SYSTRA	VoBo. Coordinador Técnico	VoBo. Director de Estructuración Técnica

REVISIÓN Y APROBACIÓN (Para uso de FDN)

<p>Juan Camilo Pantoja Vela 12-08-2022</p>
Gerente de Estructuración

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. MARCO CONTRACTUAL	14
1.2. OBJETIVOS Y ALCANCE	15
1.2.1. OBJETO	15
1.2.2. DESCRIPCIÓN Y ALCANCE	15
1.2.2.1 Red Geodésica	15
1.2.2.2 Amarre vertical	16
1.2.2.3 Levantamiento LiDAR	17
2. LOCALIZACIÓN	19
3. EQUIPOS	20
3.1. EQUIPOS DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS	20
3.1.1. Red Geodésica	20
3.1.2. Nivelación	21
3.2. EQUIPOS LIDAR Y ORTOFOTOS	22
4. PERSONAL INVOLUCRADO EN LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS	26
4.1. LEVANTAMIENTO DE RED GEODÉSICA	26
4.2. NIVELACIÓN GEOMÉTRICA	26
4.3. LEVANTAMIENTO UAV, LiDAR Y FOTOGRAMETRÍA	27
4.4. POST PROCESO Y GENERACIÓN DE PRODUCTOS DERIVADOS	27
5. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE INVESTIGADA O RECIBIDA	28
5.1. TRATAMIENTO LA DE INFORMACIÓN EXISTENTE	31
6. METODOLOGÍA EMPLEADA	33
6.1. RED GEODÉSICA	33
6.1.1. Reconocimiento de campo y alistamiento	33
6.1.2. Base permanente ABCC y BOGA	34
6.1.3. Diseño de la Red Geodésica	36
6.1.4. Materialización en campo de la red geodésica	36
6.1.5. Posicionamiento de la red geodésica	37
6.1.6. Postproceso de los datos	39
6.1.7. Obtención de RINEX y datos crudos	40
6.1.8. Cálculo y ajuste de la red	42
6.1.9. Traslado época de referencia	46

6.1.10. Ondulación Geoidal	48
6.1.11. Resumen de cálculo de postproceso Red Geodésica	50
6.2. NIVELACIÓN RED GEODÉSICA	51
6.2.1. Reconocimiento de campo y alistamiento	51
6.2.2. Circuitos de Nivelación	51
6.2.2.1 Circuito 1	54
6.2.2.2 Circuito 2	57
6.2.2.3 Circuito 3	60
6.2.2.4 Circuito 4	64
6.2.2.5 Circuito 5	67
6.2.2.6 Circuito 6	70
6.2.2.7 Circuito 7	74
6.2.2.8 Circuito 8	78
6.2.2.9 Circuito 9	82
6.2.3. Nivelación de pozos	87
6.3. GENERACIÓN DE INSUMOS CARTOGRÁFICOS MEDIANTE VUELOS VANT	87
6.3.1. Coordinación logística, permisos y planes de vuelo	87
6.3.1.1. Planificación de puntos de aterrizaje y despegue	87
6.3.1.2. Permisos de Vuelo Aeronautica Civil	89
6.3.1.3. Planes de Vuelo.	89
6.3.2. Realización de vuelos VANT para captura de información LiDAR - Fotogrametría	90
6.3.2.1. Captura de Información con vehículo aéreo no tripulado (VANT)	90
6.3.2.2. Análisis de información meteorológica previo a cada misión del vuelo	91
6.3.2.3. Comprobación de la información y sistemas	91
6.3.2.4. Controles de calidad previos y durante el vuelo	92
6.3.2.5. Realización de los vuelos para captura de información	92
6.3.2.6. Controles de calidad posteriores a los vuelos de captura	92
6.3.2.7. Descarga de información capturada	93
6.3.3. Obtención directa de trayectorias de vuelos VANT	93
6.3.3.1. Procesado Información Vuelo Combinado (LIDAR-FOTO)	94
6.3.4. Procesado final datos LiDAR	94
6.3.4.1. Edición de datos LiDAR	94
6.3.4.2. Clasificación automática	95
6.3.4.3. Edición manual de la nube de puntos LiDAR	95
6.3.4.4. Cálculo del Modelo de ajuste local de Ondulación.	96
6.3.4.5. Control de Calidad altimétrico de Datos LiDAR (Control de cotas Geométricas)	97

6.3.4.6. Generación del Modelo Digital del Terreno (MDT) y Modelo Digital de Superficie (MDS)	98
6.3.5 FOTOGRAMETRÍA	100
6.3.5.1 Procesamiento	100
6.3.5.1.1 Revisión, Selección y Depuración de Información Capturada	100
6.3.5.1.2 Procesamiento Fotogramétrico	101
6.3.5.1.3 Finalización y entrega de productos	107
6.3.6. CARTOGRAFÍA	109
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
7.1. CONCLUSIONES	114
7.2. RECOMENDACIONES	115
8. ANEXOS	116

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. NP 37-BGT - IGAC
- Figura 2. Localización general proyecto
- Figura 3. South Galaxy G1
- Figura 4. Drone Matrice 300
- Figura 5. Drone multirotor Phantom 4
- Figura 6. Planta del puente y ortofoto
- Figura 7. Sección Puente Primera Parte
- Figura 8. Sección Puente Segunda Parte
- Figura 9. Ubicación y demarcación preliminar (scouting)
- Figura 10. Puntos red activa IGAC
- Figura 11. Materialización punto GPS
- Figura 12. Placa de materialización de puntos GPS
- Figura 13. Esquema de posicionamiento red geodésica
- Figura 14. Calendario GPS Red Geodésica
- Figura 15. Descarga de RINEX
- Figura 16. Soluciones GPS semanales para las estaciones CORS “ABCC” y “BOGA”
- Figura 17. Configuración parámetros posicionamiento Red Geodésica
- Figura 18. Edición de señales satelitales Red Geodésica
- Figura 19. Vectores Red Geodésica
- Figura 20. Traslado de época Vértices
- Figura 21. Cálculo de Ondulación geoidal
- Figura 22. Descarga certificado vértice de amarre 37-BGT
- Figura 23. Circuitos de Nivelación
- Figura 24. Cartera de Campo – sistema Convencional
- Figura 25. Circuito 1

Figura 26. Error Circuito de Contranivelación No 1

Figura 27. Nivelación 37-BGT

Figura 28. Nivelación C6

Figura 29. Nivelación C10

Figura 30. Circuito 2

Figura 31. Error Circuito No2

Figura 32. Nivelación C11

Figura 33. Nivelación C20

Figura 34. Nivelación GNSS31A

Figura 35. Circuito 3

Figura 36. Error Circuito de Contranivelación No3

Figura 37. Nivelación C24

Figura 38. Nivelación GNSS32A

Figura 39. Nivelación C34

Figura 40. Circuito 4

Figura 41. Error Circuito de Contranivelación No 4

Figura 42. Nivelación C36

Figura 43. Nivelación C39

Figura 44. Nivelación C42

Figura 45. Circuito 5

Figura 46. Error Circuito de Contranivelación No5

Figura 47. Nivelación C44

Figura 48. Nivelación C50

Figura 49. Nivelación GPS3

Figura 50. Circuito 6

Figura 51. Error Circuito de Contranivelación No 6

Figura 52. Nivelación C55

Figura 53. Nivelación C59

Figura 54. Nivelación C65

Figura 55. Circuito 7

Figura 56. Error Circuito de Contranivelación No7

Figura 57. Nivelación C69

Figura 58. Nivelación C74

Figura 59. Nivelación C79

Figura 60. Circuito 8

Figura 61. Error Circuito de Contranivelación No 8

Figura 62. Nivelación C83

Figura 63. Nivelación C91

Figura 64. Nivelación C94

Figura 65. Circuito 9

Figura 66. Error Circuito de Contranivelación No 9

Figura 67. Nivelación C100

Figura 68. Nivelación C107

Figura 69. Nivelación C121

Figura 70. Sitios preliminares para despegue de los VANT

Figura 71. Zonas plan de vuelo del M300 para captura de datos LiDAR

Figura 72. Zonas y Plan de vuelo del Phantom 4 para captura de fotografías aéreas

Figura 73. Captura VANT de fotografías aéreas y LiDAR

Figura 74. Parametrización del terreno en rutinas automáticas de clasificación LiDAR

Figura 75. Edición manual clasificación LiDAR - Avenida Calle 116, Carrera 50.

Figura 76. Gráfico explicativo método Control de cota geométrica LiDAR

Figura 77. Gráfico Modelo Digital del Terreno LiDAR - Puente calle 92

Figura 78. División proyecto Fotogramétrico

Figura 79. Revisión, selección y depuración de imágenes a procesar.

Figura 80. Correlación y puntos homólogos entre pares de imágenes.

Figura 81. Ground Control Points sobre nube dispersa de puntos.

Figura 82. Identificación de Ground Control Points en imágenes.

Figura 83. Nube densa de puntos

Figura 84. Construcción de DEM

Figura 85. Construcción de Ortomosaico

Figura 86. Ortofoto

Figura 87. Ejemplo perfil longitudinal

Figura 88. Ejemplo perfil Sección transversal

Figura 89. MDT - Puente calle 92

Figura 90. Curvas de nivel obtenidas - Puente calle 92

Figura 91. Control calidad cartografía Puente calle 92

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Coordenadas tridimensionales Vértices L1MB
- Tabla 2. Coordenadas geocéntricas tridimensionales y geográficas Vértices L1MB
- Tabla 3. Coordenadas planas, magna ciudad de Bogotá y cota geométrica Vértices L1MB
- Tabla 4. Características sensor LiDAR
- Tabla 5. Personal de campo Red Geodésica
- Tabla 6. Personal de campo Nivelación Geométrica
- Tabla 7. Personal de campo Levantamiento UAV
- Tabla 8. Personal postproceso de información
- Tabla 9. Vértices Geodésicos del levantamiento topográfico
- Tabla 10. Análisis de información secundaria
- Tabla 11. Fecha de Posicionamiento
- Tabla 12. Parámetros Geodésicos del Proyecto
- Tabla 13. Residuales de observaciones GPS
- Tabla 14. Residuales de observaciones GPS
- Tabla 15. Red geodésica traslado de época 2018.0
- Tabla 16. Ondulación Geoidal obtenida
- Tabla 17. Coordenadas Locales Bogotá época 2018.0
- Tabla 18. Certificado vértice de amarre 37-BGT
- Tabla 19. Resumen circuitos de nivelación
- Tabla 20. Información Circuito de Nivelación N1
- Tabla 21. Información Circuito de ContraNivelación N1
- Tabla 22. Información Circuito de Nivelación N2
- Tabla 23. Información Circuito de Contranivelación N2
- Tabla 24. Información Circuito de Nivelación N3

Tabla 25. Información Circuito de Contranivelación N3
Tabla 26. Información Circuito de Nivelación N4
Tabla 27. Información Circuito de Contranivelación N4
Tabla 28. Información Circuito de Nivelación N5
Tabla 29. Información Circuito de Contranivelación N5
Tabla 30. Información Circuito de Nivelación N6
Tabla 31. Información Circuito de Contranivelación N6
Tabla 32. Información Circuito de Nivelación N7
Tabla 33. Información Circuito de Contranivelación N7
Tabla 34. Información Circuito de Nivelación N8
Tabla 35. Información Circuito de Contranivelación N8
Tabla 36. Información Circuito de Nivelación N9
Tabla 37. Información Circuito de Nivelación N9
Tabla 38. Verificación Cotas red Geodésica
Tabla 39. Verificación Cotas SIGLA vs INGETEC
Tabla 40. Verificación Cotas IGAC vs INGETEC
Tabla 41. Sitios establecidos para despegue de los VANT
Tabla 42. Resultados Alineación de imágenes
Tabla 43. Matriz de correlación y calibración bloque 01
Tabla 44. Resumen de tamaños de nubes densas de puntos
Tabla 45. Resumen de RMSE de puntos de control y puntos de chequeo
Tabla 46. Relación de productos emitidos
Tabla 47. Vectores utilizados en la digitalización de la ortofoto
Tabla 48. Relación de Planos emitidos

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Certificado de Calibración de Equipos*
- Anexo 2. Tarjetas profesionales de topógrafos*
- Anexo 3. Posicionamiento de puntos GPS*
- Anexo 4. Informe de Postproceso de Puntos GPS*
- Anexo 5. Carteras de Campo Nivelación Geométrica*
- Anexo 6. Cálculo y ajuste Nivelación Geométrica*
- Anexo 7. Permisos de vuelo*
- Anexo 8. Planes de vuelo*
- Anexo 9. Datos crudos LiDAR*
- Anexo 10. Procesamiento de Datos LiDAR*
- Anexo 11. Curvas de nivel*
- Anexo 12. Planimetría*
- Anexo 13. Ortofoto*
- Anexo 14. Planos Topográficos*
- Anexo 15. Control de calidad altimétrico nube de puntos LiDAR*
- Anexo 16. Presentación*
- Anexo 17. Documento Aprobación*
- Anexo 18. Tabla Control*

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MARCO CONTRACTUAL

La EMPRESA METRO DE BOGOTÁ (**en adelante EMB**) y la FINANCIERA DE DESARROLLO NACIONAL (**en adelante FDN**), suscribieron el Contrato Interadministrativo 277 de 2021 (**en adelante el Contrato Interadministrativo**) que inició el 25 de noviembre de 2021, para realizar la estructuración técnica y financiera de la extensión de la PLMB-TRAMO 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019 (**en adelante EPLMB o el Proyecto**) en sus componentes técnicos y financiero.

En virtud de las obligaciones derivadas del Contrato Interadministrativo 277 de 2021, el 07 de diciembre de 2021, FDN y la Unión Temporal Extensión Metro Línea 1, conformada por las empresas SYSTRA S.A. Sucursal Colombiana e INGETEC INGENIERÍA Y DISEÑO S.A.S., (**en adelante la Asesoría**), suscribieron el Contrato 85/2021 cuyo objeto es *Acompañar a la FDN en las actividades de estructuración técnica de la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019 y aquellas establecidas en el Contrato Interadministrativo No. 277 de 2021*. El contrato 85/2021 inició el 7 de diciembre de 2021, con la suscripción del mismo y su duración se estableció hasta el 24 de septiembre de 2022.

Así mismo, el 07 de diciembre de 2021, FDN y SENER INGENIERÍA Y SISTEMAS COLOMBIA S.A.S., (**en adelante la interventoría**), suscribieron el Contrato 86/2021 cuyo objeto es *la interventoría técnica, administrativa, legal y financiera a los estudios y diseños técnicos de factibilidad que hacen parte del Contrato de Consultoría cuyo objeto es "Asesorar a la FDN en la estructuración técnica de la extensión de la PLMB-Tramo 1 hasta el sector de la calle 100, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019 suscrito entre la EMB y Metro Línea 1 S.A.S. (el "Contrato de Concesión No. 163 de 2019")"*. Dicho contrato inició con la suscripción del mismo y su duración se estableció hasta el 24 de septiembre de 2022.

El presente informe consta de los siguientes capítulos:

- Capítulo 1: Generalidades
- Capítulo 2: Localización del Proyecto
- Capítulo 3: Equipos
- Capítulo 4: Personal involucrado
- Capítulo 5: Análisis de información existente investigada o recibida
- Capítulo 6: Metodología empleada
- Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones
- Capítulo 8. Anexos

1.2. OBJETIVOS Y ALCANCE

1.2.1. OBJETO

- Establecer una red geodésica y una red de nivelación que sirvan de marco planimétrico y altimétrico de referencia para los trabajos topográficos realizados en el desarrollo del proyecto.
- Elaborar el estudio topográfico requerido para el desarrollo de los estudios y diseños del proyecto EPLMB, mediante tecnología LiDAR con aeronave remotamente tripulada (VANT), comúnmente llamado Drone.
- Obtener la representación gráfica del terreno en planimetría, altimetría y datos básicos de las redes secas e hidrosanitarias existentes, bajo las indicaciones del documento Especificación Técnica ET-01 - Estudios Topográficos.
- Obtener información adecuada y necesaria para la elaboración de los estudios y diseños en fase de factibilidad de los proyectos de infraestructura del sistema metro (vías férreas y estaciones, patio taller, Centro de Control Operacional), su componente vial urbano y de espacio público (corredores, intersecciones y puentes) del proyecto EPLMB.

1.2.2. DESCRIPCIÓN Y ALCANCE

Las actividades del estudio topográfico para la EPLMB, se realizaron de acuerdo con el siguiente alcance:

1.2.2.1 Red Geodésica

De acuerdo con lo indicado en la Especificación Técnica ET-01 - Estudios topográficos, con el fin de amarrar el proyecto a las coordenadas IGAC, dentro del presente estudio se realizó una red geodésica, utilizando como base fija en horizontal los vértices oficiales ABCC y BOGA, correspondientes a la red Magna Eco del IGAC respectivamente. Para el desarrollo de esta actividad se construyeron mojones en concreto en las zonas blandas y se materializaron placas de aluminio incrustadas en zonas duras. La red geodésica fue estructurada mediante vértices GNSS en un rango de distancia mínima de 300 metros y máxima de 700 metros, a lo largo del corredor del proyecto, garantizando la referenciación de las señales de azimut y distancia horizontal del tramo.

Los puntos GNSS se materializaron con placa de aluminio incrustada en sardineles, andenes, zonas duras o cualquier otro lugar que garantizara su permanencia y posterior localización para futuros levantamientos durante la etapa de construcción. En los casos donde no existían zonas duras para la materialización de los puntos GNSS, se colocaron enterrados en terreno natural mojones de concreto, con incrustación de placa de aluminio. Las

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

dimensiones de los mojones de concreto son de 30 cm x 30 cm x 80 cm de alto, sobresaliendo 7 cm del terreno natural.

1.2.2.2 Amarre vertical

Con el fin de amarrar el proyecto verticalmente se realizaron circuitos de nivelación y contranivelación geométrica, los cuales fueron ligados al vértice de los puntos GPS del proyecto L1MB del estudio topográfico elaborado por la firma SIGLA en el año 2020 para construcción los cuales corresponde a los vértices GNSS31A, GNSS31B, GNSS32A y GNSS32B que cuenta con cota geométrica y amarrados al vértice 37- BGT del IGAC vigente. En la siguientes tablas se presentan las coordenadas y cota geométrica.

Tabla 1. Coordenadas tridimensionales Vértices EPLMB

PUNTO Nomenclatura	GEOCÉNTRICAS TRIDIMENSIONALES (3 decimales)			VELOCIDADES GEOCÉNTRICAS		
	X	Y	Z	Vx	Vy	Vz
GNSS31A	1746433.635	-6115243.134	515311.205	0.0023	0.0018	0.0136
GNSS31B	1746307.632	-6115280.021	515305.982	0.0023	0.0018	0.0136
GNSS32A	1746540.574	-6115176.761	515689.004	0.0023	0.0018	0.0136
GNSS32B	1746570.63	-6115146.841	515914.94	0.0023	0.0018	0.0136

Fuente: Tabla Informe SIGLA. Adaptada por Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Tabla 2. Coordenadas geocéntricas tridimensionales y geográficas Vértices EPLMB

PUNTO Nomenclatura	GEOCÉNTRICAS TRIDIMENSIONALES (3 decimales) 2018.0			GEOGRÁFICAS (gg° mm' ss.ssss") 2018.0		
	X	Y	Z	Latitud	Longitud	h Elipsoidal
GNSS31A	1746433.628	-6115243.139	515311.165	4°39'48.46806"	74°03'40.85846"	2581.109
GNSS31B	1746307.625	-6115280.026	515305.943	4°39'48.29638"	74°03'45.11652"	2581.55
GNSS32A	1746540.567	-6115176.766	515688.964	4°40'00.81281"	74°03'36.93230"	2577.496
GNSS32B	1746570.624	-6115146.847	515914.9	4°40'08.19515"	74°03'35.72845"	2575.436

Fuente: Tabla Informe SIGLA. Adaptada por Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Tabla 3. Coordenadas planas, magna ciudad de Bogotá y cota geométrica Vértices EPLMB

PUNTO Nomenclatura	ONDULACIÓN GEOIDAL	PLANAS UTM ó GAUSS KRÜGER 2018.0 (3 decimales)			MAGNA CIUDAD BOGOTÁ 2018.0 (SRC: 102233 - 3 decimales)		
	(2 decimales)	Este	Norte	Elevación (geoida 2004)	Este	Norte	Cota Geométrica
GNSS31A	26.26	1001792.824	1007438.057	2554.844	101796.562	107438.376	2557.74

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

GNSS31B	26.25	1001661.589	1007432.781	2555.299	101665.275	107433.085	2558.176
GNSS32A	26.25	1001913.82	1007817.255	2551.251	101917.569	107817.739	2554.124
GNSS32B	26.23	1001950.917	1008044.02	2549.207	101954.659	108044.599	2552.433

Fuente: Tabla Informe SIGLA. Adaptada por Unión Temporal Extensión Metro Línea 1



Figura 1. NP 37-BGT - IGAC

Fuente: Imagen Informe SIGLA. Adaptada por Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

1.2.2.3 Levantamiento LiDAR

El uso de datos provenientes de sensores Escáner Láser aerotransportados LiDAR (Light Detection and Ranging) se ha incrementado durante los últimos años, esto se debe principalmente a la gran utilidad de esta tecnología para la generación de Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) de alta resolución y al papel que juegan estos modelos en muy variados ámbitos, que van desde la generación de modelos tridimensionales urbanos, proyectos viales de Ingeniería, proyectos de infraestructura, proyectos medioambientales, hasta la planificación de auxilio y ayuda en caso de desastres naturales.

La implementación de los levantamientos topográficos del proyecto **“REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019”** se realizó bajo el principio de costo efectividad, de tal manera que se contó con información veraz, confiable y oportuna que permite el desarrollo posterior de los estudios diseño geométrico y señalización, geología, geotecnia, estructuras, hidráulica e hidrología y cantidades de obra, etc. En este sentido, la metodología propuesta para la adquisición de datos en campo y la generación de Modelos Digitales del terreno se basó en la integración de datos topográficos convencionales (Posicionamientos GPS, redes de Nivelación Geométrica, etc) y la adquisición de información a partir de sensores remotos LiDAR, fotogrametría digital y el uso de herramientas SIG para su integración y elaboración de productos derivados (MDT, curvas de nivel, MDS, ortofoto y Cartografía)

Una vez realizados los amarres horizontal y vertical se procedió a ejecutar el levantamiento LiDAR con Drone remotamente tripulado, con el que se realizó la captura de nube de puntos, así como la toma de fotografías aéreas, para la obtención y la producción ortofoto de modelo digital de terreno (DTM), la generación altimétrica y la restitución de la planimetría de los elementos topográficos presentes en el corredor de los estudios.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Estas actividades incluyen la captura de nube de puntos LiDAR, toma de aerofotografías, elaboración del Modelo Digital del Terreno (DTM) y elaboración de las bases de datos cartográficas vectoriales, conforme a las establecidas por el proyecto EPLMB para las escalas de producción 1:1.000, 1:10.000 y 1:25.000. Procesos de aerotriangulación, fotocontrol, ortorrectificación y generación de ortofotomosaicos. Elaboración del DTM a partir de restitución fotogramétrica, datos LiDAR, cumpliendo con las especificaciones técnicas vigentes expedidas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y la ficha técnica.

En el Anexo 17, se adjunta el oficio PLMBX-INT-OFIC-FDN-098, de la Aprobación Metodología Trabajos Topográficos en donde se indica “ Nos permitimos emitir APROBACIÓN al documento entregado resaltando el capítulo 5 donde se expone la metodología y procedimiento para el desarrollo de los trabajos topográficos, entendiendo que cumple con los aspectos solicitados en el APÉNDICE 1 COMPONENTE TÉCNICO, de acuerdo con las definiciones establecidas en el Contrato de Concesión No. 163 de 2019”.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

2. LOCALIZACIÓN

El proyecto se desarrolló a lo largo de la intersección de la Calle 72 con Avenida Caracas y desde ahí el trazado avanza por la Avenida Caracas hacia el norte, hasta llegar a la intersección de la Calle 116 con Autopista Norte.

En la Figura 2, se presenta la localización general del corredor objeto del presente estudio.



Figura 2. Localización general proyecto

Fuente: Imagen Google Earth Adaptada por Unión Temporal Extensión Metro Línea 1.

3. EQUIPOS

3.1. EQUIPOS DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

3.1.1. Red Geodésica

- **Receptores GNSS**

Se utilizaron 4 receptores GNSS cuyo sistema de recepción de señales funciona por doble recepción o doble frecuencia, esto con el objetivo de corregir, disminuir o eliminar las anomalías que pueda tener la señal a su paso por la atmósfera. Los equipos se componen de una unidad receptora que integra un receptor GPS, antena, batería y radio. Igualmente funciona con un colector que trabaja con el equipo receptor.

A continuación se indica la referencia de los equipos GNSS utilizados:

- GPS South Galaxy G1 805576-SG13AC2636700EDN-R1
- GPS South Galaxy G1 805575-SG13AB126367EDN-R1
- GPS South Galaxy G1 805576-SG13AC1263670EDN-R1
- GPS South Galaxy G1 805574-SG13AB126367EDN-R1



Figura 3. South Galaxy G1

Fuente:Follero fabricante

Cada antena GNSS cuenta con los siguientes accesorios empleados en las actividades de posicionamiento:

- Trípode en aluminio
- Base nivelante con plomada óptica
- Extensores
- Cajas rígidas y maletas de cargue
- Baterías externas

En el Anexo 1 se presenta el certificado de calibración de estos equipos

Para estos equipos no aplica la solicitud de certificados de calibración, dado que no están compuestos de partes mecánicas ni móviles, no realizan medición de ángulos ni distancias, solo graban datos de observaciones emitidos por los satélites y por tanto no se realiza dicho procedimiento; los errores que tuvieran serían de componente electrónico y eso significa que el equipo funciona o no. Sin embargo, estos equipos son revisados y verificados realizando pruebas de funcionamiento y precisión de acuerdo a las especificaciones técnicas propias del equipo de fábrica por un laboratorio certificado.

El 04 de marzo de 2022, se solicitó a la empresa encargada de la venta de estos equipos, que realizarán una verificación teniendo en cuenta que los equipos GNSS no tienen una frecuencia en la que se deba realizar una calibración. En donde según la revisión realizada, los equipos se encuentran en óptimas condiciones de trabajo; por lo anterior en las fechas en donde se realizó las actividades de posicionamiento de la red geodésica para el proyecto, los equipos se encontraban con el firmware actualizado y en óptimas condiciones para los trabajos de campo, la carta expedida por Geosystem realizando la verificación se encuentra en el anexo 1. Certificado de Calibración de Equipos

3.1.2. Nivelación

- **Nivel de precisión**

Para las mediciones altimétricas se utilizó el nivel de precisión LEICA Sprinter 250M S/N:22101111, el cual cuenta con los siguientes accesorios:

- Trípode en aluminio
- 2 miras scanner/métricas con burbuja nivelante
- estuche rígido y maleta de cargue

En el Anexo 1 se presenta el certificado de calibración del nivel utilizado

- **Software utilizado**

Para el postproceso de la información se utilizó el siguiente software especializado:

- MAGNET Tools: Software de procesamiento de información capturada con receptores GNSS.
- Trimble Business Center

- IGAC Magna Pro 5.0.
- Global Mapper
- ArcGis
- Autocad Civil 3d

3.2. EQUIPOS LIDAR Y ORTOFOTOS

- **Aeronave remotamente tripulada (VANT)**

Para la captura de datos LiDAR se utilizó un VANT comúnmente llamado drone, de referencia DJI Matrice 300, el cual funciona con baterías de polímero de litio. Este equipo permite su navegación automática por coordenadas geográficas gracias al receptor GPS integrado y a su sistema de control automático. Tiene un sistema de transmisión de video HD que se puede visualizar en una tablet conectada al control remoto, tal como se muestra a continuación.

A continuación se presentan las características principales del equipo

- Hasta 55 minutos de vuelo (Sin carga útil)
- Distancia máxima 15 kilómetros
- Nuevo sistema de detección y posicionamiento de 6 sensores
- Protección al agua y polvo IP45
- Cámara FPV incorporada 960p (No captura fotos ni video)
- Tolerante a climas extremos -20 a 50 grados centígrados
- Máxima resistencia a la fuerza del viento de hasta 15 m/s
- Baterías intercambiables de inmediato
- Inteligencia Artificial (AI)
- Sistema inteligente de mantenimiento de la aeronave
- Matrice 300 RTK es compatible con la base de precisión DRTK Matrice Series
- Compatible con modo de vuelo dual con 2 controles remotos
- Compatibilidad de diferentes cámaras (se venden por separado): Zenmuse H20, Zenmuse H20T, Zenmuse XT S, Zenmuse XT2, Zenmuse Z30, Cargas útiles de terceros.
- Incluye: Drone Matrice 300 RTK, control Remoto, 8 hélices
- Hasta 55 minutos de vuelo (Sin carga útil)
- Distancia máxima 15 kilómetros

En la Figura 4 , se presenta una imagen del Drone Matrice 300



Figura 4. Drone Matrice 300
Fuente: Folleto fabricante

- SensorLiDAR OUSTER OS2

Características principales

- IMU incorporada para compatibilidad con algoritmos SALM
- Creación de nube de puntos uniformemente espaciadas e imágenes

En la la Tabla 4, se presentan las características del Sensor LiDAR

Tabla 4. Características sensor LiDAR

RESOLUCIÓN VERTICAL	32 canales
RESOLUCIÓN HORIZONTAL	512, 1024 o 2048
RANGO	240 metros
CAMPO DE VISIÓN VERTICAL	22,5 ° (± 11,25 °)
RESOLUCIÓN ANGULAR VERTICAL	0,18° - 0,73° (múltiples opciones)

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

RESOLUCIÓN VERTICAL	32 canales
RESOLUCIÓN HORIZONTAL	512, 1024 o 2048
PRECISIÓN	± 1,5 - 5 cm
PUNTOS POR SEGUNDO	655,360
TASA DE ROTACIÓN	10 o 20 Hz
PODER DE DIBUJO	14 - 20 W
PESO	930 g
CLASIFICACIÓN DE PROTECCIÓN DE INGRESO	IP68, IP69K

Fuente: Folleto fabricante

- **Aeronave remotamente tripulada (VANT) para toma de ortofotos**

Se utilizará el drone multirrotor DJI Phantom 4, el cual funciona con baterías de polímero de litio. Este equipo permite su navegación automática por coordenadas geográficas gracias al receptor GPS integrado y a su sistema de control automático. Tiene una cámara digital estabilizada de 20 megapíxeles y sistema de transmisión de video HD que se puede visualizar en una tablet conectada al control remoto, tal como se muestra a continuación.

En la Figura 5, se presenta una imagen del drone multirrotor Phantom 4.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Weight (Battery & Propellers Included)	1375 g
Diagonal Size (Propellers Excluded)	350 mm
Max Ascent Speed	S-mode: 6 m/s P-mode: 5 m/s
Max Descent Speed	S-mode: 4 m/s P-mode: 3 m/s
Max Speed	S-mode: 45 mph (72 kph) A-mode: 36 mph (58 kph) P-mode: 31 mph (50 kph)
Max Tilt Angle	S-mode: 42° A-mode: 35° P-mode: 25°
Max Angular Speed	S-mode: 250°/s A-mode: 150°/s
Max Service Ceiling Above Sea Level	19685 feet (6000 m)
Max Wind Speed Resistance	10 m/s
Max Flight Time	Approx. 30 minutes
Operating Temperature Range	32° to 104°F (0° to 40°C)
Satellite Positioning Systems	GPS/GLONASS
Hover Accuracy Range	Vertical: ±0.1 m (with Vision Positioning) ±0.5 m (with GPS Positioning) Horizontal: ±0.3 m (with Vision Positioning) ±1.5 m (with GPS Positioning)



Figura 5. Drone multirrotor Phantom 4
Fuente: Folleto fabricante

4. PERSONAL INVOLUCRADO EN LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS

4.1. LEVANTAMIENTO DE RED GEODÉSICA

Los trabajos para el levantamiento de la Red Geodésica fueron liderados en campo por los topógrafos Anyela Patricia Vallejo Turriago e Iván Dario Jimenez Jimenez, acompañado de un grupo de cadeneros y auxiliares relacionados en la Tabla 5.

Tabla 5. Personal de campo Red Geodésica

PERSONAL DE RED GEODÉSICA				
ITEM	NOMBRE	NÚMERO DE CÉDULA	LICENCIA PROFESIONAL	CARGO
1	Anyela Patricia Vallejo Turriago	1023877335	01-13483	TOPOGRAFA
2	Iván Dario Jimenez Jimene	1057584172	01-13021	TOPOGRAFO
3	Isterly Orlando Mora Murcia	1030524164	01-17389	TOPOGRAFO
4	Isaac David Paternina Peña	1003400269	NA	AUXILIAR
5	Jhon Cristian Acosta Bustos	1075298729	NA	AUXILIAR
6	Sergio Andres Perea Lasso	1024551218	NA	AUXILIAR

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

En el Anexo 2, se presentan las tarjetas profesionales de los topógrafos.

4.2. NIVELACIÓN GEOMÉTRICA

Los trabajos para el levantamiento de pozos y nivelación geométrica fueron liderados por los topógrafos Iván Jimenez Jimenez y Anyela Vallejo Turriago acompañados por los cadeneros relacionados en la Tabla 4.

Tabla 6. Personal de campo Nivelación Geométrica

PERSONAL NIVELACIÓN GEOMÉTRICA				
ITEM	NOMBRE	NÚMERO DE CÉDULA	LICENCIA PROFESIONAL	CARGO
1	Fredy Vega Cajamarca	79.325.153	01-4093	TOPOGRAFO
2	Jairo Yecith Rebolledo Mojica	1.007.610.017	NA	CADENERO
3	Anyela Vallejo Turriago	1.023.877.335	01-13483	TOPÓGRAFA

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

En el Anexo 2, se presentan las tarjetas profesionales de los topógrafos.

4.3. LEVANTAMIENTO UAV, LIDAR Y FOTOGRAMETRÍA

Los trabajos para el levantamiento UAV (Vehículo aéreo no tripulado) fueron liderados por un ingeniero coordinador de los vuelos en campo, el piloto de dron y un observador cuya información se relaciona en la Tabla 7.

Tabla 7. Personal de campo Levantamiento UAV

PERSONAL LEVANTAMIENTO UAV			
ITEM	NOMBRE	NÚMERO DE CÉDULA	CARGO
1	Johan Alexander Forero Melo	1033698943	PILOTO DE DRONE
2	Jesus David Ramirez Riveros	1031168246	PILOTO DE DRONE
3	Jhon Cristian Acosta Bustos	1075298729	OBSERVADOR

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Los vuelos fueron realizados por un piloto de dron debidamente certificado para la ejecución de estos trabajos. Adicionalmente las actividades de campo contaron con el acompañamiento permanente de un funcionario analista operacional UAS_ASM de de la Aeronáutica Civil, cuya función fue la estar en comunicación permanente con la torre de control del aeropuerto del El Dorado, para garantizar que los trabajos se desarrollarán de acuerdo con la operación y tráfico aéreo de la zona siguiendo la normativa nacional para este tipo de actividades.

En el Anexo 2, se presenta la certificación de los pilotos

4.4. POST PROCESO Y GENERACIÓN DE PRODUCTOS DERIVADOS

El equipo encargado del postproceso de los datos crudos obtenidos en campo y la elaboración de los productos derivados se relaciona en la Tabla 8.

Tabla 8. Personal postproceso de información

PERSONAL POSTPROCESO DE INFORMACIÓN			
ITEM	NOMBRE	NÚMERO DE CÉDULA	CARGO
1	Jayson Enrique Fernandez Rivas	79'854.222	COORDINADOR DE PROCESAMIENTO
2	Francisco Hernan Castellanos Molina	79'284.230	INGENIERO SIG
3	Mayerly Catalina Mesa Ferrucho	1'032.418.335	INGENIERA DE PROCESAMIENTO
4	Harrison Eliecer Pico Tinoco	1'031.157.518	INGENIERO DE PROCESAMIENTO

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

5. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE INVESTIGADA O RECIBIDA

Se identificaron algunos proyectos desarrollados previamente, los cuales intersectan con el corredor objeto del presente estudio. Los proyectos que a continuación se presentan, se traslapan en puntos específicos, estos proyectos fueron levantados en distintas épocas y con distintos sistemas de amarres topográficos (Coordenadas y cotas), se realizó el análisis de la información y su uso en el presente estudio. A continuación se presenta el listado de estos proyectos.

- Primera Línea del Metro de Bogotá – PLMB (en construcción)

El Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá tiene 20.3 km de longitud aproximadamente, su trazado va desde el Portal Américas hasta la calle 72. El proyecto se desarrolló bajo el Contrato 02 de 2017, suscrito entre el Financiera de Desarrollo Nacional de Colombia (FDN) y el Consorcio METROBOG (Systra-Ingotec) y la Interventoría la realizó el consorcio SENER - INTEGRAL, bajo el Contrato 07 de 2016.

Este proyecto tiene información topográfica primaria, tomada en campo para el desarrollo de sus estudios y presenta un traslape con la EL1MB, en su extremo norte (Calle 72 a la calle con Troncal Caracas).

La información topográfica utilizada para el desarrollo de los estudios y diseños fue tomada en campo e incluyó la materialización y posicionamiento de una red geodésica o marco de referencia del proyecto, conformada por puntos GPS y poligonal y nivelados geoméricamente, conformados por una red regular de puntos intervisibles (parejas) distribuidos en el área del proyecto. Levantamiento LiDAR de la nube de puntos y la toma de las fotografías aéreas, el amarre a la red geodésica del proyecto. Levantamiento de poligonales de control ligadas a la red de planimetría y altimetría planteadas a lo largo del corredor, nivelación de pozos de alcantarilla y cajas de acueducto, levantamiento topográfico convencional de detalles de las áreas y elementos o estructuras no capturados del levantamiento lidar, levantamiento con tecnología de escáner láser terrestre de estructuras de puentes peatonales y vehiculares, y generación de altimetría y restitución de la planimetría.

- Primera Línea del Metro de Bogotá – PLMB subterránea (estudio inicial)

La Primera Línea del Metro está diseñado con una longitud de 27.6 km, todo su recorrido totalmente subterráneo con 27 estaciones entre el portal de las Américas y la calle 127, su diseño data del año 2013 al 2015 y fue desarrollado por el Consorcio L1 con el objeto de “*Diseño para la Primera Línea de Metro en el marco de Sistema Integrado de Transporte Público – SITP – para la ciudad de Bogotá, Colombia*”, Contrato: IDU-849-2013. Para el desarrollo de sus estudios y diseños se tomó información topográfica en campo. Dado su temporalidad no se utilizó para el presente estudio.

- Estudios y diseños para la construcción del puente peatonal ubicado sobre la Avda. Laureano Gómez (AK9) por calle 112 y Factibilidad, Estudios y Diseños del ciclo puente Canal Molinos por auto norte en la ciudad de Bogotá D. C. año 2017.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

El análisis corresponde a la localización del puente con respecto a los datos de la topografía levantada, en la siguiente figura se presenta la georeferenciación del plano de la planta la cual se digitalizo el contorno del puente, para posteriormente realizar la superposición con respecto a la ortofoto ver siguiente figura.

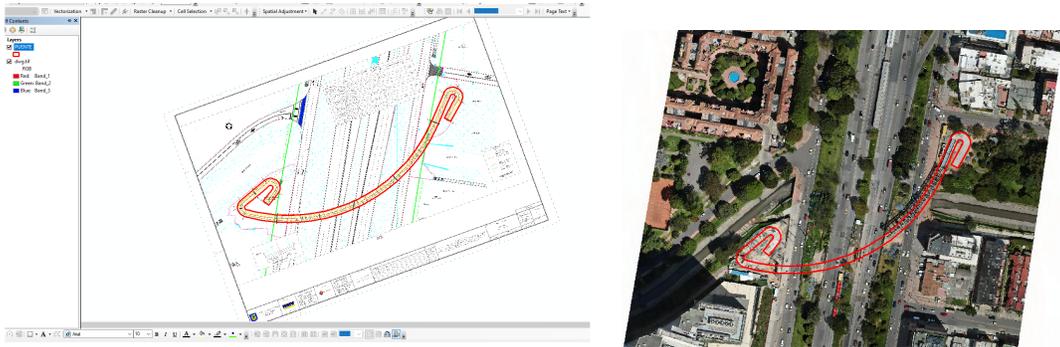


Figura 6. Planta del puente y ortofoto
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

En las siguientes figuras se presenta la sección del puente con el detalle de la altura en la ABS PIV K0+141.67 - PIV=2556.69 msnm.

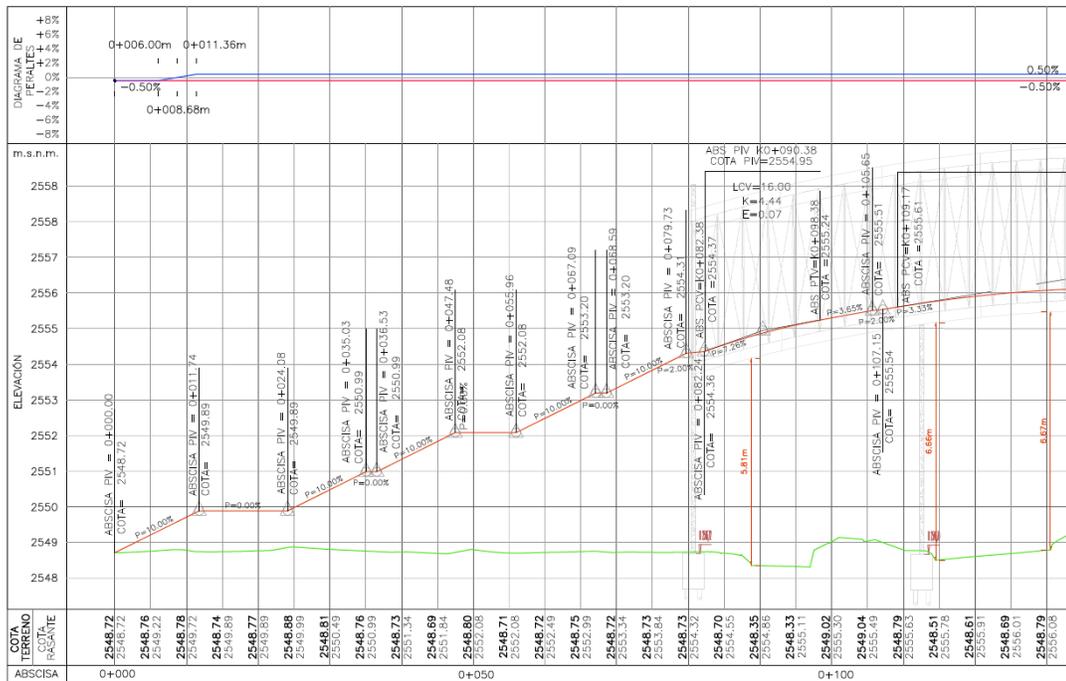


Figura 7. Sección Puente Primera Parte
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

5.1. TRATAMIENTO LA DE INFORMACIÓN EXISTENTE

El proyecto Tramo 1 de la Primera Línea del Metro de Bogotá, para construcción, se ha tomado información de los vértices de la red geodésica, con el fin de realizar una verificación del posicionamiento en planimetría X, Y y en la altimetría (Z) del presente estudio, se utilizó la red de nivelación geométrica elaborada para el corredor de la Primera Línea de Metro de Bogotá, la cual sirvió para revisar los valore registrados en la planimetría y altimetría

En la Tabla 9 se presentan los vértices geodésicos (coordenadas y cota geométrica) del levantamiento topográfico realizado por la firma SIGLA para la construcción de la EL1MB.

Tabla 9. Vértices Geodésicos del levantamiento topográfico

Punto (Nomenclatura)	MAGNA CIUDAD BOGOTÁ 2018.0 (SRC:102233 - 3 decimales)		
	Este	Norte	Cota Geométrica
GNSS31A	101796,562	107438,376	2557,74
GNSS31B	101665,275	107433,085	2558,176
GNSS32A	101917,569	107817,739	2554,124
GNSS32B	101954,659	108044,599	2552,433

Fuente: SIGLA 2022. Adaptación Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Los elementos de planimetría y altimetría se han tenido en cuenta para el desarrollo del presente estudio.

En la Tabla 10, se presenta un resumen de los proyectos encontrados, el nivel de detalle de la información y el tratamiento que se le dió para el estudio topográfico en desarrollo de la factibilidad del presente proyecto.

Tabla 10. Análisis de información secundaria

Proyecto	Estado del Proyecto	Nivel de detalle	Tratamiento de Información
Primera Línea del Metro de Bogotá (Elevado). Año 2017	Diseños para Construcción	Estudio detallado	Se utilizó la información existente del levantamiento parcialmente y se complementa con información tomada en campo o del levantamiento LiDAR y la restitución fotogramétrica.
Primera Línea del Metro de Bogotá (Subterráneo). Año 2012 y 2015	En Factibilidad	Estudio detallado	La información de este proyecto se toma como referencia general y no se utilizó en el presente estudio.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Proyecto de la construcción del ciclo puente que conectará la ciclorruta del Canal Molinos desde Suba - Año 2017	Diseños para Construcción	Estudio detallado	La información de este proyecto se toma como referencia.
Proyecto Estudios y Diseños Autopista Norte desde Héroes hasta la calle 193 y av. San José (calle 170) desde la Av. Alberto Lleras Camargo (carrera 7) hasta la carrera 92, a lo largo del corredor de la vía Suba-Cota hasta el límite con el Distrito Río Bogotá. Año 2017	Diseños para Construcción	Estudio detallado	Se utilizó la información existente del levantamiento parcialmente y se complementa con información tomada en campo o del levantamiento LiDAR y la restitución fotogramétrica.

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

6. METODOLOGÍA EMPLEADA

6.1. RED GEODÉSICA

A continuación se presenta la metodología desarrollada para la ejecución de las actividades de la red geodésica del proyecto:

6.1.1. Reconocimiento de campo y alistamiento

Se realizó como primera actividad la identificación de los vértices de la Red Magna activa del país, desarrollada por el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). Para el posicionamiento horizontal por sistema GPS, para una localización preliminar se hizo sobre Google Earth, en donde se determinó la mejor ubicación para realizar la planeación del tiempo de rastreo de cada uno de los equipos sobre los nuevos puntos dependiendo de las distancias a los vértices del IGAC.

Previo a realizar actividades de materialización de los puntos, se realizó una serie de visitas a la zona de estudio con el fin de identificar el corredor y los sitios más convenientes para materializar los puntos de la red geodésica. Para esto se tuvo en cuenta el polígono levantado de acuerdo a términos de referencia y la ET-01 Estudios Topográficos..

Posteriormente se identificaron los puntos más cercanos al proyecto certificados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), los cuales sirvieron como base para el amarre planimétrico de la red geodésica. Como resultado de dicha identificación se estableció el amarre planimétrico desde la red activa MAGNA ECO del IGAC.

De acuerdo con lo anterior, para el amarre horizontal se utilizó las bases ABCC y BOGA, de la red MAGNA ECO del IGAC. realizado procesamiento con doble determinación.

La ubicación preliminar de los puntos de la red geodésica se realizó con coordenadas mediante un navegador manual y se tomó el respectivo registro fotográfico de cada punto. Para la ubicación preliminar del sitio en el terreno se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones:

- Evitar construcciones o estructuras con fachadas reflectantes a menos de 50 metros de las estaciones (como espejos de agua, techos metálicos o cubiertos de materiales reflectantes) para impedir el efecto Multi-path.
- Evitar antenas transmisoras (de comunicaciones).
- Evitar interferencias electromagnéticas (redes eléctricas, transformadores, líneas de alta tensión, etc.).
- Evitar árboles de gran tamaño.

En la Figura 9, se muestra un ejemplo de las actividades realizadas para la ubicación y demarcación inicial de los puntos de la red geodésica inicial.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0



Figura 9. Ubicación y demarcación preliminar (scouting)
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

6.1.2. Base permanente ABCC y BOGA

Para el proyecto se utilizaron como puntos de apoyo, la estación permanente ABCC y el vértice BOGA, los cuales están certificados por el IGAC, para la verificación de coordenadas, elevación y altura al momento de realizar el cálculo de la Red Geodésica.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

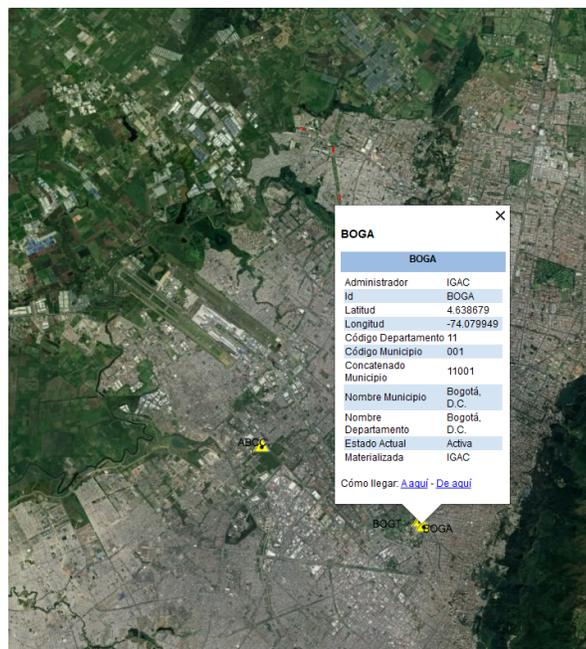
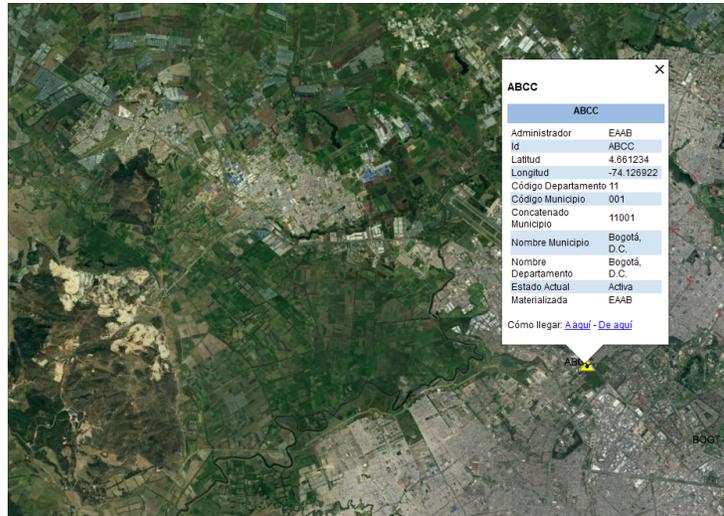


Figura 10. Puntos red activa IGAC
Fuente: Google Earth

6.1.3. Diseño de la Red Geodésica

Con base en la franja a levantar, la identificación de los puntos de control IGAC ABCC y BOGA, así como la ubicación preliminar de los puntos en campo, se realizó en oficina el diseño de la red geodésica que corresponde al marco de referencia propio para el proyecto, mediante la proyección de puntos intervisibles adelante y/o atrás a los extremos de la zona de estudio. Como resultado de esta actividad se obtuvo un total de 15 puntos materializados, los cuales a su vez fueron utilizados como puntos de control para la obtención de la ortofoto, red de apoyo y ajuste durante los demás levantamientos topográficos para el desarrollo del proyecto.

6.1.4. Materialización en campo de la red geodésica

Una vez diseñada la red geodésica, se procedió a realizar la materialización en campo de los 15 vértices, de los cuales se hicieron por incrustación de placa en zonas duras.

En zonas duras del proyecto, los puntos se materializaron con placas de aluminio, incrustadas en sardineles, andenes, zonas duras o cualquier otro lugar, donde se garantizara su permanencia y posterior localización. Estas incrustaciones se realizaron por medio de golpes de impacto con puntero y maceta sobre la zona en concreto con medidas aproximadas de 15 x 15 cm con 10 cm de profundidad. Posteriormente se vertió mezcla de concreto sobre el depósito o abertura realizada y se incrustó la placa en aluminio cuidando que su posición quedará a nivel de la zona dura, se realizó la demarcación con pintura roja y blanca, tal y como lo muestra la siguiente Figura 11.



Figura 11. Materialización punto GPS
Fuente Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Las placas que se utilizaron son de aluminio y están marcadas con una inscripción que permite la identificación del punto, la cual es coincidente con el formato de posicionamiento de cada punto, de tal manera que al consultar la base de datos se identifiquen los atributos del elemento. En la inscripción se incluyó siguiente información:

- Centro o punto guía para el centrado y armado instrumental
- Nombre de la entidad contratante
- Nombre de la empresa consultora
- Año de levantamiento
- Número del contrato

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

- Nombre del proyecto
- Identificación del punto.

En la Figura 12 , se muestra un ejemplo de las placas utilizadas:



Figura 12. Placa de materialización de puntos GPS
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

6.1.5. Posicionamiento de la red geodésica

Los puntos materializados se denominaron GPS y se georeferenciaron con sistema GPS mediante la técnica de posicionamiento GNSS en modo estático diferencial y con doble terminación. Estos vértices conforman el marco de referencia planimétrico del proyecto. Esta red garantiza la calidad en los datos de los demás levantamientos topográficos, así como los posteriores replanteos de infraestructura a realizar en la zona.

Dentro de esta fase del estudio se realizó el diseño de las sesiones de posicionamiento de acuerdo con los tiempos mínimos de rastreo a partir de las bases permanentes activas durante las sesiones, con base a la siguiente ecuación:

$$Tr=Te + (N \times D)$$

Ecuación 1. Ecuación tiempo de rastreo

Fuente: Norma técnica del servicio NS-030 5.4

En donde:

- Tr: Tiempo de rastreo.
- Te: Tiempo de Estabilización del equipo, el cual será de 20 minutos.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

- N: Tiempo por kilómetro del desplazamiento de la base, para equipos de una frecuencia será de 15 minutos por kilómetro de la base más lejana y para equipos de doble frecuencia será de 5 minutos por kilómetro de la base más lejana.
- D: Distancia en kilómetros del vértice a la estación base de rastreo más lejana.

Definidos los tiempos de rastreo se diseñó la red de posicionamiento con sesiones equivalentes a 2 horas y treinta minutos brindando tiempo adicional del necesario, con el fin de tener más información dadas las condiciones meteorológicas y máscara de elevación por las construcciones y edificaciones cercanas. Para la ejecución de esta actividad se emplearon un total de 4 antenas GNSS. Se colocaron puntos de traslapo, con el propósito de generar un ajuste de red geodésico y lograr doble determinación de mínimo 2 vectores para cada punto, tal y como lo muestra la Figura 13

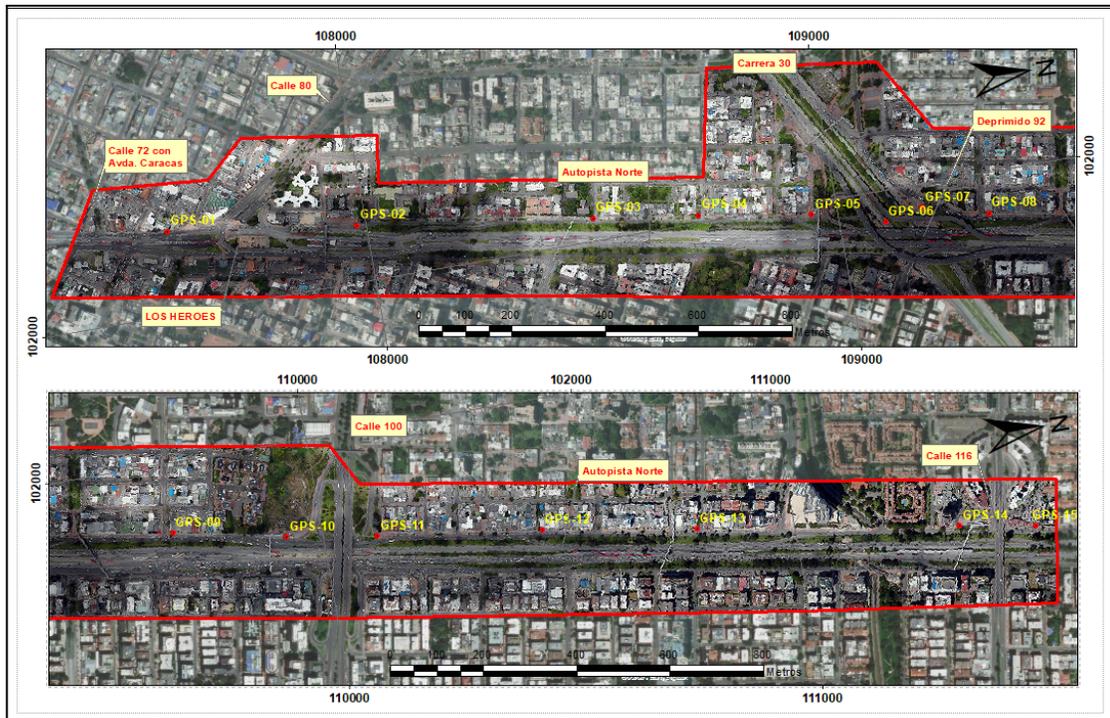


Figura 13. Esquema de posicionamiento red geodésica
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Tabla 11. Fecha de Posicionamiento

Fecha de Posicionamiento	
Fecha	ID
31-01-2022	GPS-01
31-01-2022	GPS-02
31-01-2022	GPS-03

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

31-01-2022	GPS-04
31-01-2022	GPS-05
31-01-2022	GPS-06
31-01-2022	GPS-07
27-01-2022	GPS-08
27-01-2022	GPS-09
02-02-2022	GPS-10
02-02-2022	GPS-11
02-02-2022	GPS-12
02-02-2022	GPS-13
02-02-2022	GPS-14
02-02-2022	GPS-15

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

6.1.6. Postproceso de los datos

Como anteriormente se indico, previamente a la determinación de las coordenadas de los vértices de amarre del proyecto, se determinó la localización de dos estaciones permanentes de la red activa del IGAC que se encuentren dentro de los límites regionales de la zona de referencia (o en su defecto las más cercanas), con base a las especificaciones técnicas del proyecto.

Esta comprobación permitió reconocer estaciones dentro del departamento o zona de estudio, las más próximas corresponden a la estación **ABCC** ubicada Bogotá D.C. a una distancia aproximada de 7 km del punto base, por otra parte se tiene la estación **BOGA** ubicada Bogotá D.C con una distancia aproximada de 9 Km.

Antes de realizar el respectivo post proceso de la información, con el software Magnet Tools (software de procesamiento y análisis de mediciones de tecnología GNSS) y con la información recolectada en campo, se establece el sistema de coordenadas al que quedará amarrado el proyecto, siendo este planas Gauss-Krüger origen MAGNA-SIRGAS Central, lo anterior a fin de que la información suministrada quede bajo el mismo sistema de coordenadas para realizar los respectivos traslapos de información.

En la Tabla 12 se especifican las características geodésicas del sistema de proyección empleado para la georreferenciación de los puntos del proyecto realizado.

Tabla 12. Parámetros Geodésicos del Proyecto

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Parámetros Magna Colombia Bogotá	
Parámetro	Valor
Proyección	Transversa de Mercator
Elipsoide	GRS80
Latitud de origen	4.596.200.417
Longitud de origen	-7.407.750.792
Falso Este	1000000
Falso Norte	1000000
Unidades	Metros
Factor de escala	1

Fuente: EAB

Para la elaboración del postproceso con la metodología explicada para la georreferenciación de este estudio, se decidió implementar al proceso los datos RINEX de las dos estaciones activas denominadas **ABCC** y **BOGA**, las cuales tienen coordenadas semanales avaladas por el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) que servirán como valores de control en el postproceso.

6.1.7. Obtención de RINEX y datos crudos

Para la realización de los postprocesos se hace imperativo obtener la información de los vértices implementados, como referencia para hacer el cálculo diferencial que permita determinar las coordenadas precisas de cada uno de los vértices emplazados en la zona del proyecto, como se observa a continuación, para la red, se procedió a realizar la descarga de las soluciones semanales y los datos RINEX de la red permanente activa del IGAC, para ello es importante tener de referencia la semana GPS del día del posicionamiento primario, que corresponden a los días veintisiete (27), veintinueve (31) de enero de 2022 y dos (2) de febrero de 2022, en el siguiente enlace se puede visualizar <http://www.gnsscalendar.com/>, la semana GPS que corresponde a 2190, como se indica a continuación:

GNSS CALENDAR AND UTILITY		GNSS CALENDAR AND UTILITY		GNSS CALENDAR AND UTILITY							
Thursday, January 27, 2022 (UTC)		Wednesday, February 2, 2022 (UTC)		Monday, January 31, 2022 (UTC)							
Julian Day Number:	2459606.5	Day of Year:	27	Julian Day Number:	2459612.5	Day of Year:	33	Julian Day Number:	2459610.5	Day of Year:	31
GPS Week:	2194	GPS Week Number:	21944	GPS Week:	2195	GPS Week Number:	21953	GPS Week:	2195	GPS Week Number:	21951
GPS Final Orbits (IGS): igs21944.sp3.Z		GPS Rapid Orbits (IGS): igr21953.sp3.Z		GPS Rapid Orbits (IGS): igr21951.sp3.Z							
GIONASS Final Orbits (CDDIS): igl21944.sp3.Z		BRDC GPS Broadcast Orbits (BRDC): brdc0330.22n.Z		BRDC GPS Broadcast Orbits (BRDC): brdc0310.22n.Z							
BRDC GPS Broadcast Orbits (BRDC): brdc0270.22n.Z		AIUB ION file: COD21953.ION.Z		AIUB ION file: COD21951.ION.Z							
IGSCB Clock file 30 s (IGS): igs21944.clk_30s.Z		AIUB SNX file: COD21953.SNX.Z		AIUB SNX file: COD21951.SNX.Z							
AIUB ION file: COD21944.ION.Z		SNX file for Week: COD21957.SNX.Z		SNX file for Week: COD21957.SNX.Z							
AIUB SNX file: COD21944.SNX.Z											
SNX file for Week: COD21947.SNX.Z											

Figura 14. Calendario GPS Red Geodésica
Fuente. GNSS Calendar 2022.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Para la descarga de los datos RINEX de la red magna ECO del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, se ingresa al geoportal en el siguiente enlace

<https://geoportal.igac.gov.co/contenido/geodesia-archivos-en-formato-rinex-estaciones-red-magna-eco/>, posteriormente se buscan los rinex por fechas de posicionamiento, allí se almacenan datos en tres subdirecciones: 2N (datos de navegación de la constelación GPS), G (datos de navegación de la constelación GLONASS) y O (datos de observación; se descargan los datos para las estaciones permanentes necesarias (ABCC y BOGA).

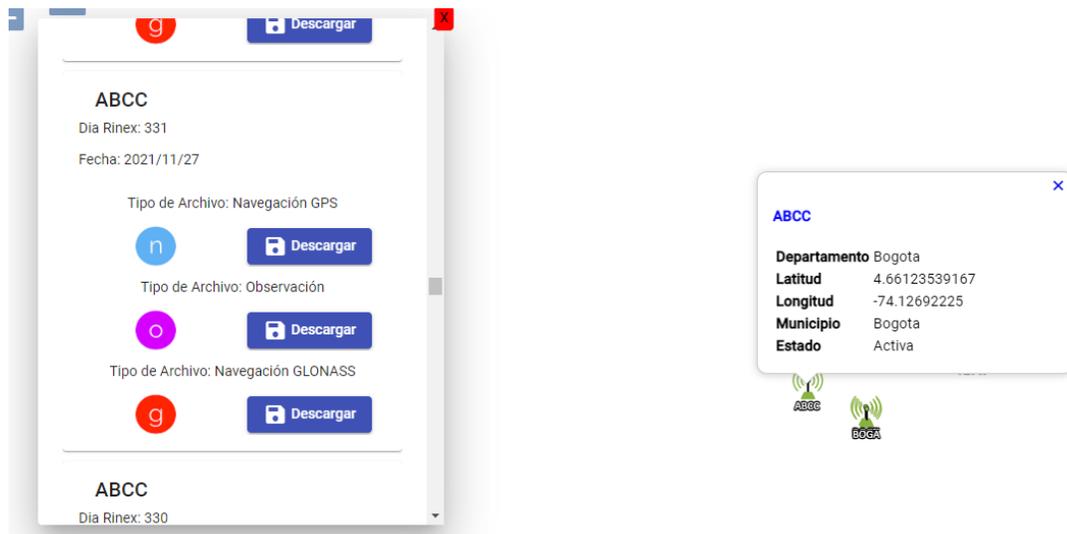


Figura 15. Descarga de RINEX
Fuente: Geoportal IGAC

Para la solución de las coordenadas semanales que son “Estas coordenadas se refieren al mismo marco de referencia utilizado para el cálculo de las órbitas satelitales, las correcciones a los relojes de los satélites, los parámetros de orientación terrestre y las correcciones a las variaciones de los centros de fase de las antenas GNSS transmisoras y receptoras” (SIRGAS,2018), se descarga la información de la página oficial de SIRGAS <ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS/>; Del archivo descargado de la página de SIRGAS respecto a la semana 2194, cabe señalar que en el momento de realizar el postproceso no se encontraba la semana del posicionamiento por lo tanto, se tomaron las coordenadas geocéntricas de las respectivas estaciones CORS, las cuales se encuentran referidas a la época semanal señalada en el apelativo del archivo Coordenadas semanales SIRGAS el cual se encuentra en el Anexo 3.

En la siguiente imagen se expone la solución de coordenadas dada para las estaciones **ABCC** y **BOGA** respecto a la semana GPS 2194, toda vez que la semana 2190 aún no se encontraba disponible en el momento de realizar el post proceso.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

IBG SOLUTION ALIGNED TO IGS14 - FINAL COMBINATION - WEEK 2190 29-JAN-

LOCAL GEODETIC DATUM: Igb14 EPOCH: 2021-12-29 12:00:00

NUM	STATION NAME	X (M)	Y (M)	Z (M)	FLAG
6	ABCC 41939M001	1739437.97744	-6117252.41705	515065.13974	A
94	BOGA 41901M002	1744517.13739	-6116050.97416	512581.16609	A
1	AACR 40612M001	644009.07712	-6251064.24018	1093780.98956	A
6	ABCC 41939M001	1739437.97744	-6117252.41705	515065.13974	A
7	ABEC 42040M001	1257908.32678	-6254107.73612	-140325.16078	A
8	ABMF 97103M001	2919785.80258	-5383744.93300	1774604.88968	A
9	ABPD 41941M001	1742983.24326	-6118331.49510	494730.78383	A
13	AGCA 41907M001	1782547.10454	-6054787.90866	916299.60472	A
14	AGGO 41596M001	2765120.88262	-4449248.42320	-3626403.67563	A
17	ALAR 41653M001	5043729.68636	-3753105.63570	-1072966.78418	A
18	ALBE 41943M001	1806735.00442	-6056493.16077	855562.60671	A
21	ALEC 42029M001	1233231.85772	-6255435.60125	-243534.44746	A
22	ALGO 40104M002	918129.11744	-4346071.32260	4561977.93730	A
24	ALMA 48052M001	5103321.42732	-3677531.97399	-1051726.13059	A
25	ALUM 41535M001	2253309.65201	-5206250.81069	-2911357.22887	A
26	AM04 42255M001	1336684.44584	-6215846.81390	-507918.20589	A
28	AMCO 41696M001	2652254.90344	-5775435.46294	-538086.89771	A
29	AMCR 48073M002	2874244.42771	-5675803.28488	-451414.52374	A
30	AMHA 41646M002	2868133.08862	-5635932.94203	-828833.30350	A
31	AMPT 48071M002	3493522.99785	-5328177.46232	-293387.74507	A
32	AMTE 48091M001	2720483.56441	-5756956.96304	-369743.70939	A
33	AMTG 48068M002	2184475.15950	-5974114.10437	-467376.52369	A
34	AMUA 48070M001	3182722.96479	-5516674.64944	-341716.83954	A
35	AN02 42231M001	1252397.33491	-6172147.35822	-1005195.06372	A
38	ANTC 417135001	1608538.52782	-4816370.55928	-3847798.26031	A
39	AP01 42226M001	1825836.74453	-5926941.62390	-1494699.89913	A
40	APLJ 48076M001	3881011.61221	-5060684.04618	-90889.40253	A
41	APMA 41629M002	4005474.11573	-4963530.91331	5201.11384	A
42	AP51 41675M002	3999460.63797	-4968374.01523	-6580.39406	A
43	APTO 419335001	1460798.02209	-6147200.65847	868399.61594	A
44	AN01 42229M001	1941764.84304	-5805845.96906	-1792710.27540	A

Figura 16. Soluciones GPS semanales para las estaciones CORS “ABCC” y “BOGA”
Fuente: SIRGAS 2022

6.1.8. Cálculo y ajuste de la red

Para la obtención de las coordenadas de la Red Geodésica, se realiza el en el software Magnet Tools con el fin de obtener las coordenadas de los GPS . A continuación, se presentan los pasos detallados de dicho procesamiento.

El primer paso es establecer los parámetros del trabajo; para ello en primera instancia se procede a configurar el sistema de coordenadas horizontal y vertical.

Posteriormente se suben los archivos crudos del receptor denominados “BASE”, se fijan las coordenadas de los puntos base ABCC, BOGA (cambio de coordenadas navegadas receptadas por coordenadas calculadas y determinadas por el SIRGAS) se ingresa el tipo, altura y método de posicionamiento de la antena registrados en las Fichas de posicionamiento GPS.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

I..	Name	Latitud de WGS84	Longitud de WGS84	Altura elipsoidal de WGS8...	Código	Control	Nr
+	GPS-12	4°41'26,96684"N	74°03'25,16363"W	2575,557		Ninguno	
+	GPS-01	4°39'52,99026"N	74°03'40,09476"W	2580,097		Ninguno	
+	GPS-02	4°40'06,08932"N	74°03'38,21563"W	2576,359		Ninguno	
+	GPS-03	4°40'22,42463"N	74°03'35,85612"W	2573,226		Ninguno	
+	GPS-06	4°40'42,50090"N	74°03'32,07622"W	2573,130		Ninguno	
+	GPS-04	4°40'29,71317"N	74°03'34,80637"W	2572,712		Ninguno	
+	GPS-10	4°41'09,32511"N	74°03'27,75439"W	2575,138		Ninguno	
+	GPS-05	4°40'37,49936"N	74°03'33,46079"W	2572,039		Ninguno	
+	GPS-07	4°40'45,14796"N	74°03'32,63604"W	2573,273		Ninguno	
+	GPS-08	4°40'49,69764"N	74°03'31,44319"W	2572,814		Ninguno	
+	GPS-09	4°41'01,53710"N	74°03'29,42564"W	2574,373		Ninguno	
△	BOGA	4°38'19,25960"N	74°04'47,81851"W	2609,744		Ambos	
△	ABCC	4°39'40,44839"N	74°07'36,92020"W	2576,198		Ambos	

Figura 17. Configuración parámetros posicionamiento Red Geodésica
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Se realizó el procedimiento de edición de señales de ruido en los satélites para las sesiones simultáneas formadas entre los puntos con el fin de eliminar los excesos de señales indeseadas (entrecortadas, demasiado pequeñas o con interferencias) y así asegurar el cumplimiento de los parámetros de precisión requeridos, a fin de procesar información confiable, verídica y constante, con la menor cantidad de ruido posible.

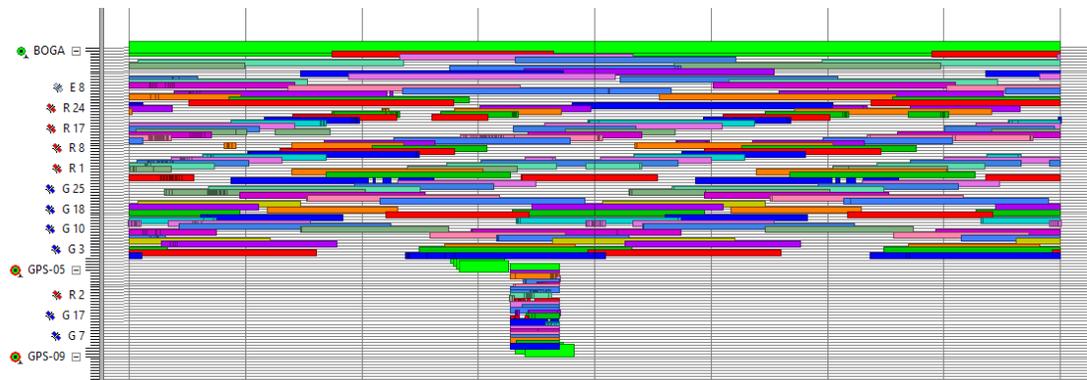


Figura 18. Edición de señales satelitales Red Geodésica
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Cabe resaltar que la labor de realizar la exclusión de señales captadas por los satélites es dispendiosa pero es la forma de garantizar un mejor postproceso, por lo cual al implementar esta metodología se aumenta la precisión de la información que se procesa para la obtención final de las coordenadas, este parámetro es de suma importancia ya que de no realizarlo se pueden obtener diferencias en el resultado final.

En la siguiente imagen se puede apreciar los vectores que permiten evidenciar que se realiza el postproceso

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

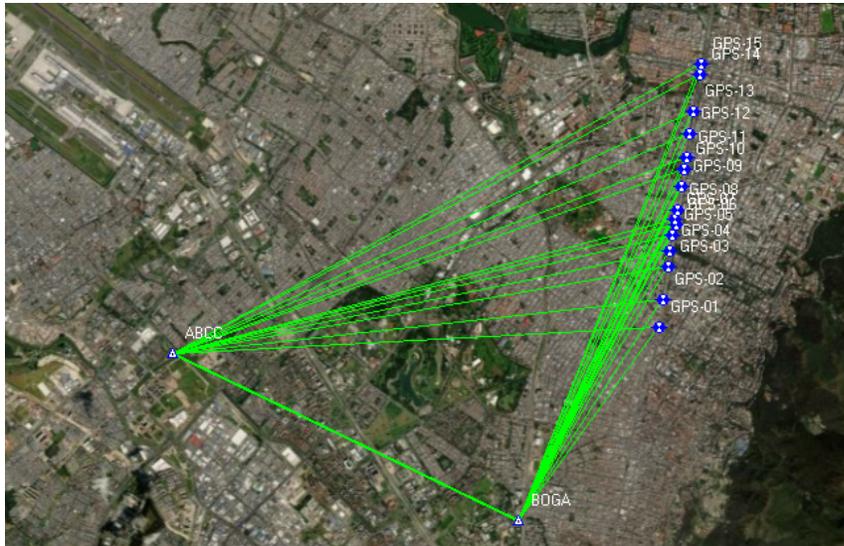


Figura 19. Vectores Red Geodésica
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Tabla 13. Residuales de observaciones GPS
Residuales de observación GPS

Nombre	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	RMS horizontal	RMS vertical
ABCC-BOGA	-2494,072	5211,791	33,534	0,002	0,004
ABCC-BOGA	-2494,072	5211,788	33,549	0,002	0,004
ABCC-GPS-01	385,086	7299,074	3,894	0,005	0,007
ABCC-GPS-02	787,456	7356,979	0,118	0,019	0,040
ABCC-GPS-03	1289,233	7429,699	-2,982	0,014	0,020
ABCC-GPS-04	1513,111	7462,034	-3,495	0,004	0,006
ABCC-GPS-05	1752,275	7503,496	-4,162	0,003	0,006
ABCC-GPS-06	1905,911	7546,158	-3,062	0,003	0,006
ABCC-GPS-07	1987,221	7528,906	-2,927	0,003	0,006
ABCC-GPS-10	2729,877	7679,330	-1,068	0,003	0,006
ABCC-GPS-11	2921,632	7710,965	-0,818	0,004	0,006
ABCC-GPS-12	3271,785	7759,161	-0,652	0,004	0,006
ABCC-GPS-13	3598,492	7814,630	-1,282	0,004	0,007
ABCC-GPS-14	4154,343	7905,855	-2,872	0,006	0,008
ABCC-GPS-15	4315,081	7933,770	-2,009	0,005	0,009
BOGA-GPS-01	2879,148	2087,270	-29,642	0,006	0,007
BOGA-GPS-02	3281,521	2145,185	-33,384	0,004	0,008
BOGA-GPS-03	3783,297	2217,891	-36,518	0,004	0,005
BOGA-GPS-04	4007,174	2250,234	-37,020	0,005	0,008
BOGA-GPS-05	4246,352	2291,703	-37,703	0,003	0,004
BOGA-GPS-06	4399,985	2334,375	-36,619	0,003	0,005
BOGA-GPS-07	4481,294	2317,117	-36,471	0,002	0,004
BOGA-GPS-08	4621,044	2353,880	-36,919	0,005	0,008
BOGA-GPS-08	4621,051	2353,876	-36,933	0,003	0,004
BOGA-GPS-09	4984,716	2416,045	-35,367	0,005	0,008
BOGA-GPS-09	4984,728	2416,047	-35,372	0,003	0,004
BOGA-GPS-10	5223,952	2467,552	-34,603	0,003	0,004
BOGA-GPS-11	5415,705	2499,181	-34,348	0,002	0,004
BOGA-GPS-12	5765,856	2547,381	-34,179	0,003	0,005
BOGA-GPS-13	6092,563	2602,843	-34,812	0,004	0,007
BOGA-GPS-14	6648,415	2694,093	-36,405	0,004	0,007
BOGA-GPS-15	6809,140	2721,970	-35,600	0,004	0,007

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

6.1.9. Traslado época de referencia

El procesamiento preciso de datos GNSS requiere que las coordenadas de las estaciones de referencia estén dadas en la misma época en que se adelanta la medición y que estén asociadas al mismo marco de referencia de las órbitas satelitales. Las coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS de operación continua (SIRGAS-CON) satisfacen estas dos condiciones y, en consecuencia, se recomienda utilizar estas estaciones y sus coordenadas semanales como estaciones de referencia en los levantamientos GNSS en la región SIRGAS. Si la estación base en un levantamiento dado no es de operación continua (es decir que sus coordenadas semanales no están disponibles), es necesario trasladar las coordenadas de referencia a la época de observación utilizando las llamadas velocidades. Se espera que dichas velocidades se obtengan de levantamientos GNSS continuos o repetitivos que cubran un periodo mínimo de dos años. [1].

VEMOS2017 ha sido calculado de las velocidades determinadas en 515 estaciones geodésicas para el periodo comprendido entre enero 1 de 2014 y enero 28 de 2017 y utilizando el método de colocación por mínimos cuadrados basado en funciones de covarianza definidas empíricamente. VEMOS2017 describe la deformación actual de la superficie terrestre en América Latina y el Caribe y es la continuación del modelo VEMOS2015, el cual es válido del 14 de marzo de 2010 al 11 de abril del 2015. VEMOS2017 cubre la región comprendida entre 120°W, 55°S y 35°W, 32°N con una resolución espacial de 1° x 1°. La incertidumbre promedio de VEMOS2017 se estima en ± 1.0 mm/a en la dirección norte-sur y ± 1.7 mm/a en la dirección este-oeste. Los valores de incertidumbre máxima (± 15 mm/a) se presentan en las zonas afectadas por eventos sísmicos recientes (en El Maule, en la parte norte de Chile, en Ecuador y en Costa Rica), mientras que los valores de mayor certidumbre (alrededor de ± 0.1 mm/a) ocurren en la parte estable de la placa Suramericana.

Una vez realizado el respectivo postproceso en época actual, se procedió a realizar el cambio de época a la época de referencia especificada por el IGAC correspondiente a la 2018.0, por lo cual el producto entregado del estudio Topográfico está referido en su totalidad en dicha época, para ello se rectificó en el Software Magna Sirgas Pro 4.2, las coordenadas obtenidas y que las velocidades de cada uno de los puntos tuviesen el mismo comportamiento.

A continuación, se registran las coordenadas resultantes en el traslado de época para el punto posicionado tanto para valores geográficos como para las coordenadas de referencia planas Cartesianas ciudad Bogotá.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Cálculo Cambio de Época Punto Individual

Sistema de Referencia Partida
 MAGNA-SIRGAS Datum Bogotá 1975

Sistema de Referencia Destino
 MAGNA-SIRGAS Datum Bogotá 1975

Fecha Inicial
31/01/2022

Fecha Final
1/01/2018

Modelo velocidades
VEMOS 2017

Tipo de Coordenada Partida
Elipsoidal | Gauss Krüger | Geocéntrica | Plana Cartesiana | UTM

	GG	MM	SS,DDDD	Hemisferio
Latitud:	4	39	52,99001	N
Longitud:	74	03	40,09505	W

Tipo Coordenada
 Elipsoidal Geocéntrica UTM
 Gauss-Krüger Plana Cartesiana

Plana Gauss - Kruger
Norte(m): 1007576,903
Este(m): 1001816,338

Origen Gauss
 Automático Manual
Central

Origen Cartesiano Partida
Departamento: Amazonas
Municipio: --SELECCIONE MUNICIPIO--
Origenes Cartesianos Disponibles:

Origen Cartesiano Destino
Departamento: Amazonas
Municipio: --SELECCIONE MUNICIPIO--
Origenes Cartesianos Disponibles:

Calcular Limpiar

Figura 20. Traslado de época Vértices
Fuente: Magna sirgas 4.2

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Tabla 15. RED GEODÉSICA TRASLADO DE ÉPOCA 2018.0

RED GEODÉSICA TRASLADO DE ÉPOCA 2018.0				
EPG		GEOGRÁFICAS		COTA ELIPSOIDAL
Fecha	ID	Latitud	Longitud	
31-01-2022	GPS-01	4°39'52,98845"N	74°03'40,09512"W	2580,097
31-01-2022	GPS-02	4°40'6,08751"N	74°03'38,21598"W	2576,359
31-01-2022	GPS-03	4°40'22,42281"N	74°03'335,85651"W	2573,226
31-01-2022	GPS-04	4°40'29,71135"N	74°03'34,80674"W	2572,712
31-01-2022	GPS-05	4°40'37,49753"N	74°03'33,46114"W	2572,039
31-01-2022	GPS-06	4°40'42,49910"N	74°03'32,07658"W	2573,13
31-01-2022	GPS-07	4°40'45,14614"N	74°03'32,63641"W	2573,273
27-01-2022	GPS-08	4°40'49,69582"N	74°03'31,44354"W	2572,814
27-01-2022	GPS-09	4°41'1,53528"N	74°03'29,42600"W	2574,373
02-02-2022	GPS-10	4°41'9,32329"N	74°03'27,75476"W	2575,138
02-02-2022	GPS-11	4°41'15,56584"N	74°03'26,72822"W	2575,391
02-02-2022	GPS-12	4°41'26,96503"N	74°03'25,16400"W	2575,557
02-02-2022	GPS-13	4°41'37,60096"N	74°03'23,36399"W	2574,925
02-02-2022	GPS-14	4°41'55,69669"N	74°03'20,40279"W	2573,334
02-02-2022	GPS-15	4°42'0,92924"N	74°03'19,49773"W	2574,162

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

6.1.10. Ondulación Geoidal

Para la obtención de la altura ortométrica del proyecto es importante calcular la ondulación geoidal del punto materializado, la cual se obtuvo desde el Software Magna Sirgas Pro 4.2

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Figura 21. Cálculo de Ondulación geoidal
Fuente: Magna sirgas 4.2

Tabla 16. Ondulación Geoidal obtenida

Fecha	ID	ONDULACIÓN GEOIDAL
31-01-2022	GPS-01	26,3
31-01-2022	GPS-02	26,2
31-01-2022	GPS-03	26,2
31-01-2022	GPS-04	26,2
31-01-2022	GPS-05	26,2
31-01-2022	GPS-06	26,1
31-01-2022	GPS-07	26,1
27-01-2022	GPS-08	26,1
27-01-2022	GPS-09	26,1
02-02-2022	GPS-10	26,1
02-02-2022	GPS-11	26,1
02-02-2022	GPS-12	26,1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

02-02-2022	GPS-13	26,1
02-02-2022	GPS-14	26,1
02-02-2022	GPS-15	26

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

6.1.11. Resumen de cálculo de postproceso Red Geodésica

Tabla 17. Coordenadas Locales Bogotá época 2018.0

RED GEODÉSICA TRASLADO DE ÉPOCA 2018.0						
Fecha	ID	4578		COTA ELIPSOIDAL	ONDULACIÓN GEOIDAL	COTA ORTOMÉTRICA
		CIUDAD BOGOTÁ				
		Norte (m)	Este (m)			
31-01-2022	GPS-01	107577,289	101820,081	2580,097	26,3	2553,797
31-01-2022	GPS-02	107979,823	101877,97	2576,359	26,2	2550,159
31-01-2022	GPS-03	108481,808	101950,657	2573,226	26,2	2547,026
31-01-2022	GPS-04	108705,785	101982,996	2572,712	26,2	2546,512
31-01-2022	GPS-05	108945,055	102024,454	2572,039	26,2	2545,839
31-01-2022	GPS-06	109098,756	102067,124	2573,13	26,1	2547,03
31-01-2022	GPS-07	109180,096	102049,853	2573,273	26,1	2547,173
27-01-2022	GPS-08	109319,91	102086,614	2572,814	26,1	2546,714
27-01-2022	GPS-09	109683,739	102148,773	2574,373	26,1	2548,273
02-02-2022	GPS-10	109923,067	102200,27	2575,138	26,1	2549,038
02-02-2022	GPS-11	110114,901	102231,896	2575,391	26,1	2549,291
02-02-2022	GPS-12	110465,199	102280,079	2575,557	26,1	2549,457
02-02-2022	GPS-13	110792,042	102335,534	2574,925	26,1	2548,825
02-02-2022	GPS-14	111348,127	102426,759	2573,334	26,1	2547,234
02-02-2022	GPS-15	111508,924	102454,642	2574,162	26	2548,162

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

6.2. NIVELACIÓN RED GEODÉSICA

6.2.1. Reconocimiento de campo y alistamiento

Previo a realizar la materialización de los puntos se realizó una serie de visitas a la zona de estudio con el fin de identificar el corredor y los sitios más convenientes para la localización de dichos puntos. Para esto se tuvo en cuenta los vértices de la red geodésica, así como el polígono a levantar, el cual se realizó de acuerdo a las especificaciones del estudio topográfico y se indicó en el informe de visita de campo numeral 2.1 Buffer Levantamiento topográfico. Se realizó la actividad de la nivelación y contranivelación de los vértices de la red geodésica

6.2.2. Circuitos de Nivelación

- Levantamiento altimétrico

Para ejecutar el levantamiento altimétrico del proyecto, se trazaron nueve circuitos de nivelación y contra nivelación. El Circuito 1 se amarró a la cota del vértice 37-BGT certificada por el IGAC en la Figura 22, se muestra la página de descarga de datos de los valores de alturas niveladas con cota geométrica, suministrado por el IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y en la Tabla 18 se presenta la cota geométrica, calculada en el año 2007.

The screenshot shows the IGAC Geoportal interface. At the top, there are logos for IGAC, GEOPORTAL, and the Government of Colombia. Below the navigation bar, there is a sidebar with 'APLICACIONES' and 'DATOS ABIERTOS' sections. The main content area features a map of Colombia with a red box highlighting the 'Valores De Alturas Niveladas' data set in the table below. The table has three columns: 'Conjunto de datos', 'Colombia en Mapas', and 'Documentos'. The 'Valores De Alturas Niveladas' row is highlighted with a red box.

Conjunto de datos	Colombia en Mapas	Documentos
Componentes Geomagnéticas del Observatorio de Fúquene		
Datos Coordinados Red Geodésica Nacional Nuevo ITRF 2014		
Valores De Alturas Niveladas		

Figura 22. Descarga certificado vértice de amarre 37-BGT

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Tabla 18. Certificado vértice de amarre 37-BGT

Nomenclatura	Altura m.s.n.m.	Año Cálculo
37-BGT	2565,094	2007

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Los trabajos se ejecutaron mediante la utilización del nivel electrónico Leica Sprinter 250M, cuya precisión es de 0.7 mm por Km de nivelación. Se presenta la localización de los circuitos de nivelación y el resumen de las precisiones obtenidas.

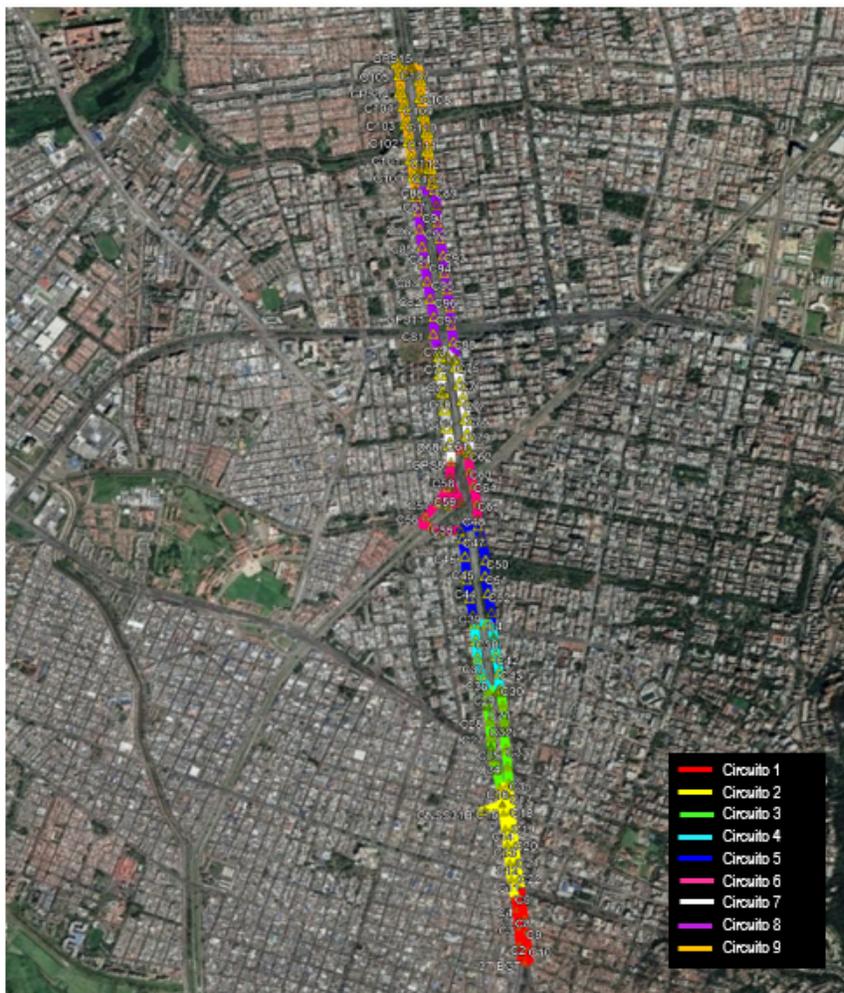


Figura 23. Circuitos de Nivelación

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1
Tabla 19. Resumen circuitos de nivelación

CIRCUITOS DE NIVELACIÓN						
CIRCUITO PRINCIPAL	NÚMERO DE CAMBIOS	TRAMO NIVELADO	IDENTIFICACIÓN DE CAMBIOS	LONGITUD (m)	ERROR DE CIERRE (mm)	ERROR PERMISIBLE (mm)
1	10	37-BGT – 37-BGT	C1 – C10	888.143	-7.3	7.5
2	12	C5 – C6	C11 – C22	1185.819	-0.2	8.7
3	14	C16 – C17	C24 – C35	1200.395	-8.3	8.8
4	9	C29 – C30	C36 – C43	853.115	0.3	7.4
5	13	C39 – C40	GPS3 – C53	1166.507	-7.1	8.6
6	17	GPS5 – C49	C54 – C67	1458.465	-0.8	9.7
7	14	GPS8 – C62	C68 – C80	1241.336	1.8	8.9
8	20	GPS10 – C75	C81 – C99	1917.132	7.5	11.1
9	16	C87 – C89	GPS13 – C113	1532.118	-6.7	9.9

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

La información tomada en campo se diligencia en la siguiente cartera.

PUNTO ABSOLVA	V. ATRAS V(+)	N. INST. B.A.	V. INTERNA	V. ADEL. V(+)	COTA OBSERV.
C-60	1.5885				2549.0657
GPSB					0.2720
C-61	1.2939				2549.3379
C-60					1.5639
					0.2720
GPSB	2.5784				2.1389
C-61	0.4803				0.8395
GPSB					2.6190
					2.1390
C-61	0.4403				-12.255
C-62	2.1965				2.1658
					2549.7572
C-61					0.4709
					-12.256
C-62	1.8337				+0.2016
C-63	1.608				1.6121
					2549.9529
C-62					1.8526
					0.2019
C63	1.8390				0.04882
C-64	1.8179				1.7904
					2550.0015
C-63					0.04886
					1.8665

Figura 24. Cartera de Campo – sistema Convencional
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

En el Anexo 5 se encuentran los crudos de la estación y carteras de campo.

A continuación se presentan los circuitos de nivelación y contranivelación realizadas, lo cual se encuentra Anexo 6; se encuentra el cálculo de la nivelación en formato .xlsx.

6.2.2.1 Circuito 1



Figura 25. Circuito 1

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1
Tabla 20. Información Circuito de Nivelación N1

EPL1MB CIRCUITO DE CONTRANIVELACIÓN No 1						
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA	COTA AJUSTADA

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

EPL1MB CIRCUITO DE CONTRANIVELACIÓN No 1						
37-BGT	0.5159			2565.6099	2565.0940	2565.0940
C1	0.8565	1.7204	49.2386	2564.7460	2563.8895	2563.8902
C2	0.6449	2.2365	80.3125	2563.1544	2562.5095	2562.5108
C3	1.0793	2.0444	84.5656	2562.1893	2561.1100	2561.1120
C4	1.2800	2.0433	82.7184	2561.4260	2560.1460	2560.1486
C5	1.5340	1.7011	81.9607	2561.2589	2559.7249	2559.7282
C6	1.5126	0.6876	83.1235	2562.0839	2560.5713	2560.5753
C7	1.2473	1.4957	81.0643	2561.8355	2560.5882	2560.5929
C8	1.9791	0.8616	88.2944	2562.9530	2560.9739	2560.9792
C9	2.2503	0.7373	85.1511	2564.4661	2562.2157	2562.2217
C10	2.0203	0.5629	88.8868	2565.9235	2563.9031	2563.9098
CIE 37-BGT		0.8368	82.8766	2565.9235	2565.0867	2565.0940

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Tabla 21. Información Circuito de ContraNivelación N1

EPL1MB CIRCUITO DE CONTRANIVELACIÓN No 1					
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA
CIE 37-BGT	0.8067			2565.8934	2565.0867
C10	0.5409	1.9901	82.8091	2564.4442	2563.9033
C9	0.7086	2.2282	88.8740	2562.9246	2562.2160
C8	0.8916	1.9503	85.1585	2561.8659	2560.9743
C7	1.5059	1.2772	88.2939	2562.0946	2560.5887
C6	0.7228	1.5229	81.0493	2561.2944	2560.5717
C5	1.6689	1.5692	83.1539	2561.3942	2559.7253
C4	2.0099	1.2477	81.9302	2562.1564	2560.1465
C3	2.0748	1.0457	82.7289	2563.1854	2561.1106
C2	2.2664	0.6752	84.5649	2564.7766	2562.5102
C1	1.7487	0.8865	80.3095	2565.6388	2563.8901
37-BGT		0.5442	49.2204	2565.6388	2565.0946

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Error de Cierre (m)	-0.0073
Longitud (m)	888.143
Error Permissible (m)	0.0075

Figura 26. Error Circuito de ContraNivelación No 1

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0



Figura 27. Nivelación 37-BGT
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1



Figura 28. Nivelación C6
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1



Figura 29. Nivelación C10
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

C17	1.6290	1.4666	69.4799	2558.6979	2557.0689	2557.0690
C18	1.3736	0.4743	93.1269	2559.5973	2558.2236	2558.2238
C19	2.0042	1.1209	87.6039	2560.4806	2558.4764	2558.4765
C20	1.7282	1.5631	94.5463	2560.6456	2558.9175	2558.9176
C21	1.8171	1.2572	94.3806	2561.2055	2559.3885	2559.3886
C22	1.7963	1.3934	91.6700	2561.6085	2559.8122	2559.8123
C6		1.0334	46.8918	2561.6085	2560.5751	2560.5753

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Tabla 23. Información Circuito de Contranivelación N2

EPLMB CIRCUITO DE CONTRANIVELACIÓN No 2					
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA
C6	1.0074			2561.5825	2560.5751
C22	1.4090	1.7705	46.8791	2561.2211	2559.8120
C21	1.2435	1.8329	91.6817	2560.6317	2559.3882
C20	1.5328	1.7145	94.3846	2560.4501	2558.9173
C19	1.0985	1.9739	94.5524	2559.5747	2558.4762
C18	0.4844	1.3513	87.5997	2558.7078	2558.2234
C17	1.4366	1.6390	93.1249	2558.5054	2557.0688
C16	1.6309	1.3468	69.4359	2558.7895	2557.1586
GNSS31A	1.5724	1.0748	98.7997	2559.2871	2557.7147
C15	1.3450	1.1876	47.1284	2559.4445	2558.0995
C14	2.0492	1.0914	88.0459	2560.4024	2558.3532
C13	1.6237	1.6232	89.9784	2560.4029	2558.7792
C12	1.7393	1.5152	98.1645	2560.6270	2558.8877
C11	1.4452	1.3137	93.1271	2560.7584	2559.3133
C5		1.0299	92.9024	2560.7584	2559.7285

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Error de Cierre (m)	-0.0003
Longitud (m)	1185.819
Error Permisible (m)	0.0087

Figura 31. Error Circuito No2

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0



Figura 32. Nivelación C11

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1



Figura 33. Nivelación C20

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1



Figura 34. Nivelación GNSS31A

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

6.2.2.3 Circuito 3



Figura 35. Circuito 3

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Tabla 24. Información Circuito de Nivelación N3

EPLMB CIRCUITO DE NIVELACIÓN No 3						
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA	COTA AJUSTADA
C16	0.7990			2557.9577	2557.1587	2557.1587
C24	0.9339	1.9428	93.2896	2556.9488	2556.0149	2556.0155
C25	1.9811	0.5296	61.2250	2558.4003	2556.4192	2556.4203
C26	0.3429	1.7289	62.6540	2557.0144	2556.6715	2556.6731
C27	0.6935	2.5017	56.2948	2555.2062	2554.5126	2554.5149
C28	1.1145	1.8086	91.1828	2554.5121	2553.3976	2553.4003
GPS2	1.3487	1.6469	85.3081	2554.2139	2552.8652	2552.8685
C29	0.8851	1.2773	83.4393	2553.8217	2552.9366	2552.9405
C30	1.4967	2.0910	75.5725	2553.2274	2551.7307	2551.7351
C31	2.0307	0.6954	97.9298	2554.5627	2552.5320	2552.5370
C32	1.7496	0.9952	89.6254	2555.3171	2553.5675	2553.5730
GNSS32A	1.7455	1.2205	54.9923	2555.8421	2554.0966	2554.1027
C33	1.7336	0.9676	95.1975	2556.6081	2554.8745	2554.8812
C34	1.6731	1.0420	96.7586	2557.2392	2555.5661	2555.5733
C35	1.7580	0.8534	94.1964	2558.1437	2556.3857	2556.3935
C17		1.0830	62.7870	2558.1437	2557.0607	2557.0690

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Tabla 25. Información Circuito de Contranivelación N3

CIRCUITO DE CONTRANIVELACIÓN No 3					
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA
C17	1.1287			2558.1894	2557.0607
C35	0.8991	1.8037	62.7922	2557.2849	2556.3858
C34	1.0749	1.7186	94.1649	2556.6412	2555.5663
C33	1.0157	1.7665	96.7411	2555.8904	2554.8747
GNSS32A	1.2015	1.7936	95.2128	2555.2983	2554.0968
C32	1.0164	1.7305	55.0010	2554.5842	2553.5678
C31	0.6725	2.0520	89.6259	2553.20471	2552.53221
C30	2.1089	1.4739	97.9188	2553.83973	2551.73084
C29	1.3129	0.9029	75.5341	2554.2497	2552.9368
GPS2	1.6656	1.3844	83.4451	2554.5309	2552.8654
C28	1.8327	1.1330	85.3090	2555.2306	2553.3979
C27	2.5347	0.7178	91.1771	2557.0476	2554.5129
C26	1.7523	0.3760	56.3018	2558.4239	2556.6716
C25	0.5189	2.0046	62.6525	2556.9382	2556.4193
C24	1.9685	0.9232	61.2182	2557.9836	2556.0151
C16		0.8247	93.2424	2557.9836	2557.1589

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Error de Cierre (m)	-0.0083
Longitud (m)	1200.395
Error Permissible (m)	0.0088

Figura 36. Error Circuito de Contranivelación No3

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0



Figura 37. Nivelación C24

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1



Figura 38. Nivelación GNSS32A

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1



Figura 39. Nivelación C34

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

6.2.2.4 Circuito 4



Figura 40. Circuito 4

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Tabla 26. Información Circuito de Nivelación N4

CIRCUITO DE NIVELACIÓN No 4						
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA	COTA AJUSTADA
C29	0.9247			2553.8652	2552.9405	2552.9405
C36	1.0407	2.3826	93.5423	2552.5232	2551.4825	2551.4825
C37	0.9335	1.6636	95.0574	2551.7931	2550.8596	2550.8596
C38	0.9351	1.5757	96.9963	2551.1525	2550.2174	2550.2173
C39	1.9615	1.3613	94.6939	2551.7527	2549.7912	2549.7910
C40	1.5215	1.8406	64.8658	2551.4336	2549.9121	2549.9119
C41	1.7756	1.5445	86.6004	2551.6647	2549.8891	2549.8889
C42	1.8047	1.1424	97.2419	2552.3270	2550.5223	2550.5220
C43	1.9208	1.4855	93.9406	2552.7623	2550.8414	2550.8412
GNSS32B	0.8003	0.3511	98.0444	2553.2115	2552.4112	2552.4109
C30		1.4760	32.1160	2553.2115	2551.7355	2551.7351

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Tabla 27. Información Circuito de Contranivelación N4

EPLMB CIRCUITO DE CONTRANIVELACIÓN No 4					
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA
C30	1.4552			2553.1907	2551.7355
GNSS32B	0.3746	0.7794	32.1674	2552.7859	2552.4113
C43	1.4570	1.9445	98.0508	2552.2984	2550.8414
C42	1.1239	1.7762	93.9371	2551.6461	2550.5222
C41	1.5160	1.7570	97.2373	2551.4050	2549.8891
C40	1.8400	1.4929	86.5799	2551.7522	2549.9122
C39	1.3222	1.9610	64.8930	2551.1134	2549.7912
C38	1.5558	0.8961	94.6686	2551.7732	2550.2174
C37	1.6760	0.9135	96.9921	2552.5357	2550.8597
C36	2.3763	1.0532	95.0646	2553.8588	2551.4825
C29		0.9182	93.5413	2553.8588	2552.9406

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Error de Cierre (m)	0.0001
Longitud (m)	853.115
Error Permissible (m)	0.0074

Figura 41. Error Circuito de Contranivelación No 4

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0



Figura 42. Nivelación C36

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

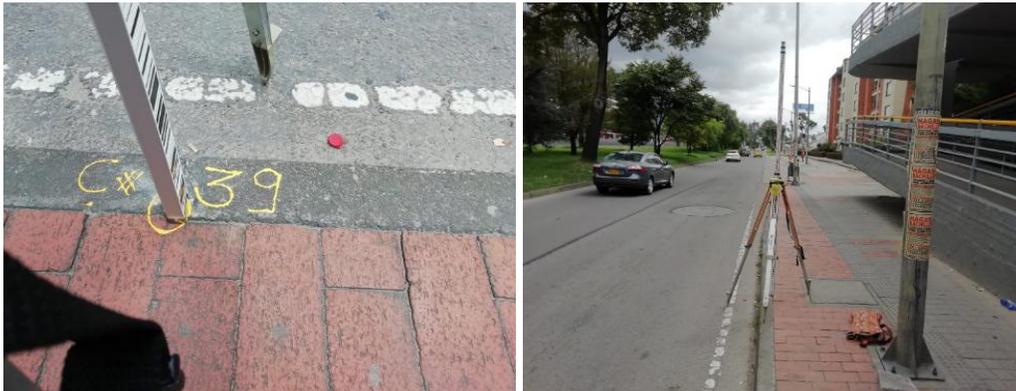


Figura 43. Nivelación C39

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0



Figura 44. Nivelación C42

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

6.2.2.5 Circuito 5



Figura 45. Circuito 5

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Tabla 28. Información Circuito de Nivelación N5

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

EPLMB CIRCUITO DE NIVELACIÓN No 5						
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA	COTA AJUSTADA
C39	1.3566			2551.1476	2549.7910	2549.7910
GPS3	1.1693	1.4018	47.3801	2550.9152	2549.7459	2549.7464
C44	1.1020	1.3075	93.6237	2550.7097	2549.6077	2549.6088
C45	1.3837	1.4466	96.4694	2550.6468	2549.2631	2549.2646
GPS4	1.1769	1.4057	36.3130	2550.4180	2549.2411	2549.2431
C46	1.1337	1.7634	98.7591	2549.7883	2548.6546	2548.6571
C47	1.3646	1.1820	98.9282	2549.9710	2548.6064	2548.6094
GPS5	2.6322	1.4283	45.2599	2551.1749	2548.5427	2548.5462
C48	1.2542	1.3750	87.5117	2551.0541	2549.7999	2549.8040
C49	1.1333	1.5838	96.9727	2550.6035	2549.4703	2549.4748
C50	1.0892	1.5505	94.0593	2550.1422	2549.0530	2549.0580
C51	1.0375	1.2842	96.7202	2549.8954	2548.8580	2548.8635
C52	1.7902	1.2940	97.9540	2550.3917	2548.6014	2548.6075
C53	1.3845	1.0526	98.5976	2550.7236	2549.3391	2549.3457
C40		0.8187	77.9340	2550.7236	2549.9049	2549.9119

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Tabla 29. Información Circuito de Contranivelación N5

EPLMB CIRCUITO DE CONTRANIVELACIÓN No 5					
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA
C40	0.8605			2550.7653	2549.9049
C53	1.0808	1.4263	77.9272	2550.4197	2549.3390
C52	1.3796	1.8185	98.5908	2549.9808	2548.6013
C51	1.3238	1.1231	97.9841	2550.1814	2548.8577
C50	1.5405	1.1286	96.7261	2550.5933	2549.0528
C49	1.6186	1.1234	94.0589	2551.0885	2549.4699
C48	1.3992	1.2890	96.9659	2551.1987	2549.7995
GPS5	1.3813	2.6564	87.5004	2549.9236	2548.5423
C47	1.1678	1.3176	45.2491	2549.7737	2548.6060
C46	1.7436	1.1196	98.9321	2550.3978	2548.6542

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

GPS4	1.3761	1.1573	98.8199	2550.6166	2549.2405
C45	1.4691	1.3539	36.3224	2550.7318	2549.2627
C44	1.2788	1.1245	96.4755	2550.8861	2549.6073
GPS3	1.4285	1.1408	93.5934	2551.1738	2549.7453
C39		1.3834	47.3864	2551.1738	2549.7904

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Error de Cierre (m)	-0.0071
Longitud (m)	1166.507
Error Permissible (m)	0.0086

Figura 46. Error Circuito de Contranivelación No5

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1



Figura 47. Nivelación C44

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1



Figura 48. Nivelación C50

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0



Figura 49. Nivelación GPS3
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

6.2.2.6 Circuito 6

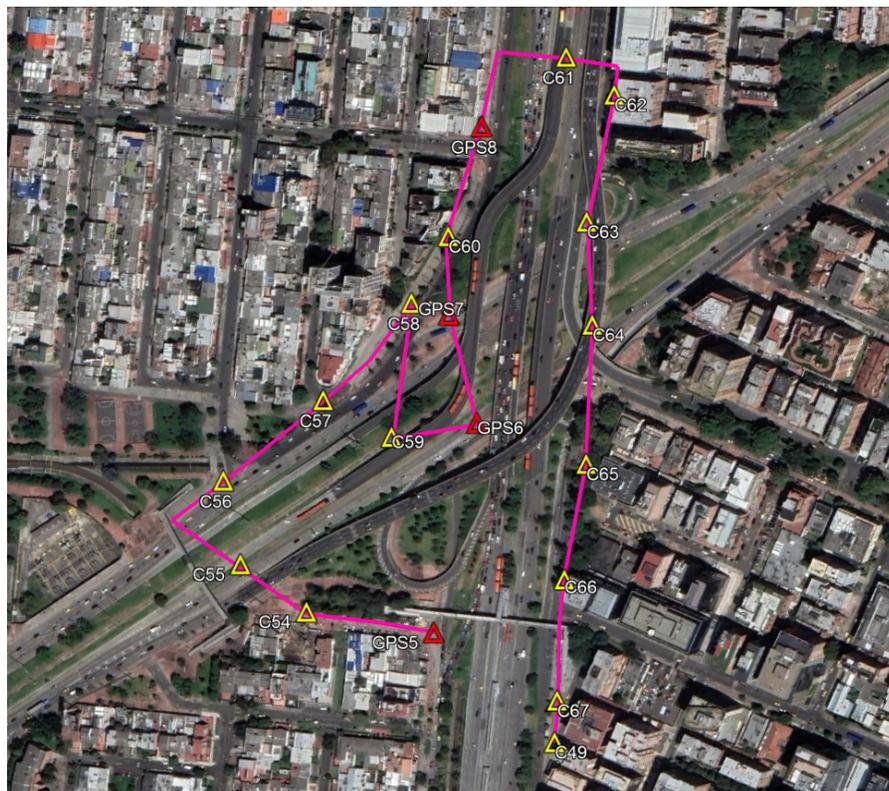


Figura 50. Circuito 6
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Tabla 30. Información Circuito de Nivelación N6

EPLMB CIRCUITO DE NIVELACIÓN No 6						
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA	COTA AJUSTADA
GPS5	1.1118			2549.6580	2548.5462	2548.5462
C54	2.0492	1.3675	97.2680	2550.3398	2548.2906	2548.2906
C55	2.4000	1.1202	90.7572	2551.6195	2549.2196	2549.2197
C56	0.9269	2.9810	73.1982	2549.5655	2548.6385	2548.6387
C57	1.7557	1.2782	95.3510	2550.0430	2548.2873	2548.2875
C58	1.7651	0.8939	99.9157	2550.9142	2549.1492	2549.1494
C59	1.2976	0.6831	79.3347	2551.5287	2550.2311	2550.2314
GPS6	1.9012	1.8877	63.4561	2551.5422	2549.6410	2549.6413
GPS7	0.7927	1.7560	89.9105	2550.5789	2549.7861	2549.7865
C60	1.5885	1.5023	78.1146	2550.6650	2549.0765	2549.0769
GPS8	2.5784	1.3164	87.2582	2551.9269	2549.3485	2549.3490
C61	0.4403	0.4395	76.7506	2551.9277	2551.4874	2551.4879
C62	1.8137	2.1658	39.0139	2551.5756	2549.7619	2549.7625
C63	1.8390	1.6121	96.0729	2551.8026	2549.9635	2549.9641
C64	1.3719	1.7904	80.8356	2551.3841	2550.0122	2550.0129
C65	1.6161	2.0330	94.2025	2550.9672	2549.3511	2549.3518
C66	1.5532	1.3473	94.8587	2551.1731	2549.6199	2549.6206
C67	1.3383	1.5942	92.0675	2550.9173	2549.5790	2549.5797
C49		1.4433	30.0506	2550.9173	2549.4740	2549.4748

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Tabla 31. Información Circuito de Contranivelación No 6

EPLMB CIRCUITO DE CONTRANIVELACIÓN No 6					
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA
C49	1.4813			2550.9553	2549.4740
C67	1.6239	1.3763	30.0421	2551.2029	2549.5789
C66	1.3153	1.5830	92.0539	2550.9352	2549.6198
C65	2.0564	1.5842	94.8526	2551.4074	2549.3510
C64	1.8179	1.3952	94.2216	2551.8300	2550.0122
C63	1.6508	1.8665	80.8490	2551.6144	2549.9635
C62	2.1965	1.8526	96.0810	2551.9583	2549.7618
C61	0.4803	0.4709	39.0057	2551.9676	2551.4873
GPS8	1.2939	2.6190	76.7674	2550.6425	2549.3486

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

C60	1.5095	1.5659	87.2621	2550.5862	2549.0766
GPS7	1.7687	0.7999	78.1647	2551.5549	2549.7863
GPS6	1.9010	1.9139	89.9353	2551.5420	2549.6411
C59	0.7062	1.3110	63.3891	2550.9372	2550.2310
C58	0.8589	1.7882	79.3516	2550.0078	2549.1490
C57	1.3031	1.7207	99.9094	2549.5902	2548.2872
C56	2.9956	0.9519	95.3498	2551.6339	2548.6383
C55	1.1498	2.4147	73.1654	2550.3690	2549.2192
C54	1.3999	2.0789	90.8367	2549.6899	2548.2901
GPS5		1.1441	97.2762	2549.6899	2548.5458

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Error de Cierre (m)	-0.0008
Longitud (m)	1458.465
Error Permisible (m)	0.0097

Figura 51. Error Circuito de Contranivelación No 6

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1



Figura 52. Nivelación C55

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0



Figura 53. Nivelación C59

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

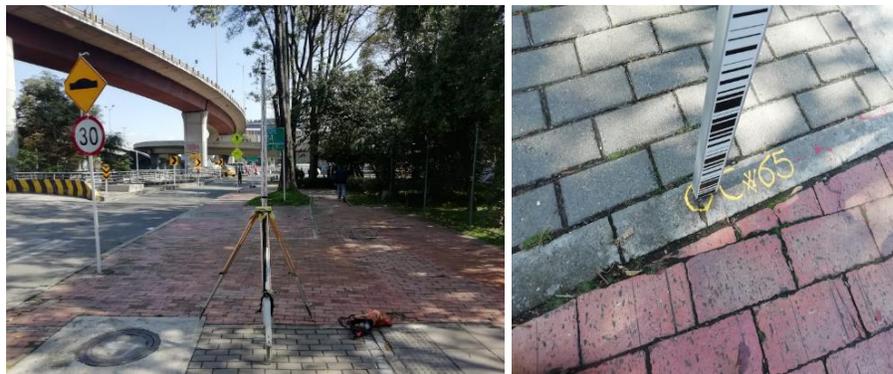


Figura 54. Nivelación C65

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

6.2.2.7 Circuito 7



Figura 55. Circuito 7

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Tabla 32. Información Circuito de Nivelación N7

EPLMB CIRCUITO DE NIVELACIÓN No 7						
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA	COTA AJUSTADA
GPS8	1.5703			2550.9193	2549.3490	2549.3490
C68	1.6312	1.1211	98.6518	2551.4295	2549.7982	2549.7981
C69	1.5398	1.2529	97.0784	2551.7163	2550.1766	2550.1763
C70	1.6830	1.1573	97.4410	2552.2421	2550.5591	2550.5587
C71	1.6136	1.3112	98.1602	2552.5445	2550.9310	2550.9305
C72	1.4481	1.4149	99.2454	2552.5778	2551.1297	2551.1291
C73	1.5309	0.9715	97.0586	2553.1372	2551.6063	2551.6056
GPS10	1.6021	1.4553	31.6222	2553.2840	2551.6819	2551.6811
C74	0.9032	1.2630	56.6054	2552.9243	2552.0211	2552.0201
C75	1.2654	1.5438	72.6021	2552.6459	2551.3805	2551.3794
C76	1.2892	1.1955	98.3577	2552.7396	2551.4505	2551.4492
C77	1.9770	1.9673	90.1176	2552.7493	2550.7723	2550.7710
C78	0.9716	1.7604	98.5386	2551.9604	2550.9888	2550.9874
C79	1.1451	1.5448	96.3312	2551.5607	2550.4156	2550.4141
C80	1.5247	1.6692	88.7442	2551.4163	2549.8916	2549.8899
C62		1.6520	20.7131	2551.4163	2549.7643	2549.7625

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Tabla 33. Información Circuito de Contranivelación N7

EPLMB CIRCUITO DE CONTRANIVELACIÓN No 7					
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA
C62	1.6761			2551.4404	2549.7643
C80	1.7279	1.5489	20.7098	2551.6194	2549.8915
C79	1.5751	1.2040	88.7386	2551.9906	2550.4155
C78	1.7786	1.0020	96.3156	2552.7672	2550.9885
C77	1.9933	1.9950	98.5308	2552.7655	2550.7722
C76	1.2212	1.3150	90.1511	2552.6717	2551.4505
C75	1.5273	1.2911	98.3556	2552.9079	2551.3806
C74	1.3270	0.8866	72.6081	2553.3484	2552.0213
GPS10	1.4259	1.6661	56.6073	2553.1082	2551.6823
C73	0.9923	1.5017	31.6398	2552.5988	2551.6065
C72	1.3877	1.4691	97.0925	2552.5175	2551.1298
C71	1.3330	1.5865	99.2575	2552.2640	2550.9310
C70	1.1984	1.7050	98.1970	2551.7574	2550.5590
C69	1.2674	1.5807	97.4375	2551.4440	2550.1766
C68	1.1667	1.6459	97.1115	2550.9648	2549.7981
GPS8		1.6159	98.6520	2550.9648	2549.3489

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Error de Cierre (m)	0.0018
Longitud (m)	1241.336
Error Permisible (m)	0.0089

Figura 56. Error Circuito de Contranivelación No7

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

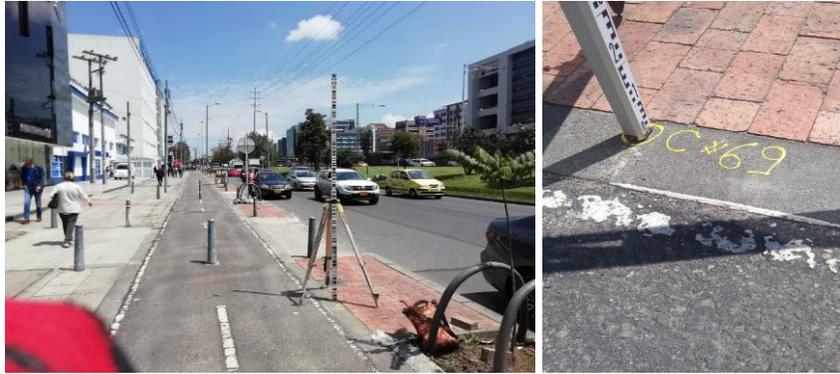


Figura 57. Nivelación C69

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1



Figura 58. Nivelación C74

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

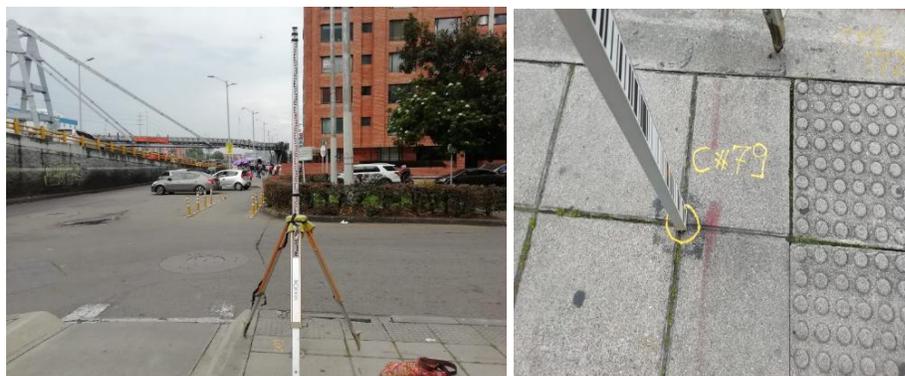


Figura 59. Nivelación C79

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

6.2.2.8 Circuito 8



Figura 60. Circuito 8

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Tabla 34. Información Circuito de Nivelación N8

EPLMB CIRCUITO DE NIVELACIÓN No 8						
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA	COTAAJUSTADA
GPS10	1.8235			2553.5046	2551.6811	2551.6811
C81	0.9510	0.4729	98.5052	2553.9827	2553.0317	2553.0313

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

GPS11	1.3969	2.0270	97.0420	2553.3526	2551.9557	2551.9550
C82	1.5661	1.3323	99.6167	2553.5864	2552.0203	2552.0192
C83	1.5605	1.3065	98.5235	2553.8404	2552.2799	2552.2785
C84	1.3174	1.5511	97.9940	2553.6066	2552.2893	2552.2875
C85	1.1813	1.6217	96.7709	2553.1662	2551.9849	2551.9828
C86	1.6228	1.6846	96.2553	2553.1045	2551.4817	2551.4792
C87	1.8727	1.4087	98.5273	2553.5685	2551.6958	2551.6929
C88	1.7405	1.6583	82.5106	2553.6507	2551.9102	2551.9070
C89	1.9145	2.1991	73.0843	2553.3661	2551.4516	2551.4480
C90	1.5735	1.6605	85.4293	2553.2791	2551.7056	2551.7016
C91	1.5977	1.4530	93.1350	2553.4238	2551.8261	2551.8218
C92	1.4262	1.3254	91.8894	2553.5246	2552.0984	2552.0938
C93	1.3587	1.4382	91.7517	2553.4451	2552.0864	2552.0814
C94	1.4329	1.5985	95.1255	2553.2796	2551.8467	2551.8413
C95	1.2498	1.3533	95.5159	2553.1761	2551.9263	2551.9205
C96	1.4542	1.3064	97.0758	2553.3239	2551.8696	2551.8636
C97	1.0030	0.7124	94.8468	2553.6144	2552.6114	2552.6050
C98	1.3342	1.8210	96.4654	2553.1276	2551.7934	2551.7866
C99	1.3227	1.6831	97.0530	2552.7672	2551.4445	2551.4374
C75		1.3803	38.6387	2552.7672	2551.3869	2551.3794

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Tabla 35. Información Circuito de Contranivelación N8

EPLMB CIRCUITO DE CONTRANIVELACIÓN No 8					
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA
C75	1.4011			2552.7880	2551.3869
C99	1.6669	1.3434	38.6426	2553.1116	2551.4447
C98	1.8313	1.3182	97.0565	2553.6247	2551.7934
C97	0.7271	1.0133	96.5166	2553.3385	2552.6114
C96	1.3175	1.4689	94.8705	2553.1871	2551.8696
C95	1.3875	1.2610	97.0590	2553.3136	2551.9261
C94	1.6187	1.4672	95.5649	2553.4651	2551.8464
C93	1.4471	1.3790	95.1355	2553.5332	2552.0861
C92	1.3092	1.4352	91.7590	2553.4072	2552.0980
C91	1.4773	1.5816	91.8638	2553.3030	2551.8257
C90	1.6482	1.5977	93.1581	2553.3535	2551.7053
C89	2.2485	1.9022	85.4421	2553.6998	2551.4513

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

C88	1.6836	1.7899	73.0755	2553.5935	2551.9099
C87	1.3805	1.8982	82.5058	2553.0759	2551.6953
C86	1.6661	1.5945	98.5323	2553.1475	2551.4814
C85	1.5769	1.1629	96.2547	2553.5616	2551.9846
C84	1.5113	1.2728	96.7565	2553.8001	2552.2888
C83	1.2682	1.5208	97.9987	2553.5475	2552.2793
C82	1.2985	1.5277	98.5354	2553.3183	2552.0199
GPS11	2.0129	1.3629	99.6282	2553.9683	2551.9554
C81	0.5038	0.9368	99.6282	2553.5353	2553.0315
GPS10		1.8544	98.5230	2553.5353	2551.6809

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Error de Cierre (m)	0.0075
Longitud (m)	1917.132
Error Permissible (m)	0.0111

Figura 61. Error Circuito de Contranivelación No 8

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1



Figura 62. Nivelación C83

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0



Figura 63. Nivelación C91

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1



Figura 64. Nivelación C94

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

6.2.2.9 Circuito 9



Figura 65. Circuito 9

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Tabla 36. Información Circuito de Nivelación N9

EPLMB CIRCUITO DE NIVELACIÓN No 9						
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA	COTA AJUSTADA
C87	1.5712			2553.2642	2551.6929	2551.6929
GPS13	1.2793	1.7610	98.7243	2552.7825	2551.5032	2551.5036
C100	0.6568	1.9686	97.4514	2551.4708	2550.8139	2550.8147
C101	1.5915	2.4439	97.1211	2550.6183	2549.0269	2549.0281
C102	1.2577	1.8345	97.9522	2550.0415	2548.7838	2548.7854
C103	1.9766	1.4941	96.7630	2550.5240	2548.5474	2548.5494
C104	1.7120	1.1023	97.6198	2551.1337	2549.4217	2549.4241
GPS14	1.9293	1.2008	76.8891	2551.8621	2549.9328	2549.9356
C105	1.9525	1.3260	97.9988	2552.4887	2550.5362	2550.5393
C106	0.8071	1.7244	66.9915	2551.5714	2550.7643	2550.7678
C107	1.2376	2.4523	74.0419	2550.3567	2549.1191	2549.1231
C108	1.3749	1.3711	94.9825	2550.3605	2548.9856	2548.9900
C109	1.5305	1.7431	98.4581	2550.1479	2548.6174	2548.6222
C110	1.5228	1.6047	96.1213	2550.0660	2548.5432	2548.5483
C111	2.2487	1.0436	98.6517	2551.2711	2549.0224	2549.0279
C112	2.3791	0.8975	97.6111	2552.7527	2550.3736	2550.3795
C113	2.1512	1.4963	95.7434	2553.4076	2551.2564	2551.2627
C89		1.9663	49.0365	2553.4076	2551.4413	2551.4480

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Tabla 37. Información Circuito de Nivelación N9

EPLMB CIRCUITO DE CONTRANIVELACIÓN No 9					
PUNTO	V(+)	V(-)	DIST	ALT.INSTR.	COTA
C89	1.9967			2553.4380	2551.4413
C113	1.5456	2.1818	49.0517	2552.8019	2551.2563
C112	0.9168	2.4283	95.6522	2551.2904	2550.3736
C111	1.0235	2.2679	97.6577	2550.0460	2549.0225
C110	1.6197	1.5027	98.6655	2550.1630	2548.5433
C109	1.7572	1.5454	96.1283	2550.3747	2548.6175
C108	1.3895	1.3889	98.4636	2550.3753	2548.9859
C107	2.4659	1.2560	94.9706	2551.5852	2549.1193
C106	1.7190	0.8207	74.0679	2552.4835	2550.7645
C105	1.3511	1.9470	66.9977	2551.8875	2550.5364
GPS14	1.2387	1.9543	97.9982	2551.1718	2549.9332
C104	1.0901	1.7496	76.8903	2550.5123	2549.4222
C103	1.5171	1.9645	97.6303	2550.0649	2548.5478
C102	1.8083	1.2808	96.7604	2550.5924	2548.7841
C101	2.3888	1.5652	97.9524	2551.4160	2549.0272
C100	1.9416	0.6017	97.0976	2552.7559	2550.8144
GPS13	1.7193	1.2521	97.4678	2553.2231	2551.5038
C87		1.5296	98.6255	2553.2231	2551.6936

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Error de Cierre (m)	-0.0067
Longitud (m)	1532.118
Error Permissible (m)	0.0099

Figura 66. Error Circuito de Contranivelación No9

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0



Figura 67. Nivelación C100
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1



Figura 68. Nivelación C107
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1



Figura 69. Nivelación C121
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Para las actividades de altimetría, se realiza la nivelación de 15 puntos de GPS nuevos y la verificación de 4 puntos de GPS existentes, suministrados en la primera topografía a cargo de la empresa SIGLA, las cuales se muestran en Tabla 38 y Tabla 39.

Se hace un comparativo de la información posicionada y calculada- INGETEC – Nivelación de Precisión (Febrero de 2022) y SIGLA – RED de GPS Antigua (Noviembre de 2020), encontrando las siguientes diferencias.

Tabla 38. Verificación Cotas red Geodésica

PUNTO	COTA ORTOMÉTRICA	COTA GEOMÉTRICA	DIFERENCIAS
GPS-01	2553.797	2556.592	2.795
GPS-02	2550.159	2552.869	2.710
GPS-03	2547.026	2549.746	2.720
GPS-04	2546.512	2549.243	2.731
GPS-05	2545.839	2548.546	2.707
GPS-06	2547.03	2549.641	2.611
GPS-07	2547.173	2549.787	2.614
GPS-08	2546.714	2549.349	2.635
GPS-09	2548.273	2550.921	2.648
GPS-10	2549.038	2551.681	2.643
GPS-11	2549.291	2551.955	2.664
GPS-12	2549.457	2552.136	2.679
GPS-13	2548.825	2551.504	2.679
GPS-14	2547.234	2549.936	2.702
GPS-15	2548.162	2550.767	2.605

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Tabla 39. Verificación Cotas SIGLA vs INGETEC

PUNTO	COTA GEOMÉTRICA SIGLA	COTA GEOMÉTRICA INGETEC	DIFERENCIAS
GNSS31A	2557.740	2557.715	0.025
GNSS31B	2558.176	2558.152	0.024
GNSS32A	2554.124	2554.103	0.021
GNSS32B	2552.433	2552.411	0.022

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Tabla 40. Verificación Cotas IGAC vs INGETEC

PUNTO	COTA GEOMÉTRICA IGAC	COTA GEOMÉTRICA INGETEC	DIFERENCIAS
37-BGT	2565.094	2565.094	0.000
35-BGT	2550.708	2550.731	-0.023

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

6.2.3. Nivelación de pozos

Se realizó la nivelación y posicionamiento de pozos de alcantarillado existentes en el corredor de los estudios. Inicialmente se partió de la identificación en oficina de acuerdo con la información obtenida de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), posteriormente se realizó la validación de la información en campo, para realizar la actividad y obtener las elevaciones con cotas geométricas de los pozos.

La nivelación de los pozos, se realizó con nivel electrónico de precisión con lectura en mira dispuesta de código de barras, siguiendo la técnica de nivelación geométrica compuesta con circuitos de nivelación, contra nivelación y cierre. El amarre y traslado de cotas se realizó desde la red de nivelación generada para la red geodésica del proyecto en circuitos de nivelación, partiendo de los vértices de la red geodésica de la Primera Línea de Metro para construcción.

6.3. GENERACIÓN DE INSUMOS CARTOGRÁFICOS MEDIANTE VUELOS VANT

6.3.1. Coordinación logística, permisos y planes de vuelo

En este apartado se presenta el procedimiento seguido por Unión Temporal Extensión Metro Línea 1, en la ejecución de vuelos fotogramétricos combinados (LiDAR/Cámara) conducentes a la captura de información topográfica para el estudio del proyecto.

- **RESPONSABLES:** Coordinación de proyecto y coordinación de vuelos.
- **ENTRADAS:** Orden de producción, permisos de vuelo y área de estudio (Formato KMZ).
- **SALIDAS:** Plan de vuelo, vuelo de calibración, fotografías aéreas (RGB), fotoíndice, reportes de avance vuelos, reportes de revelado digital, centros de aerofotografías, trayectorias de vuelo.

6.3.1.1. Planificación de puntos de aterrizaje y despegue

Los puntos de despegue se establecieron en oficina de forma aproximada con ayuda del visor geográfico Google Earth, sobre el polígono definido para los estudios y posteriormente se realizó el esquema en arcgis de la ubicación de los sitios de despegue aterrizaje de la Aeronave Tripulada Remotamente.

En la Figura 70, se muestra la ubicación preliminar de los sitios de despegue:

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0



Figura 70. Sitios preliminares para despegue de los VANT
Fuente: Google Earth, Adaptada por Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Una vez definida la ubicación aproximada de los puntos de despegue se hizo un recorrido en campo para determinar estos sitios con precisión, teniendo en cuenta la presencia de obstáculos como edificios altos, torres de telecomunicaciones, torres de energía, árboles, etc. De acuerdo con lo anterior los sitios de despegue se establecieron en zona de parqueadero segundo piso, zonas verdes y zonas de parques terrazas despejadas de edificios altos en el sector, contando con la aprobación previa de sus propietarios. Además de los sitios previamente definidos, se determinó adicionar un sitio en la en la calle 108 con el Autopista Norte (Edificio Paralelo 108), debido a la presencia de edificios altos.

En la Tabla 41, se presentan los sitios precisos establecidos para el despegue de los VANT.

Tabla 41. Sitios establecidos para despegue de los VANT

Sitio	Ubicación	Descripción
Punto 1	Centro Comercial Los Heroes Calle 80 con Avda. Caracas	Segundo Piso Parqueadero
Punto 2	Calle 88	Parque los Pinos
Punto 3	Calle 92	Parque cancha basquetbol

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

Punto 4	Calle 103	Parque cancha basquetbol
Punto 5	Calle 108 con Autopista Norte	Terraza Edificio Paralelo 108

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

6.3.1.2. Permisos de Vuelo Aeronautica Civil

Previo a la realización de los vuelos con las aeronaves remotamente tripuladas M300 y Phantom 4, fue necesario gestionar los permisos de vuelo correspondientes ante la Aeronáutica Civil. Una vez obtenidos dichos permisos, durante la ejecución de los vuelos se contó con el acompañamiento de un funcionario analista operacional UAS_ASM, de la Aeronáutica Civil.

En el Anexo 7 se presenta el permiso de vuelo para las operaciones de captura de datos LiDAR y fotografías aéreas.

6.3.1.3. Planes de Vuelo.

De acuerdo con el área definida para los estudios y los sitios establecidos de despegue, con ayuda del software UCGS se diseñaron los planes de vuelo para captura de nube de puntos LiDAR con el VANT M300 y para la captura de vuelo fotogramétrico de fotografías aéreas con el VANT Phantom 4.

En la Figura 71 , se presenta un ejemplo de un plan de vuelo del VANT M300, de los 5 bloques para captura de nube de puntos LiDAR.



Figura 71. Zonas plan de vuelo del M300 para captura de datos LiDAR

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

En el Anexo 8 se presentan los planes de vuelo en formato KML, de cada uno de los despegues realizados, por el VANT M300, para captura de nube de puntos LiDAR.

En la Figura 72, se presenta un ejemplo de un plan de vuelo del VAN en un sitio de despegue para captura de fotografías aéreas.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

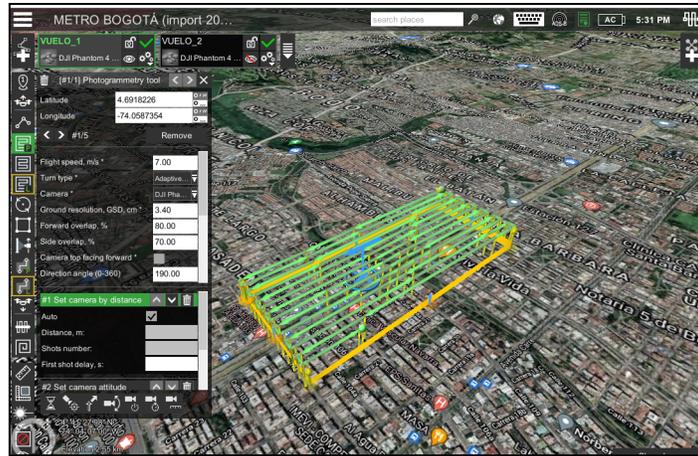


Figura 72. Zonas y Plan de vuelo del Phantom 4 para captura de fotografías aéreas
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

En el Anexo 8, se presentan los planes de vuelo en formato KML, de cada uno de los despegues realizados, por el VANT Phantom 4, para la toma de fotografías aéreas.

Conjuntamente con los sitios de despegue y planes de vuelo, se estableció el punto GPS 8 y GPS 9 perteneciente a la red geodésica, el cual fue tomado como base permanente para el control de los vuelos. Adicionalmente se contó con el apoyo de la base BOGA del IGAC.

6.3.2. Realización de vuelos VANT para captura de información LiDAR - Fotogrametría

A partir de los sitios definidos y de acuerdo con los planes de vuelo diseñados, se realizaron los despegues de los VANT, para la captura de nube de puntos y fotografías aéreas en el área de estudio.

6.3.2.1. Captura de Información con vehículo aéreo no tripulado (VANT)

Durante la captura de información combinada LiDAR cámara digital, adicional al límite cobertura de información sobre el área de interés, se tuvieron en cuenta de manera conjunta los siguientes parámetros:

- Captura datos LiDAR con una densidad mínima de 6 a 10 puntos/m²
- Recubrimiento longitudinal entre fotogramas aproximadamente 75%
- Recubrimiento transversal entre fotogramas aproximadamente 50%
- GSD o tamaño de pixel de los productos fotogramétricos derivados (ortofoto) según especificaciones técnicas establecidas 10 cm.
- Se contempla como mínimo 1 base de control terrestre con equipos GPS de doble frecuencia
- Captura de fotografías aéreas digitales en color verdadero (3 bandas, RGB).

En la Figura 73, se presenta un esquema de captura de fotografías aéreas y datos LiDAR

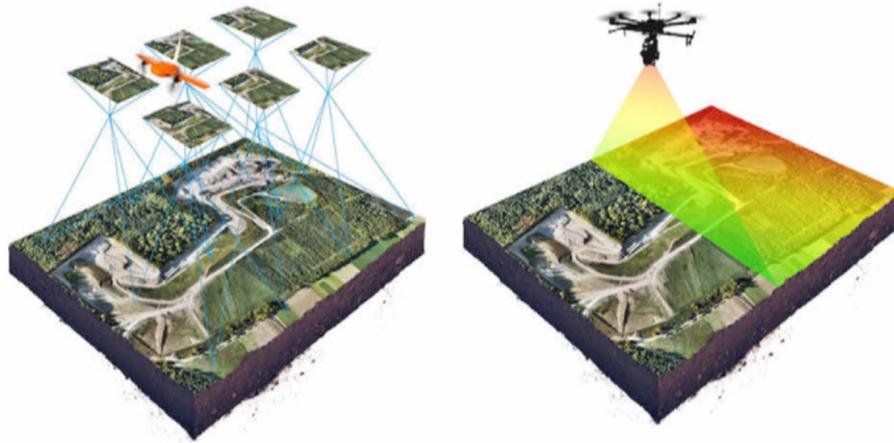


Figura 73. Captura VANT de fotografías aéreas yLiDAR
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

El VANT ha sido operado según las condiciones y lineamientos de la Aeronáutica Civil de Colombia. Adicionalmente se contó con un sistema de un dispositivo de navegación (PS/GNSS doble frecuencia que permitió seguir la planificación de cada vuelo y realizar los registros de datos de captura.

6.3.2.2. Análisis de información meteorológica previo a cada misión del vuelo

Dado que la meteorología constituye un factor condicionante durante la ejecución de los vuelos, esta información se verificó constantemente a lo largo del día, con el fin de realizar las operaciones de vuelo en función de condiciones meteorológicas óptimas para tal fin: cielo despejado, ausencia de vientos fuertes, nubes, sombras, humo o cualquier elemento que pueda afectar a la calidad de los trabajos. Las incidencias detectadas durante el vuelo fueron reportadas al jefe de proyecto, para tomar las medidas respectivas.

6.3.2.3. Comprobación de la información y sistemas

Para garantizar la correcta realización de la misión de vuelo, la seguridad del equipo humano y los equipos empleados en el vuelo fotogramétrico, antes de comenzar cada misión de vuelo el observador y el piloto se encargan de realizar las siguientes comprobaciones:

- Adecuada disposición de la información necesaria: bases de datos de planificación, permisos de vuelo en regla, etc.
- Correcto estado de los equipos fotogramétricos: Cámara y/o LiDAR, Sistemas GPS/INS, IMU, etc.) y
- Correcto estado de los equipos VANT: Estado general de la aeronave, estado y nivel de baterías, estado de radio de comunicaciones, etc.

6.3.2.4. Controles de calidad previos y durante el vuelo

El control de calidad previo a la toma de datos fué llevado a cabo por el observador quien para cada vuelo se encargó de verificar los siguientes parámetros para asegurar que la toma de datos se realiza correctamente:

- Adecuada disposición de la información necesaria (bases de datos de planificación, permisos de vuelo en regla, etc).
- Rango de la señal. Comprobación de que la altura de vuelo es correcta y estable para el rango de distancias que se está midiendo con el láser.
- Comprobación de que el láser está emitiendo pulsos continuamente durante la adquisición y que estos datos se están almacenando correctamente
- GPS - Número de satélites que se reciben y el valor PDOP. Como veremos más adelante estos valores deben ser, en todo momento mayor que seis y menor que cuatro respectivamente.
- Dropout rate. Idealmente no debe exceder del 20%.
- Ángulo de "roll" del VANT, que idealmente no debe exceder de 5 grados durante la adquisición de los datos.

6.3.2.5. Realización de los vuelos para captura de información

Una vez verificado el correcto funcionamiento de los sistemas y el correcto funcionamiento de las estaciones de GPS de referencia en tierra, se procedió a la realización de los vuelos. En este caso las correcciones propias de la toma de información originadas por la ejecución de los vuelos, se realizaron mediante la unidad de sincronización y control. Este sistema se encarga de poner en común las informaciones provenientes tanto del LiDAR, la cámara digital, como de los sensores GPS e IMU.

Para este proyecto, los giros son compensados durante el procesamiento, reduciendo los efectos de los giros de ésta sobre la trayectoria seguida por el centro de proyección de la cámara y el sensor LiDAR. Por tanto, para cada instante, se realiza el cálculo del vector antena-cámara, variable en función del giro.

El producto final de la ejecución de cada 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 las aeronaves.

6.3.2.6. Controles de calidad posteriores a los vuelos de captura

Al finalizar cada jornada de vuelo el operador realizó un control de calidad, comprobando la integridad de la información capturada durante cada día 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, comprobando la correcta estructura de almacenamiento de datos.
- Integridad de los datos GPS/IMU, comprobando el número de satélites disponibles durante el vuelo, ángulos respecto de la vertical, balanceo durante los giros del VANT y finalmente la continuidad en la captura GPS/IMU.

- Control de calidad inicial (QC) de cada sesión de vuelo efectuada durante el día. Este QC inicial consiste en un primer procesado que permite visualizar la cobertura general de los datos asegurando la correcta adquisición de datos, en donde se inspecciona que los datos tomados en las distintas líneas de vuelo cubren completamente la superficie a escanear y que no existen gaps de ningún tipo en la toma de datos. También se controla que la densidad de puntos obtenida sobre el terreno sea la determinada en la planeación inicial.

6.3.2.7. Descarga de información capturada

Una vez ejecutada cada misión de vuelo se realiza la descarga de datos. Para ello se obtienen los datos de los sistemas GPS/IMU, datos brutos LiDAR y las imágenes brutas capturadas por la cámara. Esta información es almacenada en discos duros externos realizando una copia de seguridad adicional para su posterior envío al laboratorio de procesamiento de Unión Temporal Extensión Metro Línea 1.

En el Anexo 9, se presenta la información cruda de captura de datos LiDAR y en el Anexo 13, se encuentran las imágenes crudas capturadas, de acuerdo con los planes de vuelo establecidos y las misiones realizadas en el corredor de los estudios.

Una vez recibidos en la oficina los datos capturados, se realizó el postprocesado de los mismos. A continuación, se describen los trabajos realizados tanto para las imágenes digitales y los datos LiDAR.

6.3.3. Obtención directa de trayectorias de vuelos VANT

La obtención de los parámetros de orientación externa se realizó mediante el software **PCMaster**. El proceso de cálculo de trayectorias para cada vuelo se llevó a cabo en 4 fases:

- **Fase 1:** Cálculo de trayectoria GPS por técnicas diferenciales a partir de los datos del GPS/IMU y las observaciones simultáneas de la estación de referencia GNSS y Posicionamientos en tierra.
- **Fase 2:** Conocidos de forma previa los parámetros de calibración del conjunto de sensores, son aplicadas dichas correcciones en el procesado de cada misión de vuelo. Para ello se calcularon las trayectorias mediante técnica diferencial de fase de doble frecuencia usando los receptores GPS y los datos recogidos del IMU.
- **Fase 3:** Con la trayectoria integrada GPS/IMU y el registro de eventos, se extraerán los parámetros de orientación externa para cada una de las tomas de Imagen. A estos parámetros de orientación externa se les aplicarán las correcciones locales derivadas de la proyección UTM: convergencia de meridianos en kappa y factor de escala en altura.
- **Fase 4:** Después, se lleva a cabo una fase de interpolación de la trayectoria antes obtenida con los parámetros de orientación externa en el momento exacto de la toma.

Como resultado de estos cálculos se obtuvieron:

- Trayectorias de vuelo para cada día de vuelo (Fichero solución procedente del cálculo de trayectoria DGPS/IMU (Archivo *.SBET Smooth Best Estimated Trajectory)
- Coordenadas de los centros de proyección con altitudes elipsoidales, y ángulos de orientación Omega, Phi y Kappa de cada fotografía.

6.3.3.1. Procesado Información Vuelo Combinado (LIDAR-FOTO)

- Envío y recepción de información bruta en oficina
- Procesado inicial: Descarga de efemérides (PPP) página NASA, Cálculo de Trayectorias, Generación nube de punto LiDAR y Cálculo de centros de proyección de imágenes

6.3.4. Procesado final datos LiDAR

En este apartado se describe la metodología utilizada en la realización de procesamiento de la nube de puntos LiDAR.

- **RESPONSABLES:** Dirección de Proyecto y Coordinación de producción
- **ENTRADAS:** Área de estudio (Formato KMZ), Archivos Crudos LiDAR, Informe de Control Terrestre y Coordenadas de los Puntos,
- **SALIDAS:** Nube de Puntos Clasificada, DTM y DSM

El postproceso de los datos brutos LiDAR se realiza por medio del software **PCMaster** de la casa comercial Dymaxion. Los ficheros que forman parte del cálculo son:

- Configuración del ajuste del sensor, este fichero 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/INS (*.ppk).
- RawLaser, datos brutos procedentes del sensor. Formados por ficheros *.ostr (scanning), almacenados de forma secuencial y almacenados de forma organizada por carpetas. Cada una de estas carpetas contiene 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 definió previamente el sistema de proyección sobre el que queremos obtener los datos proyectados en este caso Magna Sirgas origen Bogotá.

Del procesado de datos, se obtienen las pasadas ficheros binarios en formato *.LAS (Laser Airborne Scanner), los cuales contienen la 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.

6.3.4.1. Edición de datos LiDAR

El paso previo a la edición de los datos fue analizar 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 visualizan todos los puntos por la línea de vuelo y se comprueba la cobertura global sobre el área de trabajo.

Una vez analizados los datos, se genera un proyecto por bloques que divide la información contenida en las pasadas LiDAR en zonas más pequeñas, facilitando de esta manera el proceso de edición y generación de productos finales. Con este fin se carga el límite de la zona de trabajo y sobre esta se establece un porcentaje de margen de seguridad para tener la certeza que toda el área contiene información de puntos LiDAR.

6.3.4.2. Clasificación automática

La clasificación y filtrado automático de puntos LiDAR que corresponden al terreno, depende directamente de la parametrización inicial según las características del terreno en cada área del proyecto. Durante el proceso de búsqueda de parámetros adecuados para las rutinas de clasificación automática se contó con el apoyo de las imágenes de intensidad de los datos LiDAR y en el modelo SRTM (Modelo global altimétrico), detectando zonas con mayor pendiente. En la se Figura 20, observa la parametrización del terreno en rutinas automáticas de clasificación LiDAR

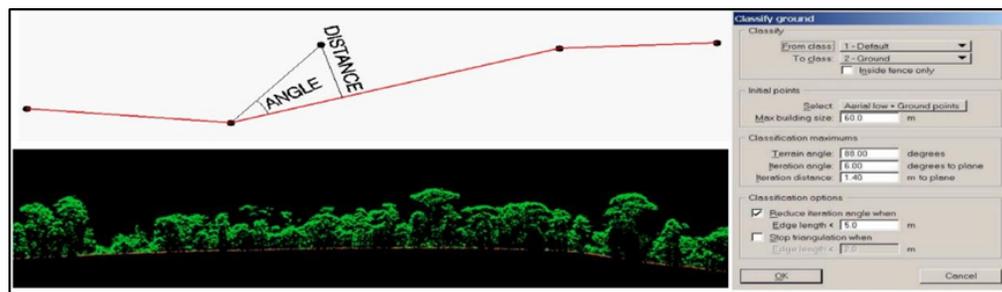


Figura 74. Parametrización del terreno en rutinas automáticas de clasificación LiDAR

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Una vez establecidos los parámetros idóneos para cada una de las zonas del proyecto (zonas llanas, zonas de montaña, zonas urbanas, etc.), se procedió con la clasificación automática, de tal forma que se obtuvieron todos los puntos diferenciados entre los que pertenecen al terreno y los que pertenecen a la superficie.

Sin embargo, es importante resaltar que realizar una clasificación automática del 100% de la información, es un proceso casi imposible debido a la variabilidad, características y orografía del terreno en la zona de estudio. De acuerdo con lo anterior, la lista de clases que intervienen durante la clasificación automática fueron:

- Default (1) – Asignada a los puntos que forman parte de la superficie del modelo.
- Terreno (2) – Todos los puntos que formen parte del terreno desnudo estarán agrupados en esta clase.
- Ruido puntos altos y bajos (7) – Para aquellos puntos que no forman parte del terreno ni de la superficie.

6.3.4.3. Edición manual de la nube de puntos LiDAR

Como se ha dicho en el apartado anterior, la clasificación automática no es válida para el 100% del área de estudio, haciendo necesario una depuración manual detallada. En esta etapa, se generaron superficies o mapas de sombras del suelo desnudo a partir de los puntos clasificados como terreno, esto con el fin de visualizar las

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

pequeñas anomalías producidas por la clasificación automática. En la Figura 75 , se observa el resultado de la edición manual de datos.

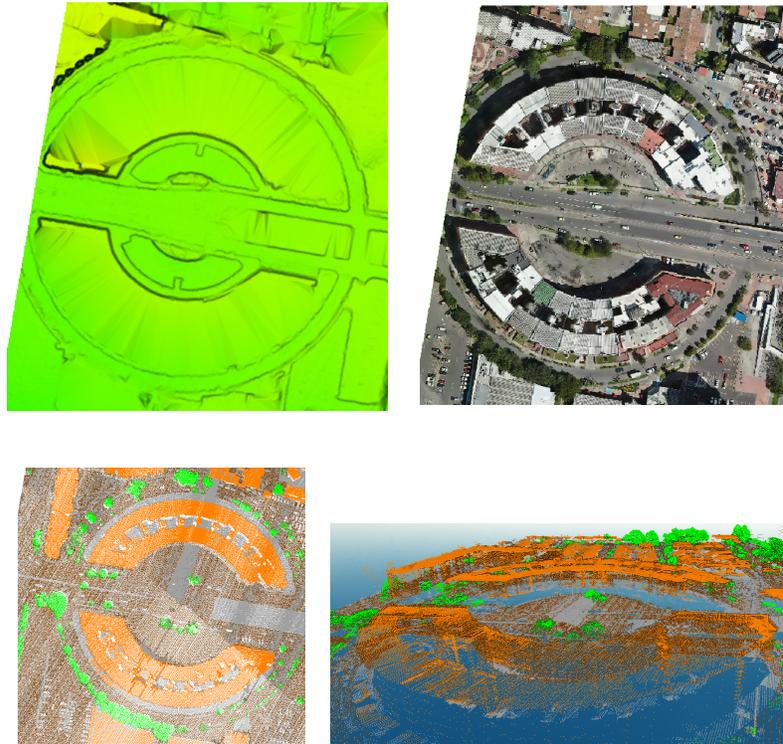


Figura 75. Edición manual clasificación LiDAR - Avenida Calle 116, Carrera 50.
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

En el proceso manual de depuración se trazan perfiles transversales en las zonas específicas (especialmente en taludes, zonas de vegetación densa, zonas con construcciones, etc.) y con ayuda de diferentes herramientas se clasifican los puntos en la capa correspondiente.

6.3.4.4. Cálculo del Modelo de ajuste local de Ondulación.

Dado que a la fecha 2022-02-18 de se están realizando las actividades de la nivelación y contranivelación de la red geodésica y de los puntos el modelo de geoide local, no se ha realizado por no contar con el insumo para realizarlo en el próximo informe se presenta.

El modelo de geoidal local, es un ajuste vertical de datos LiDAR, las observaciones originales del vuelo VANT se componen de observaciones GNSS y de observaciones inerciales que incluyen los ángulos y las aceleraciones del

sensor. En el pos proceso se obtienen posiciones plani-altimétricas precisas mediante el método GNSS diferencial a partir de uno o varios receptores base con observaciones simultáneas al vuelo.

La metodología de ajuste a cota Geométrica se basa en aplicar el modelo de reducción de alturas a los datos LIDAR, ajustando a cota geométrica la nube de puntos que originalmente fue capturada en altura Elipsoidal (WGS84), obteniendo al final del proceso la nube de puntos LiDAR con altura geométrica consistente con la altura la red Geodésica nivelada y la nivelación de pozos.

Este modelo de reducción de alturas, también llamado modelo de ajuste geoidal local, se basa en el cálculo de la Ondulación para cada punto de la red geodésica (Diferencias entre la Altura Elipsoidal y la geométrica).

Las observaciones GNSS sólo nos dan información altimétrica (h) referida al elipsoide WGS84, y la única forma de relacionar esta altura con la ortométrica o geométrica del lugar es conociendo la ondulación del geode en ese punto:

- $H = h - N \rightarrow$ entonces
- $N' = \text{ondulación local} = h - H$

Posterior a obtener la ondulación geoidal para cada punto de la red (N'), y dado que se trata de un proyecto lineal, se elabora el modelo geoidal basado en mínimos cuadrados.

En el Anexo 10 se presenta el modelo geoidal local elaborado.

6.3.4.5. Control de Calidad altimétrico de Datos LiDAR (Control de cotas Geométricas)

Una vez procesados y ajustados los datos LiDAR, se llevó a cabo el control de calidad comparativo con:

- Cota geométrica de los puntos de la Red geodésica levantada
- Cota geométrica de la red de nivelación de pozos.

El control de cotas consiste en analizar las diferencias entre puntos con coordenadas planimétricas y altimétricas en cota geométrica comparándolos con la altura correspondiente a la nube de puntos LiDAR.

En la Figura 76, se presenta un gráfico explicativo del método control de cota geométrica LiDAR.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

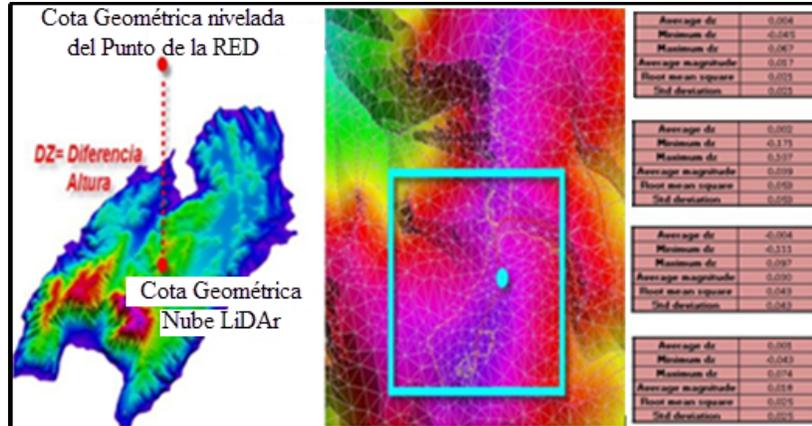


Figura 76. Gráfico explicativo método Control de cota geométrica LiDAR
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

En el Anexo 15, se presenta el control de calidad de la datos LiDAR en que se incluye:

- Desviación de cada uno de los puntos medidos respecto a los datos LiDAR..
- Desviación máxima obtenida para los puntos medidos.
- Desviación mínima obtenida para los puntos medidos.
- Desviación media (error medio) obtenida para los puntos medidos.
- Valor cuadrático medio del error (RMS, Root Mean Square).
- Desviación estándar del error.

6.3.4.6. Generación del Modelo Digital del Terreno (MDT) y Modelo Digital de Superficie (MDS)

Se entiende por MDT a la modelización del terreno ignorando las alturas de las infraestructuras humanas y las alturas de la vegetación. Este Modelo se construyó generando una malla de elevaciones de 0.5x0.5 metros a cota suelo a partir de los puntos clasificados como Terreno.

Para nuestro caso, el modelo digital de terreno, tienen como fin representar de la manera más aproximada la morfología del terreno, por tanto, entre mayor sea la densidad de la información que se capture, mayor será su resolución y por tanto el modelo estará más próximo a representar de manera digitalmente la realidad. En la Figura 77, se presenta un ejemplo gráfico del Modelo Digital del Terreno LiDAR

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

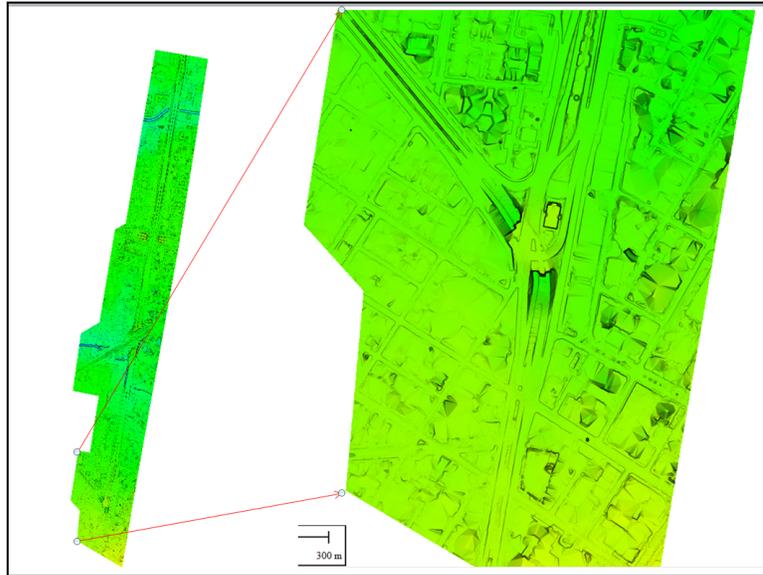


Figura 77. Gráfico Modelo Digital del Terreno LiDAR - Puente calle 92
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Se entiende por MDS a la modelización del terreno teniendo en cuenta las alturas de las infraestructuras humanas cuya cota no sea el suelo.

6.3.5 FOTOGRAMETRÍA

6.3.5.1 Procesamiento

Para el proceso de fotogrametría del proyecto se capturaron imágenes mediante vuelos de un dron Phantom 4 Pro, el procesamiento se realizó en los software Agisoft Photoscan, Global Mapper y ArcGIS. Los procedimientos se realizaron en el sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS/Colombia Bogotá central (EPSG: 3116). A continuación se describen las etapas y resultados de la fotogrametría.

6.3.5.1.1 Revisión, Selección y Depuración de Información Capturada

Una vez ejecutados los vuelos de captura, se obtuvo un total de 4.142 imágenes con sus respectivos metadatos (GPS/IMU), las cuales fueron depuradas inicialmente eliminando las capturas de baja calidad e imágenes duplicadas. Dada la magnitud del proyecto, se dividió el levantamiento fotogramétrico en 4 bloques, teniendo como parámetro de control que los lotes de fotografías estuvieran en el rango de 1.100 imágenes, con el fin de agilizar el procesamiento de acuerdo a las características y capacidades de las estaciones de trabajo. Con el fin de obtener una consistencia y alineación entre bloques contiguos, se optó por reconocer puntos de control en común entre bloques sucesivos.

A continuación en la Figura 78, se presenta la división del proyecto en los bloques del proyecto fotogramétrico:

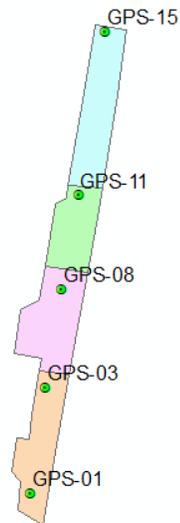


Figura 78. División proyecto Fotogramétrico
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

En la Figura 79, se presenta la visualización inicial de los centros de proyección de un tramo del proyecto validando el traslapeo entre vuelos sucesivos.

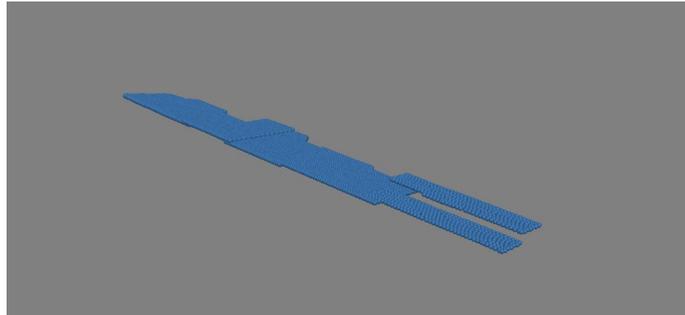


Figura 79. Revisión, selección y depuración de imágenes a procesar.

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

6.3.5.1.2 Procesamiento Fotogramétrico

- Alineación de imágenes

La alineación de fotografías buscó las posiciones y orientación de cada una de las cámaras y construyó una nube de puntos dispersa. El algoritmo buscó puntos característicos de cada una de las imágenes y los relacionó entre pares de imágenes a partir de puntos homólogos o puntos de amarre. Considerando el tipo de terreno que se caracteriza por ser urbano, las imágenes se cargaron con las coordenadas navegadas y procesaron con una precisión alta, la cual trabajó con el tamaño original de cada una de las imágenes, con un límite de 40.000 puntos característicos y 4.000 puntos de amarre para cada imagen. En la Figura 80, se presenta la identificación de puntos homogéneos entre un par de imágenes.

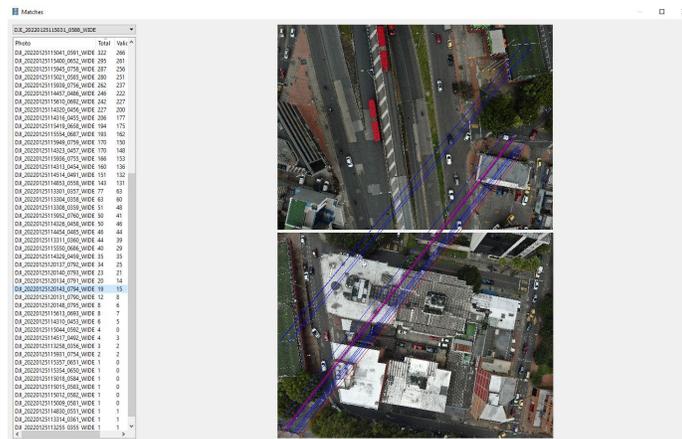


Figura 80. Correlación y puntos homólogos entre pares de imágenes.

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Como resultado se obtuvo la alineación, orientación inicial y una nube de puntos dispersa compuesta de los puntos de amarre válidos para cada uno de los bloques procesados.

En la Tabla 42 , se resume el número de imágenes que se usaron, número de puntos homólogos identificados y el área de cobertura para cada uno de los bloques.

Tabla 42. Resultados Alineación de imágenes

Bloque	Imágenes	Puntos Homologos	Error de reproyección RMS (pix)
01	1.344	1.232.181	1.12
02	1.299	1.146.739	1.06
03	1.069	1.094.233	1.1
04	1.128	1.046.196	1.26

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

- Optimización de parámetros de la cámara

Durante la alineación de imágenes se realizó una estimación inicial de los parámetros intrínsecos y extrínsecos a partir de los puntos homólogos; sin embargo la precisión de estos depende de muchos factores como el traslapo entre fotos y la superficie en sí. Para optimizar los centros de proyección y orientación de las cámaras, con el fin obtener un mejor modelo de los proyectos, se utilizaron puntos de control (GPS levantados) distribuidos a lo largo de los levantamientos.

Se realizó una optimización de las alineaciones de las imágenes, a partir de parámetros externos e internos de las cámaras. Durante la georreferenciación el modelo es transformado linealmente usando 7 parámetros de semejanza (3 parámetros de traslación, 3 de rotación y uno de escala)

Para dicha optimización se plantea un sistema de 7 ecuaciones el cual se enuncia a continuación:

$$x = X/Z$$

$$y = Y/Z$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$x' = x \left(1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + K_4 r^8 \right) + (P_1 (r^2 + 2x^2) + 2P_2 xy) (1 + P_3 r^2 + P_4 r^4)$$

$$y' = y \left(1 + K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + K_4 r^8 \right) + (P_2 (r^2 + 2y^2) + 2P_1 xy) (1 + P_3 r^2 + P_4 r^4)$$

$$u = w * 0.5 + c_x + x f + x B_1 + y B_2$$

$$v = h * 0.5 + c_y + y f$$

Donde:

X, Y, Z = coordenadas del punto en el sistema de coordenadas de la cámara
 u, v = coordenadas del punto proyectado en el sistema de coordenadas de la imagen (en pixeles)
 f = distancia focal

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

c_x, c_y = desplazamiento del punto principal
 K_1, K_2, K_3, K_4 = coeficientes de distorsión radial
 P_1, P_2, P_3, P_4 = coeficientes de distorsión tangencial
 B_1, B_2 = coeficientes de afinidad y no ortogonalidad
 w, h = ancho y alto en pixeles

Ecuación 2. sistema de 7 ecuaciones

Para cada uno de los puntos de control se ingresaron las coordenadas, se filtraron las imágenes donde aparece el mismo, donde se ubicó y ajustó de acuerdo a su proyección en la imagen. Una vez identificados se optimizaron los parámetros mencionados anteriormente. A continuación se presenta en la Tabla 43, la matriz de correlación y calibración del bloque 01, en el Anexo 13, se encuentran las matrices para cada uno de los bloques.

Tabla 43. Matriz de correlación y calibración bloque 01

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	2822.38	0.45	1.00	0.77	-0.41	-0.12	0.03	0.80	-0.89	0.89	-0.90	-0.39	0.13
Cx	-22.1256	0.02		1.00	-0.32	-0.07	0.02	0.63	-0.69	0.69	-0.70	0.01	0.10
Cy	-0.698326	0.012			1.00	0.05	0.00	-0.32	0.36	-0.36	0.36	0.17	0.41
B1	-4.65003	0.0095				1.00	-0.01	-0.08	0.09	-0.09	0.09	0.05	-0.02
B2	0.657887	0.009					1.00	0.02	-0.03	0.03	-0.03	-0.02	0.02
K1	0.246837	9.8e-05						1.00	-0.98	0.97	-0.95	-0.30	0.11
K2	-0.936221	0.00066							1.00	-1.00	0.99	0.34	-0.12
K3	1.22513	0.0013								1.00	-1.00	-0.34	0.12
K4	-0.620305	0.00088									1.00	0.34	-0.12
P1	0.00046908	1.3e-06										1.00	-0.06
P2	-0.000139079	1.1e-06											1.00

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

En la y en la Figura 81 y Figura 82, se presenta la visualización de los GPS en la nube dispersa de puntos y en imágenes.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

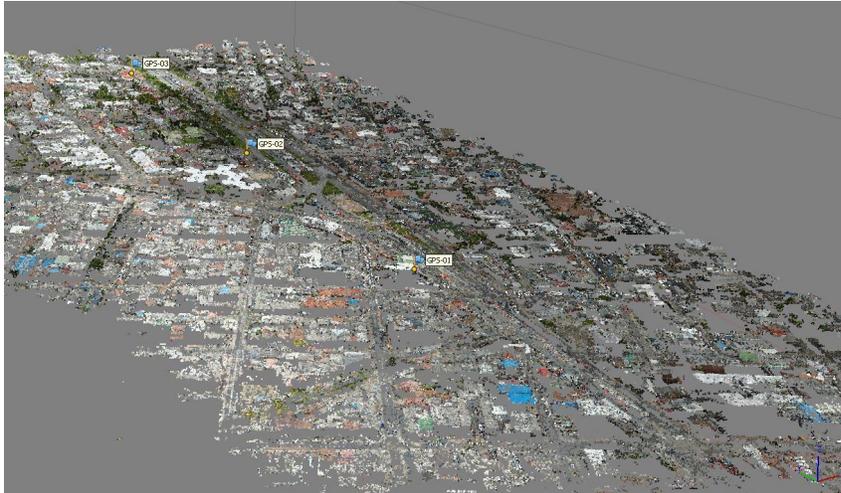


Figura 81. Ground Control Points sobre nube dispersa de puntos.
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

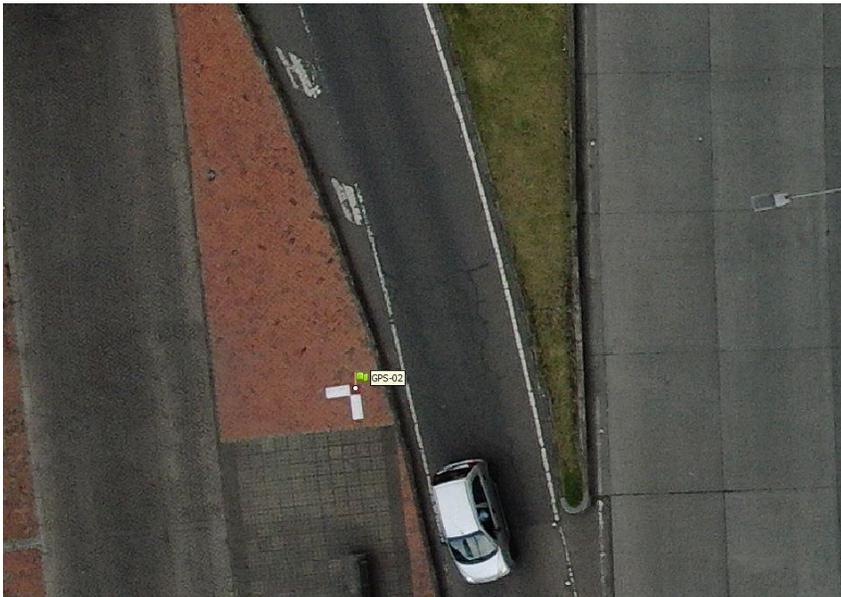


Figura 82. Identificación de Ground Control Points en imágenes.
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

- **Construcción de nube densa de puntos**

Una vez se obtuvieron las posiciones optimizadas de las cámaras, se generó una nube densa de puntos describiendo la topografía del área levantada en un nivel de calidad alto, el cual conservó el tamaño original de las

imágenes capturadas. En la Figura 83, se presenta una visualización de la nube densa de puntos, en la Tabla 44, se resume para cada bloque los resultados obtenidos.



Figura 83. Nube densa de puntos

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

Tabla 44. Resumen de tamaños de nubes densas de puntos

Bloque	Número de puntos
01	441.035.816
02	435.694.905
03	365.965.030
04	284.984.190

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

- **Construcción de DEM**

Se filtró la nube densa de puntos eliminando puntos de ruido y puntos fuera del área del levantamiento. Posteriormente se generó el modelo digital de elevaciones para cada uno de los bloques con una densidad de 5 cm/ px o mayor, para los espacios vacíos donde no se obtuvo información, se realizó un llenado de huecos por interpolación. A continuación en la Figura 84, se presenta un extracto del modelo DEM generado.

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

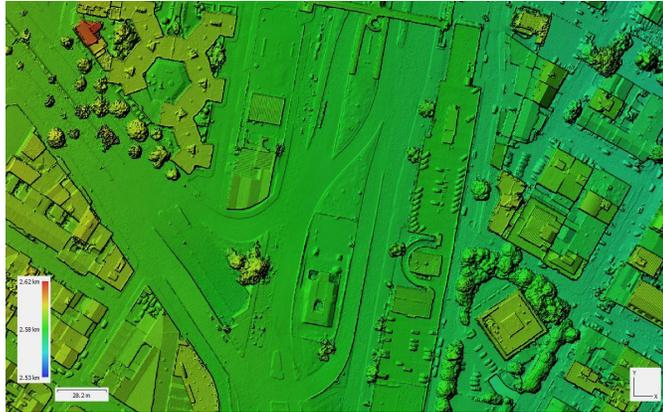


Figura 84. Construcción de DEM

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

- **Construcción de Ortofotos**

Las imágenes capturadas presentan distorsiones inherentes a las características de la captura y equipos utilizados para la misma. Las imágenes originales tienen una distorsión geométrica la cual se refleja en una traslación inexacta de la escala y posición de los objetos en las imágenes. Para la elaboración de las ortofotos se realizó un proceso de ortorectificación a partir del modelo DEM, el cual corrige y elimina las distorsiones de las imágenes generando un ortomosaico el cual representa el área de levantamiento en planta garantizando una consistencia, escala y precisión en los elementos capturados.

En la Figura 85, se presenta un extracto de la ortofoto generada donde se aprecia la malla de armado del mosaico.



Figura 85. Construcción de Ortomosaico

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

- Control de Calidad

El control de calidad que se realizó en la ortofoto se enfocó en validar la precisión y consistencia en la geometría en planta (plano X-Y). El control se realizó calculando el error cuadrático medio RMSE entre los modelos obtenidos del procesamiento fotogramétrico y los puntos de control. A continuación en la Tabla 45, se presenta el resumen de los RMSE para los puntos de control, para cada uno de los bloques. En el Anexo 13 se encuentra el cálculo del error en X y Y en detalle para cada uno de los puntos de control y chequeo evaluados.

Tabla 45. Resumen de RMSE de puntos de control y puntos de chequeo

Bloque	Puntos de control	RMSE XY puntos de control (cm)
01	18	5,5
02	18	4,6
03	13	3,9
04	20	4,2

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea

De acuerdo a los resultados obtenidos y teniendo en cuenta los estándares de datos digitales geoespaciales de la ASPRS, teniendo una ortofoto con un tamaño de píxel de 5 cm y un RMSE XY promedio menor a 7.1 cm satisface una exactitud de datos horizontales clase I, equivalente a ± 12.2 cm al 95% del nivel de confianza.

6.3.5.1.3 Finalización y entrega de productos

Como resultado del presente estudio, se emitió una ortofoto proyectada en el sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS/Ciudad Bogotá (EPSG: 7458) . A continuación en la Tabla 46, se presenta la relación de los anexos emitidos.

Tabla 46. Relación de productos emitidos

TIPO	CÓDIGOS
Ortofoto resolución 5cm/px formato ECW	L1MBTAE_OF_20220324.ecw
Reportes de procesamiento por bloques	01_REPORTE a 04_REPORTE

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

La ortofoto se encuentra en el Anexo 13

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

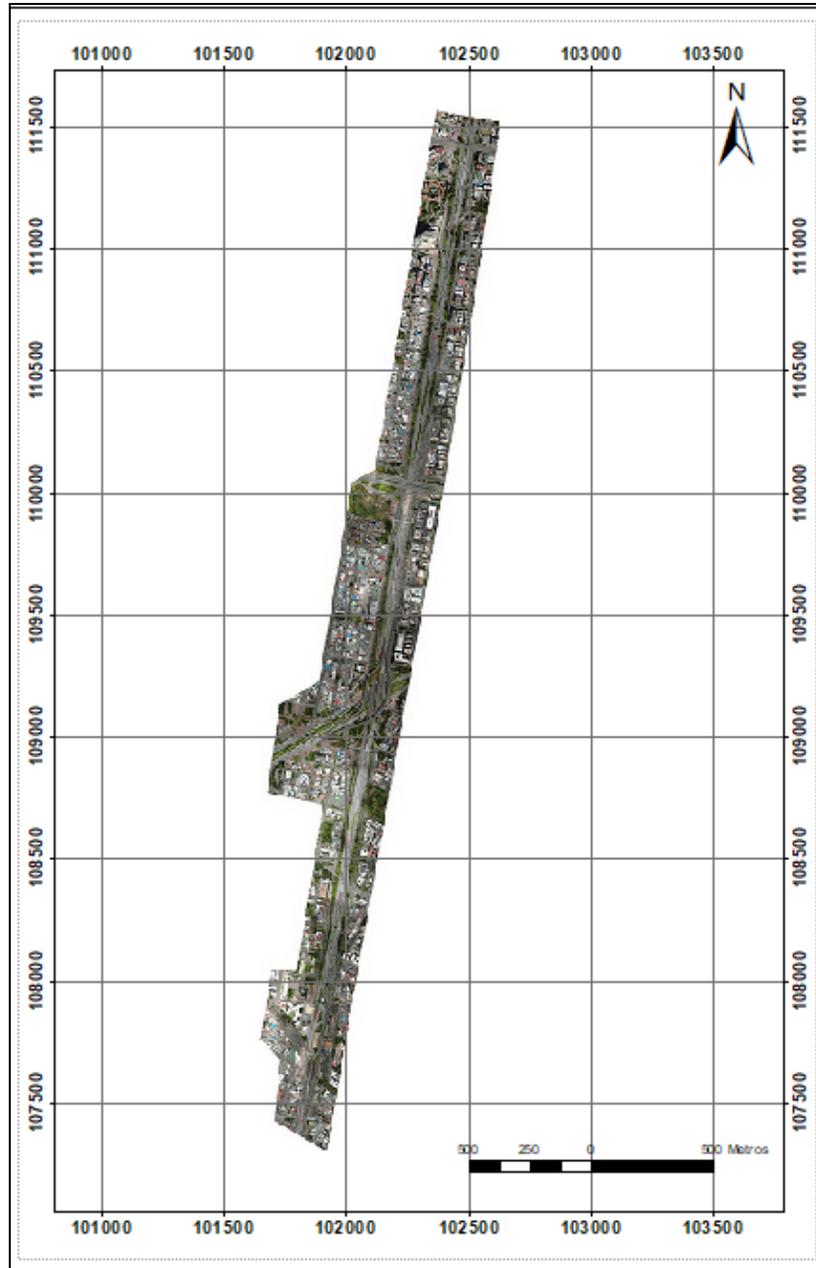


Figura 86. Ortografía

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

6.3.6. CARTOGRAFÍA

En este apartado se describe la metodología utilizada en la realización la elaboración de la cartografía.

- **Captura de elementos cartográficos**

La captura de los elementos cartográficos se realizó con la digitalización de los elementos más representativos, los cuales fueron extraídos de la ortofoto actualizada y del DTM obtenido a partir de datos LiDAR.

Para la digitalización de los elementos de la ortofoto en el área de estudio, se realizó el reconocimiento y la vectorización manual con ayuda del software especializado para dibujo AutoCad, los elementos definidos corresponden a una escala 1:500 en los cuales se tomaron vectores tipo línea, tipo polígono y tipo punto tal como se ve en la Tabla 47

Tabla 47. Vectores utilizados en la digitalización de la ortofoto

ELEMENTOS	TIPO
Árboles	Punto
Válvulas	
Medidores	
Bolardos	
Canecas	
Hidrantes	
Luminarias	
Semáforos	
Paraderos	
Estaciones	
Pozos	
Pozos redes secas	
Vías	
Señalización Vertical	
Señalización Horizontal	
Construcciones	

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

ELEMENTOS	TIPO
Ciclovia	Polígonos
Cajas	
Sumideros	
Bancas, canchas, parques, estaciones de servicio	
Cuerpos de agua	
Zona Verde	

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

- **Perfiles longitudinales y secciones transversales**

El perfil longitudinal y las secciones transversales se realizaron cada 10 metros a lo largo del eje proyectado, estas se obtuvieron a partir del modelo digital de terreno, donde se identifican los accidentes topográficos más importantes y detalles como bordes de andén, zonas verdes, sardineles, entre otros. Ver Figura 87 y Figura 88

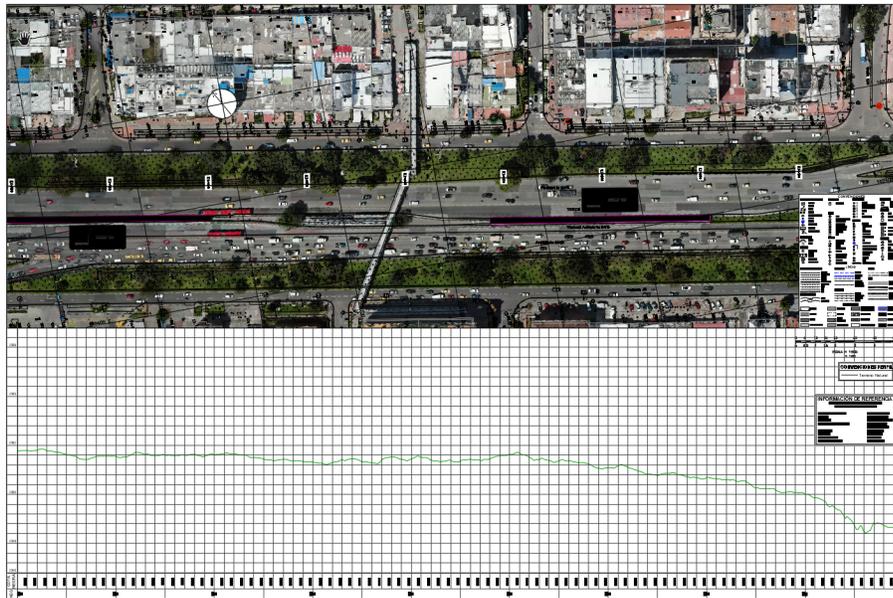


Figura 87. Ejemplo perfil longitudinal
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

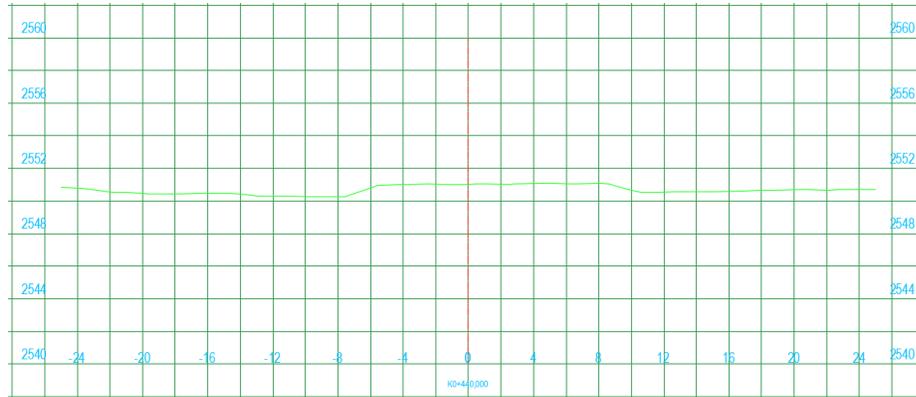


Figura 88. Ejemplo perfil Sección transversal
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

En el Anexo 14 se aprecia los planos planta perfil y secciones transversales obtenidas.

- **Generación de productos derivados de la nube de puntos MDT, Curvas de nivel**

Las curvas de nivel se generaron a partir del modelo digital de terreno obtenido con las nubes de puntos LiDAR. El procesamiento del modelo digital de terreno se realizó mediante la interpolación de los puntos clasificados del terreno generando una superficie. El propósito de generar el MDT es la obtención de una representación en 3D de la superficie, con la cual se realizó la creación de las curvas de nivel, que para este proyecto se generaron con intervalos de 0,50 m. En este procesamiento no se incluyen los elementos como construcciones, árboles y líneas eléctricas. En la Figura 89 , se presenta un ejemplo del MDT y en la Figura 90 las curvas de nivel obtenidas.

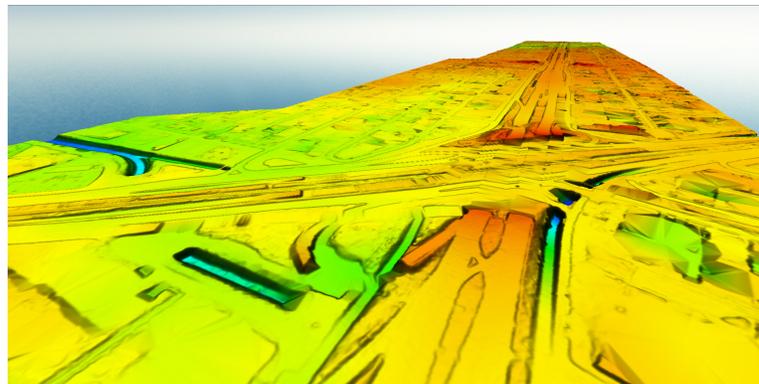


Figura 89. MDT - Puente calle 92

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

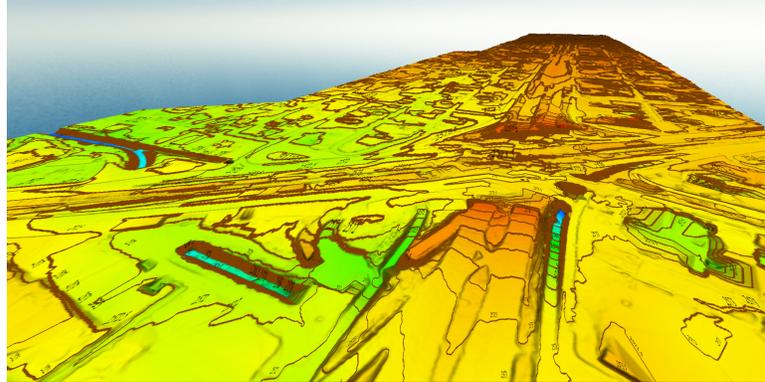


Figura 90. Curvas de nivel obtenidas - Puente calle 92
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

- **Control de Calidad Cartografía**

En control de calidad se ha centrado en la verificación de la digitalización de los elementos encontrados en la ortofoto, se verificó la geometría de acuerdo al tipo de vector bien sea tipo línea, punto o polígono.

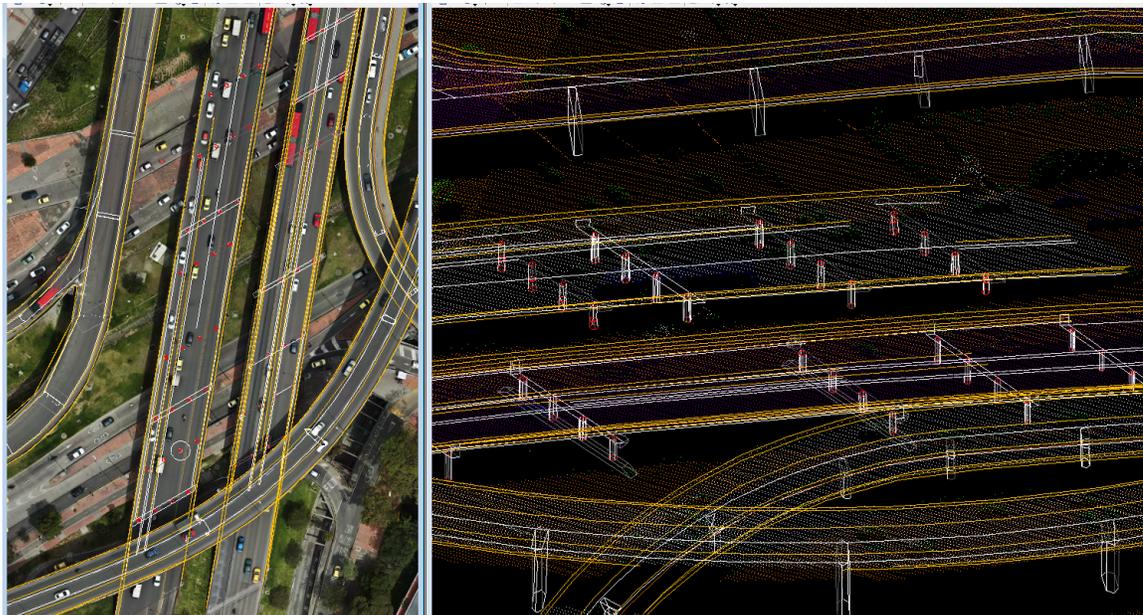


Figura 91. Control calidad cartografía Puente calle 92
Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA EXTENSIÓN DE LA PLMB-TRAMO 1 HASTA EL SECTOR DE LA CALLE 100, DE ACUERDO CON LAS DEFINICIONES ESTABLECIDAS EN EL CONTRATO DE CONCESIÓN NO. 163 DE 2019

ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA
EPLMB-EML-E3-TOP-0001_R0

- **Finalización, entrega de productos y salidas gráficas**

Los planos topográficos del proyecto contienen la representación gráfica de todos los elementos del área de estudio, con sus respectivas coordenadas X y Y, las alturas fueron derivadas del modelo digital del terreno, con separación de curvas de 0,50 m, de acuerdo a la escala indicada. La tabla de convenciones es acorde a cada uno de los elementos representados en los planos tales como bordes de vía, sardineles, pozos, postes, sumideros, árboles entre otros detalles representativos.

Como resultado del presente estudio se elaboraron de planta general, planta-perfil y planos de secciones transversales en formato .dwg y.PDF, que se presentan en el Anexo 14.

A continuación en la Tabla 48 se presenta la relación de los planos emitidos.

Tabla 48. Relación de Planos emitidos

TIPO	CÓDIGOS
Planta General	EPLMB-0000-000-ELM-DP-TOP-PL-00-0001_V00
Plantas Topográficas	EPLMB-0000-000-ELM-DP-TOP-PL-00-0001_V00 - EPLMB-0000-000-ELM-DP-TOP-PL-00-0016_V00
Planta Perfiles	EPLMB-0000-000-ELM-DP-TOP-PL-00-0017_V00 EPLMB-0000-000-ELM-DP-TOP-PL-00-0025_V00
Secciones Transversales	EPLMB-0000-000-ELM-DP-TOP-PL-00-0026_V00

Fuente: Unión Temporal Extensión Metro Línea 1

El MDT se presenta en formato en ascii y se encuentra en el Anexo 14.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio topográfico para el proyecto, se cumplieron los objetivos planteados, así como las especificaciones (ET-01) técnicas del contrato. Los productos derivados del levantamiento de información topográfica de campo y procesado de la misma, en el corredor de los estudios, cumplen con las precisiones y calidad establecidas en el alcance del estudio.

Particularmente se tienen las siguientes conclusiones sobre los productos generados en el estudio:

- Se materializó una red geodésica para el control planimétrico del proyecto, compuesta por 15 puntos distribuidos a lo largo del corredor de los estudios, posicionados con equipos GNSS, doble frecuencia y por doble determinación. El traslado de coordenadas se realizó desde las bases ABCC y BOG del Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC.
- Se considera que para el fin del estudio no es necesario que todos los puntos de la red sean intervisibles, toda vez que con la tecnología implementada y la disponible (GPS, RTK, LiDAR), se pudieron levantar todos los detalles topográficos del área de proyecto.
- Se realizó la captura de nube de puntos en el corredor de los estudios, mediante un sensor láser transportado en un VANT, con lo cual se obtuvo un Modelo Digital de Terreno con una densidad superior a 10 puntos por metro cuadrado. La información se procesó en oficina mediante software especializado, para obtener el MDT georreferenciado, con un paso de malla o grid de 0.5 x 0.5 metros a partir de este se obtuvieron curvas de nivel con separación 0.5 m.
- Se realizó la toma de imágenes mediante un VANT, para obtener fotografías aéreas georreferenciadas del corredor de los estudios. Esta información se procesó con software especializado para ortorectificar las imágenes y obtener un ortofotomosaico georreferenciado del corredor de los estudios. La resolución de dicho ortofotomosaico es de 5 cm / píxel.
- A partir de la nube de puntos LiDAR y el ortofotomosaico generado se obtuvo la restitución cartográfica de los detalles relevantes del corredor de los estudios.
- Se generaron planos en planta y secciones transversales de los levantamientos realizados.
- El modelo de terreno (MDT) obtenido a partir de la información levantada en campo, cumple con la calidad y la precisión para desarrollar los demás estudios detallados del proyecto EPLMB.

7.2. RECOMENDACIONES

- Para futuros trabajos topográficos en el corredor, tales como el replanteo de las obras a construir, se recomienda que los amarres topográficos se realicen a partir de los puntos de la red geodésica materializados a lo largo del presente proyecto.
- Teniendo en cuenta que se tendrá un tiempo entre la fecha en la cual se ejecutaron los presentes levantamientos topográficos y la posible etapa de preconstrucción o diseños detallados, se recomienda que durante la etapa de estudios Fase 3 se realice una verificación y actualización de los presentes estudios de topografía, toda vez que en el área de influencia del corredor de la EPLMB, se tiene actualmente obras en ejecución, que con el paso del tiempo modificarán las condiciones actuales del terreno, situación que ya se evidenció a la fecha, por ejemplo en la zona donde se ejecuta la PLMB.
- Previo al inicio de las obras, se recomienda que el ejecutor de la misma realice el replanteo de sus diseños detallados, sobre los puntos de la red geodésica y de nivelación definida para el presente levantamiento y si realiza poligonales, estas inicien y cierren en los puntos de GPS definidos en este informe. No obstante lo anterior, por la temporalidad entre uno y otro estudio, es recomendable que el ejecutor de la posible obra de la EPLMB, elabore una actualización y validación de la red del proyecto.
- En los sitios que por condiciones de obstáculos existentes no sea posible tener visuales directas desde los puntos de la red geodésica, se recomienda materializar vértices auxiliares a los cuales se podrá trasladar coordenadas y cotas de los puntos de la red geodésica.

8. ANEXOS

- Anexo 1. Certificado de Calibración de Equipos
- Anexo 2. Tarjetas profesionales de topógrafos
- Anexo 3. Posicionamiento de puntos GPS
- Anexo 4. Informe de Postproceso de Puntos GPS
- Anexo 5. Carteras de Campo Nivelación Geométrica
- Anexo 6. Cálculo y ajuste Nivelación Geométrica
- Anexo 7. Permisos de vuelo
- Anexo 8. Planes de vuelo
- Anexo 9. Datos crudos LiDAR
- Anexo 10. Procesamiento de Datos LiDAR
- Anexo 11. Curvas de nivel
- Anexo 12. Planimetría
- Anexo 13. Ortofoto
- Anexo 14. Planos Topográficos
- Anexo 15. Control de calidad altimétrico nube de puntos LiDAR
- Anexo 16. Presentación
- Anexo 17. Documento Aprobación
- Anexo 18. Tabla Control