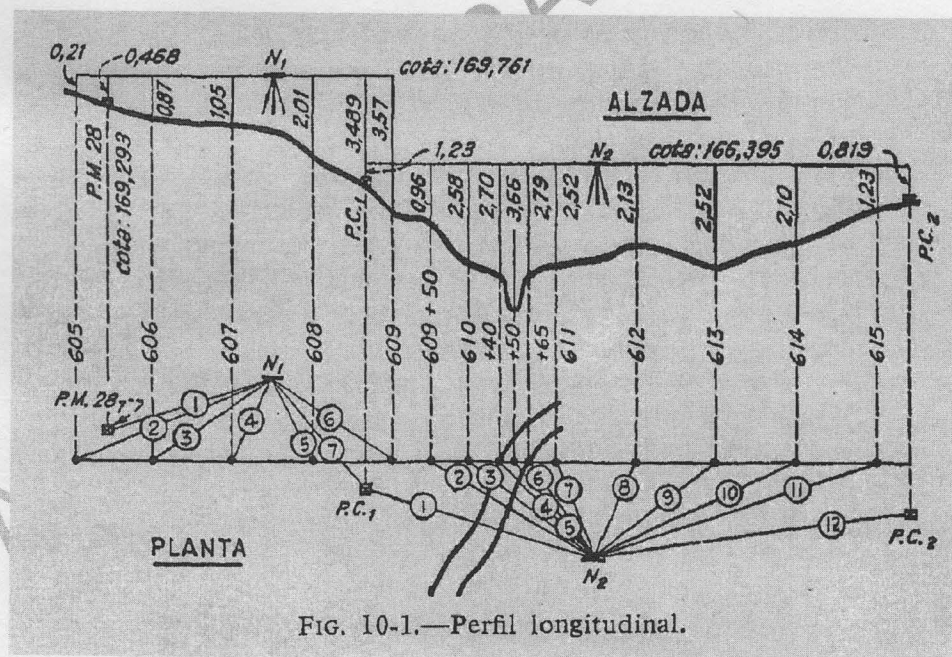


CÁTEDRA TOPOGRAFÍA II

FACULTA DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Apunte:

NIVELACIÓN GEOMÉTRICA DE LÍNEAS. MEDICIÓN DE PERFILES TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES



Perfil longitudinal, figura 10-1, página 227, capítulo X (DAVIS, 1979)

Índice

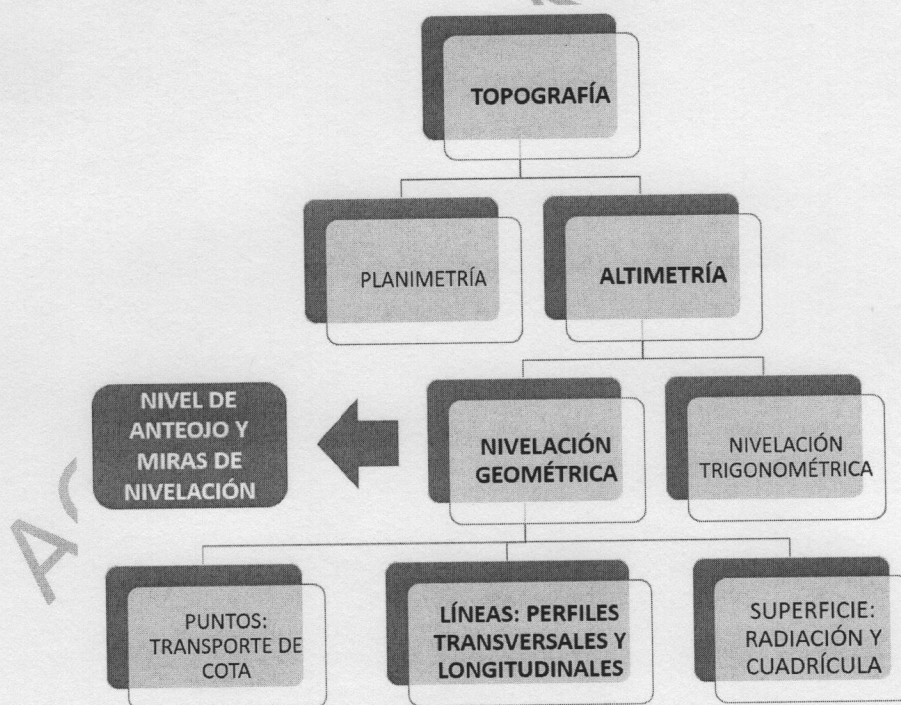
Nivelación Geométrica de Líneas	3
Perfiles longitudinales y transversales	4
Perfiles longitudinales.	4
Perfiles transversales.	5
Levantamiento del terreno mediante la medición de perfiles	5
Representación gráfica de los perfiles	9
Planimetría de los perfiles transversales	9
Altimetría de los perfiles transversales	9
Conformación de la libreta de campo	10
Construcción gráfica de un perfil transversal	11
Sistema de coordenadas.....	14
Pendiente	15
Red de puntos fijos de apoyo	17
Cota del plano visual	18
Desarrollo del Ejemplo 1.....	21
Registro de campo	22
Cálculo de las cotas de los puntos levantados	22
Representación gráfica de los perfiles transversales	23
Representación gráfica del perfil longitudinal	24
Conveniencia de adoptar un plano de comparación	25
Ejemplo 2: Práctica de perfiles	27
Análisis de los datos levantados.....	28
Cálculo y compensación de las cotas.....	31
Compensación de la nivelación	34
Representación gráfica de los perfiles.....	36
Bibliografía	37
Ejercitación.....	38

Nivelación Geométrica de Líneas

El método de nivelación geométrica puede emplearse para relevamientos topográfico planialtimétricos. Es el caso de la nivelación geométrica de líneas, que se aplica para la medición de perfiles transversales y longitudinales. Este método permite la medición precisa de las alturas de los puntos del terreno mediante nivelación geométrica. Como además de medir la altura de los puntos relevados también es necesario determinar su posición en el terreno, se deben realizar mediciones planimétricas. La posición de los puntos, es decir, su planimetría se resuelve realizando mediciones con cinta de agrimensor, complementando la tarea con el uso de cintas de mano, jalones y fichas.

Dentro de los temas englobados por la Topografía, es posible establecer dos grandes ramas como lo son la Planimetría y la Altimetría (figura 1). Dentro de los métodos altimétricos es posible definir dos grupos, las Nivelación Geométrica y la Nivelación Trigonométrica.

Figura 1: Planimetría y Altimetría.



Corresponden a la nivelación geométrica los métodos de:

- *Nivelación geométrica de puntos*: Normalmente utilizados para densificación de redes o traslado de cotas. Son métodos precisos que permiten, en el

ámbito de la Topografía, asegurar el milímetro en los resultados. Estos métodos permiten diferentes controles y practicar una compensación de los errores de cierre. Los ejemplos típicos son los métodos de nivelación cerrada por rodeo o de nivelación cerrada por enlace.

- *Nivelación geométrica de líneas:* Corresponden estos métodos a los empleados para medir perfiles longitudinales y transversales. Estos métodos se aplican cuando el terreno a relevar tiene una extensión lineal (carreteras, vías férreas, canales y otros tipos de ductos.). Las alturas de los puntos se obtienen por nivelación geométrica mientras que las posiciones (XY) por medios topográficos convencionales utilizando cintas y otros elementos. Usualmente las alturas se determinan con precisión del centímetro, dado que en un relevamiento topográfico el milímetro no suele ser necesario. Existen otros métodos topográficos para la medición de perfiles, los cuales se pueden practicar con equipo de estación total, obteniendo precisiones del mismo orden o superiores. También es posible realizar levantamientos topográficos por perfiles utilizando técnicas GNSS cinemáticas, tanto en tiempo real como en postproceso.
- *Nivelación geométrica de superficies:* Estos métodos se utilizan cuando los puntos a relevar tienen distribución areal. En general, existen dos métodos que permiten aplicar la nivelación geométrica en estos casos: método de la cuadrícula y método de radiación. Estos métodos prácticamente ya no se utilizan en el desarrollo normal de la Agrimensura, pero se los analizará en su momento dado que tienen un gran valor didáctico en la formación de los futuros profesionales.

Perfiles longitudinales y transversales

Perfiles longitudinales.

Se entiende por nivelación longitudinal de una línea AB, la determinación de las diferencias de alturas entre los puntos de la superficie terrestre situados en un plano (o superficie cilíndrica) vertical, que señala dicha línea mediante jalones. El perfil longitudinal es la intersección de este plano (o superficie cilíndrica) con el terreno (VOLQUARDTS, 1956).

A lo largo de esta línea AB son medidos todos los puntos de inflexión del terreno, zanjas transversales, caminos, etc., así como los puntos en que ha de trazarse un perfil transversal.

Perfiles transversales.

Un perfil transversal es la representación de la intersección del terreno con un plano vertical, perpendicular a la dirección del perfil longitudinal. Mediante instrumentos topográficos de ángulo fijo (escuadras o pentaprisma) es posible a partir de un punto dado del perfil longitudinal, materializar una recta perpendicular que indica la dirección del perfil transversal (VOLQUARDTS, 1956).

Compondrán el perfil transversal todos los puntos de cambio de pendiente dentro de la faja necesaria para el proyecto. Estos puntos se demarcarán con fichas u otro elemento para medir sus distancias con precisión centimétrica, a derecha e izquierda del eje; estas medidas se denominan distancias al eje. Luego, se miden las alturas de estos puntos, colocando una mira topográfica sobre cada uno y realizando únicamente lecturas de hilo medio al centímetro.

Levantamiento del terreno mediante la medición de perfiles

Uno de los principales objetivos de la Topografía consiste en llevar a cabo mediciones precisas que conduzcan a la determinación de la posición relativa de puntos en la superficie terrestre. Estos puntos, cuidadosamente seleccionados y conocidos como **puntos de interés**, son fundamentales para la representación y comprensión del terreno, tarea que se conoce como levantamiento topográfico.

El proceso de nivelación geométrica de puntos para traslado de cota se enfocaba principalmente en la determinación precisa de sus alturas, dejando de lado la importancia de su ubicación en un plano. En este contexto, la planimetría, es decir, la ubicación del punto en el plano, carecía de relevancia, ya que el interés se centraba únicamente en la altimetría. Esto se justifica debido a que los puntos nivelados no son considerados puntos de interés, sino más bien puntos de apoyo para trabajos posteriores.

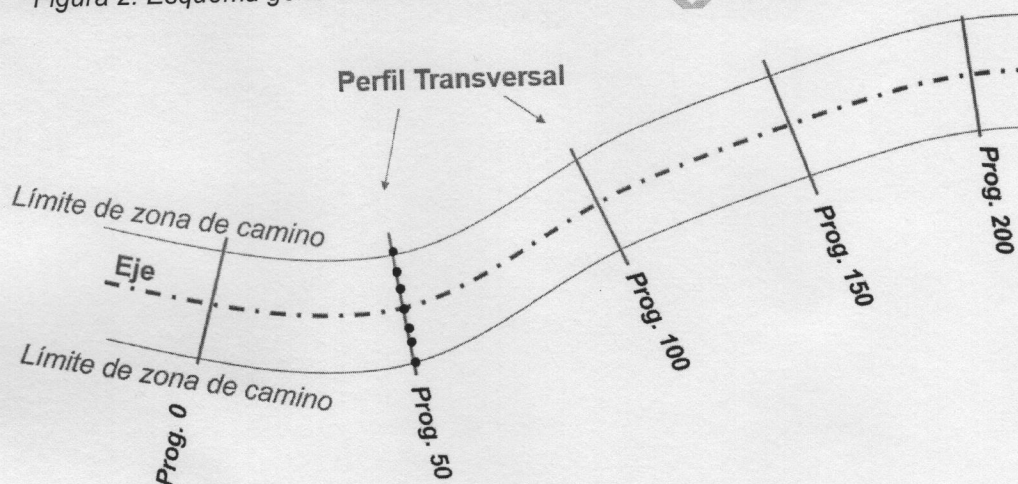
Sin embargo, al determinar perfiles transversales y longitudinales del terreno, es crucial nivelar puntos de interés, asegurándose de determinar tanto su altura como su ubicación. Es esencial tener en cuenta que el objetivo principal de este tipo de

levantamientos es obtener una representación precisa del terreno, lo que proporcionará información confiable para la toma de decisiones.

El levantamiento del terreno mediante la medición de perfiles se emplea casi exclusivamente en proyectos lineales de construcción como carreteras, vías férreas y canales; prestando gran utilidad en el cálculo de volúmenes. Tomando como referencia el eje del proyecto (camino, vía, etc.) se toman perfiles del terreno llamados transversales (a ángulos rectos con la línea eje), generalmente a intervalos regulares.

En la figura 2 se ha esquematizado un levantamiento mediante perfiles transversales. Se hace esta ilustración tomando como ejemplo el caso más típico: el levantamiento de la zona de un camino. En estos casos se toma como eje de referencia el eje físico del camino, y para establecer las posiciones de los puntos levantados se toman como coordenadas planas la **progresiva** y la **distancia al eje**:

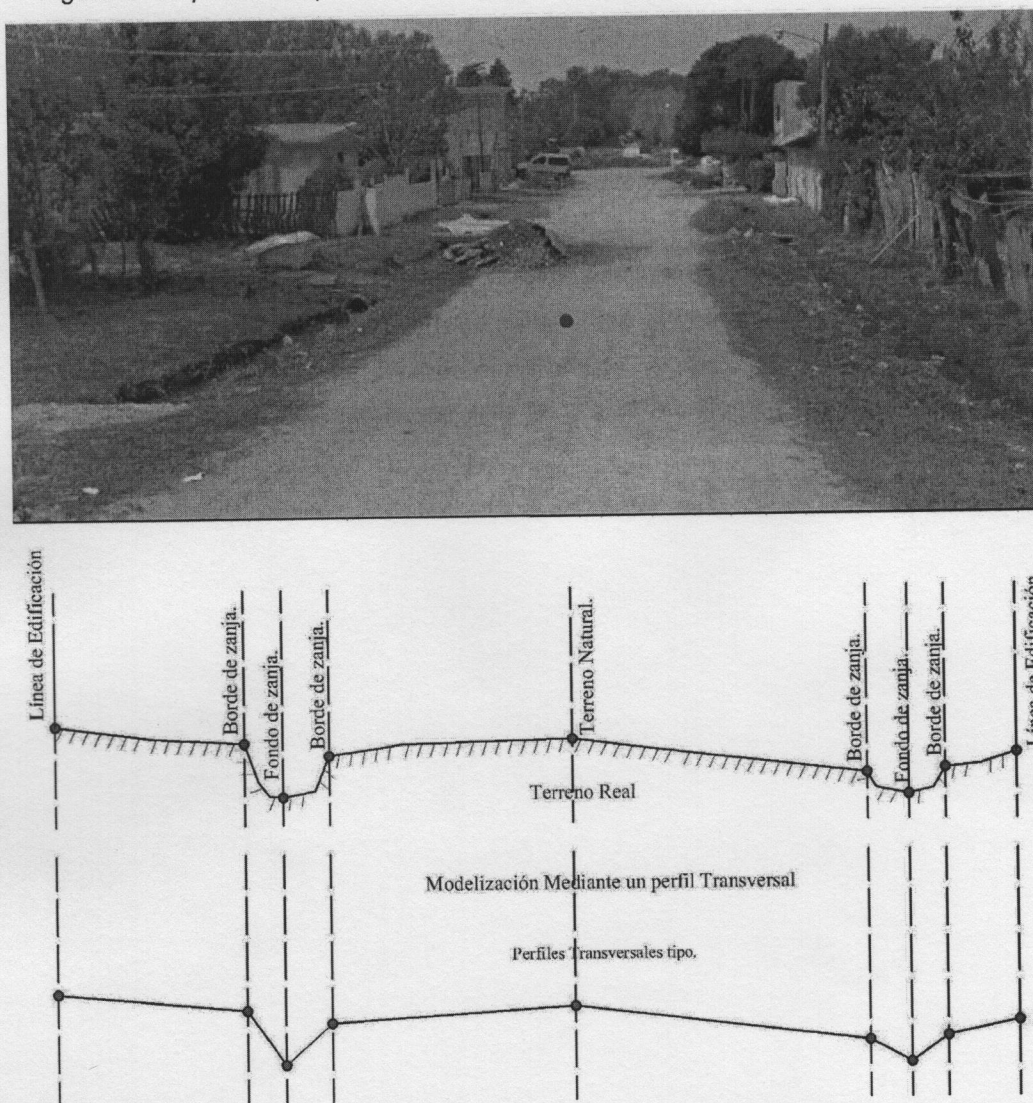
Figura 2: Esquema general de un levantamiento mediante perfiles transversales.



Cuando se trabaja en rutas o vías, el término "progresiva" denota una medida de distancia a lo largo del eje del camino, calculada desde un punto de referencia específico, como el inicio de la vía o un punto de referencia establecido. Esta medida se expresa generalmente en kilómetros, hectómetros o metros, y se utiliza para identificar la ubicación de elementos clave a lo largo del camino, como intersecciones, puentes, curvas y otros puntos relevantes. La progresiva facilita la ubicación precisa a lo largo de la ruta. En levantamientos topográficos, el concepto de progresiva se emplea para localizar cada perfil transversal medido. Por ejemplo, en la figura 2, se han realizado mediciones de perfiles cada 50 metros, identificando los perfiles de 0, 50, 100, 150 y 200 metros.

En cada perfil, se levantan una serie de puntos de interés, los cuales indican cambios significativos de la pendiente del terreno en la dirección perpendicular al eje del camino o de la obra correspondiente. Uno de estos puntos se ubica sobre el eje longitudinal, mientras que los demás se encuentran a cada lado del mismo. Para identificar cada punto medido, se utiliza la "distancia al eje".

Figura 3: Esquema del perfil transversal de una calle.



La distancia al eje representa la medida en metros, dentro del perfil transversal, desde cada punto medido hasta el eje de referencia. Dado que los puntos de interés pueden situarse en ambos lados del eje, es necesario especificar si se encuentran a la derecha o a la izquierda. Esta determinación se realiza siempre observando el perfil

transversal en la dirección de avance del proyecto; es decir, mirando de espaldas a la progresiva menor y de frente a la progresiva mayor.

En la figura 2, el perfil transversal de la progresiva 50 (Prog. 50) está conformado por siete puntos, uno se ubica sobre el eje y los restantes se ubican tres a cada lado.

Es fundamental comprender que un perfil transversal es una representación simplificada de la realidad. Sobre una línea perpendicular al eje del proyecto, se eligen y miden los puntos más representativos del terreno.

La finalidad de este tipo de trabajo topográfico es que, una vez obtenida la posición planialtimétrica de todos los puntos de cada perfil, puede contarse con un modelo analítico del terreno, que permitirá tomar diferentes tipos de decisiones en un proyecto de Ingeniería. Actualmente se utilizan archivos digitales en formato CAD para la representación y análisis de los perfiles.

En la figura 3 se presenta un esquema de un perfil transversal de una calle, un tipo de levantamiento comúnmente empleado en proyectos de pavimentación urbana. En la parte superior de la figura 3, se detallan los puntos seleccionados para representar el perfil. Esta etapa del procedimiento es crucial, ya que la correcta identificación de los puntos es clave. Deben ser medidos todos los puntos que reflejen cambios significativos en la pendiente del terreno; omitir alguno de estos puntos podría resultar en un modelo que no refleje con precisión la realidad.

Por otro lado, es importante evitar levantar puntos innecesarios, ya que esto implicaría una inversión de tiempo adicional tanto en el relevamiento como en la representación gráfica. Es necesario encontrar un equilibrio entre la exhaustividad del relevamiento y la eficiencia del proceso, asegurando así que el modelo obtenido sea fiel al terreno y útil para la planificación y ejecución del proyecto.

En la zona central de la figura 3 se esquematizan los puntos seleccionados para la medición. La experiencia y el criterio del Agrimensor proporcionan los elementos necesarios para determinar qué puntos son relevantes y cuáles no lo son. En la parte inferior de la misma figura, se ilustra cómo se dibuja o reconstruye en el gabinete la forma simplificada del terreno a partir de las mediciones realizadas en campo.

Téngase en cuenta que la representación del perfil transversal se basa en la hipótesis de que entre puntos contiguos la pendiente es constante. Por ello, en la representación gráfica, los puntos se conectan mediante líneas rectas. Es por esta razón que se destaca que la omisión de puntos fundamentales conduce a una representación incorrecta del perfil. Cada punto seleccionado desempeña un papel crucial en la precisión y la fidelidad del modelo final. Por lo tanto, es esencial asegurarse de incluir todos los puntos

significativos durante el levantamiento, para garantizar una representación fiel del terreno y una planificación precisa del proyecto en cuestión.

Representación gráfica de los perfiles

La medición de perfiles transversales implica tomar las alturas (cotas) del terreno y sus respectivas distancias perpendiculares a la izquierda y a la derecha de la línea del eje. Cada perfil transversal se identifica de manera única por el valor de su progresiva.

Es esencial medir las alturas sobre la dirección de la línea del perfil transversal, especialmente en los puntos más altos y bajos, así como en aquellos donde se producen cambios significativos en la pendiente.

Contando con los puntos medidos sobre el eje en los diferentes perfiles transversales, es posible construir el perfil longitudinal del proyecto.

Mientras que los perfiles transversales representan cortes perpendiculares al eje del proyecto, el perfil longitudinal muestra un corte en la dirección misma del eje. Esta distinción entre perfiles transversales y longitudinales es esencial para obtener una comprensión completa y precisa del terreno.

Planimetría de los perfiles transversales

La ubicación de los puntos de cada perfil transversal se resuelve midiendo en campo su distancia al eje. En algunos casos en lugar de tomar como referencia al eje se miden las distancias desde unos de los bordes del perfil (preferentemente del lado izquierdo) que puede estar materializado por un muro, cerco o alambrado. Esta operación se realiza con cintas de Agrimensor y cintas de mano.

También deben medirse las separaciones entre perfiles transversales, esto se realiza determinado las progresivas de cada uno. Suele suceder que en algunos sectores de la obra lineal, como por ejemplo en las curvas, la separación entre perfiles transversales se reduzca con el objetivo de tener mayor detalle del terreno.

Altimetría de los perfiles transversales

Una vez que se han seleccionado los puntos de interés y se ha medido su distancia al eje (o a un extremo) estos deben ser nivelados. Se coloca la mira sobre dicho punto y se realizan las lecturas de hilo, por lo general se lee solamente el hilo medio al centímetro. En algunos casos se realizan las lecturas de los tres hilos al milímetro, pero solamente como control del hilo medio.

Conformación de la libreta de campo

En la libreta de campo, cada perfil transversal obtenido mediante nivelación geométrica se registra con los siguientes datos:

1. *Progresiva*: La ubicación a lo largo del eje del proyecto.
2. *Distancia al eje de cada punto*: Indicando si esta distancia se encuentra a la izquierda o a la derecha del eje.
3. *Lectura de hilo medio de cada punto levantado*: Es esencial registrar la lectura atrás correspondiente para las lecturas adelante realizadas a cada punto nivelado. Esto garantiza la precisión y la coherencia en las mediciones. Es usual que se requieran más de una estación de nivel para levantar la totalidad los perfiles. Por esto es tan importante determinar perfectamente la correspondencia entre lecturas atrás y adelante.

Debe establecerse perfectamente la vinculación entre mediciones altimétricas y planimétricas. La planimetría y la altimetría de los puntos se realizan por técnicas distintas, por ello, es fundamental poder vincular las distintas mediciones a un mismo punto sin ningún tipo de ambigüedad. Mediante croquis detallados y libretas de campo organizadas y meticulosamente mantenidas se consigue un ordenamiento adecuado de los datos. La meticulosidad en el registro de estos datos es fundamental para asegurar la precisión y la integridad de los resultados obtenidos, lo que a su vez garantiza la fiabilidad del levantamiento topográfico realizado.

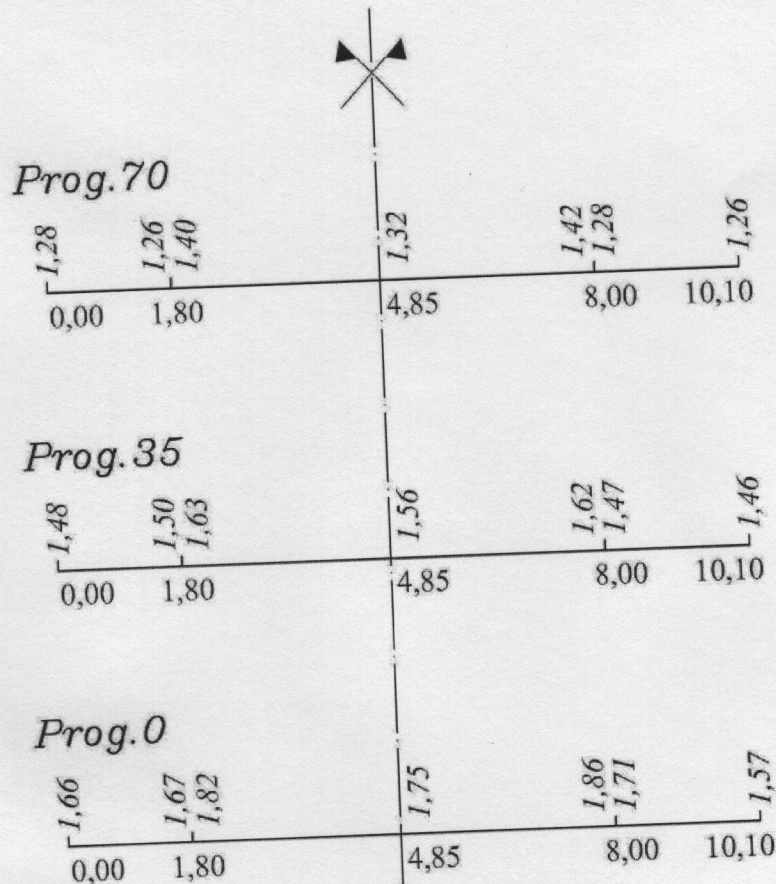
En la figura 4 se presenta un ejemplo de cómo registrar los datos en campo durante un levantamiento por perfiles transversales. Se muestran los registros correspondientes a tres perfiles hipotéticos, correspondientes a las progresivas de 0, 35 y 70 m.

Tanto para el registro como para la representación final en cada hoja, se comienza representando en la parte inferior el perfil de menor progresiva y luego se representan de manera ascendente los perfiles de progresiva mayor. Esta disposición de la información en el papel facilita la interpretación de los datos, creando la sensación de observar el desarrollo del camino de manera ordenada y secuencial.

En la figura 4, para cada perfil se ha registrado su progresiva, la distancia al eje con un texto horizontal, y la lectura de hilo medio al centímetro de manera vertical. En este caso particular, nótese que las distancias transversales entre puntos no se miden desde el eje sino desde el borde izquierdo del perfil, esta metodología suele utilizarse cuando el eje no se encuentra perfectamente materializado.

El tipo de croquis utilizado en la figura 4 asegura una relación unívoca entre la lectura de hilo medio y la distancia al eje de cada punto, lo que resulta fundamental para la precisión y coherencia de los datos recopilados en el campo.

Figura 4: Registro de datos.

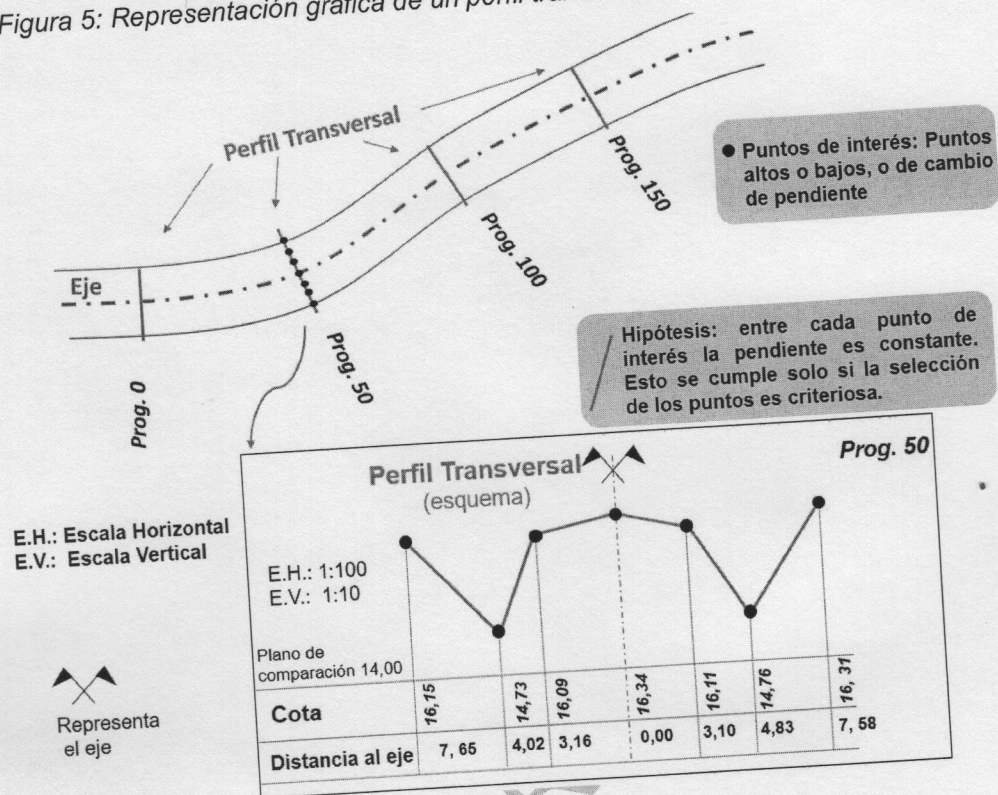


Continuando con el análisis de la figura 4, se representa al eje de referencia con líneas y puntos, y en la parte superior se grafican dos banderas cruzadas.

Construcción gráfica de un perfil transversal

A partir de los puntos levantados en cada perfil transversal se realiza en gabinete la representación gráfica de los mismo, este procedimiento se esquematiza en la figura 5.

Figura 5: Representación gráfica de un perfil transversal.



La metodología para el armado de cada perfil, tomando como base el perfil de progresiva 50 de la figura 5, implica la representación gráfica de información planimétrica (distancias al eje) e información altimétrica (cotas o alturas). Se busca que esta representación sea clara, precisa y eficiente, por lo que se requiere el uso de dos escalas diferentes: una vertical y otra horizontal.

En la representación gráfica de un perfil, el plano de comparación es una línea recta que representa un plano horizontal con un valor de cota específico. Este valor se elige al dibujar el perfil, siendo usualmente un valor de metro entero menor que cualquier cota de los puntos de ese perfil. En el ejemplo de la figura 5, se eligió una cota para el plano de comparación de 14,00 metros. Las alturas de los puntos sobre el plano de comparación se representan a escala, utilizando una escala vertical conveniente según el tamaño de la hoja y las magnitudes a representar.

Para las distancias al eje, se utiliza una escala horizontal, también seleccionada convenientemente.

Los perfiles generalmente se representan exagerando (deformado) las alturas de 10 a 25 veces con respecto a las distancias. Con esto se consigue resaltar más eficientemente los desniveles del terreno (VOLQUARDTS, 1956).

En la figura 5, por ejemplo, se ha adoptado una escala vertical de 1:10 y una escala horizontal de 1:100, lo que permite una exageración del relieve de 10 veces, facilitando así la comprensión de las características del terreno representado.

Debe indicarse en cada perfil transversal el valor de la progresiva que lo identifica. Se completa la representación gráfica del perfil con una tabla ubicada debajo del plano de comparación. Dada su forma, esta tabla se denomina coloquialmente "guitarra" y en ella es volcada la información de cada punto. En la guitarra del perfil al menos debe indicarse la cota y la distancia al eje de cada punto. En una instancia superior del proyecto, es posible ampliar la información de la guitarra, incorporando distintos valores que surgen del diseño del proyecto, tales como la cota de rasante, cotas de los desagües, etc.

Algunas aclaraciones sobre la representación gráfica de perfiles transversales y longitudinal:

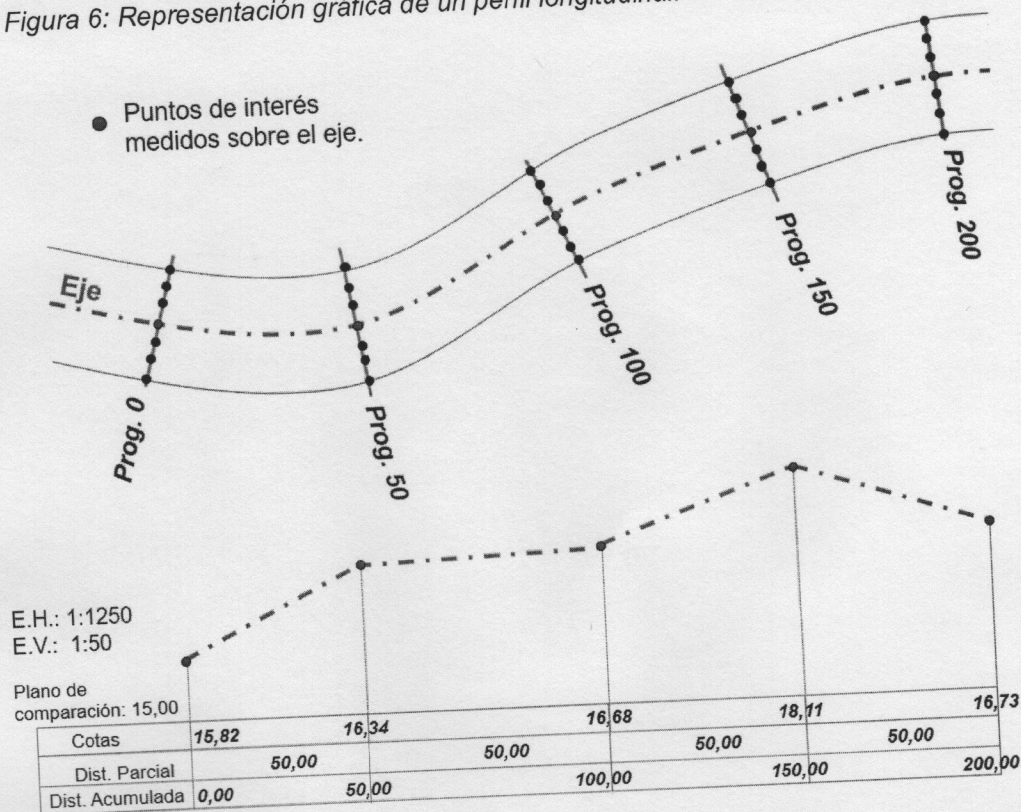
- El plano de comparación puede variar su cota libremente de un perfil transversal a otro, adaptándose al terreno. No se requiere que sea siempre el mismo.
- Las cotas de los perfiles pueden colocarse en forma vertical u horizontal, en este último caso el texto debe quedar encaballado con la línea respectiva.
- En los perfiles se representan las cotas (o alturas) de los puntos levantados. No se representa la lectura de hilo medio del punto. En las siguientes secciones se explicará como calcular las cotas a partir de las lecturas de hilo medio.

Se ha ilustrado en la figura 6 la construcción de un perfil longitudinal. Ya se estableció que este tipo de perfiles representan un corte del proyecto (ruta, vía, canal, etc.) a lo largo de su eje. Los datos representados son las cotas de cada perfil transversal correspondiente al eje y las distancias entre dichos perfiles. Además pueden representarse puntos intermedios que no corresponden a perfiles transversales, pero que se relevaron por ser inflexiones del terreno, intersecciones con caminos, zanjas, ferrocarriles, etc.

Para la representación del perfil longitudinal debe seleccionarse un plano de comparación adecuado así como las escalas vertical y horizontal más convenientes. Para el ejemplo de la figura 6, se adoptaron un plano de comparación de 15,00 m, una escala vertical de 1:50 y otra horizontal de 1:1250. Como se puede notar, en este caso se utilizó una exageración vertical de 25 veces (1250/50).

La guitarra de este perfil está conformada por el valor de las cotas de los puntos, la distancia parcial o distancia entre perfiles transversales contiguos y la distancia acumulada a cada perfil desde el origen.

Figura 6: Representación gráfica de un perfil longitudinal.



Sistema de coordenadas

En este tipo de representación del terreno, cada punto levantado tiene coordenadas tridimensionales únicas que lo identifican de manera unívoca. Estas coordenadas son la "progresiva", la "distancia al eje" y la "cota". En este apunte, se describe un método de medición que utiliza técnicas específicas para definir estos parámetros. La cota de cada punto se determina mediante nivelación geométrica, utilizando un nivel óptico y una mira topográfica, mientras que las progresivas y las distancias al eje se obtienen mediante el uso de una cinta de agrimensor, cintas de mano, fichas y jalones.

Es importante destacar que existen otros métodos que permiten medir y representar el terreno mediante perfiles transversales y longitudinales, los cuales se basan en diferentes técnicas de medición. Por ejemplo, utilizando una estación total y trabajando en un sistema de coordenadas cartesiano XYZ, es posible levantar los puntos de cada perfil de manera equivalente al método descrito anteriormente. En este caso, se

seleccionan los puntos de interés para cada perfil transversal tomando los mismos criterios antes mencionados, identificando los puntos más altos y más bajos así como aquellos donde el terreno cambia significativamente su pendiente. Sin embargo, en este método, el sistema de referencia adoptado no requeriría los datos de progresiva y distancia al eje. Las coordenadas planas XY estarían referidas a la posición de los ejes de abscisas y ordenadas establecidos en la estación total. El plano de referencia para la determinación de las cotas podría considerarse de manera equivalente, pero la forma de medir las alturas sería mediante nivelación trigonométrica.

Una situación similar ocurre al trabajar con la técnica GNSS RTK, que es actualmente la más eficiente para levantamientos de este tipo, especialmente en áreas extensas. En este caso, también se puede adoptar la técnica de levantamiento mediante perfiles, seleccionando cada punto con el mismo criterio. Sin embargo, las coordenadas o datos levantados para cada punto estarán vinculados a un marco de referencia establecido; comúnmente se refieren las posiciones a POSGAR 07 y las alturas al marco de referencia oficial del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Escapa a los alcances de este apunte, desarrollar en detalle los procedimientos de medición para los dos métodos alternativos descriptos. En cada caso deberán medirse las redes de apoyo necesarias y tomarse los recaudos suficientes con el fin de garantizar la precisión requerida para este tipo de levantamientos.

Pendiente

Un dato que surge de un levantamiento topográfico mediante perfiles es la pendiente del terreno, ya sea en el sentido longitudinal o en el sentido transversal al eje del proyecto.

La pendiente del terreno se refiere a su inclinación en relación con la horizontal. La pendiente se expresa generalmente como un porcentaje, una fracción, o en grados, y representa el cambio del desnivel entre dos puntos dividido por la distancia horizontal que los separa. Por ejemplo, una pendiente del 10% indica que por cada 100 metros horizontales, hay un aumento de 10 metros en la elevación.

La pendiente del terreno es un factor importante en la planificación y el diseño de proyectos de construcción, infraestructura y desarrollo del territorio. Una pendiente pronunciada puede influir en la estabilidad del suelo, la erosión, el drenaje, la accesibilidad y otros aspectos del uso del terreno. Por lo tanto, comprender y determinar

la pendiente del terreno es fundamental para la toma de decisiones en diversas disciplinas, como la ingeniería civil, la agricultura, la geografía y la planificación urbana.

A partir de la información reflejada en el perfil longitudinal de la figura 6 es posible calcular la pendiente en los diferentes sectores, como por ejemplo, el sector comprendido entre las progresivas 0 y 50.

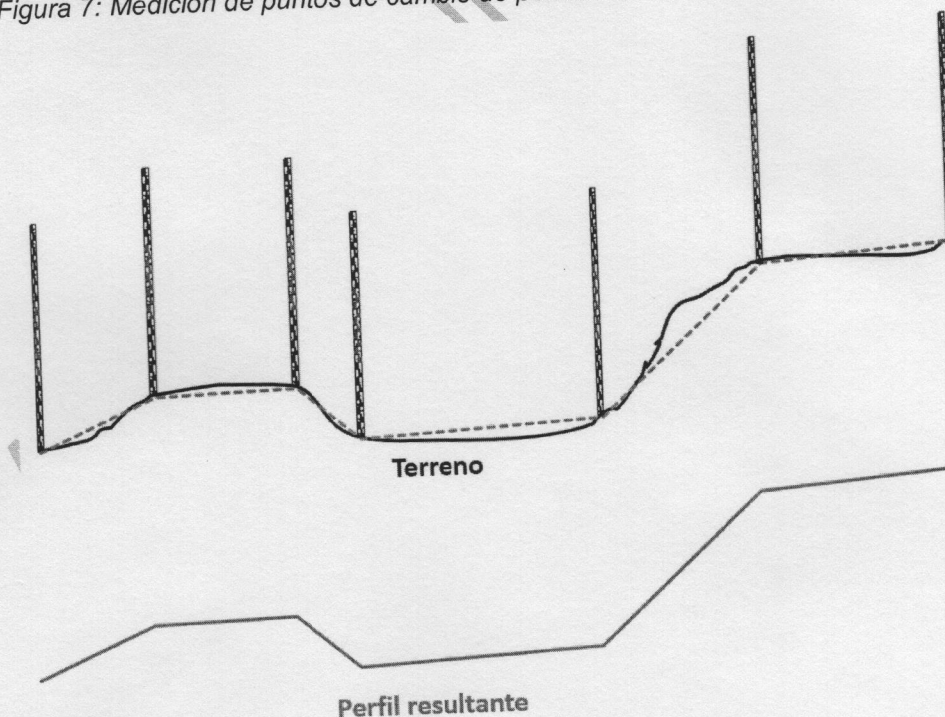
La pendiente (i) se calcula dividiendo el desnivel entre los puntos evaluados por su distancia reducida al horizonte:

$$i = \frac{(16,34m - 15,82m)}{50,00 m} \cdot 100\% = 1\%$$

Luego se lo multiplica por 100% para expresarlo en porcentaje.

Se enfatiza nuevamente la importancia de que el modelo analítico del terreno, representado mediante perfiles transversales y longitudinales, refleje fielmente la realidad. De lo contrario, los valores de pendiente obtenidos de los cálculos no reflejarán adecuadamente la verdadera situación del terreno. Se subraya una vez más la importancia de seleccionar cuidadosamente los puntos donde ocurren cambios en la pendiente, tal como se indica en la figura 7.

Figura 7: Medición de puntos de cambio de pendiente.



En la figura 7, se puede observar cómo se coloca la mira sobre los puntos de interés, donde se ha identificado un cambio significativo de la pendiente que debe ser registrado.

Dado que un perfil es una representación simplificada de un corte del terreno, se considera constante la pendiente del terreno entre dos puntos contiguos.

Red de puntos fijos de apoyo

Para garantizar una representación integral de todo el relevamiento, es crucial que los puntos de todos los perfiles cuenten con alturas referidas a un mismo plano de referencia altimétrico (cero). Por lo tanto, antes de llevar a cabo el levantamiento por perfiles, es necesario contar con una red altimétrica disponible en la zona. Por lo general, esto implica materializar y medir una red de puntos fijos que cubra todo el sector a relevar.

Para establecer esta red altimétrica, se pueden aplicar diversos métodos, como la nivelación compuesta por enlace o por rodeo, o incluso métodos más avanzados que emplean ajustes por mínimos cuadrados. En cualquier caso, es esencial poder calcular el error de cierre de la nivelación cerrada y compararlo con una tolerancia de trabajo predefinida. Posteriormente, se debe realizar la compensación o ajuste necesario para corregir cualquier discrepancia encontrada.

Durante el levantamiento de los puntos de interés de los perfiles, es necesario que cada estación de nivel tenga una visual a un punto de "lectura atrás" con cota conocida. Esta lectura atrás es de suma importancia, ya que a partir de ella se determinará la cota de múltiples puntos de interés en el terreno. Por lo tanto, se recomienda realizar la lectura atrás con el máximo cuidado posible. Para este caso, es conveniente llevar a cabo las tres lecturas de hilo (superior, inferior y medio) con precisión milimétrica. Posteriormente, se debe controlar que la diferencia entre la lectura de hilo medio y el promedio de las lecturas de hilo superior e inferior no supere ± 1 milímetro. Este control garantiza que la lectura de hilo medio atrás se efectuó correctamente.

Es factible llevar a cabo la medición de la red de apoyo y el levantamiento por perfiles de forma simultánea, lo que puede resultar en un ahorro significativo de tiempo. Sin embargo, esta práctica conlleva un mayor riesgo de cometer errores groseros o de omitir mediciones importantes, por lo que es necesario tomar precauciones adicionales para garantizar la precisión y la integridad de los datos recopilados.

Por lo general, al contar con una red de puntos fijos altimétricos ya medida y compensada, se lleva a cabo el levantamiento de puntos de interés de los perfiles al mismo tiempo que se incorporan puntos fijos intermedios a la red según sea necesario.

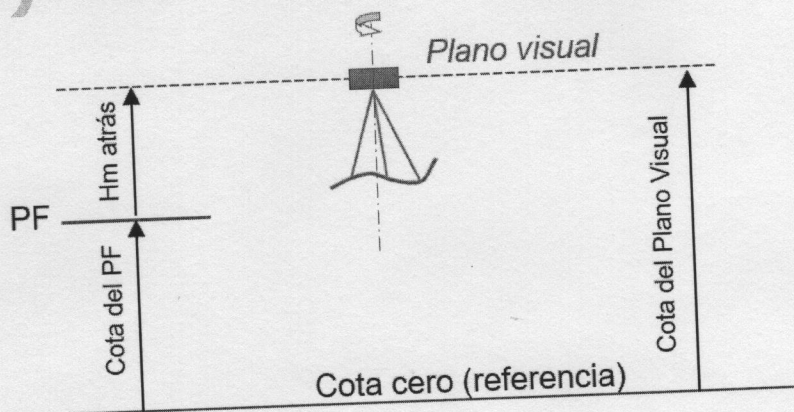
Una práctica común, especialmente cuando los perfiles transversales incluyen numerosos puntos, es establecer una estación por cada perfil. En estos casos, y dependiendo de la disponibilidad de la red de nivelación, puede ser necesario densificarla. De esta manera, se realiza una lectura atrás hacia un punto de cota conocida y una lectura adelante hacia un nuevo punto fijo. A su vez se miden todos los puntos de interés que componen el perfil transversal, siendo estas también lecturas adelante. En estos casos, en los puntos fijos se harán las tres lecturas de hilo al milímetro mientras que en los puntos de interés solamente el hilo medio al centímetro (ver Ejemplo 2).

Es preciso hacer una distinción entre lo que se denomina "lectura atrás" y "lectura adelante". La lectura atrás se realiza en un punto de cota conocida (o ya medido). Por otro lado, se llama lectura adelante a aquellas mediciones que se efectúan en puntos cuya cota aún no se conoce. Es importante comprender que la designación de atrás o adelante no refiere a la ubicación física de los puntos con respecto a la estación del nivel, sino más bien a si la cota del punto en cuestión ya ha sido determinada o no.

Cota del plano visual

Como se ha mencionado, en un levantamiento mediante perfiles, desde cada estación se realizan múltiples lecturas adelante, una por cada punto que se levanta. En estos casos, el método más práctico de trabajo es el siguiente: a partir de la cota conocida del punto fijo y la lectura de hilo medio sobre el mismo, se calcula la cota del plano visual (CPV). Es decir, se determina la cota del plano horizontal que se genera cuando el eje de colimación del anteojo gira alrededor del eje horizontal.

Figura 8: Cota del plano visual

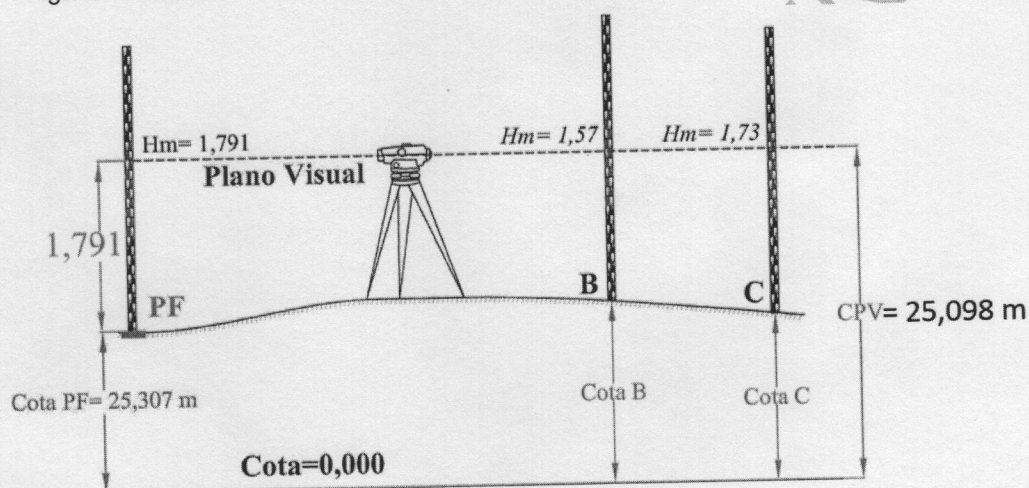


Para calcular la CPV se deben sumar la cota del punto conocido más la lectura atrás realizada sobre el mismo:

$$CPV = \text{Cota del PF} + Hm \text{ atrás}$$

El cálculo de la cota del plano visual se representa en la figura 8. Esta magnitud denominada CPV permite calcular rápidamente las cotas de los puntos de interés (lecturas adelante). La cota de un punto de interés dado se obtiene restándole a la CPV de esa estación, su lectura de hilo medio delante (ver ejemplo de la figura 9).

Figura 9: Cálculo de las cotas de puntos de interés.



Se analiza a continuación el ejemplo desarrollado en la figura 9. La lectura atrás se realizó sobre el punto de cota conocida PF. En este supuesto, hay dos lecturas adelante, en los puntos de interés B y C. Primero debe ser calculada la CPV:

$$CPV = \text{cota PF} + \text{lectura Hm atrás.}$$

$$CPV = 25,307 + 1,791 = 25,098 \text{ m}$$

Luego, a partir de la CPV se calculan las cotas de los puntos de interés utilizando las respectivas lecturas adelante:

$$\text{Cota B} = CPV - Hm_B = 25,098 - 1,57 = 23,52$$

$$\text{Cota C} = CPV - Hm_C = 25,098 - 1,73 = 23,36$$

IMPORTANTE: Si se tienen las lecturas de Hm adelante efectuadas al centímetro (dos decimales) entonces la cota resultante no puede estar al milímetro (tres decimales).

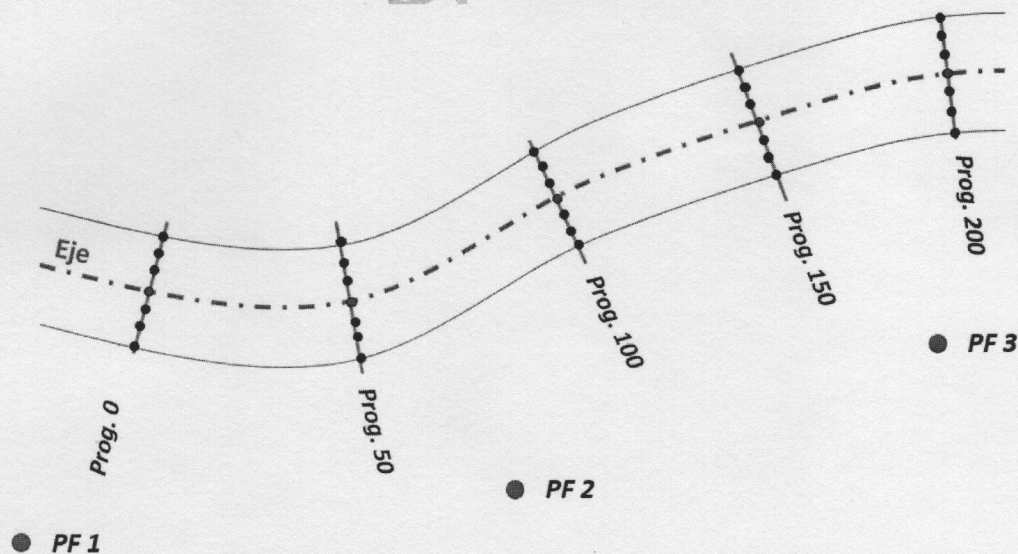
Dado que normalmente las lecturas adelante se realizan con precisión centimétrica, las cotas resultantes tendrán esa misma precisión.

En la figura 10 se representa a modo de ejemplo una red de puntos fijos medida para dar apoyo a un levantamiento mediante perfiles utilizando el método hasta aquí descripto. En este ejemplo, los puntos fijos PF1, PF2 y PF3 pertenecen a una red altimétrica sobre la que se apoyará el levantamiento por perfiles. Tal como se ha establecido, esta red debe ser materializada, medida y compensada antes de la medición de los perfiles.

Lo más común es que la línea de nivelación correspondiente a la red de puntos fijos altimétricos se disponga de forma paralela a la zona a relevar. Esto se debe a que, en este tipo de tareas, el desarrollo de la zona de trabajo suele ser lineal.

En la figura 10 se muestran los perfiles transversales correspondientes a las progresivas 0, 50, 100, 150 y 200. En cada uno de estos perfiles, se han identificado los puntos de interés sobre los cuales se llevarán a cabo las lecturas adelante necesarias para su relevamiento. Para realizar las lecturas atrás, se ha medido la red a la cual pertenecen los puntos fijos PF1, PF2 y PF3. Dado que estos puntos fijos forman parte de la misma red altimétrica, todas las cotas de los puntos relevados a partir de ellos estarán referidas a esta red.

Figura 10: Red de apoyo altimétrica para un levantamiento por perfiles.



En el proceso de nivelación de los puntos de interés, basta con realizar una sola lectura a un punto de cota conocida (atrás) y luego todas las lecturas adelante que sean necesarias. Sin embargo, como en todo trabajo topográfico, es fundamental llevar a

cabo controles. Por lo tanto, una vez que se han medido todos los puntos de interés desde una estación de nivel, es necesario repetir la lectura atrás. Este control adicional asegura que en el levantamiento de puntos no se hayan cometido errores groseros, como por ejemplo errores en la colocación de la mira sobre el punto, errores en la lectura inicial, o problemas con el instrumento.

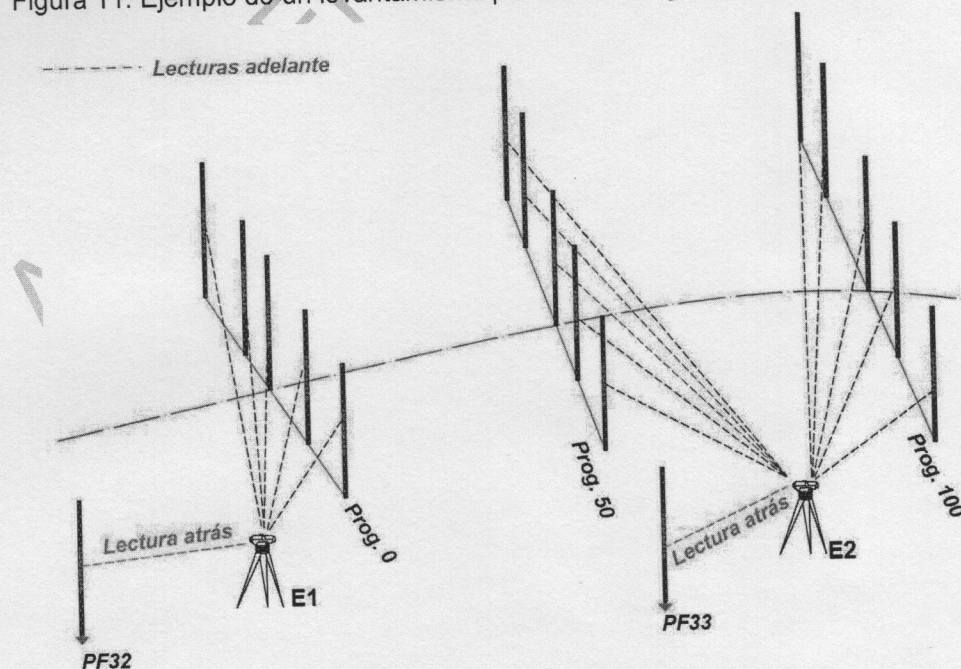
Desarrollo del Ejemplo 1

En la figura 11 está representado un ejemplo hipotético en el que se levantaron tres perfiles transversales correspondientes a las progresiva 0, 50 y 100 m. Para dar apoyo a este trabajo previamente se midió y compensó una red de puntos fijos altimétricos. En el entorno de los perfiles medidos se encuentran los puntos fijos PF32 y PF33 de la red mencionada.

Se midió el perfil de la progresiva 0 haciendo lectura atrás en el PF32 y luego lectura adelante en los cinco puntos de ese perfil. Al finalizar se mide nuevamente el PF 32 como tarea de control.

Luego, desde una nueva estación, se hace lectura atrás en el PF33 y se leen adelante los puntos correspondientes a los perfiles de las progresivas 50 y 100, antes de levantar el nivel se mide nuevamente el PF33 realizando el control correspondiente.

Figura 11: Ejemplo de un levantamiento por nivelación geométrica de líneas.



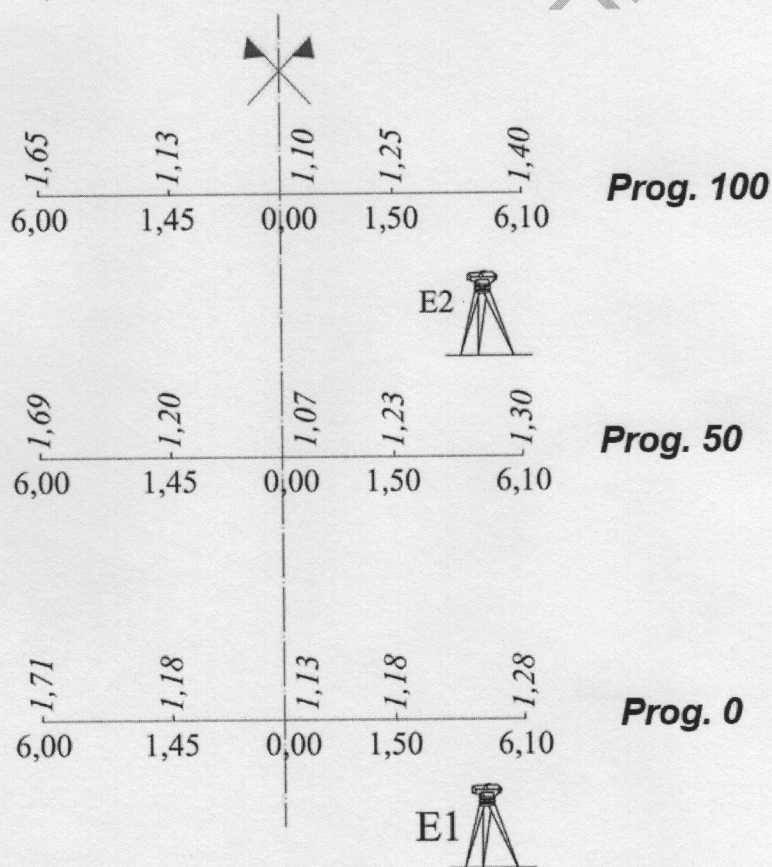
Registro de campo

En la figura 12 se ilustra el método utilizado para registrar los datos de campo. Los datos levantados se representan de la siguiente manera (figura 12): las lecturas de hilo medio se anotan verticalmente, mientras que las distancias al eje se anotan horizontalmente. En la parte inferior de la hoja (figura 12) se registra el primer perfil (correspondiente a la menor progresiva). Luego, en orden ascendente, se registran los perfiles restantes.

Para cada punto medido debe determinarse perfectamente:

- Lectura de hilo medio,
- progresiva y distancia al eje y
- CPV (lectura atrás y PF leído).

Figura 12: Ejemplo 1. Registro de datos en campo.



Cálculo de las cotas de los puntos levantados

Nótese que los hilos medio adelante se midieron al centímetro, es por ellos que las cotas se obtienen con dos decimales.

Cálculo de la CPV en E1:

Punto fijo PF32.

Cota PF32= 56,308 m.

Desde E1 se lee atrás en este punto 2,09.

$$\text{CPV E1} = 56,308 + 2,09 = 58,40 \text{ m}$$

Cálculo de la CPV en E2:

Punto Fijo PF33.

Cota PF33= 58,094 m.

Desde E2 se lee atrás en este punto 1,83.

$$\text{CPV E2} = 58,094 + 1,83 = 59,92 \text{ m}$$

Tabla 1: Ejemplo. Cálculo de las cotas de los puntos levantados.

Estación	Lectura atrás	Progresiva	Distancia al eje	Lectura adelante	CPV	Cota de puntos
E1	PF32 cota 56.308 Hm= 2.09	0	0.00	1.13	58.40	57.27
		0	1.50	1.18		57.22
		0	6.10	1.28		57.12
		0	1.45	1.18		57.22
		0	6.00	1.71		56.69
E2	PF33 Cota 58.094 Hm= 1.83	50	0.00	1.07	59.92	58.85
		50	1.50	1.23		58.69
		50	6.10	1.30		58.62
		50	1.45	1.20		58.72
		50	6.00	1.69		58.23
		100	0.00	1.10		58.82
		100	1.50	1.25		58.67
		100	6.10	1.40		58.52
		100	1.45	1.13		58.79
		100	6.00	1.65		58.27

Nótese que los hilos medio adelante se midieron al centímetro, es por ellos que las cotas se obtienen con dos decimales.

Representación gráfica de los perfiles transversales

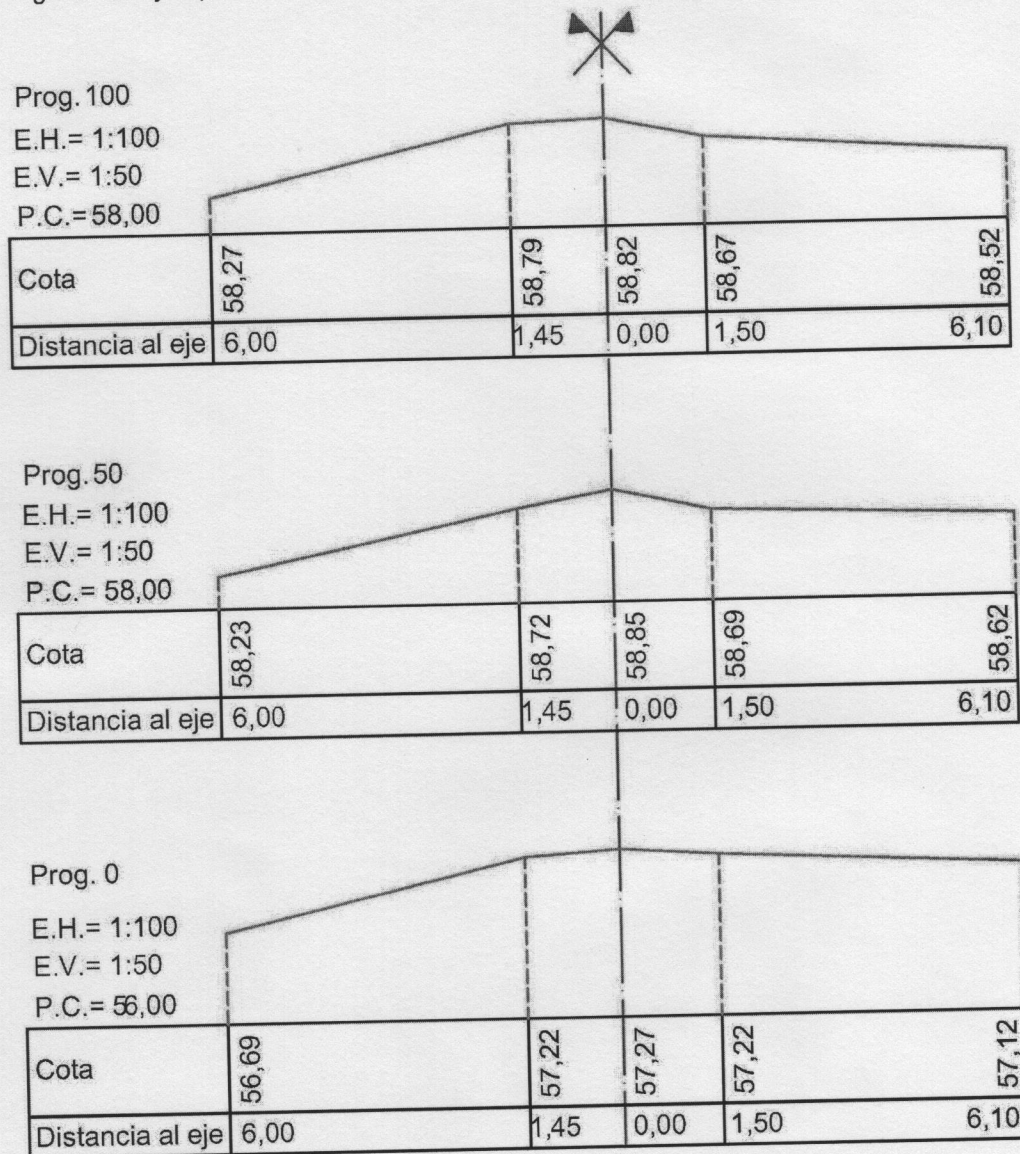
En la figura 13 se han trazado los perfiles transversales correspondientes al ejemplo 1 que se está estudiando. Como se ha especificado previamente, el perfil correspondiente a la progresiva más baja se representa en la parte inferior de la hoja, seguido por los perfiles de progresivas superiores en sentido ascendente.

Para resaltar el relieve, las cotas se representan en una escala mayor (con un denominador más pequeño) que las distancias al eje. En este ejemplo, las cotas se han

representado a una escala de 1:50, mientras que las distancias al eje se han dibujado a una escala de 1:100. En cada perfil transversal se indica la progresiva a la que corresponde.

En el perfil correspondiente a la progresiva 0, el plano de comparación se ha fijado en 56 m, mientras que para los perfiles restantes se ha adoptado un valor de 58 m.

Figura 13: Ejemplo. Representación gráfica de los perfiles transversales.

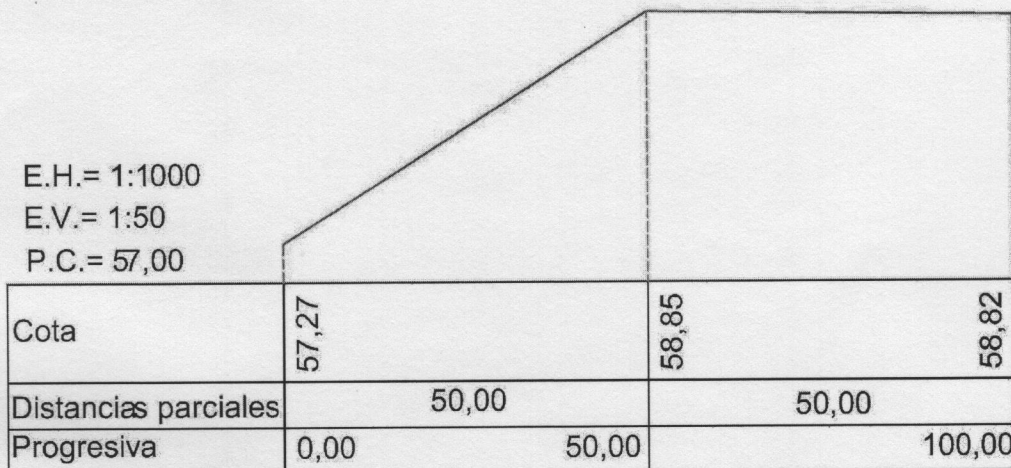


Representación gráfica del perfil longitudinal

Con los puntos medidos sobre el eje, de cada perfil transversal, se construye el perfil longitudinal (fig. 14). Este perfil constituye una representación de un corte del proyecto

a lo largo de su eje. Mientras que los perfiles transversales representan cortes perpendiculares al eje.

Figura 14: Ejemplo. Perfil longitudinal.



En la representación del perfil longitudinal de la figura 14, se pueden observar las escalas de representación adoptadas. La escala horizontal seleccionada para representar las distancias del progresivo es de 1:1000. En cuanto a las cotas, se utilizó un plano de comparación de 57 metros y una escala vertical de 1:50.

Al comparar ambas escalas, se deduce que la exageración vertical es de 20 veces. Esto significa que las alturas se han amplificado 20 veces en relación con las distancias horizontales, lo que resalta el relieve y permite una mejor visualización de las variaciones en la elevación a lo largo del perfil longitudinal.

Conveniencia de adoptar un plano de comparación

En la parte derecha de la figura 15 se presenta un ejemplo de lo que sucede cuando, en lugar de utilizar un plano de comparación adecuado, se representan las cotas desde el nivel de referencia cero (0,00 m).

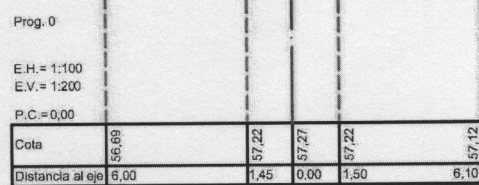
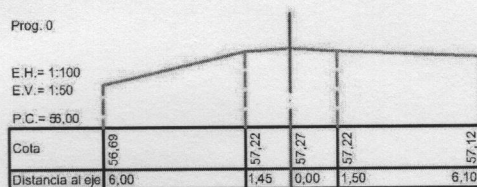
En la parte izquierda de la figura 15 se muestra nuevamente el perfil transversal del ejemplo, correspondiente a la progresiva 0. Es evidente que, para ajustarse al mismo espacio en la hoja, se ha tenido que adoptar una escala vertical más reducida (1:200), lo que resulta en una pérdida de detalle en la representación. Se destaca el desperdicio de espacio en el que no se incluye información relevante.

Se ha añadido el perfil original en la figura 15 para facilitar la comparación. Se observa que en el perfil que utiliza un punto de cota cero se pierde la exageración

vertical, lo que resulta en un aplanamiento del terreno y la incapacidad para representar con precisión el relieve.

Este ejemplo subraya la importancia de elegir un plano de comparación adecuado para la representación de perfiles transversales. Una selección inadecuada puede comprometer la visualización y comprensión del terreno en los levantamientos topográficos.

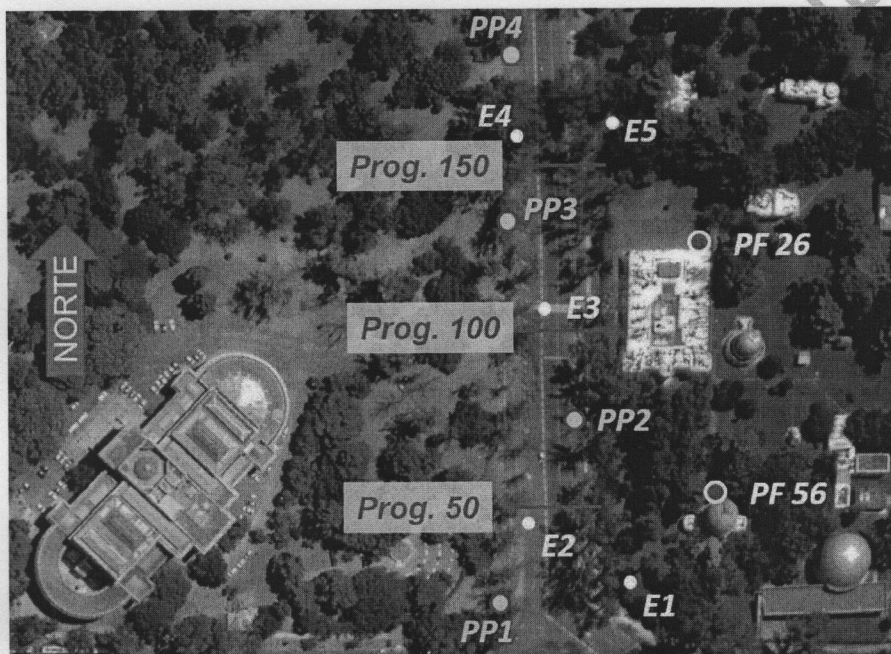
Figura 15: Análisis del PC.



Ejemplo 2: Práctica de perfiles

Para continuar con el análisis de los levantamientos topográficos mediante perfiles, utilizando nivelación geométrica, a modo de ejemplo se muestran los resultados de una práctica de campo realizada por alumnos que cursaron Topografía II (año 2013). En la figura 16 se muestra la zona de trabajo, se trata de la Av. Centenario del Paseo del Bosque de la ciudad de La Plata, en el sector ubicado frente a la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas.

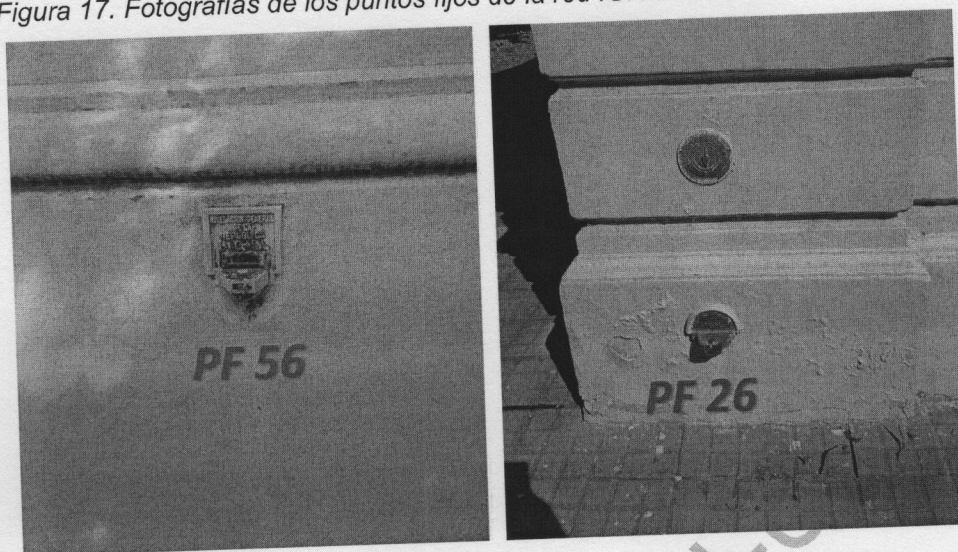
Figura 16. Práctica de perfiles en Paseo del Bosque, Av. Centenario.



El relevamiento consistió en levantar tres perfiles transversales correspondientes a las progresivas de 50, 100 y 150 metros. En el caso analizado, el progresivo no corresponde al cero del proyecto sino a un cero arbitrario establecido sobre el eje de la avenida para los fines de la práctica de campo. Cada perfil transversal cuenta con nueve puntos, uno sobre el eje y cuatro a cada uno de sus lados.

En la zona se cuenta con dos puntos fijos: el PF 56 y el PF 26 (figuras 16 y 17), ambos de la red altimétrica del IGN (ex IGM). Se realizó un traslado de cota cerrado por el método de enlace a los puntos fijos denominados PP1, PP2, PP3, y PP4. Estos puntos PP (Puntos de Paso) se utilizaron para transporte de cota y para la nivelación de los perfiles. La primera lectura atrás fue al PF 56 y la última lectura adelante al PF26, cerrando así la nivelación.

Figura 17. Fotografías de los puntos fijos de la red IGN utilizados.



La primera estación E1 se utilizó para transporte de cota de PF56 (atrás) a PP1 (adelante). Con una segunda estación E2 se realizó lectura atrás en PP1 y adelante en los nueve puntos de interés del perfil de progresiva 50, también se realizó lectura adelante en el PP2. En la tercera estación E3 se realizó lectura atrás en PP2 y adelante en los puntos del perfil de progresiva 100, además de la lectura adelante para el punto fijo PP3. Con la cuarta estación de nivel E4, la lectura atrás se efectuó sobre PP3 y adelante sobre los puntos del perfil de progresiva 150, así como sobre el punto PP4. La última estación de nivel fue E5, en esta se hizo lectura atrás en el punto fijo PP4 y adelante en el punto de la red IGN PF26. Esta última estación se realizó con el único propósito de cerrar la nivelación.

A modo de control, una vez finalizadas todas las mediciones desde cada estación, se repitió la lectura inicial (atrás) para verificar que el equipo no fue perturbado durante las mediciones. En el caso de este ejemplo, estos controles se llevaron a cabo al final de cada estación; sin embargo, estas mediciones de control no están registradas en la tabla 2.

Análisis de los datos levantados.

En la tabla 2 se muestran los datos levantados, tanto para los perfiles transversales como para la medición de los puntos fijos de paso (PP). Se muestran también las distancias entre puntos correspondientes a los perfiles transversales y las denominaciones de esos puntos. Para las distancias de los perfiles transversales, el signo – (menos) indica que se midió a la izquierda del eje, mientras que el signo + (más) que se midió a la derecha.

Tabla 2: Traslado de cota y levantamiento de los perfiles. Mediciones y Resultados.

PUNTO VISADO		LECTURAS ATRÁS				LECT. INTERM.	LECTURAS ADELANTE				C.P.V.	COTA PROV.	CORRE C.	COTA DEF.
		hi	hs	hm	dist.		hi	hs	hm	dist.				
PF 56		0.762	1.248	1.005	48.6						18.003			16.998
PP1		1.187	1.597	1.392	41.0		0.303	0.802	0.552	49.9		17.451		17.450
-24.00	LM					1.14						17.70		17.70
-18.00	Vereda					1.18						17.66		17.66
-12.60	Cordón arriba					1.21						17.63		17.63
-12.60	Cordón abajo					1.37						17.47		17.47
-6.00	Pavimento					1.16					18.843	17.68	-0.001	17.68
0.00	EJE					1.01						17.83		17.83
+4.00	Pavimento					1.07						17.77		17.77
+10.70	Cordón abajo					1.23						17.61		17.61
+10.70	Cordón arriba					1.11						17.73		17.73
+15.00	Vereda					1.30						17.54		17.54
+19.00	LM					1.18						17.66		17.66
PP2		1.333	1.762	1.548	42.9		1.191	1.609	1.400	41.8		17.443		17.440
-24.00	LM					1.54						17.45		17.45
-18.00	Vereda					1.63						17.36		17.36
-12.60	Cordón arriba					1.74						17.25		17.25
-12.60	Cordón abajo					1.91						17.08		17.08
-6.00	Pavimento					1.68					18.991	17.31	-0.003	17.31
0.00	EJE					1.55						17.44		17.44
+4.00	Pavimento					1.59						17.40		17.40
+10.65	Cordón abajo					1.88						17.11		17.11
+10.65	Cordón arriba					1.71						17.28		17.28
+15.00	Vereda					1.8						17.19		17.19
+19.00	LM					1.63						17.36		17.36
PP3		1.431	1.787	1.609	35.6		1.546	1.971	1.758	42.5		17.233		17.229
-24.00	LM					1.64						17.20		17.20
-18.00	Vereda					1.72						17.12		17.12
-12.60	Cordón arriba					1.97						16.87		16.87
-12.60	Cordón abajo					2.12						16.72		16.72
-6.00	Pavimento					1.91					18.842	16.93	-0.004	16.93
0.00	EJE					1.77						17.07		17.07
+4.00	Pavimento					1.82						17.02		17.02
+10.65	Cordón abajo					2.11						16.73		16.73
+10.65	Cordón arriba					1.92						16.92		16.92
+15.00	Vereda					1.84						17.00		17.00
+19.00	LM					1.76						17.08		17.08
PP4		1.984	2.433	2.208	44.9		3.182	3.544	3.363	36.2	17.687	15.479	-0.005	15.474
PF26							2.299	2.742	2.521	44.3	-	15.166	-0.006	15.160
				7.762	213.0				9.594	214.7		0.006		

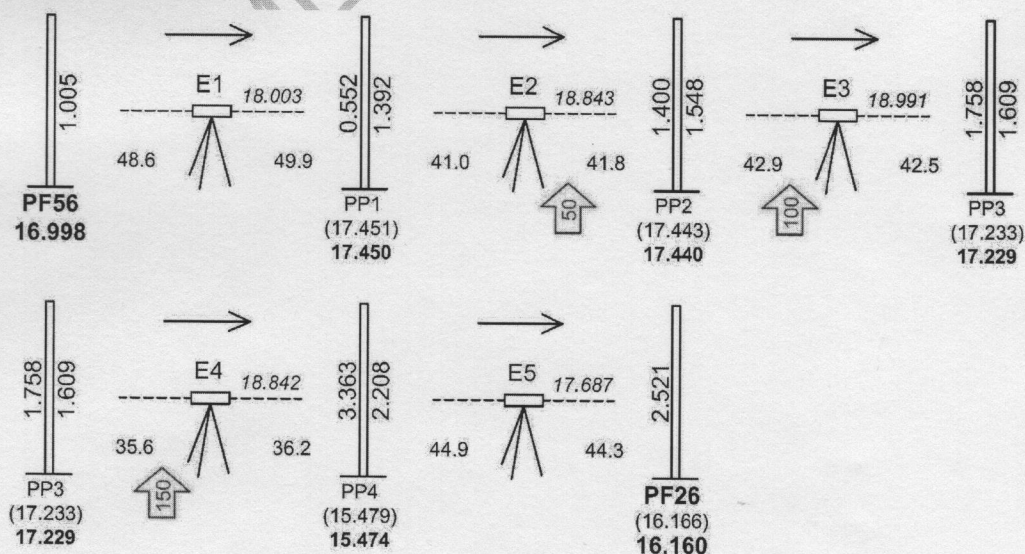
En la figura 18 se muestra el modo en que se han registrado los datos de campo para cada perfil, esa información posteriormente se volcó en la tabla 2.

Figura 18: Registro de datos de los puntos levantados.

													
Hilo medio		1,64	1,72	1,97	2,12	1,91	1,97	1,82	2,11	1,92	1,84	1,76	Prog. 150
Distancia al eje		24,00	18,00	12,60	6,00	0,00	6,00	10,65	15,00	18,00			
Hilo medio		1,59	1,48	1,59	1,96	1,53	1,40	1,44	1,93	1,56	1,65	1,48	Prog. 100
Distancia al eje		24,00	18,00	12,60	6,00	0,00	6,00	10,65	15,00	18,00			
Hilo medio		1,14	1,18	1,21	1,37	1,16	1,01	1,07	1,23	1,11	1,30	1,18	Prog. 50
Distancia al eje		24,00	18,00	12,60	6,00	0,00	6,00	10,65	15,00	18,00			

También en la tabla 2, las columnas "dist." indican la distancia entre mira y nivel, para lecturas atrás y para lectura adelante. Esta distancia determinada por el método estadimétrico se calculó con las constantes $K=100$ y $C=0,0$ correspondientes al nivel automático utilizado. La precisión, propia del método, con que se obtienen estas distancias es de $\pm 0,1$ m.

Figura 19: Representación esquemática del traslado de cota.



Pueden apreciarse en la tabla 2 las diferencias en el registro de los distintos tipos de datos de acuerdo con su importancia. Las lecturas destinadas a la medición de puntos fijos, atrás y adelante, se realizaron al milímetro registrando los tres hilos: inferior, superior y medio. Mientras que las lecturas de los puntos de interés que conforma los perfiles (lecturas intermedias) se midieron solamente al centímetro en hilo medio únicamente.

Cálculo y compensación de las cotas

Para facilitar la interpretación del trabajo realizado, se ha incluido la figura 19, la cual esquematiza el traslado de cota (nivelación cerrada por enlace) realizado simultáneamente con el levantamiento de los tres perfiles transversales. Es importante recordar que este trabajo de nivelación de puntos fijos se llevó a cabo para contar con un punto conocido próximo a cada perfil, lo que permitió realizar la lectura atrás que proporciona una referencia (cota) al plano visual. La ubicación sobre el terreno de los elementos esquematizados en la figura 19 se puede apreciar en la figura 16.

La figura 19 tiene como objetivo representar gráficamente el traslado de cota, por lo que no se incluyen los perfiles transversales. Simplemente se ha dibujado en color rojo la ubicación aproximada de cada perfil, a lo largo de la línea nivelada, indicando el valor de su progresiva. Además, en esta misma figura, debajo de cada punto fijo se indica entre paréntesis su cota provisoria y en negrita, con un tamaño mayor, su cota compensada definitiva.

Durante el trabajo de campo, luego de cada una de las lecturas atrás y adelante, se realizó el control correspondiente de hilos para asegurarse de que el promedio entre h_s e h_i no difiriera en más de ± 1 mm del respectivo h_m leído. Es importante recordar que, los cálculos posteriores siempre se realizan con el valor de h_m leído, no con el promedio calculado.

En los siguientes párrafos se desarrollan los cálculos que permiten llegar a los resultados volcados en la tabla 2. Para este trabajo de nivelación se cuenta con dos datos de partida, la cota del PF 56 de 16.998 m y la cota del PF 26 de 15.160. Estos puntos son, respectivamente, el comienzo y el final de la línea nivelada.

Para calcular la CPV de la estación E1 se realiza la operación:

$$CPV_{E1} = 16.998 \text{ m} + 1.005 \text{ m} = 18.003 \text{ m}$$

Donde el valor 1.005 m corresponde a la lectura de hilo medio (h_m) atrás sobre el punto fijo PF 56.

Luego, también desde E1, se leyó adelante al punto fijo de paso PP1 la lectura de hilo medio 0.552, que permite calcular la cota de este último punto:

$$Cota PP1 = 18.003 \text{ m} - 0.552 \text{ m} = 17.451 \text{ m}$$

De este modo, se ha obtenido la cota provisoria (COTA PROV.) del PP1. Se denomina como provisoria a esa cota, dado que aún no se ha determinado el error de cierre y es posible que debe efectuarse una compensación posterior que ajuste su valor. Se realizan a continuación los cálculos que permiten obtener las distancias entre la estación de nivel E1 y los puntos fijos atrás y adelante. Es fundamental para realizar estos cálculos contar previamente con un gráfico del tipo representado en la figura 19.

$$Distancia PF56 a E1 = 100 * (1.248 \text{ m} - 0.762 \text{ m}) + 0,0 = 48.6 \text{ m}$$

Donde K= 100 es la constante multiplicativa y C=0,0 la constante aditiva del nivel.

Del mismo modo se obtiene la distancia entre la estación E1 y el PP1:

$$Distancia E1 a PP1 = 100 * (0.802 \text{ m} - 0.303 \text{ m}) + 0,0 = 49.9 \text{ m}$$

Se prosigue con el mismo procedimiento:

Para calcular la CPV de la estación E2 se realiza la operación:

$$CPV_{E2} = 17.451 \text{ m} + 1.392 \text{ m} = 18.843 \text{ m}$$

Donde el valor 1.392 m corresponde a la lectura de hilo medio (hm) atrás sobre el punto fijo PP1, cuya cota provisoria determinada en el paso previo fue de 17.451 m.

Posteriormente, desde E2, se leyó adelante al punto fijo de paso PP2 la lectura de hilo medio 1.400, que permite calcular la cota de este último punto:

$$Cota PP2 = 18.843 \text{ m} - 1.400 \text{ m} = 17.443 \text{ m}$$

Se determinó así la cota provisoria del punto fijo PP2.

También, desde E2 se han leído (adelante) los nueve puntos de interés correspondientes al perfil transversal de progresiva 50,00 m. Por ello, utilizando el plano de comparación de E2 con cota 18.843 es posible determinar las cotas de los puntos de ese perfil. A los efectos prácticos se muestra solamente el cálculo de uno de los puntos del perfil, el que corresponde a su eje. Los restantes puntos se calculan del mismo modo, usando el plano de comparación de 18.843 y restando las respectivas lecturas de hilo medio.

Calculo de la cota del eje del perfil de progresiva 50,00 m:

$$Cota_{EJE}^{Prog 50} = 18.843 \text{ m} - 1.01 \text{ m} = 17.83 \text{ m}$$

Nótese que el resultado se expresa solamente con dos decimales dado que la lectura de hilo medio tiene esa resolución.

Una vez calculadas las cotas de todos los puntos del perfil transversal de la progresiva de 50,00 m (ver tabla 2) se continúa con la estación E3. Es importante destacar que las cotas mencionadas son provisionarias. En la última etapa del cálculo se determinarán las cotas compensadas definitivas.

Desde la estación de nivel E3 se leyó atrás al punto PP2 el valor de hm de 1.548 m, por lo tanto la CPV se calcula:

$$CPV_{E3} = 17.443 \text{ m} + 1.548 \text{ m} = 18.991 \text{ m}$$

Con lo cual, la cota provisoria del punto fijo PP3 será:

$$Cota_{PP3} = 18.991 \text{ m} - 1.758 \text{ m} = 17.233 \text{ m}$$

Siendo la medida 1.758 m la lectura de hilo media adelante del punto PP3. Se enfatiza la importancia de interpretar gráficamente la nivelación realizada previamente antes de desarrollar estos cálculos. El esquema gráfico presentado en la figura 19 proporciona una representación visual que facilita la realización de los cálculos de manera secuencial y ordenada.

Desde la estación de nivel E3 fueron medidos (lecturas adelante) los puntos que conforman el perfil transversal de la progresiva 100, por lo tanto las cotas de estos puntos deben calcularse con la CPV de 18.991 m. Nuevamente, y solo a los efectos prácticos, se muestra el cálculo de uno solo de los puntos del perfil, siendo éste el que corresponde al eje. Desde E3 la lectura adelante al eje de ese perfil fue de 1.55 m.

$$Cota_{EJE}^{Prog 100} = 18.991 \text{ m} - 1.55 \text{ m} = 17.44 \text{ m}$$

Siguiendo con el itinerario realizado en campo, se prosigue calculando las cotas de los puntos medidos desde la estación de nivel E4. En esta estación la lectura atrás se hizo sobre el punto PP3, correspondiéndole una medida del hilo medio de 1.609 m, por lo que la CPV se obtiene:

$$CPV_{E4} = 17.233 \text{ m} + 1.609 \text{ m} = 18.842 \text{ m}$$

Desde E4 se realizó la lectura adelante al punto denominado PP4, registrando para el hilo medio la medida de 3.363 m, por lo que la cota provisoria de este punto fijo será:

$$Cota_{PP4} = 18.842 \text{ m} - 3.363 \text{ m} = 15.479 \text{ m}$$

Del mismo modo que en las estaciones de nivel precedentes, desde E4 se midió un perfil transversal, ese fue el de la progresiva 150,00 m. Igual que en los casos anteriores, a modo de ejemplo, se muestra únicamente el cálculo de la cota del eje del perfil transversal. Sobre el punto en cuestión se hizo la lectura adelante de hilo medio de 1.77 m, entonces el cálculo de la su cota se efectúa:

$$Cota_{EJE}^{Prog 150} = 18.842 \text{ m} - 1.77 \text{ m} = 17.07 \text{ m}$$

Finalmente, se realizan los cálculos con las mediciones efectuadas desde la última estación E5. Esta estación fue necesaria para cerrar el traslado de cota en el punto altimétrico de la red IGN denominado PF26; desde esta estación no se midió ningún perfil.

En E5 la lectura atrás se efectuó sobre el punto fijo PP4 de cota 15.479, correspondiéndole la medida del hilo medio de 2.208, por lo que la CPV se calcula:

$$CPV_{E5} = 15.479 \text{ m} + 2.208 \text{ m} = 17.687 \text{ m}$$

La única lectura adelante en esta estación fue al PF26, registrándose una medida del hilo medio de 2.521 m. La cota calculada (provisoria) para ese punto fijo es:

$$Cota \text{ PF } 26 = 17.687 \text{ m} - 2.521 \text{ m} = 15.166 \text{ m}$$

En esta instancia ya puede determinarse el error de cierre, para ello se resta a la cota calculada (15.166 m) del PF 26 el valor de cota que se tiene como dato (15.160 m). El error de cierre (e) para la nivelación cerrada por enlace que se practicó es:

$$e = 15.166 \text{ m} - 15.160 \text{ m} = +0.006 \text{ m}$$

Para establecer si este error es aceptable, se compara el valor de su módulo con el de la tolerancia adoptada para el trabajo:

$$T = \pm 0,015 \sqrt{0,4277} = \pm 0,009 \text{ m}$$

Siendo 0,4277 la distancia total nivelada expresada en kilómetros. Este valor se calcula sumando todas las distancias atrás más todas las distancias adelante, del total de las estaciones. Para una mejor visualización de este cálculo ver la figura 20.

Dado que el valor del error de cierre se encuentra dentro del intervalo dado En caso contrario, debería realizarse nuevamente todo el trabajo.

En la tabla 2 se han volcado los resultados calculados hasta el momento.

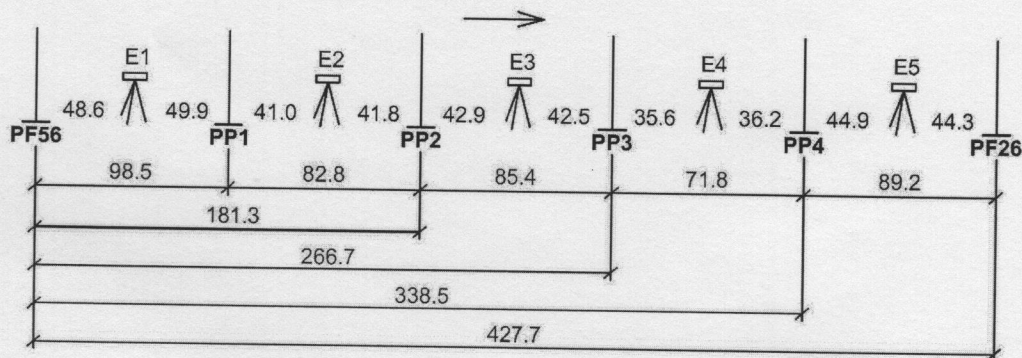
Compensación de la nivelación

Las últimas tres columnas de la tabla 2 corresponden a cotas provisorias, correcciones y cotas definitivas, respectivamente. Las cotas provisorias están afectadas por los errores de medición, que dan lugar a un error de cierre distinto a cero. Las correcciones se calculan en función de la distancia acumulada a cada punto. Finalmente, se calculan las cotas definitivas, sumando a las provisorias sus respectivas correcciones.

Una vez comprobado que el error de cierre es menor a la tolerancia es posible realizar la compensación de las cotas provisorias. Para ello se considera la distancia acumulada a cada punto fijo, en función del inicio y del sentido de avance. Luego se establece la corrección a cada cota provisoria estableciendo una relación lineal con la distancia

acumulada. Antes de comenzar con estos cálculos es recomendable graficar las estaciones, los puntos nivelados y las distancias involucradas para evitar cualquier tipo de confusión. En la figura 20 se representan gráficamente las distancias acumuladas a cada punto fijo, calculadas a partir de las lecturas realizadas desde cada estación.

Figura 20: Distancias acumuladas a cada punto fijo.



La ecuación general para el cálculo de las correcciones es:

$$c_i = -e \frac{d_i}{L}$$

Donde c_i es la corrección para el punto i , d_i es la distancia acumulada al punto i en metros y L es la longitud total nivelada también en metros.

Entonces:

$$c_{PP1} = -0,006 \, m \frac{98,5 \, m}{427,7 \, m} = -0,00138 \, m \cong -0,001 \, m$$

$$c_{PP2} = -0,006 \, m \frac{181,3 \, m}{427,7 \, m} = -0,00254 \, m \cong -0,003 \, m$$

$$c_{PP3} = -0,006 \, m \frac{266,7 \, m}{427,7 \, m} = -0,00374 \, m \cong -0,004 \, m$$

$$c_{PP4} = -0,006 \, m \frac{338,5 \, m}{427,7 \, m} = -0,00474 \, m \cong -0,005 \, m$$

$$c_{PF26} = -0,006 \, m \frac{427,7 \, m}{427,7 \, m} = -0,006 \, m$$

En cada caso, se han redondeado las correcciones al milímetro, debido a que las cotas se calculan con esa precisión. En la tabla 2 se muestra la aplicación de estas correcciones a las cotas provisionales de cada punto fijo. Las cotas compensadas

definitivas se encuentran en la última columna "COTA DEF." El procedimiento consiste en realizar una simple suma algebraica:

$$COTA DEF. = COTA PROV. + CORREC.$$

Las cotas de los puntos de los perfiles transversales se compensan siguiendo el siguiente criterio: se corrigen con la misma magnitud que se ha corregido la cota de su punto de lectura atrás correspondiente. Por lo tanto:

- Los puntos del perfil de progresiva 50,00 m se compensan con -0.001 m, ya que se realizó una lectura atrás en el punto PP1.
- Por otro lado, los puntos del perfil de 100,00 m se compensan con -0.003 m, coincidiendo con la corrección aplicada al PP2.
- Finalmente, los puntos del perfil transversal de 150,00 m se compensan con -0.004 m, dado que la lectura atrás se realizó en el PP3.

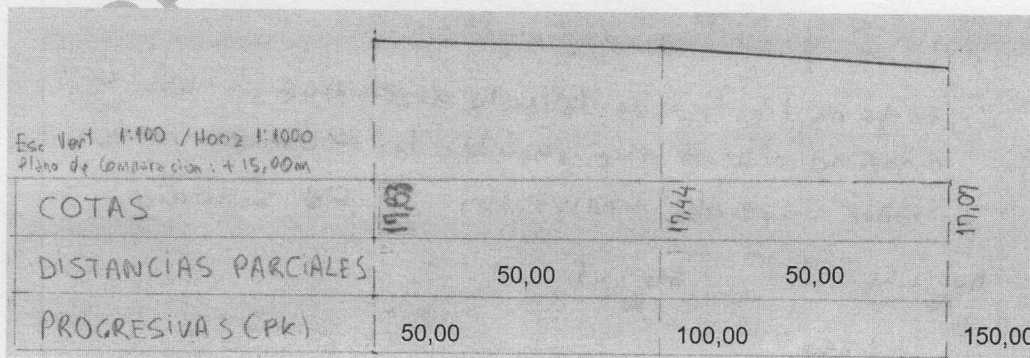
En este caso particular, dado que las correcciones son mínimas y se aplican con precisión milimétrica, y considerando que las cotas de los perfiles son en centímetros, al sumar y redondear con dos decimales, los resultados permanecen sin cambios.

Representación gráfica de los perfiles

Las figuras 21 y 22 muestran los perfiles longitudinal y transversales, respectivamente.

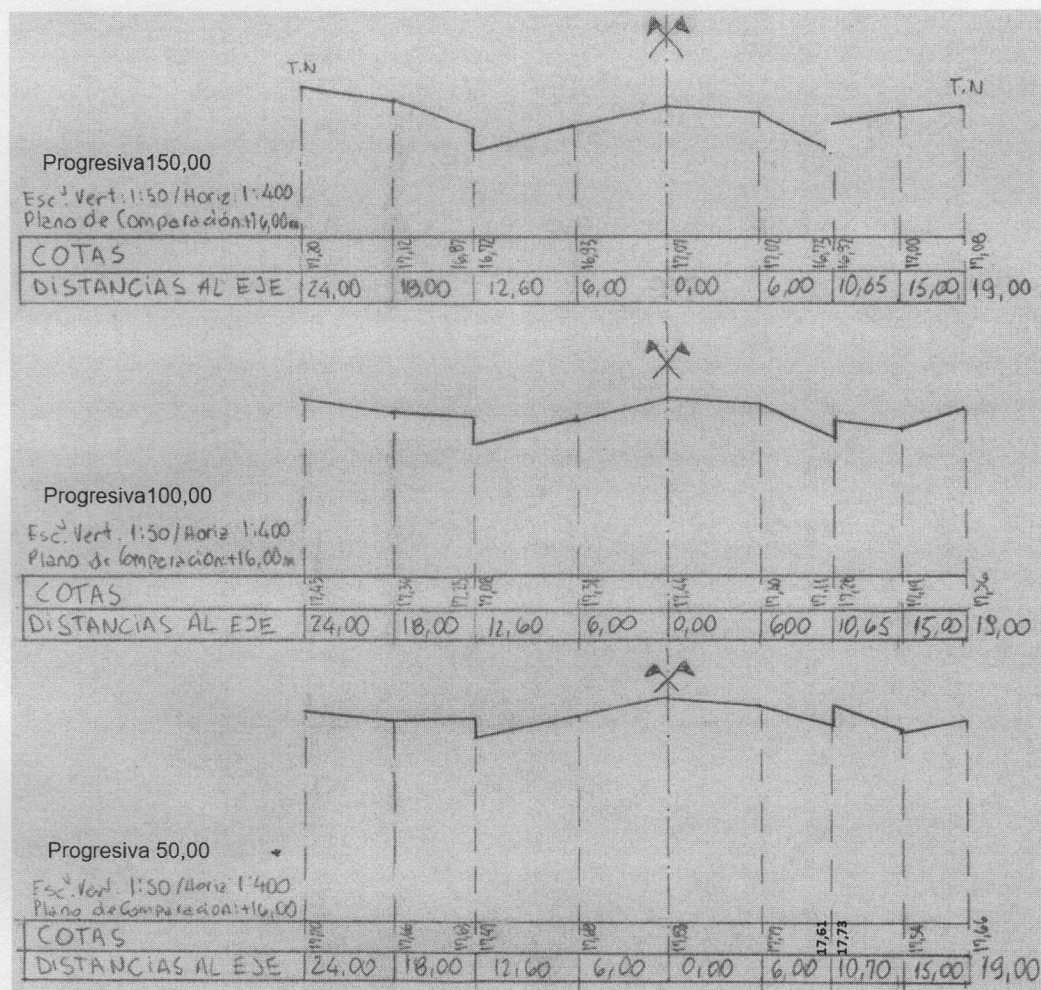
Para el perfil longitudinal se adoptó una escala horizontal de 1:1000 y una escala vertical de 1:100, por lo que la exageración del relieve es de 10 veces. El plano de comparación adoptado es de 15,00 m.

Figura 21: Representación gráfica del perfil longitudinal.



Para la representación de los perfiles transversales, se pudo adoptar en los tres casos el mismo plano de comparación de 16,00 m. Las escalas utilizadas fueron de 1:400 para las distancias y de 1:50 para las alturas respecto al plano de comparación. En este caso la exageración vertical corresponde a ocho veces.

Figura 22: Representación gráfica de los perfiles transversales.



Bibliografía

- DAVIS, R, FOOTE, F y KELLY, J (1979). Tratado de Topografía. Aguilar.
 JORDAN, W (1978). Tratado General de Topografía (Tomo II – Altimetría, Taquimetría, Fotogrametría y Replanteos). Editorial Gustavo Gili, S. A.

VOLQUARDTS, G y AGÜERO VERA, N (1956). Tratado de Agrimensura General y Aplicada (Tomo I- Agrimensura General). Editorial Labor.

Cátedra Topografía II (2020). Videos de YOUTUBE: Relevamiento mediante perfiles - Parte1 <https://youtu.be/vuLXhcnSJlq> y Parte 2 https://youtu.be/laTWpcc_d-w

Ejercitación

Ejercicio 1

Para una obra de mejoramiento de calle se midieron tres perfiles transversales desde dos estaciones de nivel diferentes.

- Desde la estación E1 se midieron los perfiles de progresiva 0,00 m y 50,00 m.
- Desde la estación E2 se midió el perfil de progresiva 100,00 m.

Para la estación E1 se realizó la lectura atrás sobre el punto PF1 (Cota 90,651 m):

hs= 2,056 hi= 1,616 hm=1,835

Para la estación E2 se leyó atrás en el punto PF2 (Cota 89,035 m):

hs= 1,324 hi= 0,956 hm=1,140

Para todos los perfiles las distancias transversales se midieron desde la Línea de Edificación izquierda hacia la derecha. Los datos relevados (en metros) son los siguientes:

Progresiva 0,00							
Descripción	LE izq.	Zanja	BC	EJE	BC	Zanja	LE der.
Distancia	0,00	1,12	3,50	7,50	11,60	14,00	15,10
Lectura de mira	0,95	2,01	1,32	1,12	1,20	1,94	0,89
Progresiva 50,00							
Distancia	0,00	1,12	3,50	7,50	11,60	14,00	15,10
Lectura de mira	1,74	2,69	2,01	1,88	2,03	2,66	1,80
Progresiva 100,00							
Distancia	0,00	1,12	3,50	7,50	11,60	14,00	15,10
Lectura de mira	2,01	2,69	2,30	2,13	2,36	2,99	1,99

Se pide:

- Con la información disponible realizar los cálculos necesarios y representar gráficamente el perfil longitudinal.
- Calcular y representar gráficamente los tres perfiles transversales.

Ejercicio 2

Se realizó un relevamiento urbano mediante el método de nivelación geométrica de enlace, partiendo de la ménsula **G-173** y llegando a la ménsula **G-177**, ambas con valores de cota conocidos (Indicados en planilla). Las lecturas de mira obtenidas se consignan en la planilla adjuntada.

Se pide:

- Calcular la cota provisoria y definitiva de todos los puntos relevados realizando los controles correspondientes. Completar la planilla.
- Dibujar los perfiles transversales relevados, en escalas usuales.

PUNTO VISADO	LECTURAS ATRÁS				LECT. INTERM.	LECTURAS ADELANTE				C.P.V.	COTA PROV.	CORRE. C.	COTA DEF.
	hs	hi	hm	dist.		hs	hi	hm	dist.				
G-173		0.719	0.179	0.449									17.723
P.P. 1		1.847	1.194	1.520		2.070	1.508	1.789					
Pavim.	1				1.59								
Umbral	2				1.52								
Porton	3				1.47								
Garage	4				1.33								
0,00	L.M.				0.99								
3,00	zanja				1.28								
7,45	eje				1.10								
11,70	zanja				1.26								
14,80	L.M.				1.03								
P.P. 2		1.931	1.238	1.584		1.441	0.770	1.105					
Porton	5				1.53								
Entrada	6				1.70								
Umbral	7				1.41								
0,00	L.M.				1.37								
3,20	zanja				1.62								
7,50	eje				1.29								
12,00	zanja				1.60								
15,10	L.M.				1.09								
P.P. 3		1.779	1.044	1.411		1.225	0.517	0.871					
Garage	8				1.23								
P.P. 4		1.938	1.104	1.521		1.400	0.617	1.008					
P.P. 5		2.016	1.228	1.622		1.266	0.413	0.839					
P.P. 6		1.854	1.031	1.442		1.057	0.265	0.661					
P.P. 7		2.099	1.385	1.742		1.501	0.666	1.083					
G-177						0.988	0.253	0.620					21.033

Aclaración: Se levantaron dos perfiles transversales con 5 puntos c/u. Los puntos que componen cada perfil son: "L.M.", "zanja", "eje", "zanja" y "L.M." Las distancias de cada perfil se midieron desde la LM izquierda.