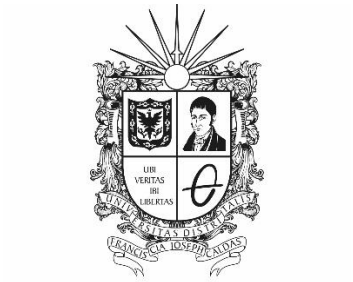
APLICACIÓN DE TÉCNICAS TOPOGRÁFICAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN PROCESOS DE CIMENTACIÓN: CASO METRO DE BOGOTÁ



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Acreditación Institucional de Alta Calidad

Autor

Miguel Angel Vanegas Hernandez

Director

ING. Mariam Rivas Diazgranados

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Proyecto Curricular

Bogotá, Colombia

mayo de 2026

1. CONTENIDO

1. INTRODUCCION 3
2. OBJETIVOS 4
3. PLAN DE TRABAJO 5
4. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS 28
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 32
6. ANEXOS 34
7. REFERENCIAS 44

1. INTRODUCCION

La presente pasantía se desarrolló en el marco del proyecto de la Línea 1 del Metro de Bogotá, ejecutada en la empresa INACAR S.A., con el propósito de aplicar técnicas topográficas especializadas para el control de calidad en los procesos de cimentación profunda.

La primera línea del metro de Bogotá tendrá una longitud de 23.9 kilómetros, lo que la convertirá en una de las líneas de metro más extensas del continente americano desde su inauguración. Superará en longitud a las de otras ciudades como Quito (22.0 km), Panamá (21.0 km), São Paulo (20.4 km), Santiago de Chile (19.3 km), Ciudad de México (18.8 km), Río de Janeiro (16.0 km), Santo Domingo (14.5 km) y Buenos Aires (9.4 km).

El trazado de este proyecto comienza en la localidad de Bosa, al suroccidente de Bogotá, específicamente en el Predio El Corzo, y se extiende a lo largo de aproximadamente 23.9 kilómetros.

Durante un período de 384 horas, se llevó a cabo un seguimiento sistemático de elementos estructurales como barretes, pantallas, pilotes y excavaciones, utilizando equipos de alta precisión como estación total, nivel de precisión y software AutoCAD Civil 3D.

El control topográfico en este tipo de proyectos es fundamental para garantizar la estabilidad, durabilidad y seguridad estructural, cumpliendo con normativas como la NSR-10 y los estándares del INVIAS. Durante la ejecución, se enfrentaron desafíos significativos relacionados con condiciones climáticas adversas, interferencias de maquinaria pesada y controles rigurosos por parte de la interventoría y Metro de Bogotá, lo que requirió adaptaciones metodológicas y un enfoque de doble validación (ML1 e interventoría).

Este informe sistematiza la metodología aplicada, los resultados obtenidos y las lecciones aprendidas, contribuyendo tanto al avance del proyecto como a la formación profesional del pasante en el ámbito de la topografía aplicada a la ingeniería a gran escala.

2. OBJETIVOS

En el desarrollo de la pasantía se establecieron objetivos claros orientados a la aplicación de técnicas topográficas especializadas para el control de calidad en los procesos de cimentación del Metro de Bogotá. Estos objetivos integraron componentes técnicos y formativos, articulando la formación académica del estudiante con las necesidades reales del proyecto, garantizando precisión, eficiencia y cumplimiento normativo.

2.1.1. Objetivo General

Aplicar técnicas topográficas especializadas para el control de calidad en procesos de cimentación y excavación en el proyecto Metro de Bogotá, mediante la implementación de métodos de verificación geométrica y cálculo de volúmenes que garanticen la precisión y cumplimiento de especificaciones técnicas.

.

2.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar los volúmenes exactos de movimiento de tierra mediante el análisis comparativo de levantamientos topográficos periódicos.
- Verificar el cumplimiento de las especificaciones geométricas de elementos de cimentación profunda (pilotes, pantallas, barretes) en cuanto a posición, verticalidad y dimensiones.
- Validar la correspondencia entre lo ejecutado en obra y lo establecido en los planos de diseño mediante el análisis de desviaciones y variaciones.
- Documentar los aprendizajes técnicos y metodológicos obtenidos durante la pasantía para su transferencia de conocimiento al ámbito académico y profesional.

3. PLAN DE TRABAJO

En el transcurso de la pasantía se desarrolló un plan de trabajo secuencial y sistemático, alineado con los objetivos planteados y ajustado a las condiciones reales de la obra. Es importante mencionar que, previo al inicio de la pasantía, ya se venían ejecutando algunas actividades; sin embargo, estas se incluyen parcialmente en el presente documento con el fin de dar continuidad al proceso y contextualizar de manera integral el desarrollo estructural del proyecto.

A continuación, se describen las actividades realizadas en su respectivo orden de ejecución

3.1.1. Localización del proyecto

La Primera Línea del Metro de Bogotá es un proyecto de infraestructura de transporte masivo de gran escala que contempla la construcción de una línea de 23,9 km de longitud. Inicia en el predio El Corzo, localidad de Bosa, al sur occidente de la ciudad, y constituye una de las líneas de metro más extensas de América Latina una vez entre en operación.

El presente trabajo de pasantía se desarrolló específicamente en la Estación 9 (NQS), una de las estaciones intermedias del corredor. Esta estación se localiza sobre la Autopista Sur (Avenida NQS), frente al SENA de la Calle 30, en el sector comprendido entre la Diagonal 16 Sur y la Calle 17 A Bis Sur, en el sur de Bogotá. La Estación 9 forma parte del tramo elevado del trazado y está conformada por tres edificios principales de acceso (Ascendente 1, Ascendente 2 y Descendente) y un cuerpo central de estación, los cuales requieren una cimentación profunda compuesta por pantallas perimetrales, barretes y pilotes, elementos sobre los cuales se centró el control topográfico durante la pasantía.

La ubicación de la Estación 9 es estratégica, ya que se encuentra en un corredor vial de alta movilidad del sur de la ciudad, lo que implica importantes desafíos constructivos asociados a la interacción con la infraestructura vial existente.



Ilustración 1: Localización del proyecto
Fuente: ArcGIS pro

3.1.2. Levantamientos topográficos iniciales y establecimiento de red de control

Una vez definida la localización del frente de trabajo en la Estación 9 (NQS), se procedió al establecimiento de la red de control topográfico. Para ello se realizó el traslado de coordenadas desde la poligonal principal del proyecto hacia el edificio descendente de la estación. Con base en estas coordenadas se instalaron deltas en el interior del edificio, los cuales sirvieron como base de referencia para todos los levantamientos posteriores.

El establecimiento de la red de control para la Estación 9 representó un desafío técnico significativo debido a las condiciones urbanas y las estrictas políticas de precisión exigidas por la concesión Metro Línea 1 (ML1).

El establecimiento de la red de control para la Estación 9 representó un desafío técnico significativo debido a las condiciones urbanas y las estrictas políticas de precisión exigidas por Metro Línea 1 (ML1).

El proyecto Metro dispone de una poligonal principal de precisión establecida por el personal operativo chino, la cual es verificada y ajustada periódicamente. No obstante, se presentaba una gran limitación. La normativa del proyecto permite únicamente la instalación de un punto auxiliar amarrado directamente a la red principal, prohibiendo enlaces entre auxiliares para evitar la propagación de errores.

Debido a que los vértices de la poligonal principal se localizan en el costado oriental de la Autopista Sur y el lote del edificio descendente se ubica en el costado occidental, la intervisibilidad y orientación del equipo se veían seriamente afectadas por el flujo vehicular y por las obras realizadas en el viaducto. Ante esta dificultad, se determinó la necesidad de establecer una poligonal de control propia para la estación, validada por ML1, que permitiera disponer de múltiples puntos de control internos y optimizar los tiempos de ejecución.

Para la materialización de esta red se empleó una Estación Total Robótica Leica TS16, equipo de alta gama que permite automatizar las lecturas y reducir el error humano.



Ilustración 2: Estacion Leica TS16
Fuente: Propia

A pesar de la tecnología empleada, el primer intento de la poligonal, esta arrojó una precisión lineal de 1:80.000 y un error de cierre angular de 10", valores que superaron los umbrales de tolerancia exigidos por las directivas del Metro.

Este desfase se atribuyó a factores externos disruptivos:

- Vibraciones mecánicas por el tráfico pesado de la Autopista Sur.
- Interrupciones visuales por el cargue y descargue de materiales en obra.
- Refracción atmosférica y turbulencia térmica diurna.

Para mitigar estas variables, se optó por una segunda sesión de observación en horario nocturno (medianoche). Esta estrategia permitió operar en condiciones de estabilidad atmosférica y mínima vibración vehicular. Los resultados obtenidos en esta fase fueron óptimos para una red de 4 deltas:

- Precisión Lineal: 1:100.000.
- Cierre Angular: 4 segundos sexagesimales.



Ilustración 3: Poligonal Estación 9
Fuente: Google Earth

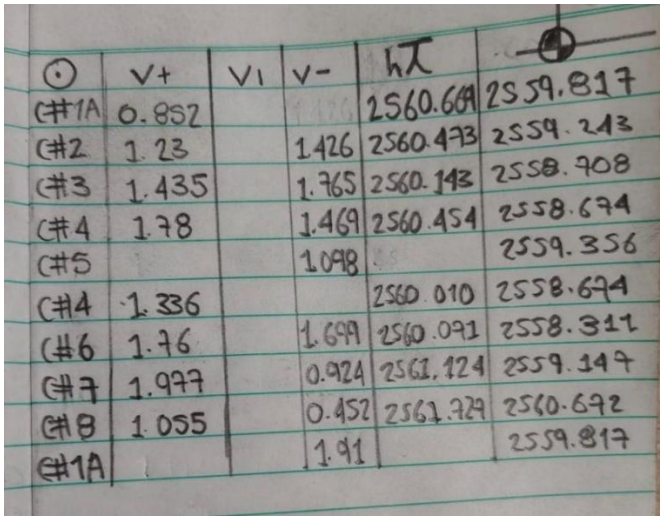
Una vez consolidada la poligonal, se procedió a realizar circuito de nivelación geométrica que integró el perímetro exterior y el interior de la obra.

El circuito se estructuró a partir de la poligonal principal. Método por el cual se trasladó y se materializo un BM (Bench Mark) principal, extendiéndose a través de ocho puntos de cambios estratégicamente ubicados para cerrar nuevamente en el punto de partida.



Ilustración 4: Cambios circuito de nivelación
Fuente: Propia

Se empleó el método de nivelación y contranivelación, arrojando una diferencia de nivel de 0 mm. Este cierre por ceros garantiza una precisión absoluta para los procesos transalado de niveles a los diferentes cambios instalados.



⊙	V+	V1	V-	hT	
C#1A	0.852			2560.669	2559.817
C#2	1.23		1.426	2560.473	2559.243
C#3	1.435		1.765	2560.143	2558.708
C#4	1.78		1.469	2560.454	2558.674
C#5			1.098		2559.356
C#4	1.336			2560.010	2558.674
C#6	1.76		1.699	2560.091	2558.311
C#7	1.977		0.924	2561.124	2559.147
C#8	1.055		0.452	2561.729	2560.672
C#1A			1.91		2559.817

Ilustración 5: Cartera Circuito de nivelación
Fuente: Propia

Posteriormente se ejecutó el levantamiento topográfico detallado del terreno natural en su estado inicial, antes de iniciar cualquier movimiento de tierra. Este levantamiento se realizó con estación total, registrando puntos en formato NEZ (Norte, Este, Cota).

Una vez finalizado el levantamiento en campo, se descargaron los archivos de la estación total y se procesaron en el software Civil 3D siguiendo el siguiente procedimiento.

Lo primero que se realizó fue abrir el software Civil 3D, luego se accedió a la pestaña Points → Point Creation Tools, donde se desplegó el menú correspondiente y se seleccionó la opción Import Points.

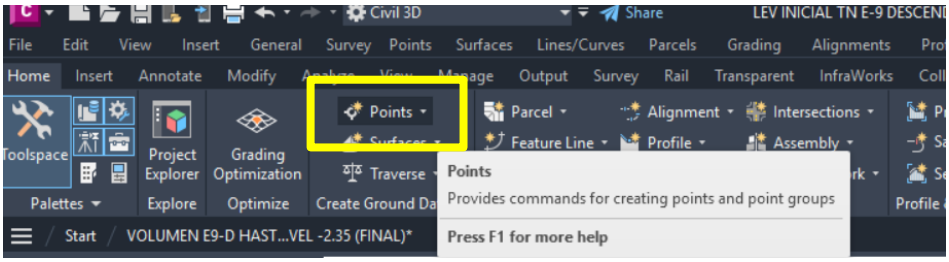


Ilustración 6: Importación puntos a Civil 3D
Fuente: Propia

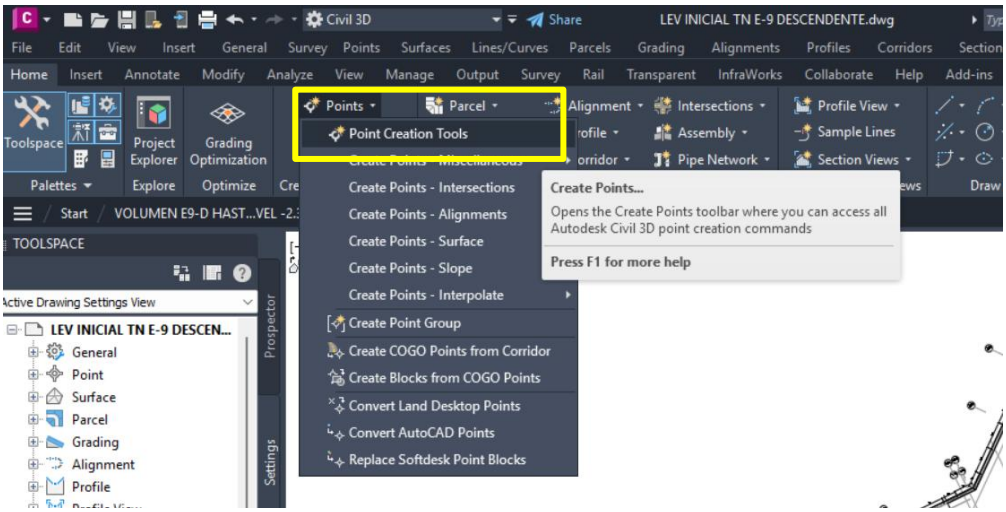


Ilustración 7: Herramienta de creación de puntos
Fuente: Propia

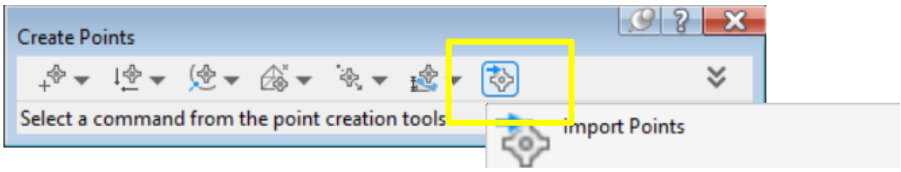


Ilustración 8: Importar puntos
Fuente: Propia

Se seleccionó el archivo previamente preparado y se indicó el formato de importación PNEZD (Punto, Norte, Este, Cota, Descripción). Dicho formato fue previamente estructurado y ajustado en Microsoft Excel para garantizar la correcta conversión a formato .CSV.

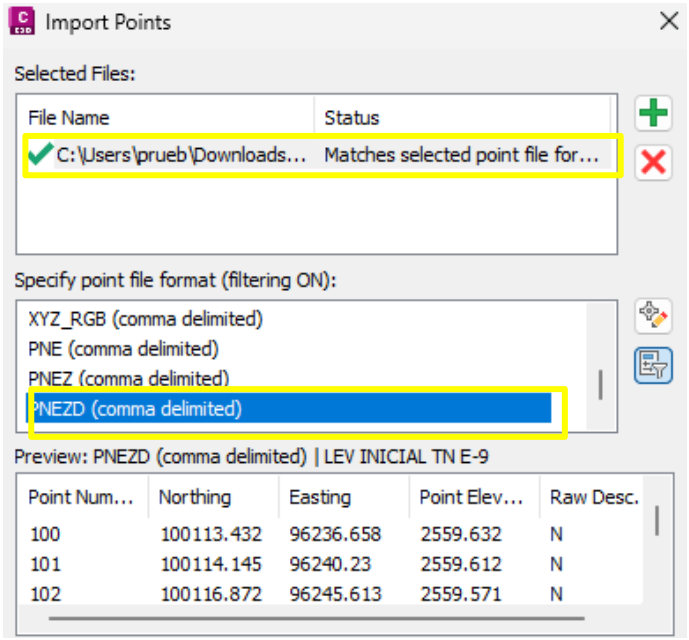


Ilustración 9: Selección de formato de importación
Fuente: Propia

Y así obteniendo como resultado la siguiente nube de puntos.

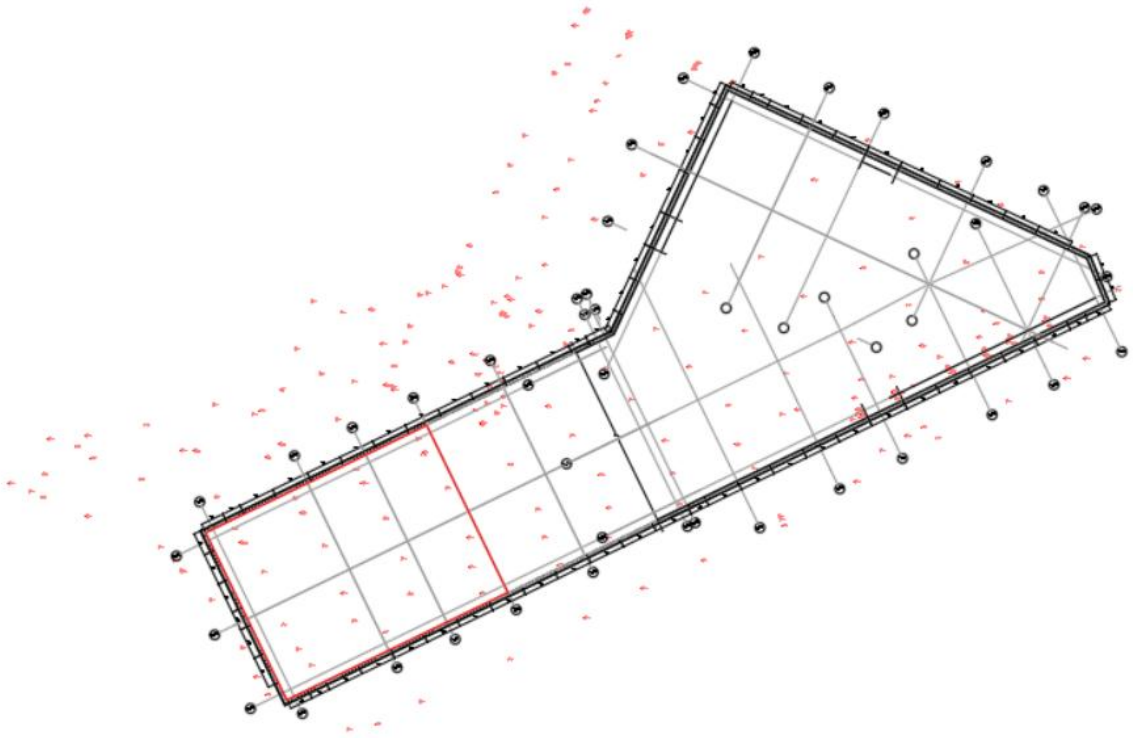


Ilustración 10: Nube de puntos
Fuente: Propia

Una vez subidos los puntos, se procedió a generar las curvas de nivel y el Modelo Digital del Terreno (MDT). Para ello, en el Toolspace, se dirigió a la pestaña Surfaces, se creó una nueva superficie asignándole un nombre identificativo y se confirmó su creación.

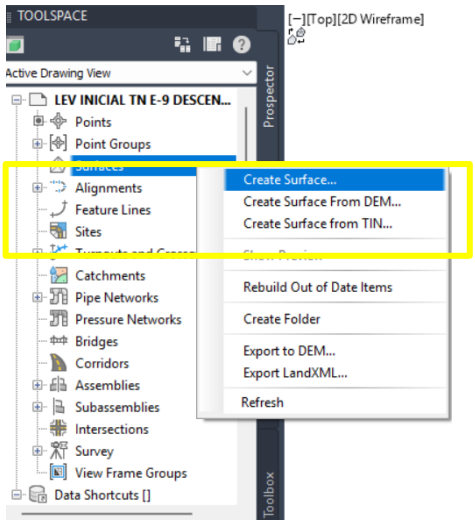


Ilustración 11: Creación de superficie
Fuente: Propia

Posteriormente, dentro de la superficie creada, se accedió a la opción Definition, se añadió la nube de puntos previamente importada y se reconstruyó la superficie. De esta manera se generaron automáticamente las curvas de nivel del terreno natural.



Ilustración 12: Superficie levantamiento inicial
Fuente: Propia

Finalmente, se definió un Boundary alrededor del área de trabajo del proyecto, con el fin de restringir el modelo digital únicamente a los límites de la Estación 9 edificio descendente y obtener cálculos volumétricos más precisos y representativos.

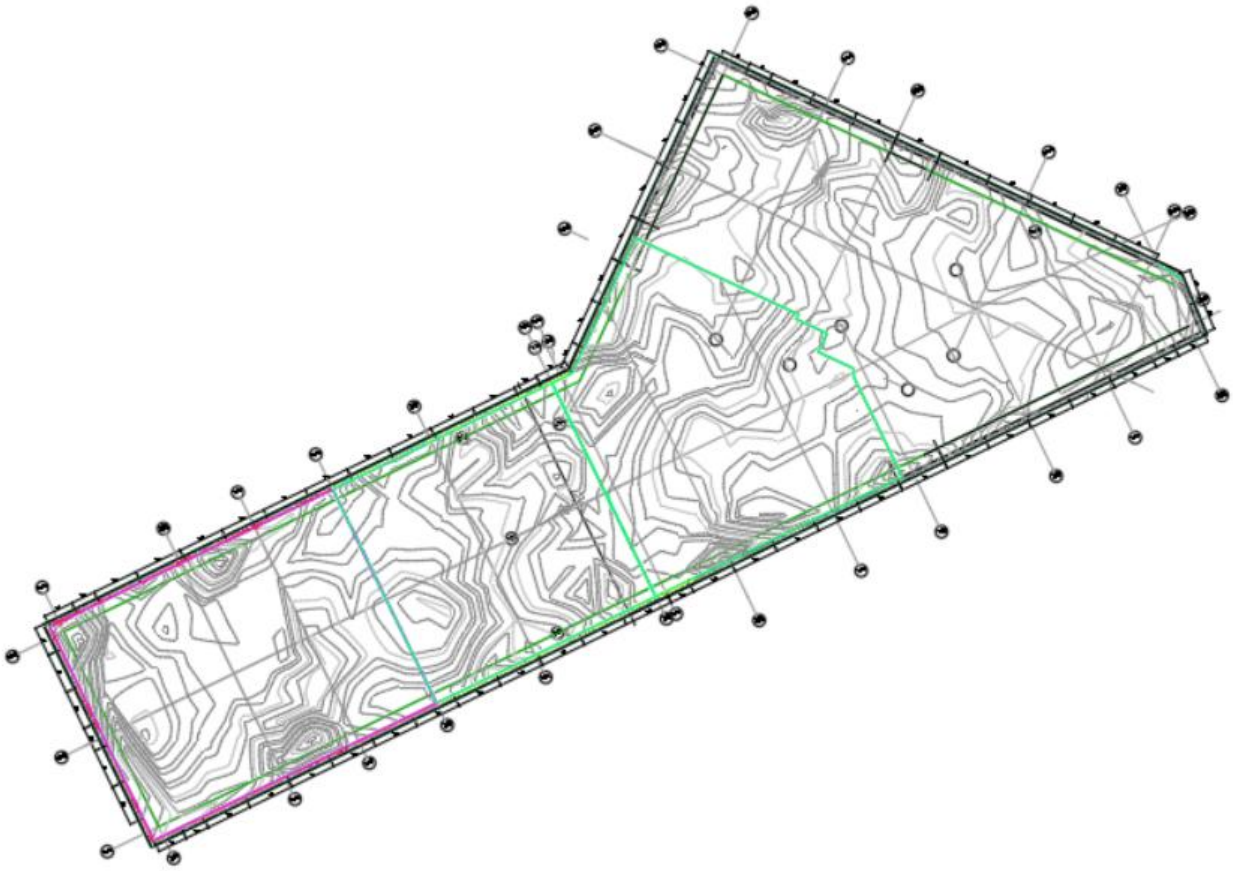


Ilustración 13: Superficie final
Fuente: Propia

3.1.3. Cálculo, análisis y reporte sistemático de volúmenes de excavación

A partir de los levantamientos topográficos iniciales y del Modelo Digital del Terreno (MDT) base generado, se implementó un control continuo de las excavaciones mediante levantamientos periódicos (generalmente cada dos semanas o según el avance de la obra).

Estos levantamientos se procesaron en Civil 3D con el fin de generar modelos digitales actualizados del terreno y compararlos con la superficie inicial, permitiendo cuantificar con precisión los volúmenes de material excavado.

Dado que las excavaciones se realizaban por etapas y por zonas específicas del edificio descendente, se efectuó el cálculo volumétrico de forma seccionada. Para cada etapa se procedió de la siguiente manera:

Se trazó un polígono en planta que delimitaba exactamente el área de excavación correspondiente a cada fase.

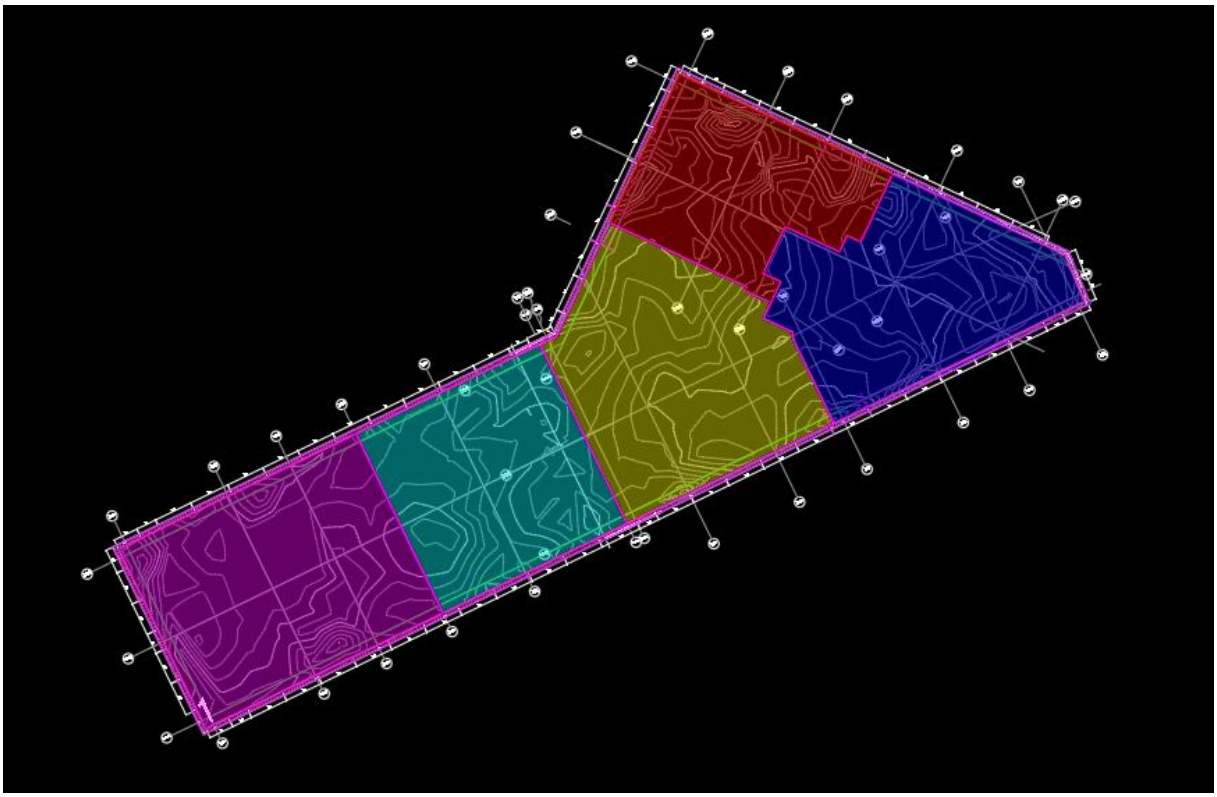


Ilustración 14: División por corte volúmenes excavados
Fuente: Propia

A cada polígono se le asignó la cota teórica de excavación requerida según los planos de diseño. Luego de esto, se creó una nueva superficie a partir de este polígono con la cota asignada, para obtener el volumen excavado, se creó una nueva superficie de volumen TIN.

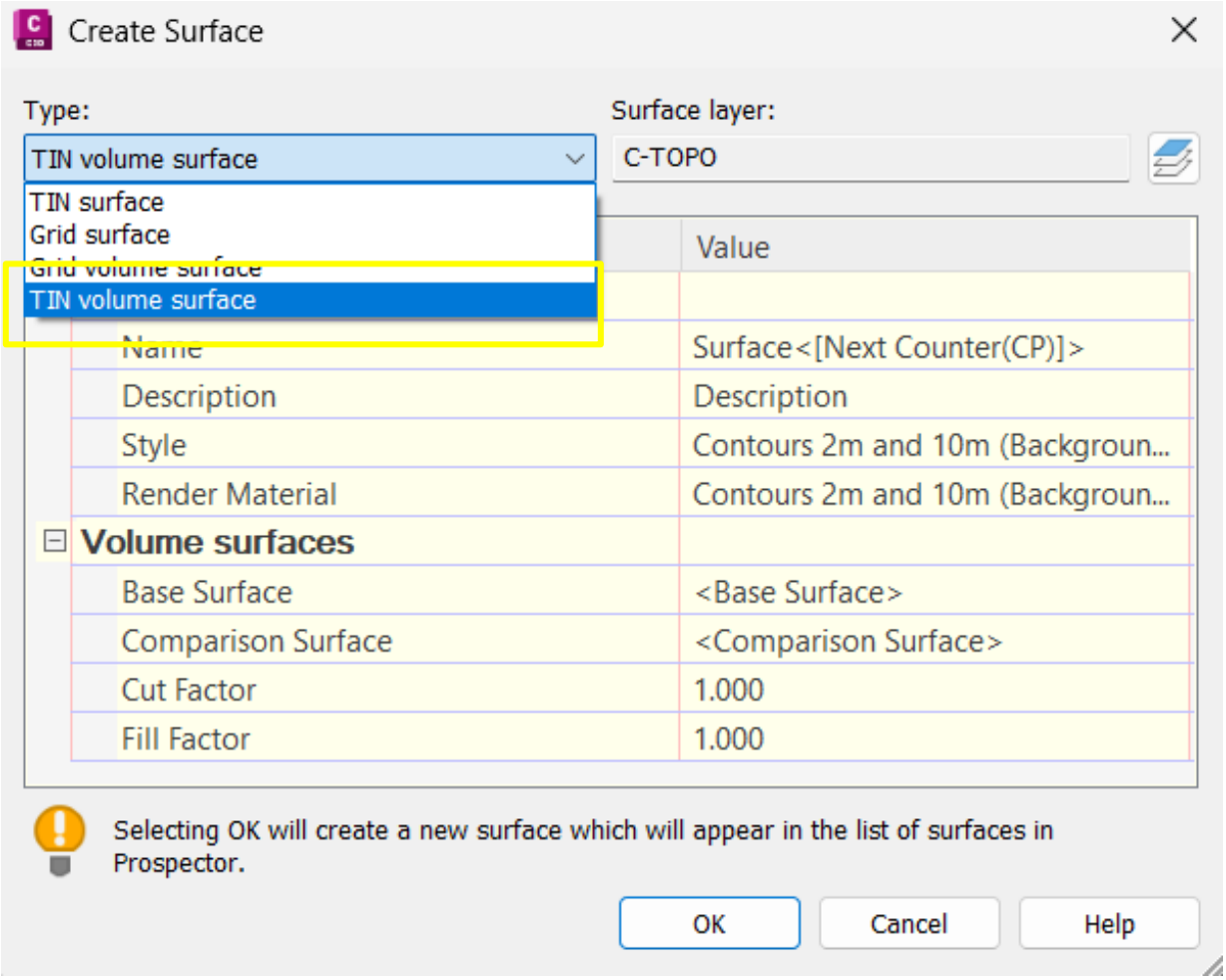


Ilustración 15: Creación superficie de volumen TIN
Fuente: Propia

En el Toolspace, dentro de la pestaña Surfaces, se creó una nueva superficie de volumen TIN (TIN vulume Surface). Posteriormente, se seleccionó la superficie base (Levantamiento inicial del terreno) y la superficie de comparación (la superficie generada con el polígono y la cota teórica de excavación). Generando así una nueva superficie con su respectivo volumen calculado, para visualizar este volumen nos dirigiremos nuevamente al panel del

toolspace, surface, seleccionamos la superficie de volumen TIN generada e iremos a sus propiedades.

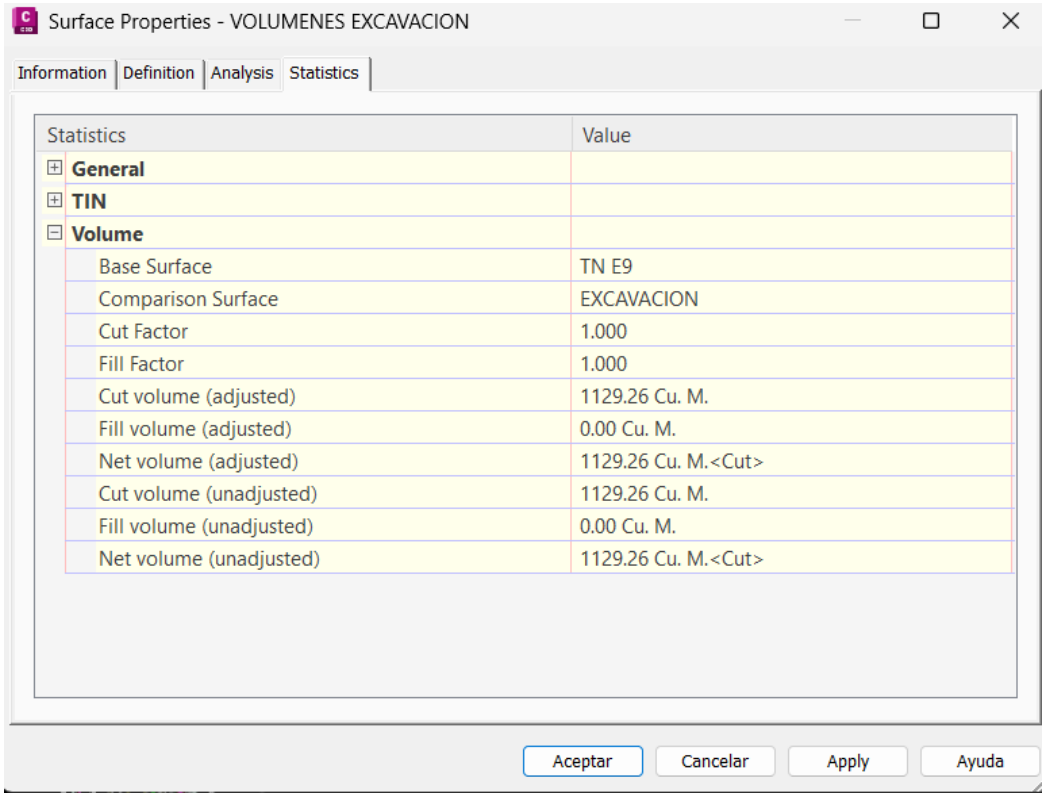


Ilustración 16: Volumen de excavación
Fuente: Propia

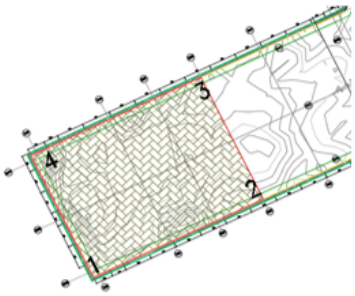
Una vez obtenido el cálculo volumétrico, se generó el reporte detallado que incluye tablas numéricas, planos con curvas de nivel, superficies. Estos reportes fueron consolidados en memorias de cálculo y formatos oficiales de entrega, los cuales fueron sometidos a revisión y validación por parte de Metro Línea 1 (ML1) y la interventoría.

.

METRO LINEA 1

MEMORIA DE CALCULO EXCAVACION

Inacar LO CREA



ELEMENTO	COORDENADAS			AREA	ALTURA CON REFERENCIA 2561.8	VOLUMEN
	NORTE	ESTE	COTA			
1	100117.125	96229.217	2558.182	700.368	-3.618	1129.26
2	100130.429	96256.603	2558.182			
3	100151.120	96246.551	2558.182			
4	100137.815	96219.165	2558.182			
VOLUMEN NETO						1129.260

OBSERVACIONES:			
SOBRE ANCHO PANTALLAS 0.50m LAS CUALES NO FUERON INCLUIDAS PARA EL CALCULO DE VOLUMEN			
NE 0.000 = 2561.800 MSNM			
EL CALCULO DE VOLUMEN SE REALIZA CON BASE AL LEVANTAMIENTO INICIAL AVALADO POR ML1 Y CALCULADO CON LA COTA TEORICA DE EXCAVACION = 2558.182			
FECHA CORTE:		UNIDAD DE EJECUCION: 325	
UBICACIÓN:EDIFICIO DESCENDENTE 9		CONTRATISTA: INACAR	
REALIZO:	CARGO:	REVISO:	CARGO:

Ilustración 17: Memoria de cálculo para excavaciones
Fuente: Propia

El mismo método se aplicó de manera sistemática para el resto de los tramos y polígonos de excavación, hasta completar la totalidad de las excavaciones a nivel de cimentación, alcanzando el nivel final de -10,85 m con respecto a la cota cero del proyecto (2561,80 m).

3.1.4. Replanteo preciso y control geométrico de elementos de cimentación profunda.

El proceso de replanteo y control geométrico en la Estación 9 del Metro de Bogotá inició con la ubicación de vigas guía para pantallas Este proceso fue fundamental para garantizar la posición, verticalidad y nivelación exacta de los componentes estructurales conforme a los planos de diseño aprobados por Metro Línea 1 (ML1).



Ilustración 18: Estación 9 Metro de Bogotá
Fuente: Tomado de Aconex; Vuelos semanales avance de obra

Las pantallas perimetrales son muros de contención de concreto armado, construidos mediante excavación guiada y hormigonado in situ. Su propósito principal es estabilizar el terreno durante la fase de excavación, evitando colapsos y controlando el ingreso de agua para así constituir la estructura permanente de contención y soporte de los sótanos de la estación. En el edificio descendente de la Estación 9 se ejecutaron 64 pantallas que conforman el perímetro completo del edificio descendente.

El trabajo inició con la ubicación en campo de las vigas guía, elementos esenciales que definen la alineación inicial y delimitan la excavación de pantallas y barretes.



Ilustración 19: Viga guía para apantallamiento
Fuente: Desde el Murete

Para la ejecución se realizó el replanteo mediante estación total, asegurando la correcta ubicación en planta y nivelación conforme a los planos estructurales. Cada elemento fue entregado a Metro Línea y a la interventoría (PLMB). Una vez entregada la viga guía se procedió a realizar la excavación.

Por otra parte, se ejecutaron un total de 27 barretes, de igual forma fue necesaria la ubicación previa de las vigas guía y el control geométrico de su excavación. Posteriormente, en el momento de la instalación de las parrillas de refuerzo, se efectuó control topográfico de nivel y posición, garantizando que el acero quedara suspendido en la cota de diseño. La longitud de las asas de izaje fue determinada mediante control topográfico, asegurando que la parrilla se ubicara a la altura estructural requerida. El cálculo para la longitud de estas asas de izaje se puede observar en la ilustración 26: Datos teóricos para el cálculo de bárrete (ver *Ilustración 30*)

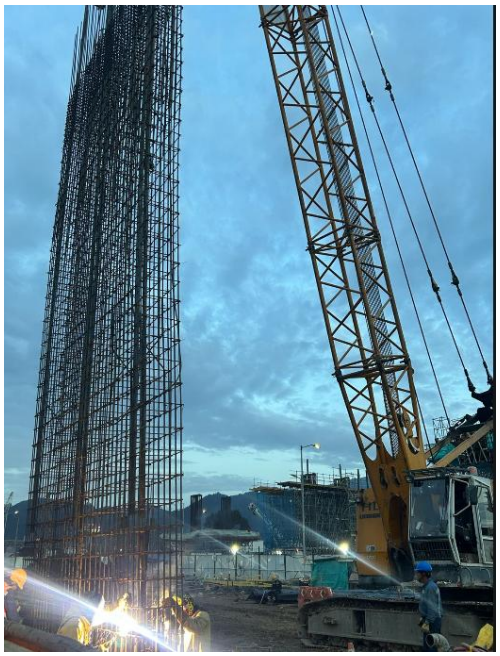


Ilustración 20: Parrilla de acero para barrete
Fuente: Propia

A continuación, se presenta un plano en planta en el cual se evidencia el perímetro del edificio, así como la ubicación y distribución de las pantallas, barretes y pilotes ejecutados en el proyecto.

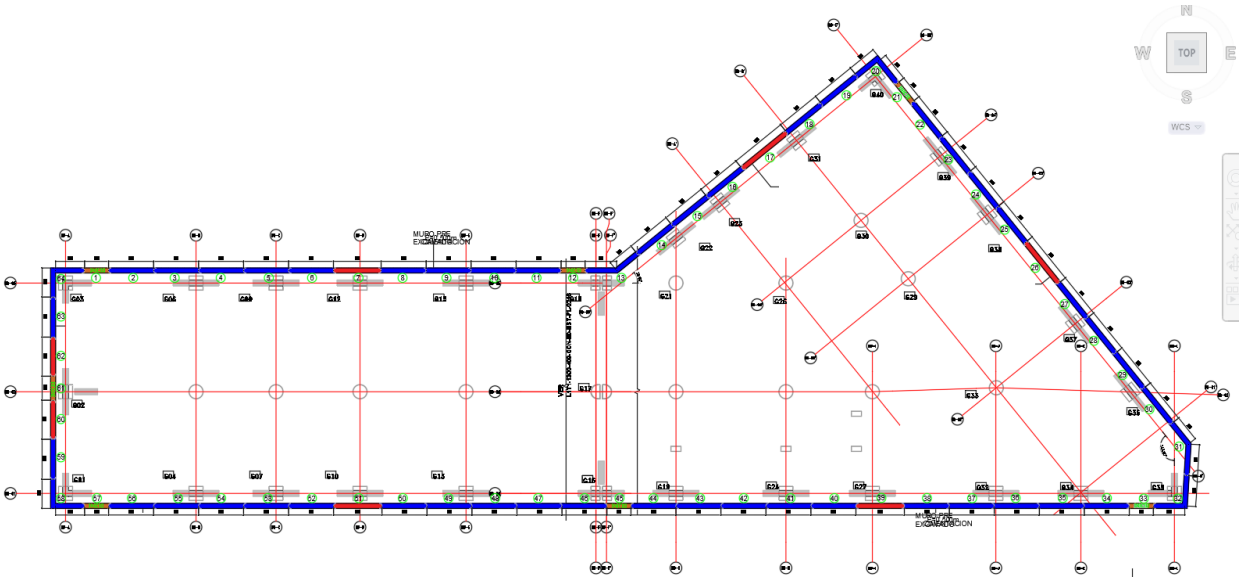


Ilustración 21: Plano en planta, Barretes y muro pantalla
Fuente: Planos de diseño ML1

Finalizada esta etapa, se ejecutó el proceso de pilotaje, correspondiente a un total de 74 pilotes.

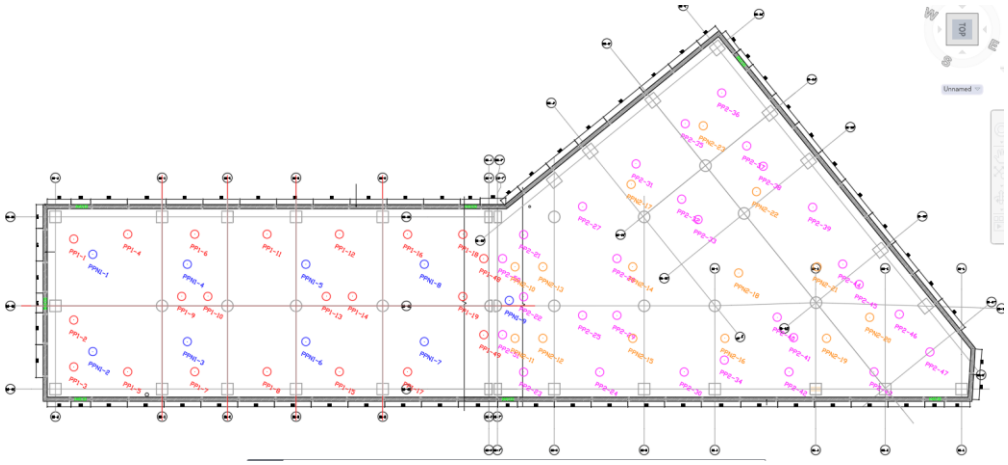


Ilustración 22: Plano en planta pilotes constructivos
Fuente: Planos de diseño ML1

El control topográfico consistió en la localización precisa del eje de cada pilote antes de su perforación, la verificación de la correcta instalación de la camisa metálica y el seguimiento continuo de verticalidad de la piloteadora, especialmente sobre el Kelly, con el fin de minimizar desviaciones durante la excavación.



Ilustración 23: Control de verticalidad en pilotaje
Fuente: Propia

Las tolerancias geométricas aplicadas en el proceso constructivo corresponden a las especificaciones técnicas establecidas por ML1, como se muestra en la siguiente tabla. Estas tolerancias fueron el parámetro de referencia para evaluar la aceptabilidad de desviaciones en posición, verticalidad y niveles.

ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	ELEMENTO	TIPO	TOLERANCIA DE LA MEDICION					
			Posición y dimensiones de elementos			COTA (por arriba o por debajo)	Verticalidad	NORMATIVA COLOMBIANA
			Horizontal (en cualquier dirección) X,Y	Largo y ancho	Altura			
SUB ESTRUCTURA	PILOTES	PHC	≤ 10 cm	N/A	≤ 10 cm	≤ 10 cm	1°sección ≤0.5% 2°sección ≤0.5% 3°sección ≤1.0%	ESPECIFICACIONES REQUERIDAS POR ML1 PARA UNA BUENA EJECUCION
		PRE-EXCAVADO	≤ 7.5 cm	N/A	Según plano de diseño - torecancia 2 cm	de - 7cm a 15 cm	0.20%	INV 621-13 (621.5.2.5)
	ZAPATAS	RECTANGULAR	0 < 2 cm	-2.0 cm a +5.0cm	1.0 cm	1.0 cm	1 cm	INVIAS 6.3 -8.2 - 3.6
	COLUMNAS	CIRCULAR / OVALADA	0 < 2 cm	-1.0 cm a +2.0 cm	1.0 cm	1.0 cm	1 cm	INVIAS 6.3 (630.5.6.;630.5.6.7)

Tabla 1: Tolerancias de medición ML1
Fuente: Metro de Bogotá

El control y verificación de cada elemento se registró mediante carteras de campo, en las cuales se documentaron coordenadas replanteadas, cotas, desviaciones y verificaciones posteriores. Dichos registros constituyen el soporte técnico del proceso de control geométrico y se anexan al presente documento como evidencia del seguimiento realizado en obra.

En el apartado de anexos se encontrarán ejemplos puntuales para el calculo de los elementos de barretes, pantallas y pilotes con sus respectivas carteras de campo.

3.1.5. Procesamiento avanzado de datos topográficos en software especializado

La información obtenida en campo fue procesada mediante el uso de AutoCAD y Civil 3D, apoyándose en herramientas de análisis y validación como Microsoft Excel para el control numérico de coordenadas, cotas y desviaciones.

El desarrollo geométrico del proyecto se fundamentó en planos oficiales en formato DWG, suministrados por la Empresa Metro de Bogotá y validados por la interventoría y el concesionario PMLB. Estos documentos incluyeron planos en planta, cortes longitudinales y transversales, detalles estructurales y planos de despiece, los cuales sirvieron como base para el replanteo y verificación en campo.

En Civil 3D se generaron modelos digitales del terreno (MDT) y modelos comparativos que permitieron realizar análisis de volúmenes y control de excavaciones. Asimismo, se efectuó la comparación entre coordenadas de diseño y coordenadas ejecutadas, permitiendo identificar desviaciones en posición y nivel conforme a las tolerancias establecidas por el proyecto.

Inacar 35 AÑOS | LO CREA			COORDENADAS RECORD ELEMENTOS FUNDIDOS				METRO LÍNEA 1	
N°	ELEMENTO	NOMBRE	COORDENDAS TEORICAS		COORDENADAS REALES		DIFERENCIAS	
			NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
1	BARRETE	G-19	100159.815	96268.814	100159.811	96268.808	0.004	0.006
2			100157.746	96269.819	100157.743	96269.812	0.003	0.007
3			100158.008	96270.359	100158.012	96270.367	0.003	0.008
4			100160.077	96269.354	100160.079	96269.360	0.002	0.007
5	BARRETE	G-18	100161.494	96270.890	100161.488	96270.892	0.006	0.003
6			100162.034	96270.627	100162.039	96270.623	0.005	0.005
7			100160.024	96266.489	100160.030	96266.487	0.006	0.002
8			100159.484	96266.752	100159.477	96266.753	0.007	0.001
9	BARRETE	G-15	100156.127	96258.460	100156.134	96258.455	0.007	0.004
10			100155.588	96258.722	100155.579	96258.720	0.008	0.002
11			100153.577	96254.584	100153.571	96254.585	0.007	0.000
12			100154.117	96254.322	100154.125	96254.320	0.008	0.002
13	BARRETE	G-12	100150.956	96249.187	100150.950	96249.191	0.006	0.003
14			100151.495	96248.925	100151.502	96248.923	0.007	0.002
15			100149.485	96244.788	100149.490	96244.783	0.005	0.004
16			100148.945	96245.050	100148.940	96245.051	0.006	0.001
17	BARRETE	G-09	100147.285	96241.632	100147.278	96241.633	0.007	0.001
18			100147.825	96241.370	100147.828	96241.364	0.004	0.006
19			100145.814	96237.232	100145.820	96237.228	0.006	0.004
20			100145.275	96237.494	100145.266	96237.494	0.008	0.000

Ilustración 24: Coordenadas de diseño vs Coordenadas en campo (Barretes)
Fuente: Propia

A medida que avanzó el proceso constructivo, se elaboraron los correspondientes planos “as-built”, integrando la información levantada en campo con los modelos digitales. Esta comparación diseño vs. ejecutado permitió evaluar variaciones geométricas en pantallas, barretes y pilotes, garantizando la trazabilidad técnica y el cumplimiento de los parámetros estructurales definidos.

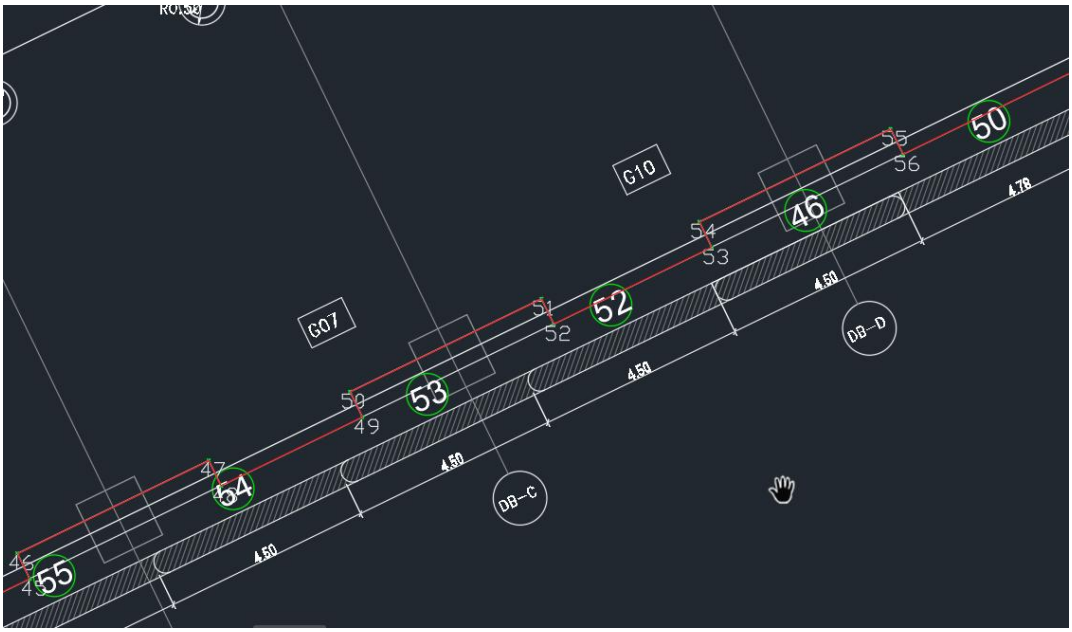
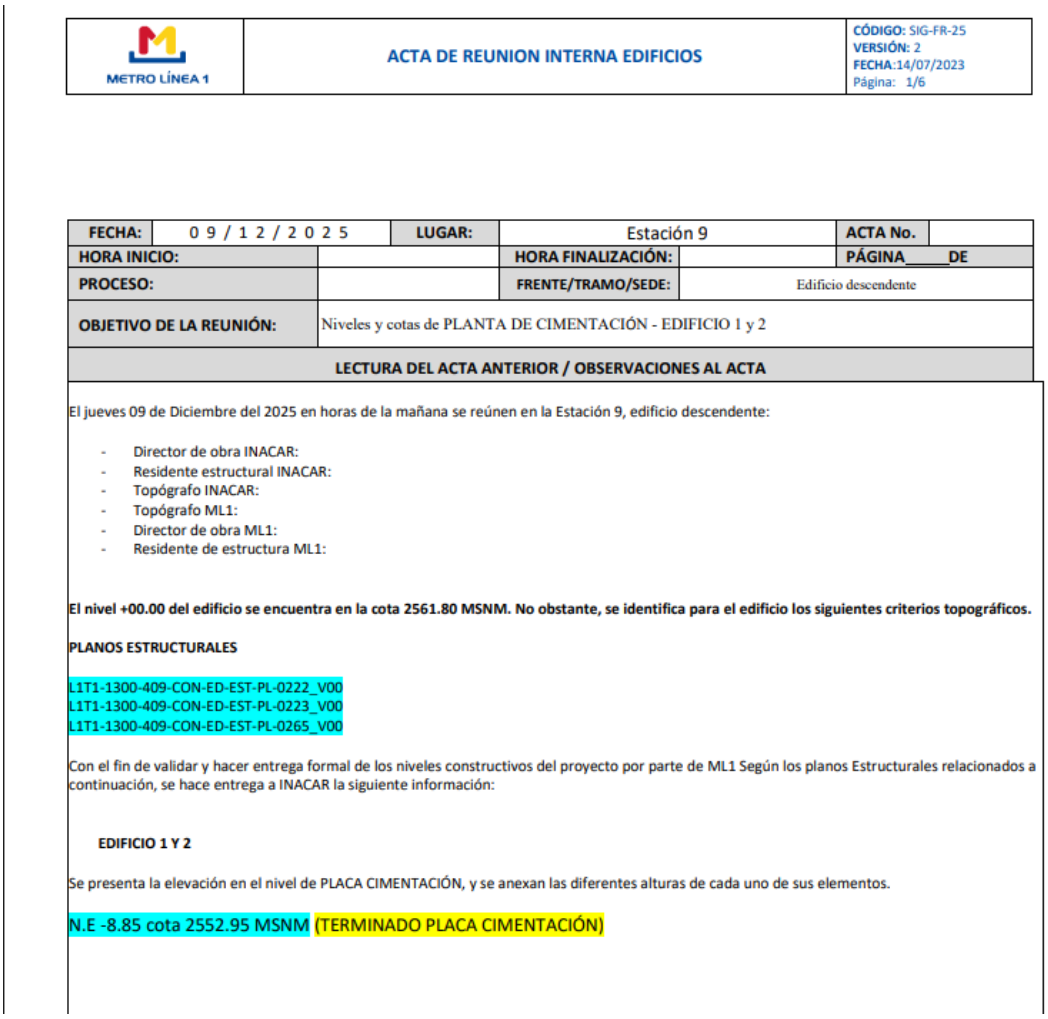


Ilustración 25: Planos As-Build
Fuente: Civil 3d

El procesamiento integral de la información aseguró coherencia entre los datos de campo, los modelos digitales y la documentación técnica final, fortaleciendo el control geométrico y la calidad del proyecto.

3.1.6. Elaboración de reportes técnicos integrados y documentación de avances

Conforme al desarrollo del proyecto se elaboraron actas de nivel para pantallas, barretes y pilotes, en las cuales se especificaron las cotas de trabajo correspondientes al nivel de acero y nivel final de concreto, conforme a los planos estructurales suministrados y aprobados. Estas actas constituyeron el soporte técnico previo al proceso de fundida y fueron socializadas con ML1 y la interventoría para su respectiva validación.



METRO LÍNEA 1	ACTA DE REUNION INTERNA EDIFICIOS	CÓDIGO: SIG-FR-25 VERSIÓN: 2 FECHA:14/07/2023 Página: 1/6

FECHA:	09/12/2025	LUGAR:	Estación 9	ACTA No.	
HORA INICIO:		HORA FINALIZACIÓN:		PÁGINA____DE	
PROCESO:		FRENTE/TRAMO/SEDE:	Edificio descendente		
OBJETIVO DE LA REUNIÓN:	Niveles y cotas de PLANTA DE CIMENTACIÓN - EDIFICIO 1 y 2				

LECTURA DEL ACTA ANTERIOR / OBSERVACIONES AL ACTA

El jueves 09 de Diciembre del 2025 en horas de la mañana se reúnen en la Estación 9, edificio descendente:

- Director de obra INACAR:
- Residente estructural INACAR:
- Topógrafo INACAR:
- Topógrafo ML1:
- Director de obra ML1:
- Residente de estructura ML1:

El nivel +00.00 del edificio se encuentra en la cota 2561.80 MSNM. No obstante, se identifica para el edificio los siguientes criterios topográficos.

PLANOS ESTRUCTURALES

L1T1-1300-409-CON-ED-EST-PL-0222_V00
L1T1-1300-409-CON-ED-EST-PL-0223_V00
L1T1-1300-409-CON-ED-EST-PL-0265_V00

Con el fin de validar y hacer entrega formal de los niveles constructivos del proyecto por parte de ML1 Según los planos Estructurales relacionados a continuación, se hace entrega a INACAR la siguiente información:

EDIFICIO 1 Y 2

Se presenta la elevación en el nivel de PLACA CIMENTACIÓN, y se anexan las diferentes alturas de cada uno de sus elementos.

N.E -8.85 cota 2552.95 MSNM (TERMINADO PLACA CIMENTACIÓN)

Ilustración 26: Acta de niveles para elementos estructurales
Fuente: Metro de Bogotá

De manera complementaria, se generaron informes de control de verticalidad para excavaciones de pantallas, barretes y pilotes, en los que se registraron desviaciones respecto al eje teórico y se verificó el cumplimiento de las tolerancias establecidas por el proyecto.

Asimismo, se realizó un seguimiento periódico de avance constructivo, documentando el estado de ejecución de cada elemento de cimentación profunda, lo cual permitió llevar trazabilidad técnica del proceso y consolidar reportes integrados para control interno y presentación ante la interventoría.

3.1.7. Redacción del informe final de pasantía y sistematización de la experiencia

Durante el desarrollo de la pasantía se recopiló información técnica correspondiente al proceso constructivo ejecutado en la Estación 9, abarcando tanto el periodo formal de práctica como registros previos y posteriores que permitieron ampliar y profundizar el análisis de los avances del proyecto.

Dentro del material recopilado se incluyen carteras de campo, actas técnicas, informes en formato Word, planos en DWG y modelos digitales generados en Civil 3D, los cuales constituyeron el soporte documental y técnico del control geométrico realizado en obra.

Toda esta información fue sistematizada y organizada para la elaboración del presente informe, integrando la metodología aplicada, los resultados obtenidos y las recomendaciones técnicas derivadas de la experiencia en el proyecto de la Primera Línea del Metro de Bogotá. Este proceso permitió consolidar una visión integral del control topográfico en cimentaciones profundas dentro de un entorno de alta exigencia técnica.

4. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo de la pasantía, estructurados en función de los objetivos específicos planteados y las actividades ejecutadas. Cada resultado es descrito en términos de su alcance técnico, aplicación en obra y contribución al sistema de control de calidad implementado en el proyecto.

4.1.1. Modelos digitales del terreno y cálculo de volúmenes de excavación

Se generaron modelos digitales del terreno (MDT) correspondientes a la condición inicial y a los avances periódicos de excavación, mediante el uso de AutoCAD Civil 3D. Los MDT fueron construidos a partir de levantamientos topográficos sistemáticos apoyados en estación total y nivel de precisión.

Para el cálculo de volúmenes se aplicó el método de superficies diferenciales, el cual consiste en la comparación geométrica entre dos superficies tridimensionales representativas del terreno en momentos distintos: una superficie base (terreno natural o avance anterior) y una superficie de comparación (avance actual) así como se puede apreciar en (*ver Ilustración 15*). El software Civil 3D calcula automáticamente el volumen comprendido entre ambas superficies mediante la integración de las diferencias de cota en cada punto de la malla triangular (TIN), desagregando los volúmenes de corte y relleno con alta precisión.

Este método permitió cuantificar con exactitud los volúmenes de material excavado, acopiado y reutilizado durante la fase de cimentación. Los resultados fueron consolidados en memorias de cálculo y reportes gráfico-numéricos, los cuales incluyeron planos de curvas de nivel, perfiles longitudinales, tablas de movimiento de tierras y diagramas de masas.

Los reportes constituyeron el soporte técnico para la facturación mensual, la planificación logística y la validación por parte de ML1 y la interventoría. La precisión obtenida en los

cálculos contribuyó a minimizar sobrecostos y reprocesos asociados a la incorrecta estimación de volúmenes (ver Ilustración 17.)

4.1.2. Control geométrico y verificación dimensional de elementos de cimentación profunda

Se verificó el 100% de los elementos de cimentación construidos en la Estación 9, correspondientes a 64 pantallas perimetrales, 27 barretes y 74 pilotes. Las labores incluyeron replanteo de ejes, marcación de puntos de control, verificación de cotas de fundición y control dimensional en planta y altura, para un total de 165 elementos.

El control de verticalidad fue realizado mediante estación total, con medición directa sobre el Kelly del equipo de perforación durante el proceso de excavación, permitiendo correcciones en tiempo real. Las tolerancias admisibles aplicadas corresponden a las especificadas por ML1 para cada tipología estructural, sin embargo desde el área técnica de Metro internamente se definieron criterios de medición mucho más estrictos de los estipulados en la tabla Tolerancias de medición ML1 (ver Tabla 1) definiendo desviaciones no mayores a ≤ 1.5 cm para pilotes, ≤ 2 cm para barretes y ≤ 2 cm para pantallas , siendo documentadas en carteras de campo las cuales llevan la trazabilidad de todo el proyecto.

A cada elemento se realizó su respectivo levantamiento, registrando coordenadas de replanteo, cotas ejecutadas, desviaciones detectadas y estado de conformidad. Este procedimiento aseguró la compatibilidad dimensional entre lo ejecutado y lo establecido en los planos estructurales dando creación así a los planos as-build, reduciendo riesgos por desplazamientos o inclinaciones fuera de especificación.

4.1.3. Análisis comparativo diseño versus ejecutado y elaboración de planos as-built

Se realizó el análisis geométrico y comparativo entre las coordenadas teóricas de diseño y las coordenadas reales ejecutadas en campo para todos los elementos de cimentación profunda. Este proceso permitió cuantificar las desviaciones en planta tanto en Norte como en Este para así evaluar el cumplimiento de las tolerancias establecidas por Metro Línea 1 (ver Tabla 1).

Inacar 35 AÑOS | LO CREA			COORDENADAS RECORD ELEMENTOS FUNDIDOS				METRO LÍNEA 1	
N°	ELEMENTO	CONSECUTIVO PUNTO TOPOGRAFICO	COORDENDAS TEORICAS		COORDENADAS REALES		DIFERENCIAS	
			NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE
1	M-13	1	100162.294	96269.569	100162.289	96269.589	0.005	-0.020
		2	100162.744	96269.336	100162.763	96269.317	-0.019	0.019
		3	100161.406	96266.582	100161.429	96266.571	-0.023	0.011
		4	100160.957	96266.800	100160.934	96266.812	0.023	-0.012
2	M-12	5	100159.903	96264.631	100159.887	96264.652	0.016	-0.021
		6	100160.362	96264.413	100160.381	96264.412	-0.019	0.001
		7	100161.406	96266.572	100161.429	96266.571	-0.023	0.001
		8	100160.957	96266.800	100160.934	96266.811	0.023	-0.011
3	M-11	9	100158.391	96260.373	100158.415	96260.364	-0.024	0.009
		10	100157.942	96260.593	100157.920	96260.604	0.022	-0.011
		11	100160.358	96264.421	100160.380	96264.412	-0.022	0.009
		12	100159.908	96262.642	100159.885	96262.653	0.023	-0.011
4	M-10	13	100156.426	96256.328	100156.445	96256.318	-0.019	0.010
		14	100158.391	96260.376	100158.415	96260.364	-0.024	0.012
		15	100157.943	96260.594	100157.920	96260.605	0.023	-0.011
		16	100155.976	96256.546	100155.951	96256.559	0.025	-0.013
5	M-9	17	100154.459	96252.280	100154.475	96252.273	-0.016	0.007
		18	100154.002	96252.498	100153.980	96252.513	0.022	-0.015
		19	100155.976	96256.546	100155.951	96256.559	0.025	-0.013
		20	100156.425	96256.328	100156.445	96256.318	-0.020	0.010

Ilustración 27: Coordenadas de diseño vs Coordenadas en campo (Barretes)

Fuente: Propia

Los datos obtenidos evidencian un alto grado de precisión en las labores de replanteo y control topográfico, registrando desviaciones que se mantienen por debajo de las tolerancias establecidas.

Como resultado de este proceso, se desarrollaron los planos as-build mediante la integración de la información levantada en campo con los modelos de diseño base en formato DWG. Esta documentación técnica representa de manera confiable la geometría final de la cimentación, constituyendo un soporte indispensable para los procesos de interventoría, la liquidación de las etapas constructivas y la planificación de eventuales intervenciones en la infraestructura.

El análisis de desviaciones permitió identificar variaciones puntuales en posición y alineación, las cuales fueron evaluadas conforme a las tolerancias establecidas. Aquellas desviaciones que superaron los umbrales admisibles fueron reportadas oportunamente para la implementación de acciones correctivas.

4.1.4. Generación de reportes técnicos y documentación de avance para validación en obra

Se elaboraron y gestionaron reportes técnicos de periodicidad semanal y quincenal, entre los cuales se incluyen actas de nivel para fundida de elementos, informes de control de verticalidad, reportes de avance de excavaciones, controles de asentamientos y cimentaciones.

Cada reporte fue estructurado con soporte gráfico (planos de localización, perfiles, secciones, registro fotográfico georreferenciado) y soporte numérico (tablas de coordenadas, desviaciones, volúmenes, estado de ejecución). La totalidad de estos documentos fue sometida al proceso de doble validación establecido por el proyecto: revisión técnica por parte de ML1 y aprobación final por la interventoría.

Este flujo documental garantizó la trazabilidad del control topográfico, permitiendo a la dirección de obra y a los entes validadores disponer de información oportuna, confiable y estructurada para la toma de decisiones técnicas y administrativas.

4.1.5. Sistematización documental y transferencia de conocimiento técnico

Se consolidó un archivo técnico estructurado que integra la totalidad de la información generada durante la pasantía, incluyendo carteras de campo digitalizadas, modelos digitales del terreno, planos as-built, reportes validados y registros fotográficos georreferenciados.

El ejercicio de sistematización no solo contribuye a la memoria técnica del proyecto, sino que también constituye un aporte al acervo académico y profesional de la Ingeniería Topográfica, evidenciando el rol estratégico del control geométrico en proyectos de infraestructura de gran escala y alta exigencia normativa.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se presentan las conclusiones derivadas del desarrollo de la pasantía. Asimismo, se formulan recomendaciones técnicas orientadas a la mejora continua de los procesos de control topográfico en proyectos de infraestructura de gran escala.

Conclusiones

- La aplicación de técnicas topográficas especializadas, tales como el replanteo de precisión, el control dimensional en planta, la verificación de verticalidad en tiempo real permitió asegurar la ubicación exacta de los 165 elementos de cimentación profunda (64 pantallas, 27 barretes y 74 pilotes) en la Estación 9. Estas labores garantizaron que la ejecución se mantuviera dentro de las tolerancias de diseño establecidas, las cuales fueron de ≤ 1 cm para pilotes y ≤ 2.5 cm para barretes y pantallas, superando en rigurosidad los estándares generales de la normativa NSR-10
- El uso del método de superficies diferenciales en el software AutoCAD Civil 3D permitió determinar con exactitud los volúmenes de movimiento de tierras mediante la comparación de Modelos Digitales del Terreno (MDT) iniciales y periódicos. Este procedimiento técnico fue significativo ya que proporcionó el soporte gráfico-numérico necesario para la facturación mensual y la planificación logística, logrando alcanzar con precisión el nivel final de excavación de -10,85 m y minimizando sobrecostos por errores en la estimación de materiales.
- La correspondencia entre lo diseñado y lo ejecutado se validó a través de un sistema de doble validación por parte de Metro Línea 1 (ML1) y la interventoría, lo que permitió fortalecer la trazabilidad técnica del proyecto. Este proceso fue fundamental para la generación de planos as-built y la consolidación de una base de datos georreferenciada en la plataforma Aconex, sirviendo como insumo técnico oficial para certificar la estabilidad de la cimentación y facilitar futuras auditorías o intervenciones estructurales.
- Las condiciones climáticas adversas, la interferencia de maquinaria pesada y la alta exigencia normativa representaron desafíos constantes durante el

desarrollo de la pasantía, lo que requirió adaptabilidad, rigurosidad técnica y una comunicación efectiva con los diferentes actores del proyecto.

- La experiencia adquirida permitió integrar conocimientos teóricos de la Ingeniería Topográfica con aplicaciones prácticas en obra, fortaleciendo competencias en el manejo de equipos de alta precisión, software especializado y procedimientos de control de calidad en cimentaciones profundas.
- La pasantía permitió integrar los conocimientos teóricos de la Ingeniería Topográfica con la práctica en un entorno de alta complejidad, consolidando habilidades en el manejo de equipos de alta precisión y software especializado como Civil 3D. La documentación sistemática de carteras de campo y reportes técnicos integrados facilitó la transferencia de conocimiento técnico-metodológico, demostrando que el rigor en el control geométrico es el eje transversal para el éxito de proyectos de infraestructura de gran escala

Recomendaciones

- Es fundamental establecer protocolos claros de comunicación y validación entre el equipo de topografía, ML1 y la interventoría, definiendo tiempos de respuesta y formatos estandarizados que agilicen el flujo documental sin comprometer la calidad técnica.
- Fortalecer en los programas académicos de Ingeniería Topográfica la formación en el manejo avanzado de AutoCAD Civil 3D y metodologías BIM (Building Information Modeling), dado que estas herramientas son cada vez más exigidas en proyectos de infraestructura de alta complejidad.
- Para optimizar el control de excavaciones de gran magnitud, se recomienda el uso de escáner láser 3D o fotogrametría terrestre, herramientas que permiten obtener nubes de puntos densas y Modelos Digitales del Terreno (MDT) con un detalle muy superior a los métodos convencionales. La integración de la metodología SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) resulta fundamental en estos entornos, ya que permite al sensor mapear el terreno y posicionarse simultáneamente en tiempo real sin depender de señal GPS, lo cual es ideal para excavaciones profundas o zonas con obstrucciones.

6. ANEXOS

6.1.1. Soportes de campo

- **Coordenadas puntos de amarre (Deltas):**

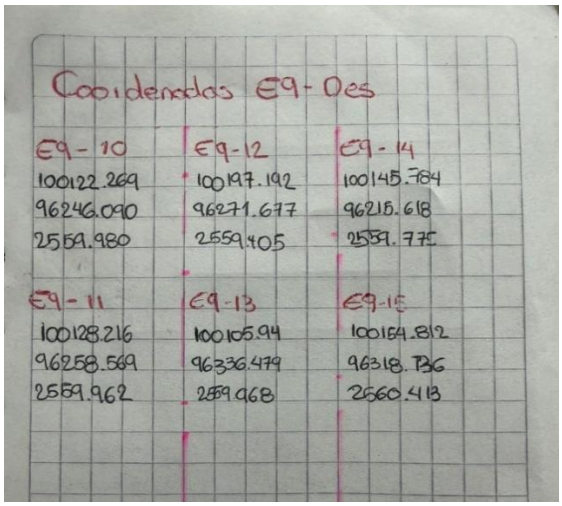


Ilustración 28: Tabla de coordenadas puntos de amarre
Fuente: Propia

- **Circuito de nivelación:**

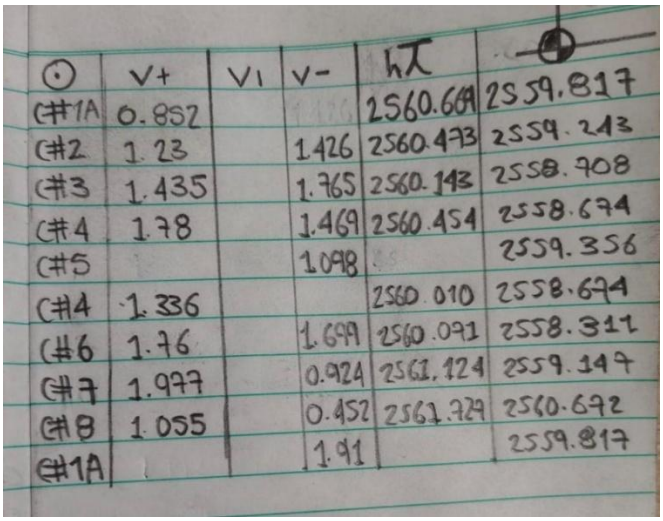


Ilustración 29: Circuito de nivelación E9
Fuente: Propia

- **Calculo para Barretes:**

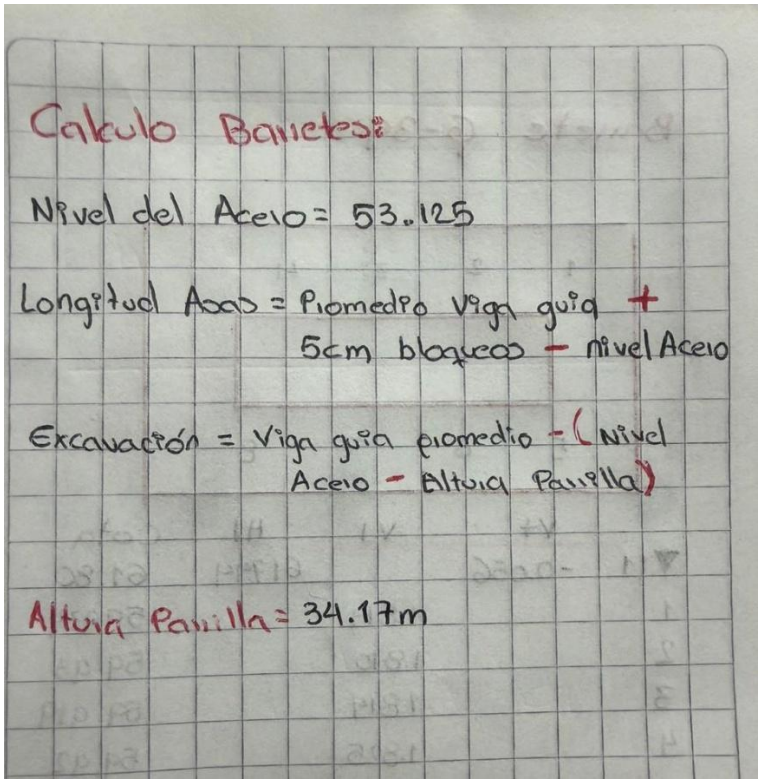


Ilustración 30: Datos teóricos para calculo de barrete
Fuente: Propia

- **Ejemplo real para calculo barrete:**

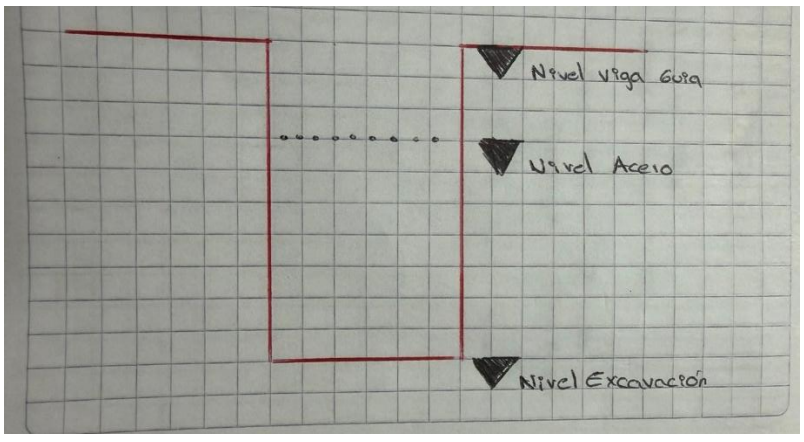


Ilustración 31: Corte transversal barrete
Fuente: Propia

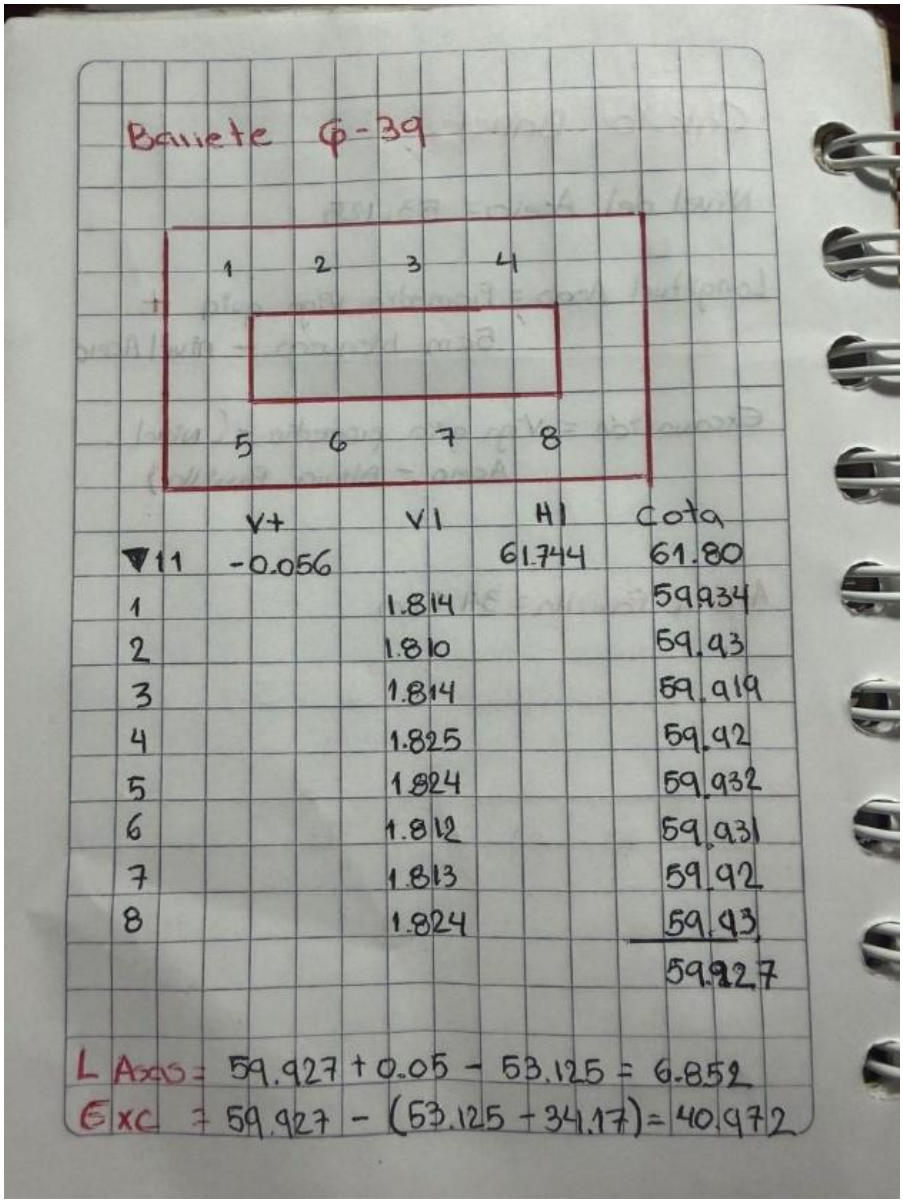


Ilustración 32: Calculo barrete G-39
Fuente: Propia

- **Calculo para Pilotes:**

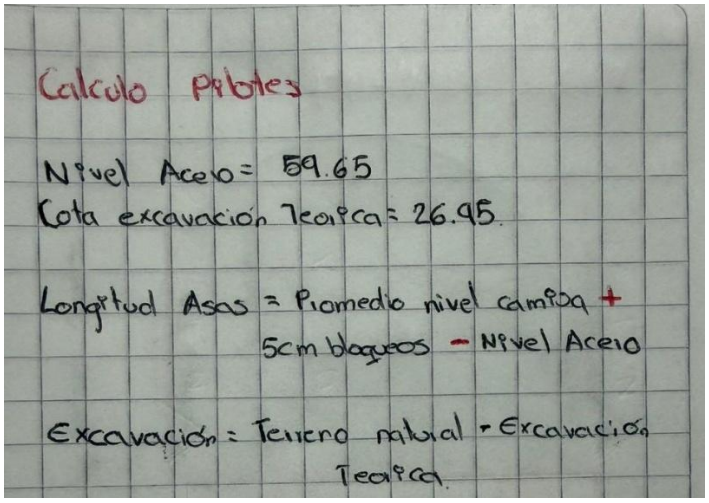


Ilustración 33: Datos teóricos para cálculo de pilote
Fuente: Propia

- **Ejemplo real para calculo pilote:**

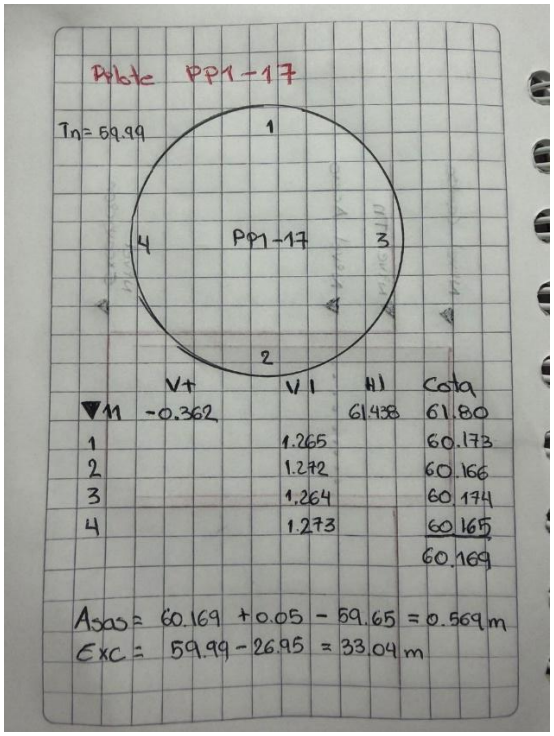


Ilustración 34: Calculo pilote PP1-17
Fuente: Propia

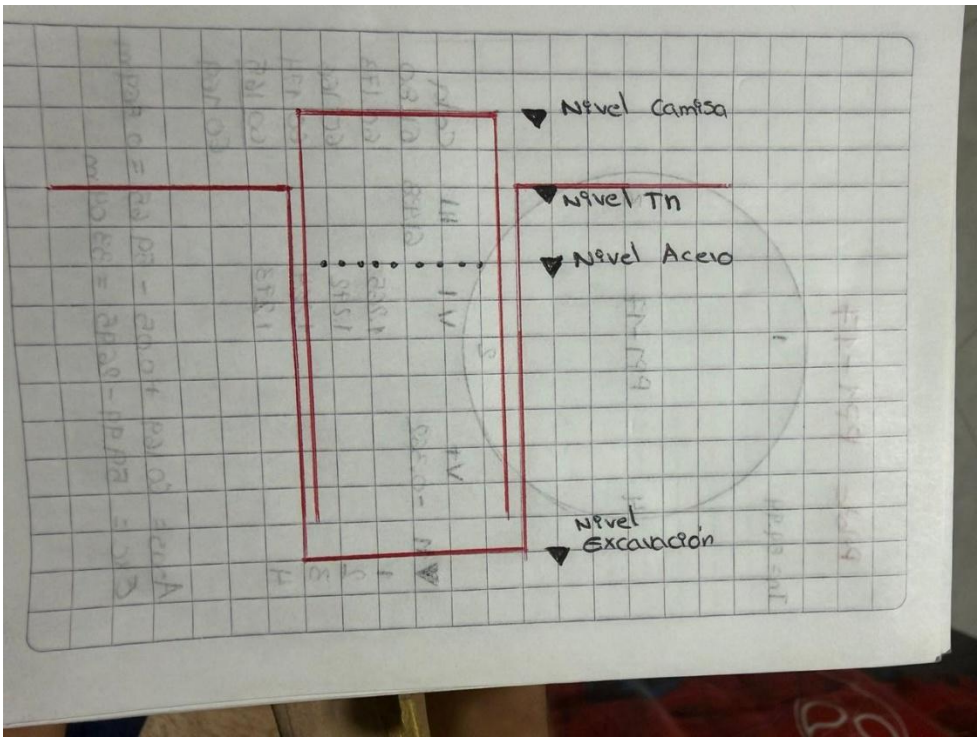
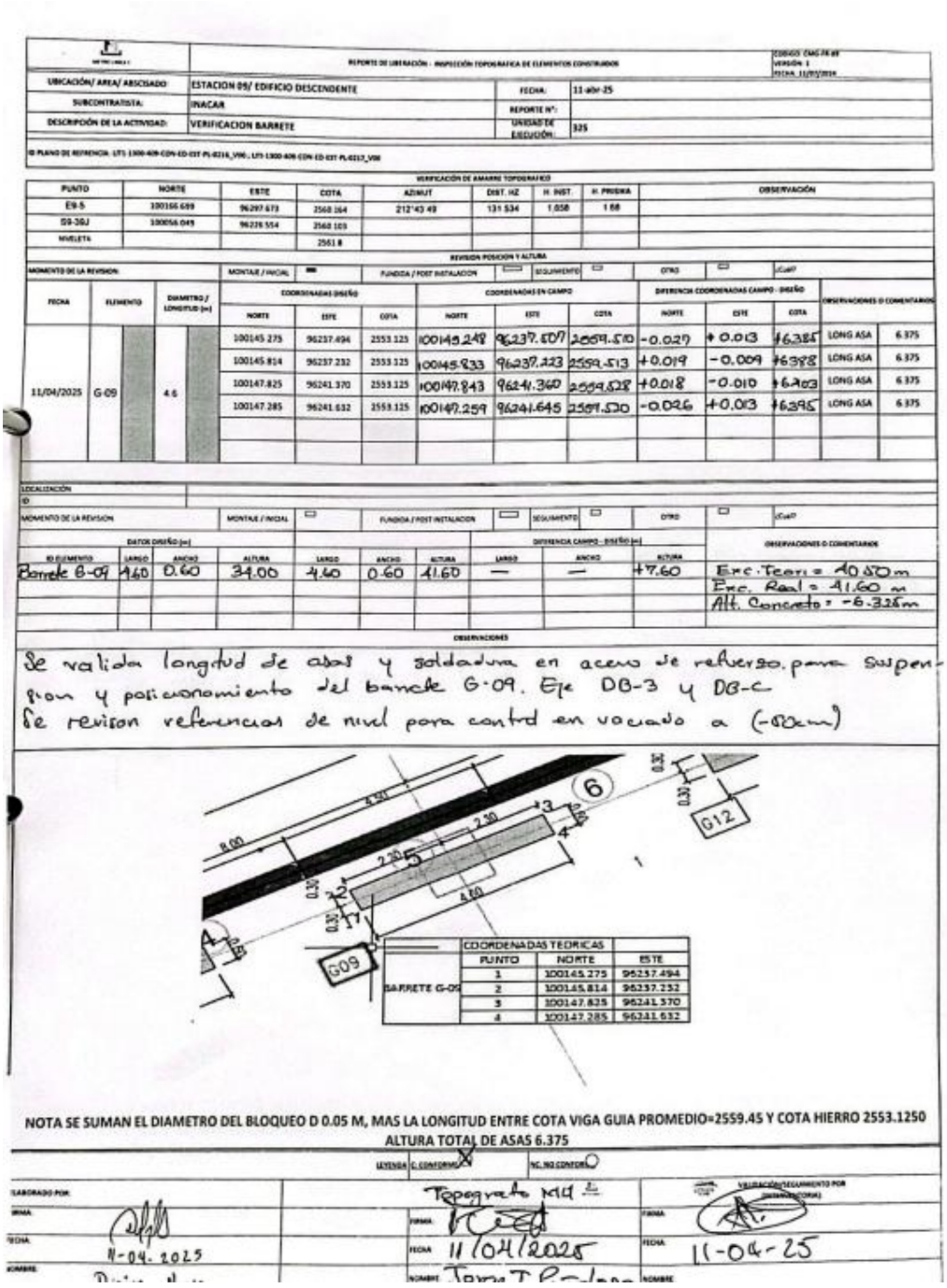


Ilustración 35: Corte transversal pilote
Fuente: Propia

- ***Formato de liberación Barrete***



REPORTE DE LIBERACIÓN - INSPECCIÓN TOPOGRAFICA DE ELEMENTOS CONSTRUIDOS

UBICACIÓN/ AREA/ ABSCISADO:	ESTACION 09/ EDIFICIO DESCENDENTE	FECHA:	11-abr-25
SUBCONTRATISTA:	INACAR	REPORTE N°:	
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD:	VERIFICACION BARRETE	UNIDAD DE EJECUCIÓN:	325

VERIFICACIÓN DE AMARRE TOPOGRAFICO

PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	AZIMUT	DIST. HZ	H. INST.	H. PRISMA	OBSERVACIÓN
E9-5	100155.699	96297.673	2560.164	212°43'49	131.534	1.658	1.66	
S9-36J	100056.049	96228.554	2560.103					
NIVELETA			2561.8					

REVISIÓN POSICIÓN Y ALTURA

MOMENTO DE LA REVISIÓN: MONTAJE / INICIAL ☒ FUNDIDA / POST INSTALACIÓN ☐ SEGUIMIENTO ☐ OTRO ☐

FECHA	ELEMENTO	DIAMETRO / LONGITUD (m)	COORDENADAS DISEÑO NORTE	COORDENADAS DISEÑO ESTE	COORDENADAS DISEÑO COTA	COORDENADAS EN CAMPO NORTE	COORDENADAS EN CAMPO ESTE	COORDENADAS EN CAMPO COTA	DIFERENCIA COORDENADAS CAMPO - DISEÑO NORTE	DIFERENCIA COORDENADAS CAMPO - DISEÑO ESTE	DIFERENCIA COORDENADAS CAMPO - DISEÑO COTA	OBSERVACIONES O COMENTARIOS	
11/04/2025	G-09	4.6	100145.275	96237.494	2553.125	100145.248	96237.507	2559.510	-0.027	+0.013	+6.385	LONG ASA	6.375
			100145.814	96237.232	2553.125	100145.833	96237.223	2559.513	+0.019	-0.009	+6.388	LONG ASA	6.375
			100147.825	96241.370	2553.125	100147.843	96241.360	2559.528	+0.018	-0.010	+6.403	LONG ASA	6.375
			100147.285	96241.632	2553.125	100147.259	96241.645	2559.520	-0.026	+0.013	+6.395	LONG ASA	6.375

LOCALIZACIÓN:
ID:

MOMENTO DE LA REVISIÓN: MONTAJE / INICIAL ☐ FUNDIDA / POST INSTALACIÓN ☐ SEGUIMIENTO ☐ OTRO ☐

ID ELEMENTO	DATOS DISEÑO (m) LARGO	ANCHO	ALTURA	DIFERENCIA CAMPO - DISEÑO (m) LARGO	ANCHO	ALTURA	LARGO	ANCHO	ALTURA	OBSERVACIONES O COMENTARIOS
Barrete B-09	4.60	0.60	34.00	4.60	0.60	41.60	—	—	+7.60	Exc. Teori = 10.50m Exc. Real = 41.60 m Alt. Concreto = -6.32m

OBSERVACIONES

Se valida longitud de asas y soldadura en acero de refuerzo. para suspension y posicionamiento del barrete G-09. Eje DB-3 y DB-C
Se revisan referencias de nivel para control en vaciado a (-80cm)

BARRETE G-09	COORDENADAS TEORICAS PUNTO	NORTE	ESTE
	1	100145.275	96237.494
	2	100145.814	96237.232
	3	100147.825	96241.370
	4	100147.285	96241.632

NOTA SE SUMAN EL DIAMETRO DEL BLOQUEO D 0.05 M, MAS LA LONGITUD ENTRE COTA VIGA GUIA PROMEDIO=2559.45 Y COTA HIERRO 2553.1250
ALTURA TOTAL DE ASAS 6.375

LEYENDA: C. CONFORME ☒ NC. NO CONFORME ☐

ELABORADO POR:		VALIDACIÓN/SEGUIMIENTO POR (SUPERVISORA):
FIRMA:	Topografo MIG	FIRMA:
FECHA: 11-04-2025	FECHA: 11/04/2025	FECHA: 11-04-25
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:

Ilustración 36: Formato de liberación bárrete.
Fuente: Propia

6.1.2. Soportes de oficina

- **Acta de niveles Pilotes**

ACTA DE NIVELES PILOTES PREEXCAVADOS ESTACION 9 DESCENDENTE										
DESCRIPCION DE ELEMENTOS PILOTES ESTACION 9 DESCENDENTE							COTA ACERO PILOTE HASTA PLACA ANDEN			
ELEMENTO		UBICACIÓN	CANT	ø Pilotes	L (m)	COTA Nivel 0	L ACERO RECTO	N.E ACERO RECTO	LONGITUD REAL	COTA ACERO
EDIFICIO 1										
PILOTE	PP1-1	DBA-DB03	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-2	DBA-DB02	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-3	DBA-DB01	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-4	DB(A-B)-DB03	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-5	DB(A-B)-DB01	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-6	DB(B-C)-DB03	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-7	DB(B-C)-DB01	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-8	DB(C-D)-DB01	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-9	DB(B-C)-DB02	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-10	DB(C-B)-DB02	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-11	DB(C-D)-DB03	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-12	DB(D-E)-DB03	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-13	DB(D-E)-DB02	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-14	DB(E-D)-DB02	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-15	DB(D-E)-DB01	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-16	DB(E-F)-DB03	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-17	DB(E-F)-DB01	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-18	DBF-DB03	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-19	DBF-DB02	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-20	DBF-DB01	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-48	DBF-DB02-3	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65
PILOTE	PP1-49	DBF-DB01-2	1	0.6	26	2561.8	0.2	-2.15	32.7	2559.65

Ilustración 37: Acta de niveles pilotes
Fuente: Propia

- ***Acta de pilotes georreferenciados***

Inacar LO CREA	ACTA DE COORDENADAS PILOTES EDIFCIO DESCENDENTE-E-9 METRO LINEA 1								
PUNTO	ESTE	NORTE	LOCALIZACIÓN	ø Pilotes	L Acero Pilote	COTA FONDO	COTA ACERO	COTA CONCRETO	N.E
PP1-1	96223.697	100135.904	DBA-DB03	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-2	96228.018	100127.010	DBA-DB02	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-3	96230.515	100121.871	DBA-DB01	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-4	96229.383	100139.311	DB(A-B)-DB03	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-5	96236.717	100124.214	DB(A-B)-DB01	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-6	96236.761	100142.895	DB(B-C)-DB03	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-7	96244.089	100127.811	DB(B-C)-DB01	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-8	96252.049	100131.678	DB(C-D)-DB01	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-9	96238.636	100135.375	DB(B-C)-DB02	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-10	96241.514	100136.773	DB(C-B)-DB02	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-11	96244.721	100146.762	DB(C-D)-DB03	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-12	96252.682	100150.629	DB(D-E)-DB03	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-13	96254.557	100143.109	DB(D-E)-DB02	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-14	96257.435	100144.507	DB(E-D)-DB02	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-15	96260.010	100135.545	DB(D-E)-DB01	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-16	96260.204	100154.256	DB(E-F)-DB03	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-17	96267.532	100139.172	DB(E-F)-DB01	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-18	96266.273	100157.214	DBF-DB03	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-19	96269.587	100150.393	DBF-DB02	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-20	96273.601	100142.130	DBF-DB01	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-48	96269.878	100155.681	DBF-DB02-3	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP1-49	96273.934	100147.330	DBF-DB01-2	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP2-21	96272.987	100160.439	DBF´-DB03	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP2-22	96276.301	100153.617	DBF´-DB02	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP2-23	96280.315	100145.355	DBF´-DB01	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35
PP2-24	96288.689	100149.423	DB(G-H)-DB01	0.6	32.7	2526.95	2559.65	2559.45	-2.35

Ilustración 38: Tabla de coordenadas pilotes
Fuente: Propia

- ***Avance de obra.***

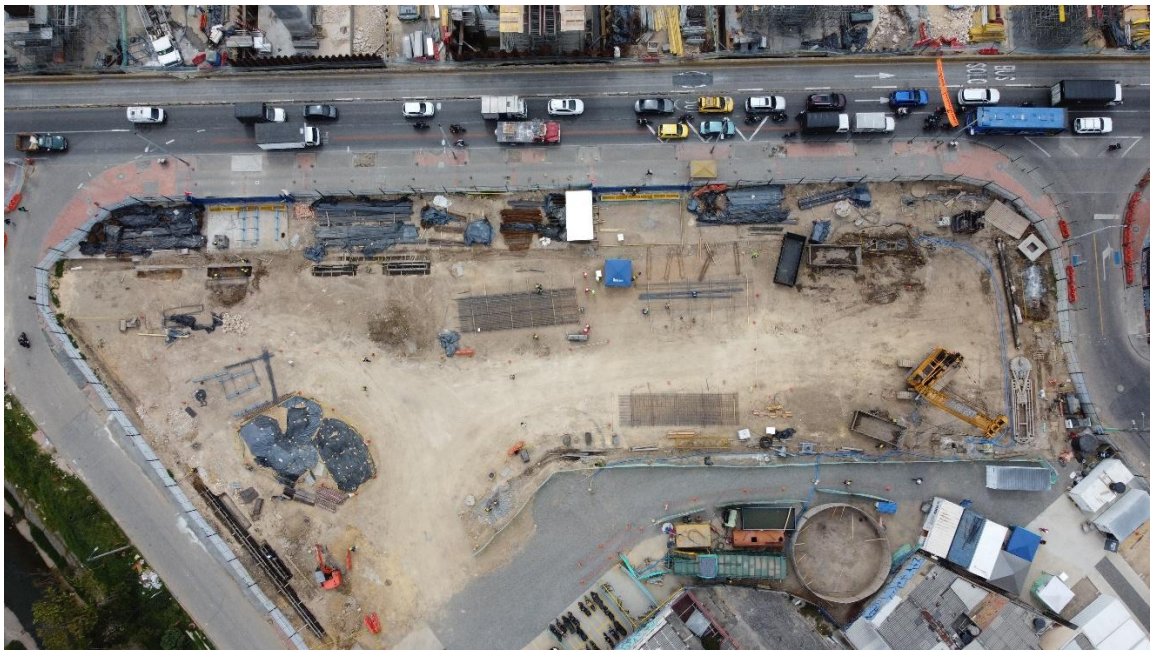


Ilustración 39: Inicio proceso de excavaciones
Fuente: Tomado de Aconex; Vuelos semanales avance de obra

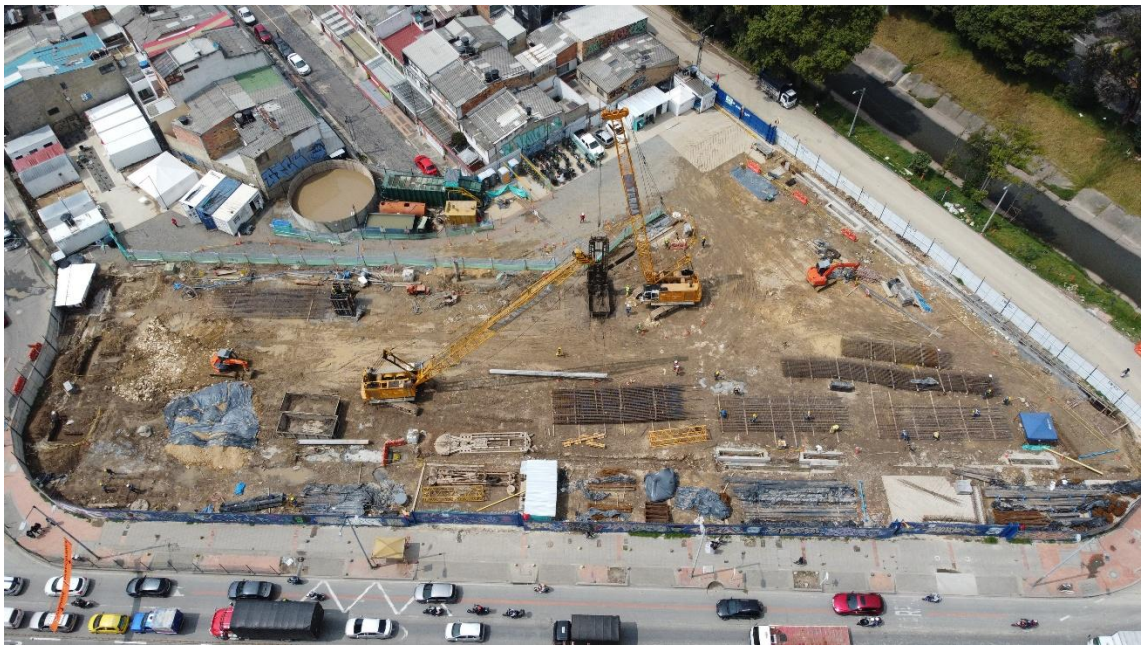


Ilustración 40: Proceso de armado de parrillas para barretes y pantallas
Fuente: Tomado de Aconex; Vuelos semanales avance de obra

Se anexará una carpeta con planos, informes técnicos, registro fotográfico y actas de niveles que fueron realizados en el desarrollo del proceso constructivo que ayudan al complemento del proyecto.

7. REFERENCIAS

Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2022). Acuerdo 012: Por el cual se reglamenta el trabajo de grado para programas de nivel tecnológico y profesional. Bogotá: UDFJC.

INACAR S.A. (2024). Página Web Corporativa: https://www.inacar.com

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC (2021). Especificaciones para Levantamientos Topográficos. Bogotá: IGAC.

Metro de Bogotá S.A. (2024). Página Web Oficial. https://www.metrodebogota.gov.co/

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). Norma NSR-10: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Bogotá: AIS.

Instituto Nacional de Vías - INVIAS. (2023). Normas para Estudios, Diseños y Construcción de Proyectos de Infraestructura Vial. Bogotá: INVIAS.Resistente. Bogotá: AIS.