



Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legal, de riesgos, técnico y financiero

Entregable 4
Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte
Anexo A

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC



CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Sección Modificada	Observaciones
A	18-02-2022	-	Versión Inicial
B	08-03-2022	Integración general de modificaciones solicitadas	Observaciones de FDN/Interventoría/EMB. Se asigna el capítulo al Apéndice 5 del Anexo H
C	05-05-2022	-	Observaciones del Ministerio de Transporte. Se reasigna el capítulo a la Sección 10 del Anexo A

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

J. C. Pantoja 18-05-2022
Gerente de estructuración

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Revisó: F. Castellanos 05-05-2022	Revisó: J. Fernandez 05-05-2022	Revisó: E. Dussán 05-05-2022	Aprobó: F. Sánchez 05-05-2022
VoBo. Especialista Topografía	VoBo. Director Departamento de Geomática	VoBo. Director de División Vías, Tránsito y Transporte	VoBo. Coordinador Técnico

TABLA DE CONTENIDO

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO	5
10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN - ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS	5
10.1 INTRODUCCIÓN	5
10.2 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS	5
10.2.1 Localización	5
10.2.2 Objetivos del estudio realizado	6
10.2.3 Diseño de la red geodésica	6
10.2.3.1 Materialización en campo de la red geodésica	7
10.2.3.2 Posicionamiento de la red geodésica	7
10.2.4 Nivelación	10
10.2.4.1 Circuitos de nivelación	10
10.2.4.2 Nivelación de pozos	12
10.2.5 Generación de insumos cartográficos mediante vuelos Vant	13
10.2.6 Productos	16

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Coordenadas en época de referencia
- Tabla 2. Circuitos de nivelación (comisión norte)
- Tabla 3. Circuitos de nivelación comisión sur-oriente
- Tabla 4. Vectores utilizados en la digitalización de la ortofoto

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localización general proyecto
- Figura 2. Materialización y placa punto GPS
- Figura 3. Esquema de posicionamiento red geodésica
- Figura 4. Bases permanentes empleadas para la georreferenciación y vértices de la red
- Figura 5. Esquema de Nivelación de pozos
- Figura 6. Plan de vuelo del M300 para captura de datos LiDAR
- Figura 7. Captura VANT de fotografías aéreas y LiDAR

Figura 8. Visualización de puntos por líneas de vuelo

Figura 9. Gráfico Modelo Digital del Terreno LiDAR

Figura 10. Gráfico Modelo Digital del Terreno LiDAR

Figura 11. Gráfico Ortofoto

Figura 12. Gráfico Ortofoto

Figura 13. Ejemplo perfil longitudinal

Figura 14. Ejemplo Sección transversal

Figura 15. MDT y Curvas de nivel obtenidas - Zona de Patio Taller

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO

10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN - ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

10.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo describe las actividades desarrolladas para la ejecución de los estudios topográficos requeridos para la estructuración del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá (L2MB).

Contiene la información técnica de los trabajos desarrollados en las diferentes campañas de campo en la toma de los datos y en oficina en el procesamiento y la generación de los diferentes productos, la metodología y procedimientos seguidos en cumplimiento de los lineamientos técnicos de los procesos de generación de productos topográficos para la L2MB, en el desarrollo de proyectos e indicados en la Resolución 471 del 14 de mayo de 2020 y en la Resolución 529 de 2020, expedidas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC; por medio de las cuales se establecen las especificaciones técnicas mínimas que deben tener los productos de cartografía básica oficial de Colombia. Así mismo, incluye la descripción de la localización, los recursos empleados para el desarrollo de los trabajos, los equipos utilizados, las actividades desarrolladas, así como los productos y subproductos generados.

10.2 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

10.2.1 Localización

El primer tramo del proyecto se desarrollará a lo largo de la Calle 72, desde la Carrera 11 (fin de la cola de maniobras) hasta la intersección de la Calle 72 con Avenida Ciudad de Cali. Desde ahí el trazado avanzará por la Avenida Ciudad de Cali hacia el norte, hasta llegar a la Carrera 118 (predios de la ALO), para continuar por esta vía hacia el norte hasta llegar a la Calle 145. A continuación el corredor discurre hacia el occidente, hasta llegar a la Carrera 147, donde se prevé la ubicación del patio taller, el cual colinda con el jarillón del río Bogotá.

La localización general del corredor L2MB se esquematiza en la Figura 1.

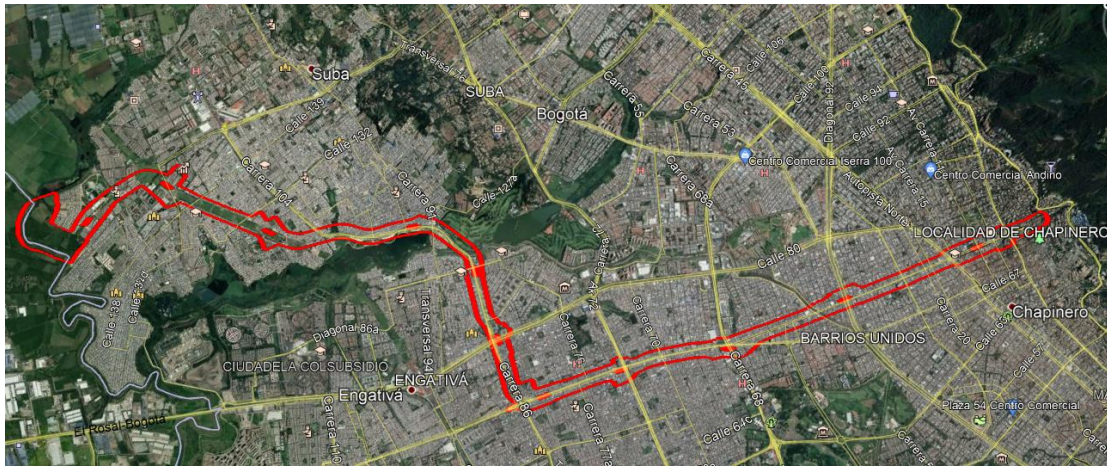


Figura 1. Localización general proyecto
Fuente: UT MOVIUS sobre Google Earth

10.2.2 Objetivos del estudio realizado

Obtener información geográfica 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), realizando el levantamiento topográfico mediante tecnología LIDAR aerotransportado, uso de técnicas y tecnologías fotogramétricas, y complementación con topografía convencional de detalle. Lo anterior con el objetivo específico de obtener los insumos topográficos que servirán como base para el desarrollo del proyecto.

El resultado esperado es conseguir la representación gráfica del terreno en planimetría y altimetría del corredor objeto de estudio, con una longitud aproximada de 15,7 km y un área aproximada de 430 ha, bajo las especificaciones técnicas contenidas en el presente documento. Así mismo, y de manera particular:

- 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 L2MB, 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-06 - 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 L2MB.

10.2.3 Diseño de la red geodésica

Con base en la franja a levantar, la identificación de los puntos de control IGAC (NP18) y amarres a las placas de BGT o BOGA, así como la ubicación preliminar de los puntos en campo, en oficina se realizó 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 con distancias entre 300 m y 700 m localizados a lo largo y ancho del corredor del estudio. Como resultado de esta actividad, se obtuvo un total de 48 vértices 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.

10.2.3.1 Materialización en campo de la red geodésica

Una vez diseñada la red geodésica, se procedió a realizar la materialización en campo de los 48 vértices, de los cuales 31 se hicieron por incrustación de placa en zonas duras y 17 con mojones y placa en zonas blandas.

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.

En las zonas blandas del terreno existente, los puntos se materializaron mediante mojones en concreto con placa de aluminio en su cara superior. Los mojones se construyeron de 30 cm x 30 cm de lado y 80 cm de alto, sobresaliendo 7 cm del terreno natural. Una vez que fraguó el concreto se realizó la demarcación con pintura roja y blanca.



Figura 2. Materialización y placa punto GPS
Fuente UT MOVIUS

10.2.3.2 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:

$$t = 65 \text{ min} + (3 \text{ min} \times (d - 10))$$

Donde:

- t= Tiempo de rastreo
- d= Distancia en kilómetros

Definidos los tiempos de rastreo se diseñó la red de posicionamiento con sesiones equivalentes a 2 horas 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 6 antenas GNSS, realizando posicionamientos diarios de 3 sesiones con puntos de traslape, 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 siguiente figura:

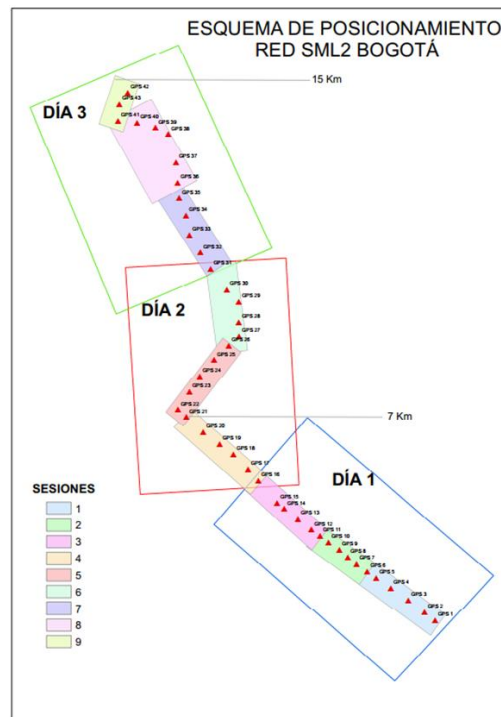


Figura 3. Esquema de posicionamiento red geodésica
Fuente: UT MOVIUS

En la siguiente figura se muestra la ubicación de las bases permanentes utilizadas para la georeferenciación de los 48 vértices de la red geodésica del proyecto .

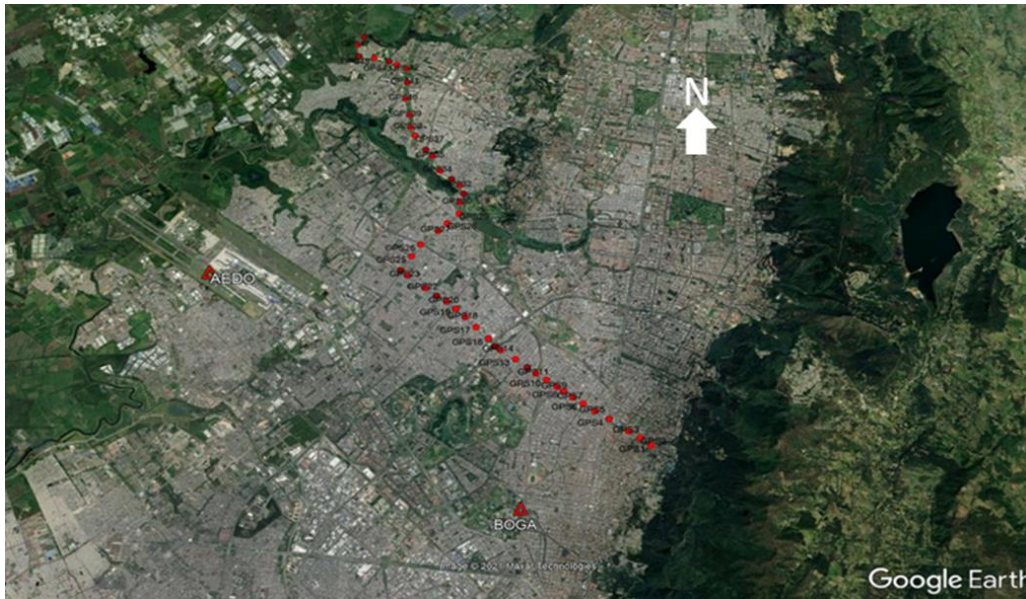


Figura 4. Bases permanentes empleadas para la georreferenciación y vértices de la red
Fuente: Google Earth, Adaptada por UT MOVIUS

Como resultado del postproceso y ajuste de las coordenadas de los vértices de la red geodésica del proyecto, en la siguiente tabla se muestra el cálculo final de las coordenadas de la red del proyecto en el sistema WGS84 y coordenadas del proyecto Cartesianas Magna Ciudad de Bogotá.

Tabla 1. Coordenadas en época de referencia

ID PUNTO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS WGS 1984			CARTESIANAS MAGNA LOCALES BOGOTÁ D.C.		
	Latitud	Longitud	Altura Elipsoidal (h)	Norte	Este	Cota Ortométrica Geocol2004 (H)
GPS 1	4°39'11.48709"N	74°3'12.13952"W	2.621.559	106.302.082	102.682.195	2.595.091
GPS 2	4°39'18.01844"N	74°3'19.84252"W	2.607.469	106.502.756	102.444.661	2.581.048
GPS 3	4°39'23.63349"N	74°3'28.03021"W	2.596.570	106.675.272	102.192.188	2.570.194
GPS 4	4°39'33.90903"N	74°3'42.22809"W	2.583.685	106.990.980	101.754.386	2.557.387
GPS 5	4°39'40.73707"N	74°3'52.62351"W	2.581.017	107.200.764	101.433.841	2.554.773
GPS 6	4°39'47.16301"N	74°4'1.40371"W	2.578.630	107.398.199	101.163.100	2.552.432
GPS 7	4°39'52.42866"N	74°4'8.87225"W	2.576.929	107.559.984	100.932.807	2.550.770
GPS 8	4°39'57.60695"N	74°4'15.71576"W	2.573.402	107.719.087	100.721.786	2.547.278
GPS 9	4°40'1.42545"N	74°4'20.65235"W	2.573.324	107.836.411	100.569.566	2.547.225
GPS 10	4°40'7.55283"N	74°4'28.41178"W	2.571.270	108.024.677	100.330.304	2.545.210
GPS 11	4°40'13.22003"N	74°4'36.30235"W	2.569.355	108.198.803	100.087.001	2.543.333
GPS 12	4°40'18.18451"N	74°4'42.72556"W	2.572.553	108.351.340	99.888.943	2.546.562
GPS 13	4°40'25.60494"N	74°4'51.78728"W	2.573.425	108.579.339	99.609.527	2.547.477
GPS 14	4°40'33.69677"N	74°5'2.933"W	2.570.326	108.827.966	99.265.858	2.544.426
GPS 15	4°40'36.88431"N	74°5'7.11536"W	2.570.198	108.925.906	99.136.898	2.544.313
GPS 16	4°40'43.89527"N	74°5'12.34716"W	2.570.725	109.141.335	98.975.572	2.544.864

REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003_VC

GPS 17	4°40'54.06068"N	74°5'21.96387"W	2.573.826	109.453.688	98.679.044	2.548.005
GPS 18	4°41'2.93331"N	74°5'30.17174"W	2.574.488	109.726.319	98.425.958	2.548.700
GPS 19	4°41'10.57808"N	74°5'37.62007"W	2.574.586	109.961.222	98.196.295	2.548.825
GPS 20	4°41'17.18919"N	74°5'44.87239"W	2.574.457	110.164.361	97.972.679	2.548.722
GPS 21	4°41'22.33812"N	74°5'52.5654"W	2.575.403	110.322.569	97.735.479	2.549.692
GPS 22	4°41'29.42924"N	74°6'1.43747"W	2.574.540	110.540.457	97.461.925	2.548.860
GPS 23	4°41'41.17908"N	74°6'15.70191"W	2.574.038	110.901.496	97.022.110	2.548.408
GPS 24	4°41'45.83516"N	74°6'21.09932"W	2.573.675	111.044.565	96.855.692	2.548.064
GPS 25	4°41'58.82434"N	74°6'12.91729"W	2.573.848	111.443.731	97.107.930	2.548.241
GPS 26	4°42'9.9245"N	74°6'6.08936"W	2.575.505	111.784.846	97.318.421	2.549.901
GPS 27	4°42'23.00823"N	74°5'52.83128"W	2.574.858	112.186.930	97.727.152	2.549.247
GPS 28	4°42'30.11838"N	74°5'45.85433"W	2.574.008	112.405.436	97.942.242	2.548.393
GPS 29	4°42'39.72264"N	74°5'36.58807"W	2.572.929	112.700.591	98.227.905	2.547.309
GPS 30	4°42'50.3438"N	74°5'36.24914"W	2.568.018	113.026.975	98.238.330	2.542.413
GPS 31	4°42'58.74534"N	74°5'33.07668"W	2.568.736	113.285.157	98.336.118	2.543.138
GPS 32	4°43'7.03859"N	74°5'36.51861"W	2.570.973	113.539.997	98.229.983	2.545.392
GPS 33	4°43'12.93781"N	74°5'42.93582"W	2.569.781	113.721.262	98.032.125	2.544.222
GPS 34	4°43'21.60078"N	74°5'52.56952"W	2.568.133	113.987.450	97.735.097	2.542.605
GPS 35	4°43'35.88309"N	74°5'58.77724"W	2.572.914	114.426.325	97.543.683	2.547.414
GPS 36	4°43'42.24822"N	74°6'4.41826"W	2.574.010	114.621.910	97.369.758	2.548.530
GPS 37	4°43'56.42867"N	74°6'13.3984"W	2.576.024	115.057.651	97.092.874	2.550.579
GPS 38	4°44'5.06665"N	74°6'17.32868"W	2.575.974	115.323.085	96.971.689	2.550.547
GPS 39	4°44'17.71605"N	74°6'18.53667"W	2.575.159	115.711.792	96.934.424	2.549.748
GPS 40	4°44'34.28609"N	74°6'22.22856"W	2.575.289	116.220.974	96.820.575	2.549.903
GPS 41	4°44'51.2846"N	74°6'21.21471"W	2.575.086	116.743.332	96.851.801	2.549.716
GPS 42	4°45'5.43187"N	74°6'22.29586"W	2.573.504	117.178.068	96.818.445	2.548.146
GPS 43	4°45'10.1992"N	74°6'30.74699"W	2.572.460	117.324.551	96.557.898	2.547.121
GPS 44	4°45'13.79376"N	74°6'37.38275"W	2.569.895	117.435.000	96.353.320	2.544.571
GPS 45	4°45'17.10303"N	74°6'49.64352"W	2.564.650	117.536.673	95.975.331	2.539.351
GPS 46	4°45'19.19237"N	74°7'2.52868"W	2.564.364	117.600.860	95.578.096	2.539.091
GPS 47	4°45'31.21278"N	74°7'3.99597"W	2.564.864	117.970.239	95.532.846	2.539.593
GPS 48	4°45'39.82476"N	74°6'59.18229"W	2.564.853	118.234.887	95.681.233	2.539.575

Fuente: UT MOVIUS

10.2.4 Nivelación

10.2.4.1 Circuitos de nivelación

Los circuitos de nivelación se realizaron con nivel electrónico, llevando control de los circuitos por medio de carteras de campo, se diseñó una red de circuitos de nivelación, partiendo del punto NP18-BGT en dirección Nor-occidente y en dirección Sur-oriente. Los circuitos de nivelación se muestran en las siguientes tablas.

- **Circuitos de nivelación sector nor-occidente**

Se diseñaron y ejecutaron un total de 9 circuitos de nivelación y contra nivelación geométrica, partiendo del punto 18-BGT hasta el GPS 48, con un total de 70 cambios numerados de C#1 a C#68 para el desplazamiento de la nivelación como puntos intermedios de nivel. En la Tabla 12, se muestran los circuitos realizados, siempre partiendo y cerrando en un vértice geodésico.

Tabla 2. Circuitos de nivelación (comisión Norte)

Circuitos de nivelación Sector Norte		
Circuito	Inicio	Final
C1	GPS 27	GPS 28
C2	GPS 28	GPS 31
C3	GPS 31	GPS 34
C4	GPS 34	GPS 36
C5	GPS 36	GPS 38
C6	GPS 38	GPS 40
C7	GPS 40	GPS 42
C8	GPS 42	GPS 45
C9	GPS 45	GPS 48

Fuente: UT MOVIUS

- **Circuitos de nivelación sector sur-oriente**

Se establecieron 11 circuitos de nivelación y contra nivelación geométrica, partiendo del punto 18-BGT hasta el GPS 01, con un total de 73 cambios numerados de C#250 a C#323 para el desplazamiento de la nivelación como puntos intermedios de nivel. En la siguiente tabla, se muestran los circuitos realizados para el sector sur-oriente.

Tabla 3. Circuitos de nivelación comisión Sur-Oriente

Circuitos de nivelación Sector Sur oriente		
Circuito	Inicio	Final
C1	GPS 26	GPS 24
C2	GPS 24	GPS 22
C3	GPS 22	GPS 19
C4	GPS 19	GPS 17
C5	GPS 17	GPS 14
C6	GPS 14	GPS 12
C7	GPS 12	GPS 09
C8	GPS 09	GPS 06
C9	GPS 06	GPS 04
C10	GPS 04	GPS 02
C11	GPS 02	GPS 01

Fuente: UT MOVIUS

10.2.4.2 Nivelación de pozos

Se realizó nivelación y posicionamiento de pozos de alcantarillado existentes en el corredor de los estudios. Se partió de la identificación en oficina de acuerdo con la información obtenida de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá (EAAB), posteriormente la información se validó 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 del punto NP18-BGT en dirección Nor-occidente y Sur-oriente.

Una vez obtenidas las cotas geométricas de cada uno de los pozos levantados se procedió a incorporarlos en el Modelo Digital de Terreno, con el fin de realizar un ajuste alimétrico a dicho modelo. A continuación se muestra en la siguiente figura la localización de los pozos nivelados.

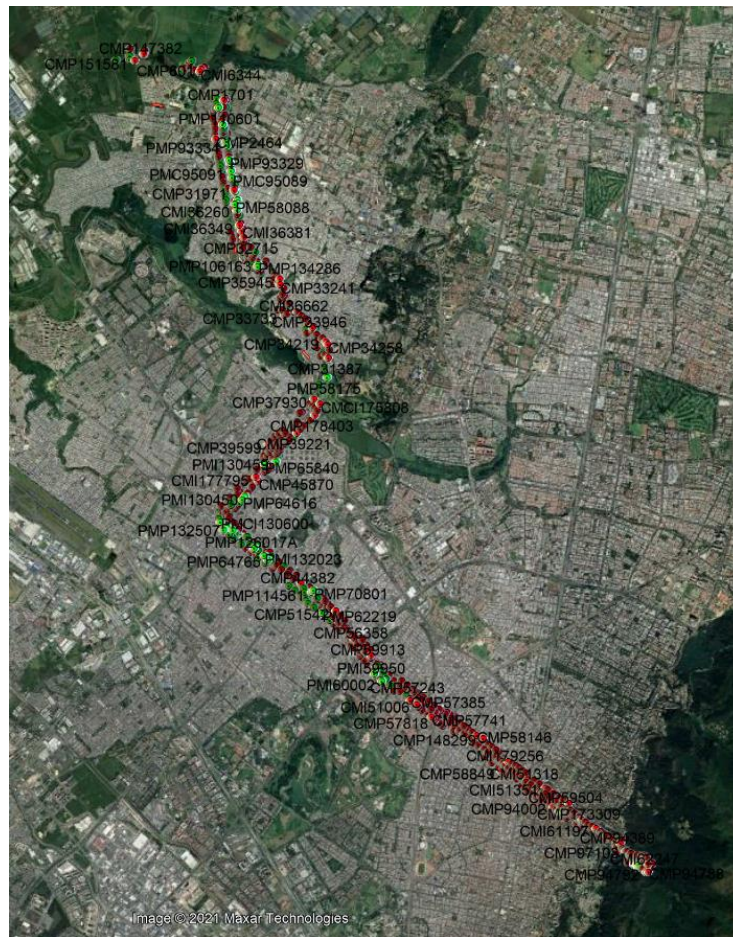


Figura 5. Esquema de Nivelación de pozos
Fuente: Google Earth, Adaptada por UT MOVIUS

10.2.5 Generación de insumos cartográficos mediante vuelos Vant

- **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.

- **Plan de vuelos**

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 fotografías aéreas con el VANT Phantom 4.

En la siguiente figura, se presenta un ejemplo de un plan de vuelo del VANT M300, en un sitio de despegue para captura de nube de puntos LiDAR:

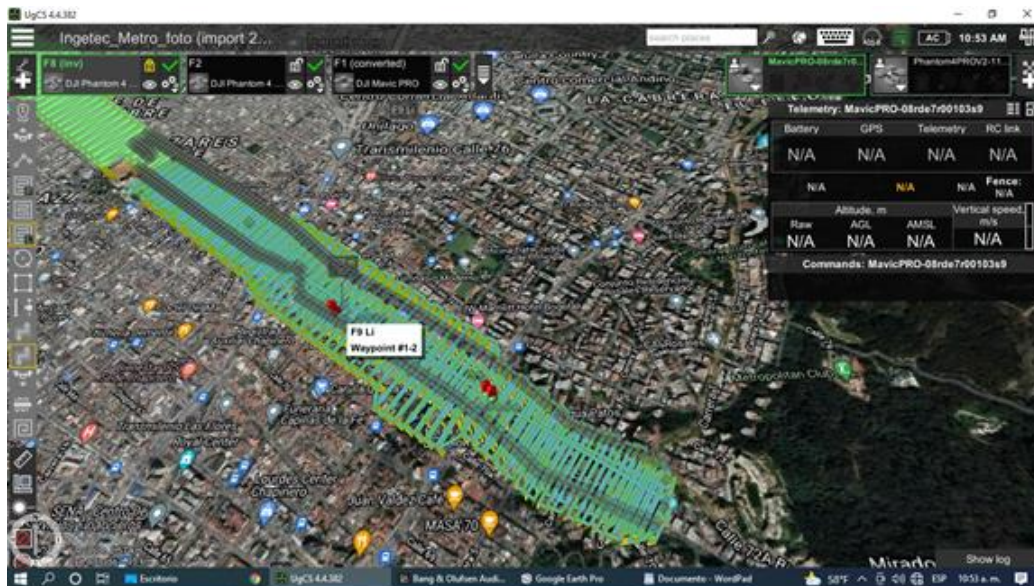


Figura 6. Plan de vuelo del M300 para captura de datos LiDAR

Fuente: UT MOVIUS

- **Captura de Información con vehículo aéreo no tripulado (VANT)**

Durante la captura de información combinada LiDAR, y vuelo fotogramétrico, 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 píxel 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 siguiente figura, se presenta un esquema de captura de fotografías aéreas y datos LiDAR

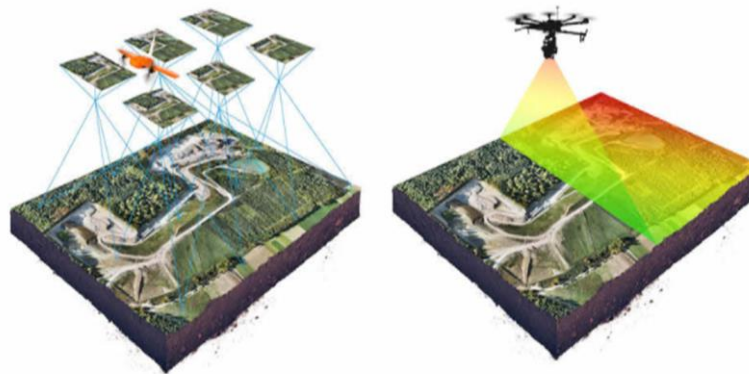


Figura 7. Captura VANT de fotografías aéreas y LiDAR
Fuente: UT MOVIUS

● **Procesado final datos LiDAR**

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 procesamiento de datos, se obtienen las pasadas de los 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.

● **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. En la siguiente figura se muestran los bloques de la nube de puntos.

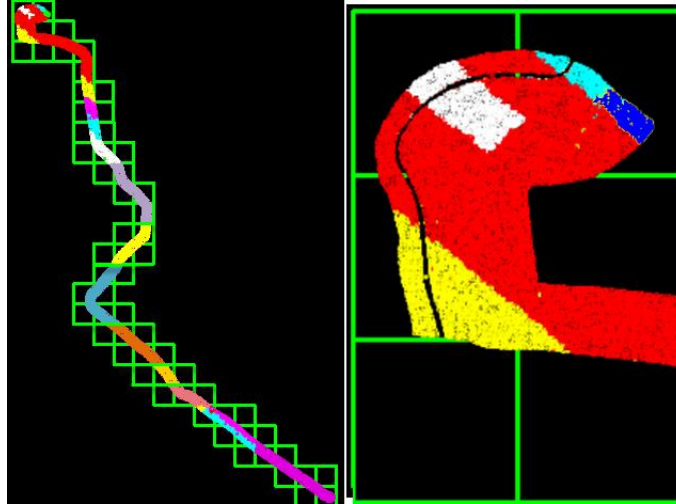


Figura 8. Visualización de puntos por líneas de vuelo
Fuente: UT MOVIUS

- **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 siguiente figura, se presenta un gráfico explicativo del método control de cota geométrica LiDAR.

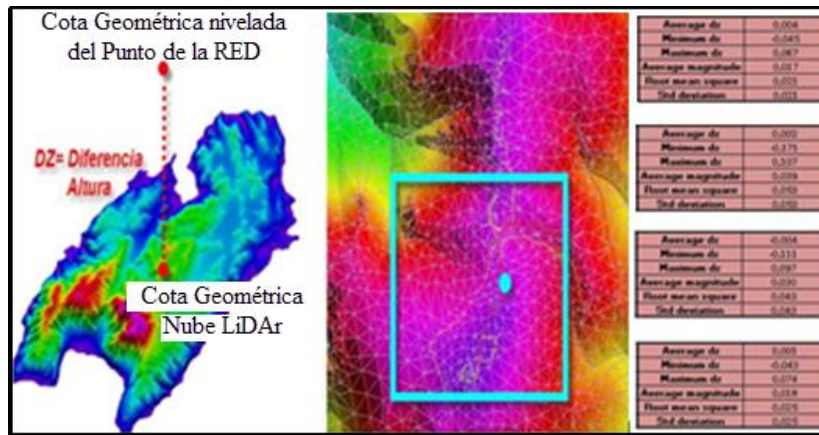


Figura 9. Gráfico explicativo método Control de cota geométrica LiDAR
Fuente: UT MOVIUS

10.2.6 Productos

- **Generación del Modelo Digital del Terreno (MDT)**

El Modelo Digital de Terreno (MDT) corresponde 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, con el fin de 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 siguiente Figura, se presenta un ejemplo gráfico del Modelo Digital del Terreno LiDAR.

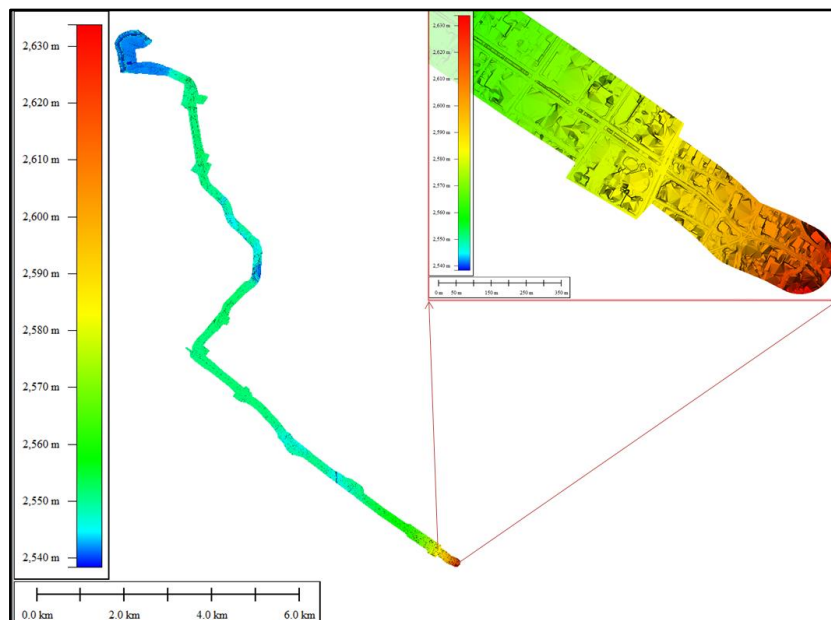


Figura 10. Gráfico Modelo Digital del Terreno LiDAR

Fuente: UT MOVIUS

- **Generación del Modelo Digital de Superficie (MDS)**

El Modelo Digital de Superficie MDS se generó de la modelización del terreno teniendo en cuenta las alturas de las infraestructuras humanas cuya cota no sea el suelo.

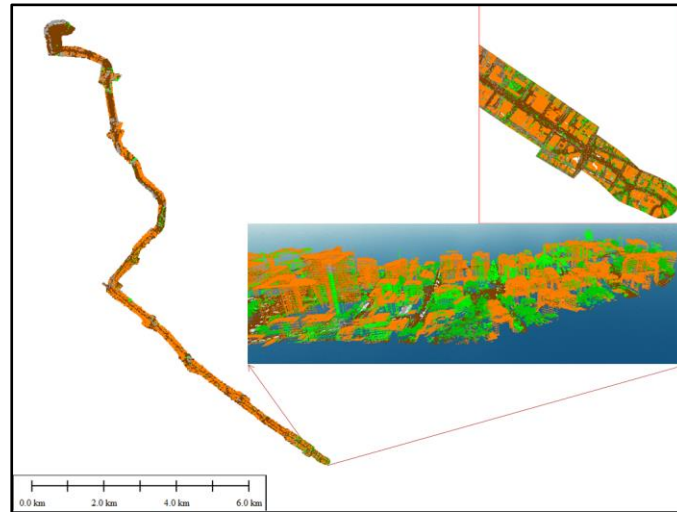


Figura 11. Gráfico Modelo Digital del Terreno LiDAR
Fuente: UT MOVIUS

- **Ortofoto**

Como resultado del presente estudio, se emitió una ortofoto proyectada en el sistema de coordenadas MAGNA-SIRGAS/Ciudad Bogotá (EPSG: 7458), con una resolución 5cm/px formato ECW.



Figura 12. Gráfico Ortofoto
Fuente: UT MOVIUS

- **Planimetría**

La restitución cartográfica se realizó con la digitalización de los elementos que se presentan en la Tabla 1, 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 1.

Tabla 4. Vectores utilizados en la digitalización de la ortofoto

ELEMENTOS	TIPO
Árboles	Punto
Válvulas	
Medidores	
Bolardos	
Canecas	
Hidrantes	
Luminarias	
Semáforos	
Paraderos	

ELEMENTOS	TIPO
Estaciones	
Pozos	
Postes Electricos	
Pozos redes secas	
Vías	Línea
Señalización Vertical	
Señalización Horizontal	
Construcciones	
Ciclovia	
Cajas	Polígonos
Armarios	
Sumideros	
Bancas, canchas, parques, estaciones de servicio	
Cuerpos de agua	
Zona Verde	

Fuente: UT MOVIUS

En la siguiente figura se presenta la información geográfica restituída de la planimetría a partir de la ortofoto

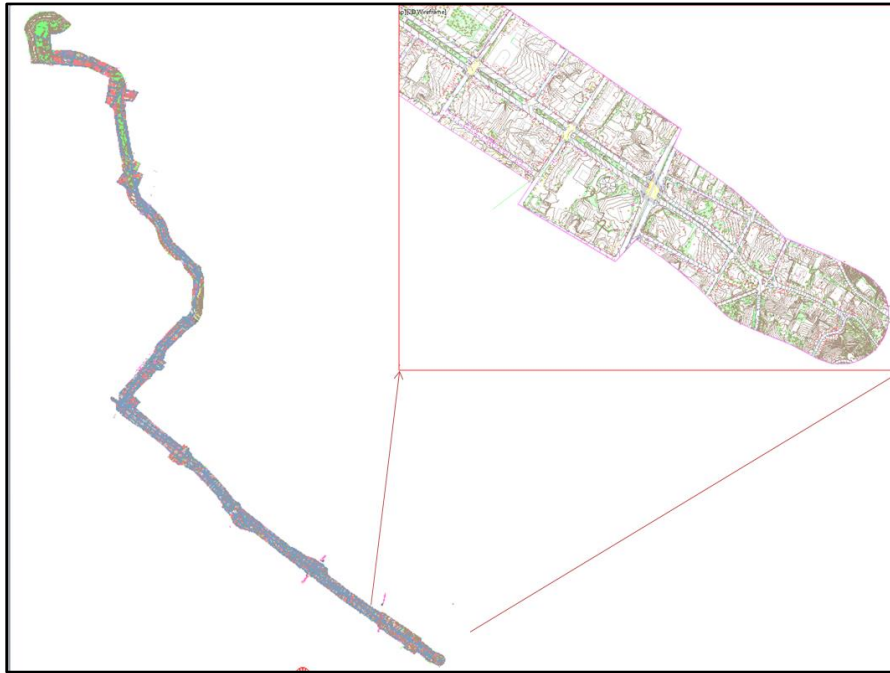


Figura 13. Gráfico Ortografía
Fuente: UT MOVIUS

- **Perfiles longitudinales y secciones transversales**

El generación de los perfil longitudinales y las secciones transversales se realizaron cada 20 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.

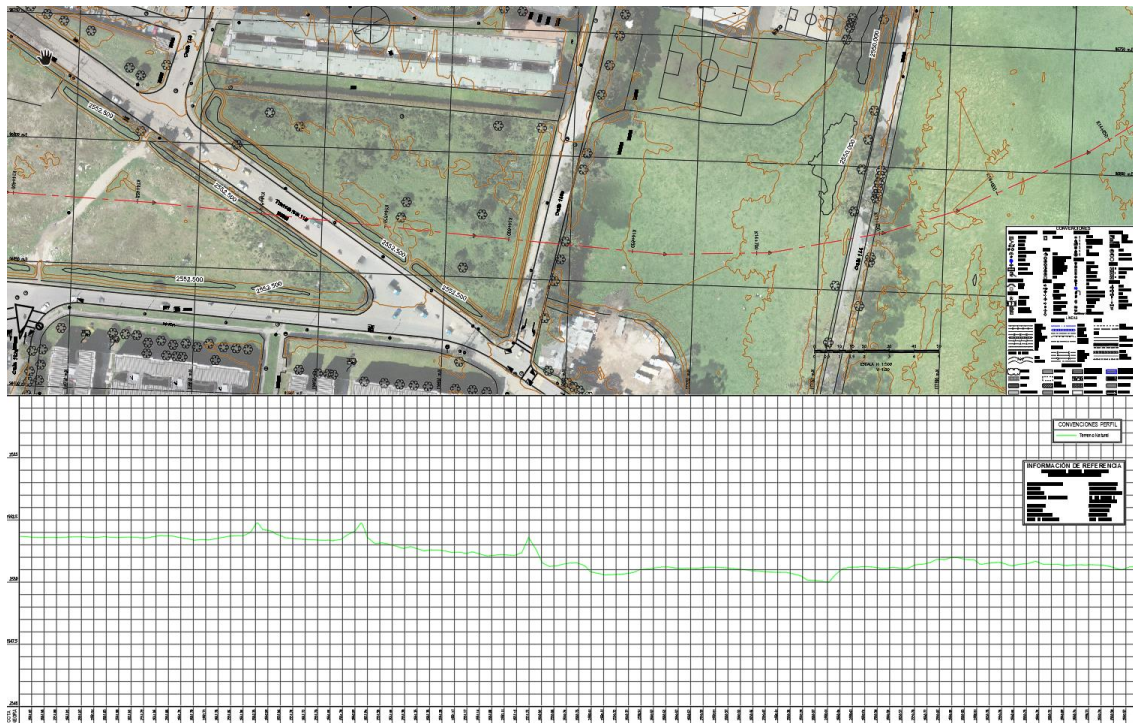


Figura 14. Ejemplo perfil longitudinal
Fuente: UT MOVIUS

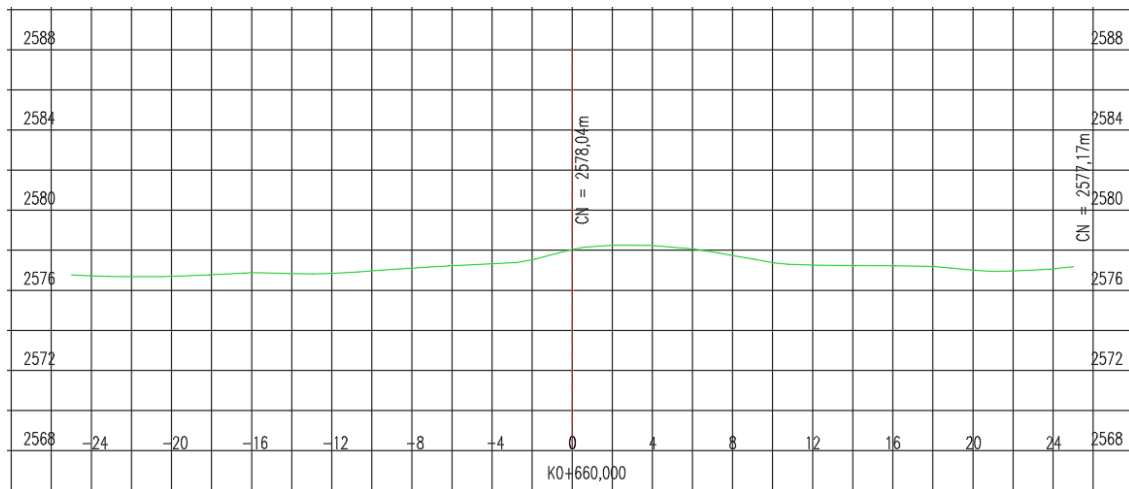


Figura 15. Ejemplo Sección transversal
Fuente: UT MOVIUS

- 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 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 la Figura ____, se presenta un ejemplo del MDT y las curvas de nivel obtenidas.

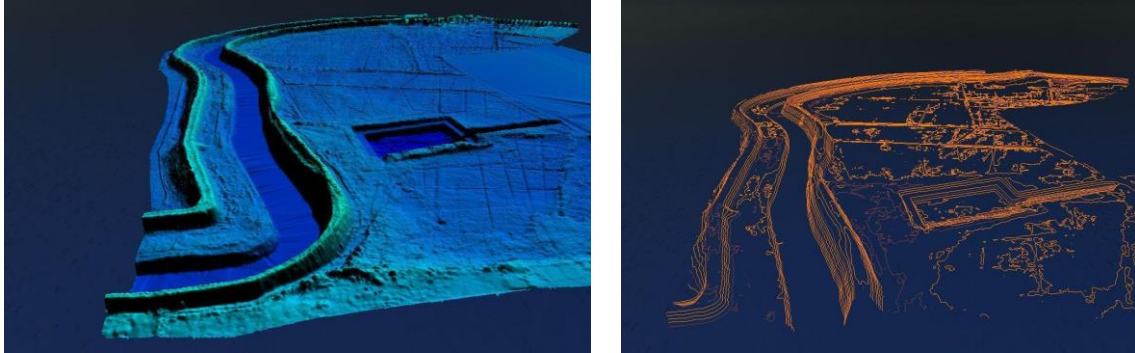


Figura 16. MDT y Curvas de nivel obtenidas - Zona de Patio Taller
Fuente: UT MOVIUS