

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Topografía aplicada al mantenimiento de vías de la línea 12 del STC

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Geomático

P R E S E N T A

Daniel Soriano Santiago

ASESORA DE INFORME

M.I. Norma Isela Vega Deloya



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026

PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado TOPOGRAFIA APLICADA AL MANTENIMIENTO DE VIAS DE LA LINEA 12 DEL STC que presenté para obtener el titulo de INGENIERO GEOMÁTICO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

DANIEL SORIANO SANTIAGO
Número de cuenta: 318089296

Agradecimientos

Mi familia;

Mi mamá Clara Luisa Santiago Jiménez por apoyarme en todo momento y creer en mi en todo momento y no poner en duda mis capacidades, nada de esto sería posible sin tu enorme amor incondicional.

Mi papá Julián Soriano Santiago por apoyarme como un padre responsable.

Mi hermana Ana Cristina Soriano Santiago y Mi hermano Gabriel Soriano Santiago por orientarme en todo mi proceso desde la niñez hasta la adultes, además de ayudarme en base a sus experiencias como hermanos mayores.

Mi Asesora la M.I Norma Isela Vega Deloya y al M.A Luis Bruno Garduño Castro por involucrarse en mí, así como sus consejos para desarrollarme como profesional.

Mis Compañeros de trabajo los Ing. Diego Canedo Rebolledo y Andrea Hernández Bobadilla y el Equipo de Polar Topografía por compartirme sus conocimientos y abrirme las puertas a la topografía aplicada a vías.

Objetivo

Monitorear el trazo y perfil de la vía en la línea 12, en el tramo Tláhuac-Mixcoac del Sistema de Transporte Colectivo Metro (STC), dentro de las tolerancias definidas a través de monitoreos topográficos y con ello generar información concisa y confiable para planificar y ejecutar actividades de mantenimientos preventivos y correctivo.

Alcance

El presente trabajo tiene como alcance mostrar las actividades topográficas las cuales permitan conocer el estado geométrico de la vía, además, identificar cualquier anomalía que pueda afectar su funcionamiento. Detectar de manera temprana cualquier anomalía facilita un plan de trabajo adecuado para su mantenimiento y con ello continuar con una operación segura en la línea 12, disminuyendo el riesgo de incidentes, como un posible descarrilamiento de tren.

Contenido

Objetivo 0
Alcance 0
Introducción 2
CAPÍTULO I. GENERALIDADES DE LA LÍNEA 12 3
1.1. Componentes de la vía 4
1.2. Importancia de topografía para su mantenimiento 7
CAPÍTULO II RED DE BASES TOPOGRÁFICA 8
2.1. Poligonal de referencia 10
2.2. Métodos de Observación y Medición. 11
2.3. Ajustes y validación de la Poligonal 15
CAPÍTULO III LEVANTAMIENTO Y MONITOREO DE VÍA 19
3.1. Metodología de levantamiento topográfico 19
3.2. Procesamiento y análisis de datos 21
CAPÍTULO IV. MANTENIMIENTO DE LA VÍA MEDIANTE CONTROL TOPOGRÁFICO. 22
4.1. Bateo de vía 22
4.2. Corrección de alineamiento y nivelación 24
CAPÍTULO V CONCLUSIONES 29
Bibliografía 30
Glosario 31

Introducción

El Sistema de Transporte Colectivo de Metro es el medio de transporte más usado de la Ciudad de México por ello mantener su infraestructura en condiciones idóneas es indispensable para brindar un servicio seguro y eficiente, Entre los elementos donde se requiere mayor atención se encuentra las vías férreas, ya que es la encargada de darle dirección al tren, así como de soportar las cargas generadas por el paso del tren, de ahí radica su importancia de mantener sus condiciones geométricas necesarias para una circulación segura.

Con el paso del tiempo, las fuerzas de impacto diarias y el desgaste natural de los componentes pueden causar modificaciones en el trazo y perfil de vía. Estas variaciones, aunque sean pequeñas para el ojo humano, pueden afectar el comportamiento de las ruedas del vagón, si no son detectadas a tiempo pueden agraviar el estado de la vía y con ello un retraso para los usuarios. Por ello, el mantenimiento de la vía abarca actividades de inspección, monitoreo y control. En este contexto, el monitoreo topográfico desempeña un papel fundamental, porque proporciona información precisa sobre la posición de la vía. Mediante el establecimiento de una red de bases topográfica, la realización de levantamientos y análisis de los datos es posible identificar deformaciones, asentamientos o desplazamientos que requiere atención planeación.

El presente trabajo tiene como finalidad describir las actividades desarrolladas durante el mantenimiento de la Línea 12 STC Metro, enfocándose en la verificación del trazo y perfil de la vía mediante topografía y otras ramas de la geomática. Se presentarán los procedimientos empleados para el establecimiento de la red de bases topográficas, la metodología utilizada en los levantamientos de campo, el procesamiento de la información y el análisis de los resultados obtenidos. Asimismo, dar la importancia en el apoyo para el mantenimiento preventivo y correctivo, contribuyendo a conservar la geometría de la vía y disminuir el riesgo de incidente, como un posible descarrilamiento.

Finalmente, este documento reúne la experiencia adquirida durante el desarrollo de las actividades profesionales, mostrando la aplicación de los conocimientos de Ingeniería Geomática en el ámbito ferroviario y la importancia de la topografía como disciplina

importante para la seguridad, estabilidad y funcionamiento de las líneas de transporte de mayor afluencia en la Ciudad de México.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES DE LA LÍNEA 12

La línea 12 forma parte de las doce líneas que integran la red del Sistema de Transporte Colectivo (STC) Metro de la Ciudad de México. Su recorrido conecta con las terminales Tláhuac y Mixcoac (Provisionalmente hasta su expansión a Observatorio), atravesando las alcaldías de Benito Juárez, Coyoacán, Iztapalapa y Tláhuac, posee un tramo elevado de Zapotitlán a Culhuacán y otro tramo subterráneo de Atlalilco a Mixcoac. Actualmente (sin contar la expansión a Observatorio) cuenta con 20 estaciones distribuidas a lo largo de 25.1 kilómetros de vía, de los cuales 23.9 kilómetros son destinados al servicio de pasajeros y 1.2 kilómetros corresponden a vías para maniobras y pruebas. Asimismo, la línea 12 tiene correspondencia con las líneas 2,3,7 y 8 del STC Metro.



Ilustración 1 Mapa de Ubicación, cita es mío, realizado en el Software Qgis.

1.1. Componentes de la vía.

En condiciones normales, la Línea 12 está conformada por dos vías principales; La vía 1, utilizada para las circulaciones de trenes en dirección a Mixcoac, y la vía 2 con dirección a Tláhuac, no obstante, en algunos sectores existen vías adicionales destinadas a maniobras, lavado de trenes, cambio de vías o el resguardo de trenes, las vías poseen 2 rieles los cuales son nombrado como “A” y “B”.

La vía está constituida principalmente por rieles apoyados sobre durmientes de concreto, aunque en algunos puntos particulares se emplean durmientes de madera, dependiendo de las necesidades operativas. Los rieles se fijan a los durmientes mediante tirafondos y otros elementos de fijación, cuya función es mantener la posición de la vía, todos los

elementos de vía se encuentran sobre una superficie de rocas trituradas llamadas “Balasto” cuyo objetivo es amortiguar las cargas conforme al paso del tren.

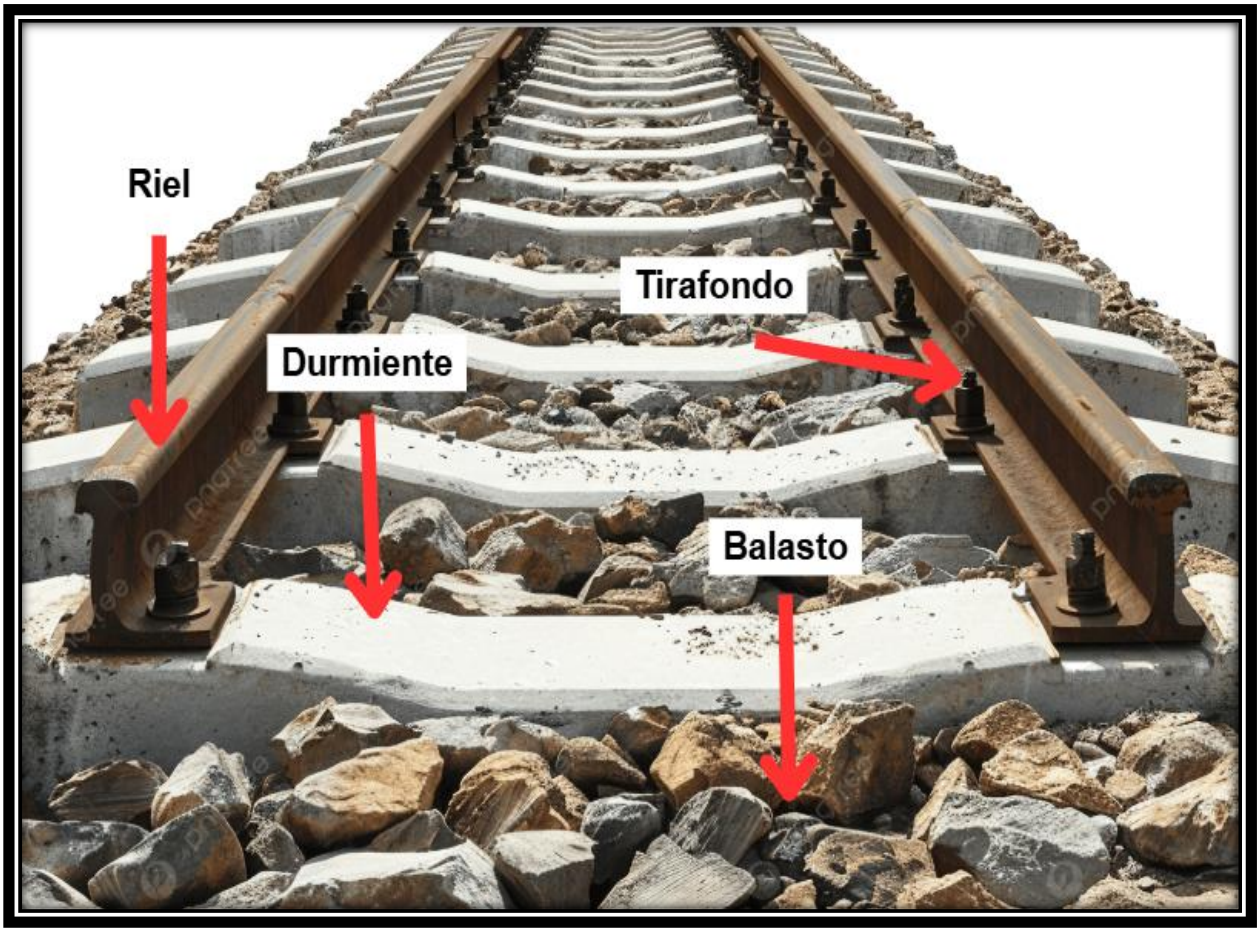


Ilustración 2 Elementos principales de vía, Imagen obtenida de es.pntree.com

A lo largo de la vía se encuentran instaladas pantallas de referencia, estas pantallas se encuentran elementos laterales de la vía (Guarniciones y muros centrales o laterales). Las pantallas son utilizadas para control y monitoreo topográfico. Cada una de ellas cuenta con un Punto Kilométrico (PK), que indica la ubicación exacta donde se encuentra dentro de la línea (como un cadenamiento). Cada pantalla incluye un valor de gálibo, que corresponde a la distancia lineal existente entre la diana de referencia de la pantalla y el eje de vía, expresada en metros. Esta información permite verificar en campo si la vía mantiene su posición respecto al punto de referencia y facilita la detección de posibles desplazamientos de la infraestructura.



Ilustración 3 Pantalla de referencia. Cita es mío.

Además de los rieles y los durmientes, la vía cuenta con otros elementos que en conjunto forman parte de la infraestructura ferroviarias, como los cambios de vía, las cajas inductivas y las juntas aislantes, por otro lado, los cambios de vía poseen agujas que permite cambiar la circulación de trenes de una vía a otra. Aunque estos elementos no influyen directamente en una evaluación de un punto de vista topográfico, es importante tomarlos en cuenta en los levantamientos topográficos para conocer su posición y así considerarlos para otras operaciones de mantenimiento como puede ser de tipo mecánico y eléctrico.



Ilustración 4 Elementos de Vía. Fotos Propias

1.2. Importancia de topografía para su mantenimiento

En el proyecto de mantenimiento de la Línea 12, la topografía desempeña un papel fundamental, ya que permite monitorear de forma continua de variaciones que puede presentar geometría de la vía como consecuencia de las operaciones de los trenes, los asentamientos del terreno y otros factores externos. Uno de los principales elementos de control es el eje de la vía, el cual corresponde al alineamiento definido entre los dos rieles y presenta la referencia para evaluar su posición.

Otro monitoreo topográfico importante que se hace es el de cota o de altimetría, la cota nos referimos como el levante de vía en un PK, este levante se determina a partir de la red de base topográfica y el eje del proyecto, su continuidad en cota depende de los elementos internos de la vía, así como de sus elementos geométricos, ejemplificando lo anterior, cuando hay un elemento de curva, la cota de los rieles debe de ser distinta desde su inicio hasta el punto máximo de cresta, este desnivel entre rieles se le conoce como peralte.

CAPÍTULO II RED DE BASES TOPOGRÁFICA

La red de bases topográfica está conformada por un conjunto de vértices de apoyo georreferenciados, distribuidos de manera estratégica a lo largo de la línea 12, basado en el Manual de Mantenimiento de la Línea 12 del STC Metro da como plazo de tiempo para su actualización es de 3 veces al año. Su principal función es servir como referencia para cualquier tipo de levantamientos topográficos realizados dentro de la vía y con ello garantizar que la información obtenida está es un sistema de referencia conocido y medible.

Para esta actividad como las demás actividades se utilizó Estación total TS13, es una estación total robótica de gamma media, posee tecnología de reconocimiento automático de objetos (ATR), seguimientos de estos, almacenamiento de 2GB de Interna, alcance de prisma de hasta 800 metros, precisión de 1 mm, interfaz RS232.



Ilustración 5 Estación Total TS13, Obtenida de leica-geosystems.com

Además de un nivel electrónico DN03, acta para nivelaciones de primer y segundo orden, medición óptica de 2 mm, tienen una medición óptica a partir de 0.6 m y una medición

de 1.8m - 110 m, con duración de medida de 3 segundos, de memoria interna de 6000 mediciones y con constante de 0.3mm de precisión.



Ilustración 6 Nivel DNA03 Leica, Obtenida de cpec.leica-geosystems.com

Por último, se usaron GNNS Leica GS07 con capacidad de multifrecuencia de diferentes satelitales, con una actualización de posición máxima de de 5HZ, con precisión para estático o base de 0.5 ppm con una operación intacta para el clima de la CDMX.



Ilustración 7 Antena GS07 Leica leica-geosystems.com

2.1. Poligonal de referencia

Si bien, no hay una metodología exigida por el STC Metro y por ello esta puede cambiar dependiendo de las necesidades de la obra, la metodología descrita en este documento es la que mayor tiempo se realizó en la estancia del autor. La poligonal de referencia se divide en dos segmentos; uno correspondiente al tramo elevado y otra al tramo subterráneo. En el tramo elevado, la poligonal está conformada por una poligonal abierta, definida a partir de líneas geodésicas la cuales están establecidas en cada estación. El recorrido de la poligonal abierta inicia desde Talleres Tláhuac y se extiende hasta la estación de Atlalilco, la poligonal toca ambas vías alternando sus vértices, al mismo tiempo de que se deben de radiar los vértices de apoyo (que son los vértices fijos con un perno).



Ilustración 8 Ejemplo de Vértice de referencia. Creación Propia

Por otra parte, el tramo subterráneo de Atlalilco al Tapón Mixcoac se contrala mediante poligonales cerradas, donde se busca mantener la continuidad de las coordenadas provenientes de la poligonal abierta establecida en el tramo elevado. Debido a las condiciones del túnel no es posible establecer líneas geodésicas directamente en su interior; por ello, estas son puestas en la vía pública, es decir al exterior de las estaciones. Por ello a las coordenadas de las líneas geodésicas son arrastradas mediante radiaciones topográficas al interior del andén, más específico a los extremos del andén y consecuentemente dejar puntos de control para verificar el cierre de coordenadas acumuladas a lo largo de la poligonal subterránea. Este procedimiento permite verificar que las coordenadas acumuladas a lo largo de la poligonal mantengan la precisión requerida, comparándolas con las coordenadas obtenidas desde la línea geodésica.

2.2. Métodos de Observación y Medición.

Como se explicó en el apartado anterior, la red de bases topográfica se compone de dos métodos de poligonales; una correspondiente a los tramos abiertos y otro al tramo subterráneo, Aunque cada uno presenta particularidades propias, el procedimiento de levantamiento es prácticamente el mismo, Por ello, en este apartado se describe de forma detallada la metodología utilizada durante los trabajos de campo, explicado cada una de las actividades que se realizan para el establecimiento y control de la poligonal.

Antes de iniciar el levantamiento, es necesario establecer los puntos de la poligonal, los cuales servirán como puntos de estaciones topográficas. Estos puntos deben de establecerse en superficies sólidas y estables, es importante que exista visibilidad entre los puntos consecutivos para mantener la continuidad de la poligonal. Los primeros puntos que se establecen son los puntos GNSS, ya que a partir de ellos se da origen a todas las poligonales, también se debe considerar como una línea geodésica da seguridad en coordenadas conocidas. En estos puntos se realizan un levantamiento GNNS estático de al menos 30 minutos (considerando los 30 minutos como mínimo debido al poco tiempo del turno dentro de las vías), estas coordenadas son procesadas y transformadas en una proyección UTM Zona 14 Norte, sus propiedades equidistantes son ideales para mantener distancias, es importante mencionar que se hace un

levantamiento estático debido a su precisión de coordenadas necesarias para una poligonal.

Estos puntos deben de tener una distancia de 150 metros, en el caso de las líneas geodésica que se encuentran en la vía pública deben de procurar estar libres de interferencia para el GNSS como lo pueden ser árboles, edificios etc. Además de ser visibles entre los extremos.

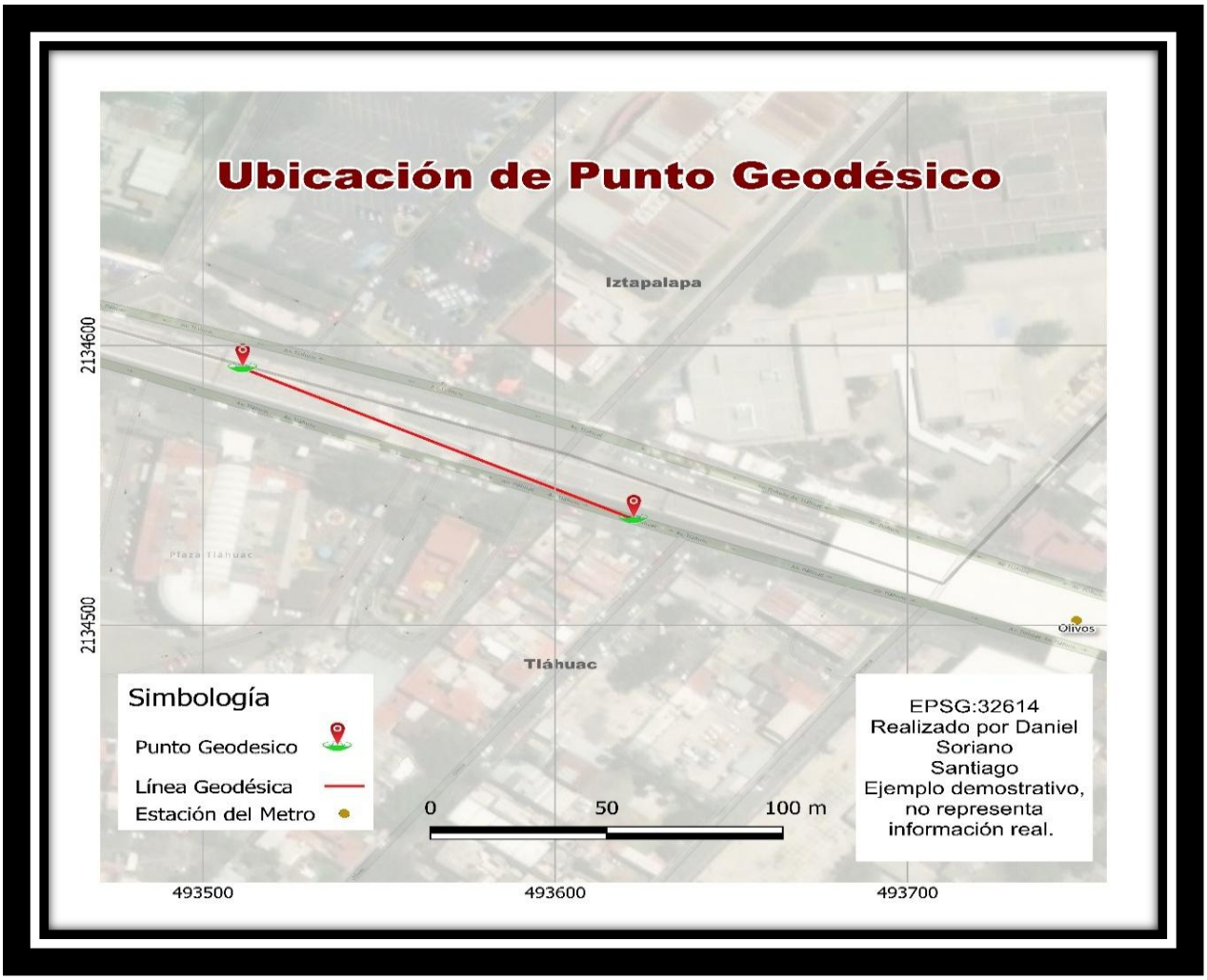


Ilustración 9 Ejemplo de Línea Geodésica. Cita es mío realizado en el Software Qgis.

Una vez obtenida las coordenadas de los puntos geodésicos, se da el inicio al desarrollo de la poligonal, lo primero a considerar son los puntos de la poligonal donde se realizan las observaciones topográficas, se establecen como en los levantamientos GNSS una separación de 150 metros entre punto. En cada uno de ellos se instala la estación total

para dar continuidad al levantamiento, en cada estacionamiento de punto, nos orientamos con el punto contiguo, ya sea de la línea geodésica o de la poligonal en sí, además de que se busca radiar todos los vértices fijos, consecuentemente se toma el siguiente punto para darle continuidad a la poligonal.

Para estas mediciones se emplean bastones con bípodes, hay que proporcionan estabilidad al prisma durante las mediciones, estos bastones deben de estar en el punto anterior y consecuente al punto de donde esté la estación total, la función que hace uno es orientar y el otro es darle las coordenadas del siguiente punto, para poder radiar los vértices de apoyo (los pernos) deben de estar en el rango de la observación, si estos van más allá de la observación se toman en otra estacionada.

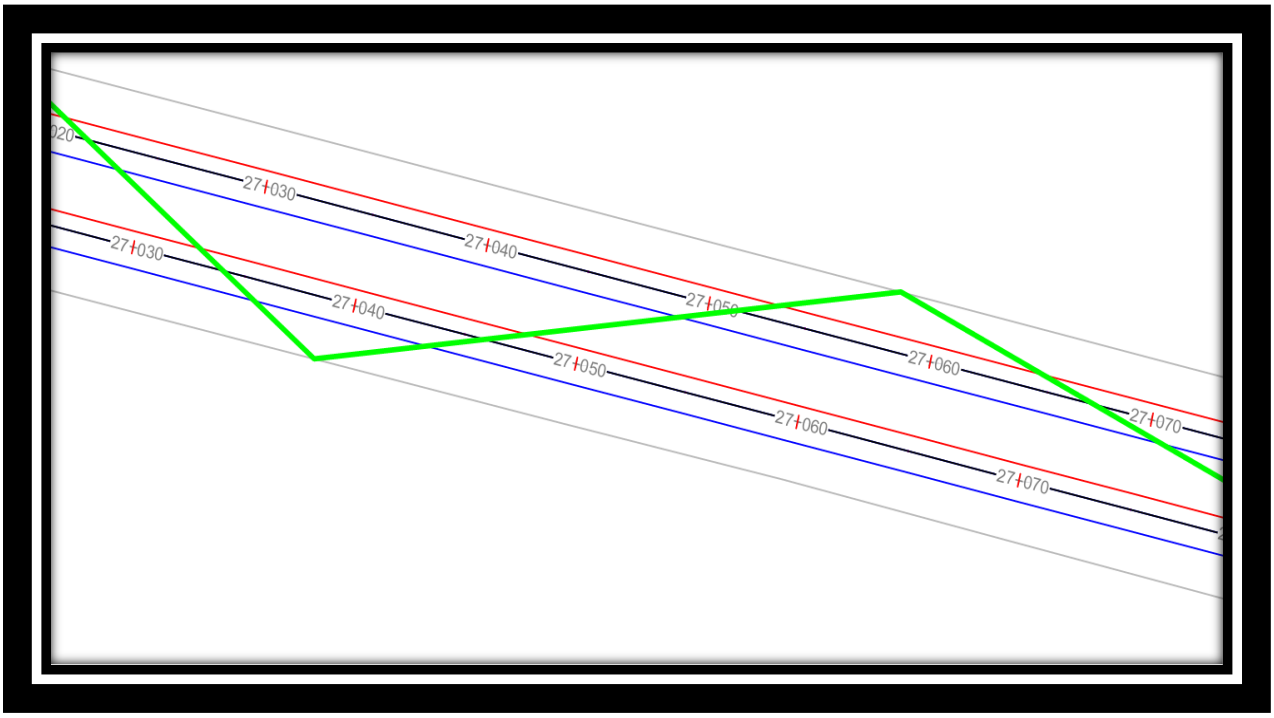


Ilustración 10 Ejemplo de poligonal Abierta, Cita es mío realizado en el Software CivilCAD

Mientras tanto en la poligonal cerrada sigue una metodología similar, la diferencia radica en el posicionamiento de sus vértices, ahora son intercalados en base a los rieles y no a la vía, es decir la poligonal empieza por una vía intercalando puntos hasta la línea geodésica y regresa por la vía hasta cerrarla al punto de partido.

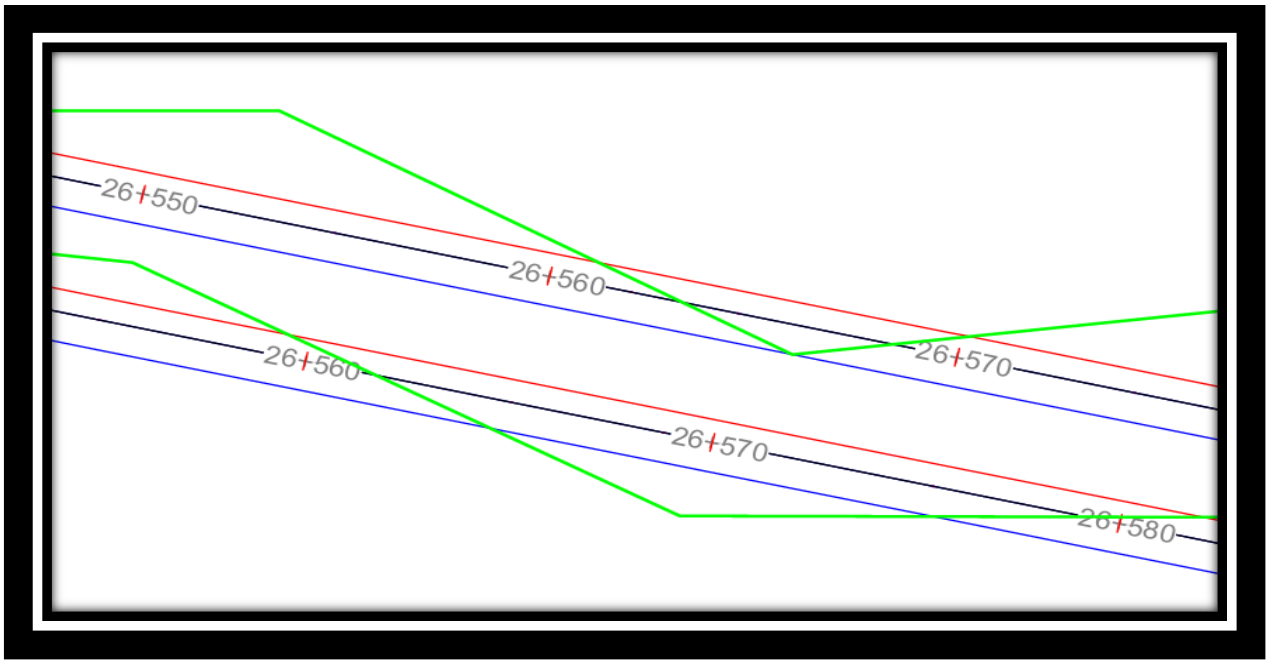


Ilustración 11 Ejemplo de Poligonal cerrada, Cita es mío realizado en el Software CivilCAD

Por último la poligonal necesita una verificación en la altimetría por ello se necesita hacer una nivelación, dicha nivelación está hecha a partir de un Banco de Nivel de INEGI, señalizado por una placa, las normativas de Metro piden que sea con un nivel digital y que su comprobación sea por el método de ida y vuelta, con ello iniciamos con la cota dada por el banco de nivel, hasta la primer línea geodésica, esta nivelación debe de tocar todos los vértices de la poligonal y su cierre debe de cumplir con os estándares de tolerancia, basado en la constante de precisión del equipo y la distancia recorrida, para ello usamos la siguiente fórmula.

$$T = m\sqrt{K} \qquad (1)$$

Donde;

T: Es Máximo Tolerable.

m: Constante de precisión.

K: Distancia total recorrida.

Haciendo un ejemplo de carácter demostrativo, como se mencionó al principio del capítulo en las características del modelo del nivel DN03 su constante de precisión es de 0.3 mm considerando una nivelación de 100 metros de longitud (sin considerar la comprobación), y aplicando la fórmula (1), la fórmula de comprobación es la siguiente;

m=0.003m

K=200m (ya que se cuenta la distancia total y la comprobación)

Por lo tanto;

$T=0.003\sqrt{200}$

T=0.04

Con ello tenemos nuestra tolerancia en nuestro cierre de la nivelación.



Ilustración 12 Colocación de Puntos para nivelación. Fotos Propias

2.3. Ajustes y validación de la Poligonal

En topografía existen diferentes métodos para el desarrollo y ajuste de una poligonal. La elección de la metodología depende del criterio profesional, así como del nivel de precisión que se requiere obtener en el levantamiento.

No hay una guía para seleccionar una metodología, se deben de considerar factores como las características del sitio, la disponibilidad de puntos de control, la longitud de la obra y las condiciones de visibilidad, entre otros aspectos que permitan verificar y controlar la calidad de las observaciones, garantizado la precisión y confiablidad de los resultados.

El error de cierre de la poligonal realizado en la obra es el método de ángulos y distancias, utilizando observaciones de los ángulos horizontales y las distancias medidas con la estación total. Este procedimiento permite compensar o distribuir en el error dependiendo simultáneamente en todas las observaciones de acuerdo con la precisión de cada medición y obteniendo las coordenadas más probables para los puntos de poligonal. Para obtener las coordenadas ajustadas, primero se calculan coordenadas aproximadas para ello debemos conocer todas las siguientes expresiones, además de sus metodologías para obtenerlas,

Cálculo de Azimut.

$$Az_{i+1} = Az_i + 180 \circ -\beta_i \qquad (2)$$

Donde:

Az_i= Azimut del lado interior

β_i = Ángulo observado en el vértice

Az_{i+1}= Azimut del siguiente lado

Cálculo de las componentes de cada distancia.

$$\Delta X_1 = D_1 \, sin(Az_i) \qquad (3)$$

$$\Delta Y_1 = D_1 \, sin(Az_i) \qquad (4)$$

Donde;

D_1= Distancia del lado

Az_i= Azimut del lado

ΔX_I = Incremento en coordenada Este (x)

ΔY_I = Incremento en coordenada Norte (y)

Cálculo de coordenadas aproximadas:

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_i \quad (5)$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta Y_i \quad (6)$$

Y por último la comprobación de cierre:

Para las coordenadas

$$\varepsilon x = x\ calculada - x\ conocida \quad (7)$$

$$\varepsilon y = y\ calculada - y\ conocida \quad (8)$$

Haciendo un ejercicio aplicativo con unas coordenadas hipotéticas, suponiendo que tenemos unas coordenadas conocidas (1000,1000) en una poligonal de 4 lados con observaciones;

Tabla 1Ejemplo de observaciones para ejercicio aplicativo

Vértice	Ángulo observado
A	90° 00' 00"
B	89° 59' 56"
C	90° 00' 03"
D	89° 59' 58"

Suponiendo que las distancias medidas fueron;

Tabla 2 Distancia entre 2 Vértices

Lado	Distancia
AB	100.020 m

Lado	Distancia
BC	99.995 m
CD	100.008 m
DA	99.990 m

Sustituyendo valor en formulas considerando un Az_{AB} = 90°, calculamos los demás azimuts;

Az_{bc} = 90° + 89° 59' 56" − 180° = 359° 59' 56".

Az_{CD} = 359° 59' 56" + 90° 00' 03" − 180° = 269° 59' 59".

Az_{DA} = 269° 59' 59" + 89° 59' 58" − 180° = 179° 59' 57".

Sustituimos los valores en fórmula (3) y (4):

$\Delta X_{AB} = 100.020\, sin(90°) \rightarrow\ \Delta X_{AB} = 100.020$

$\Delta Y_{AB} = 100.020\, cos(90°) \rightarrow\ \Delta X_{AB} = 0$

$\Delta X_{BC} = 99.995\, sin(359°\, 59'56'') \rightarrow\ \Delta X_{BC} = -0.00193$

$\Delta Y_{BC} = 99.995\, cos(359°59'56'') \rightarrow\ \Delta Y_{BC} = 99.9949$

$\Delta X_{CD} = 100.008\, sin(269°59'59'') \rightarrow\ \Delta X_{CD} = -97.444$

$\Delta Y_{CD} = 100.008\, cos(269°59'59'') \rightarrow\ \Delta Y_{CD} = -22.4973$

$\Delta X_{DA} = 99.990\, sin(89°\, 59'58'') \rightarrow\ \Delta X_{BC} = 99.9890$

$\Delta Y_{DA} = 99.990\, cos(89°59'58'') \rightarrow\ \Delta Y_{BC} = -0.000969$

Por lo tanto, la coordenada ajustada será utilizando las fórmulas (5) y (6):

$X_B = \ 1000 + 100.020 \rightarrow\ X_B = 1100.20$

$Y_B = \ 1000 + 0 \rightarrow\ Y_B = 1000$

$X_C = \ 1000 + -0.00190 \rightarrow\ X_C = 999.9981$

$$Y_C = 1000 + 99.994 \rightarrow Y_C = 1099.994$$

$$X_D = 1000 + -97.444 \rightarrow X_D = 902.556$$

$$Y_D = 1000 + -22.4973 \rightarrow Y_D = 977.5027$$

De esta manera verifican si nuestra poligonal cierra de manera correcta o necesita algún cálculo de ajuste, o en su debido caso una rectificación de datos de campos.

CAPITULO III LEVANTAMIENTO Y MONITOREO DE VÍA

3.1. Metodología de levantamiento topográfico

Para tener continuidad con el monitoreo es necesario tener todo el proceso de la poligonal finalizado, el monitoreo de vía depende completamente de la red de bases actualizada, ya que el trabajo en el campo despende de las referencias para poder estacionarnos y orientamos con la estación total. Para hacer un levantamiento topográfico usamos estación total, no estacionamos y nos orientamos por el método de inversa y tomamos los vértices de apoyo siempre observado los cierres angulares, es decir se va a levantar con estación libre, ya orientada nuestra estación total comenzamos a tomar diferentes atributos de vía, la vía se toma a cada 5 metros (en referencia a la pantalla del PK), esto se hace con ayuda de un prisma y una zapata magnética para vías férreas, un mini prima para tomar los demás elementos, caja inductiva, JAP, registros, elementos de andén y pantallas de referencia.

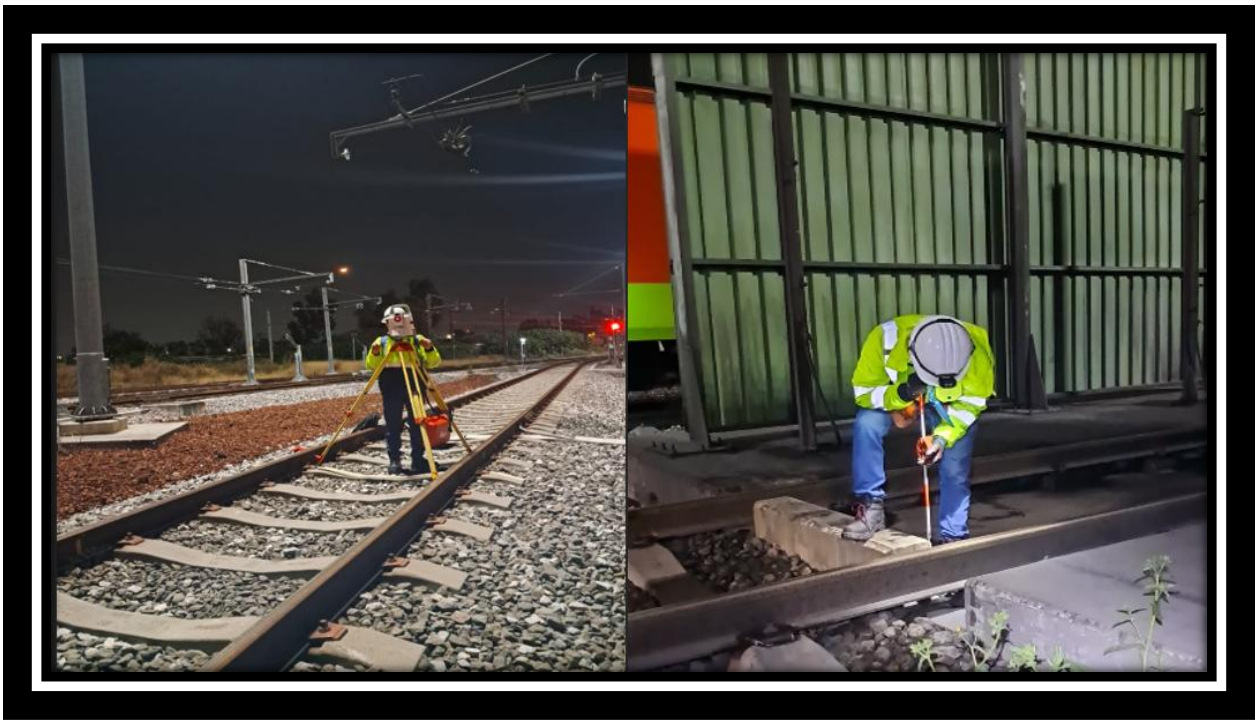


Ilustración 13 Levantamiento de vía, Fotos Propias

Durante el levantamiento se registran otros elementos de la vía cuya posición es importante para las actividades de mantenimiento, entre ellos cambio de vía, agujas de cambio, toperas contraríeles, cruzamiento, aparatos de vía, juntas aislantes mecánicas, registros de instalaciones y otros elementos fijos localizados a lo largo de la vía, las cuales sirven como referencia para el monitoreo, la inspección y la planeación de los trabajos de la conservación.

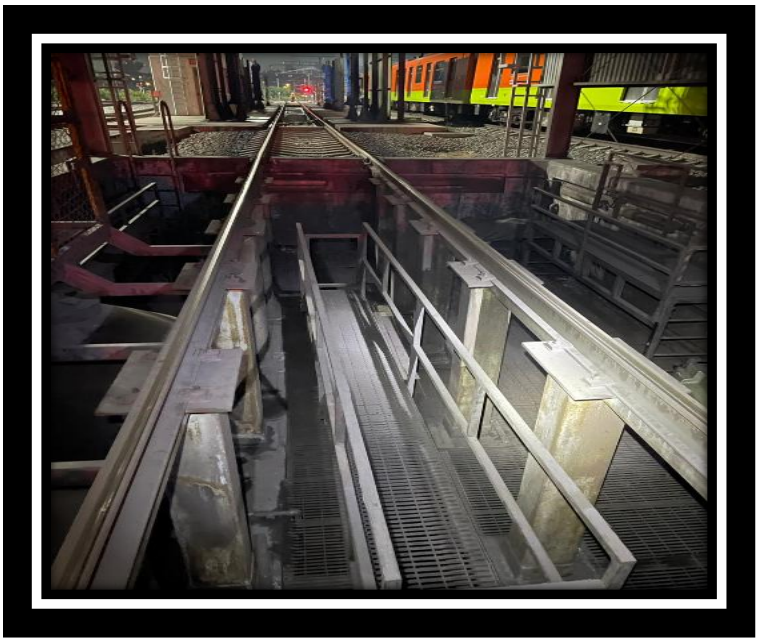


Ilustración 14 Ejemplo de vía de lavado, Foto propia

3.2. Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento de la información obtenida en campo consiste en la representación gráfica de todos los puntos levantados, procurando que exista coherencia tanto en la planimetría como en la altimetría de la vía. El STC Metro establece que la información debe de elaborarse en un software especializado para dibujo y diseño; para esta obra se utiliza Autodesk Civil 3D, debido a las herramientas que ofrece para la creación de alineamientos y perfiles, lo que facilita la interpretación y el análisis de la geometría de la vía.

Una vez utilizando el dibujo, la información es revisada y supervisada para verificar que los datos correspondan con las observaciones realizadas en campo. Posteriormente, se generan los alineamientos y son integrados a un archivo, el cual podría decirse que es un histórico, aunque también se hace un nuevo eje en base a esos levantamientos.

Los levantamientos son realizados de manera que abarquen toda la línea 12, con el propósito de mantener actualizada la información geométrica de la vía. Como parte del programa de mantenimiento, estos datos se actualizan al menos una vez al año o cuando se detecta alguna anomalía reportada por un conductor del metro en operaciones, lo que

permite dar seguimiento al comportamiento de la infraestructura y planificar oportunamente las acciones de mantenimiento.

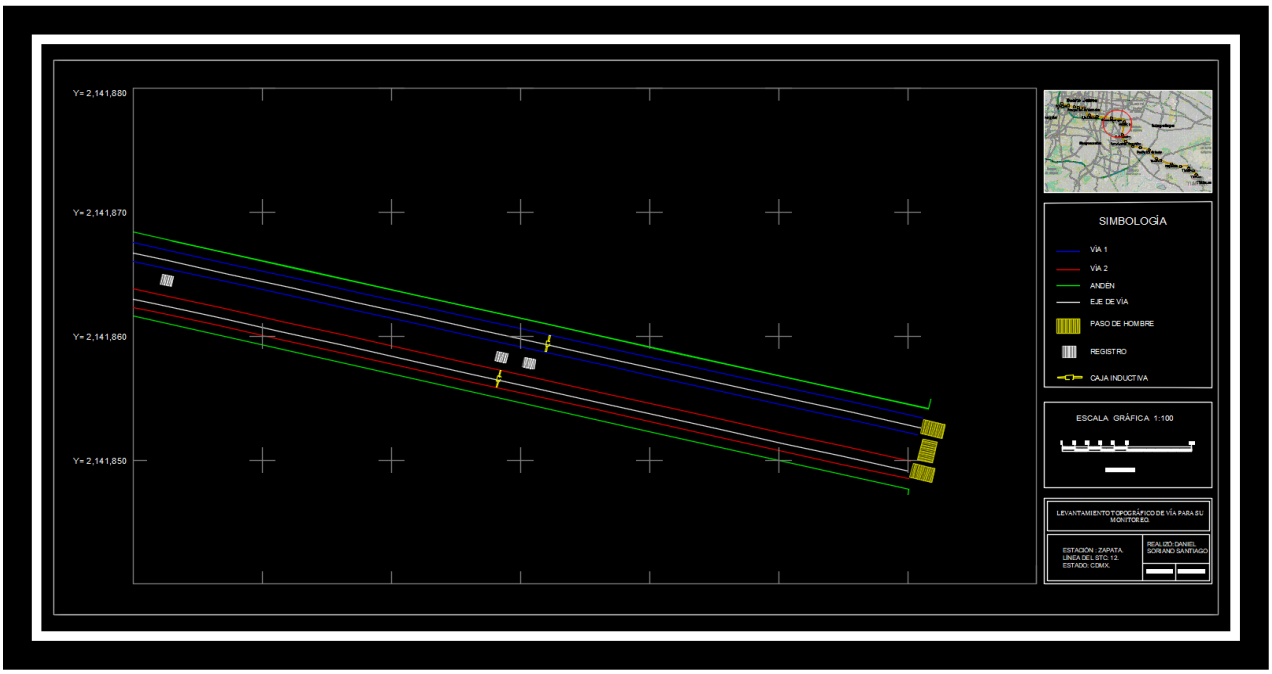


Ilustración 15 Ejemplo de plano, Cita es mío realizado en el Software CivilCAD.

CAPÍTULO IV. MANTENIMIENTO DE LA VÍA MEDIANTE CONTROL TOPOGRÁFICO.

4.1. Bateo de vía

Un bateo es la operación de mantenimiento de vía, la cual se basa en nivelar y perfilar la vía mediante herramientas o maquinarias para posteriormente compactar el balasto encontrado debajo de los durmientes, esta acción tiene como fin mantener la funcionalidad del alineamiento y perfil de la vía. (Sistema de Transporte Colectivo, 2015)

Existen 2 tipos de bateo ejecutados en la obra de mantenimiento de vía, con maquinaria y manual. Un bateo con maquinaria es a partir de una maquina especializada en vía llamada “Multicalzadora”, esta maquinaria hace todas las acciones que conlleva un bateo, puede tanto perfilar como modificar la cota de la vía, además de que compacta el balasto, estas tres acciones las hace en simultáneo, esto permite el bateo de varios metros de vía durante el turno.

Mientras que un bateo manual es hecho a partir de herramientas individuales, como lo son gatos hidráulicos especializados en vía, barretas y bateadoras manuales, este bateo es ideal para segmentos de vía donde la mutilcalzadora pueda trabajar o requieren de una atención más cuidadosa como lo son los aparatos de vía, además de ser la guía de mantenimiento nos dicen cuando son aplicables;

El levante es menor o igual a 15 mm.

El ripado es menor o igual a 20 mm.

La principal diferencia entre ambas metodologías son los metros de vía que pueden ser bateados con la muticalzadora, mientras que en un bateo manual al ser un gran esfuerzo físico solo pueden batearse pocos metros, la ventaja la cual da un bateo manual es el control de cota de la vía, es mucho más manejable en el rango de error, es decir gracias a los gatos puedes levantar o bajar la vía, mientras que en la mutilcalzadora solo hace levantes



Ilustración 16 Herramientas de Bateo Manual (Bateadora y Gato), Obtenida de spanish,alibaba.com



Ilustración 17 Multicalzadora para Bateo de vía, Obtenida de maquinariaparra.com

4.2. Corrección de alineamiento y nivelación

Un bateo, como se establece en su definición, es una operación de mantenimiento destinada a nivelar y perfilar la vía. Para realizar estas correcciones es necesario contar con un monitoreo topográfico previo, antes del ingreso de la maquinaria es decir se realiza un levantamiento de la vía con el propósito de conocer sus condiciones iniciales y determinar las desviaciones existentes respectos a la geometría de proyecto. Con esta información se realiza una valoración inicial y se establecen los parámetros de correción necesarios para ejecutar el bateo.

Para determinar la corrección requerida no solo se consideran los parámetros de proyecto; también deben de tomarse en cuenta las condiciones particulares de la vía, su comportamiento durante la operación y el criterio topográfico. Por ejemplo, una JAP puede presentar un descenso respecto a su posición despues del paso de los trenes. En este caso, durante un bateo manual puede

considerarse un levantamiento ligeramente superior a la cota de proyecto considerando el paso posterior de los trenes y el asentamiento de la vía, de esta manera la JAP puede aproximarse nuevamente a su posición de proyecto, contribuyendo a prolongar el periodo antes de requerir una nueva intervención de mantenimiento

Una vez concluido el trabajo de la maquinaria o del personal con herramienta se hace un último levantamiento post bateo, con el fin de ver estado de la vía y en caso de ser necesario realizar alguna maniobra.

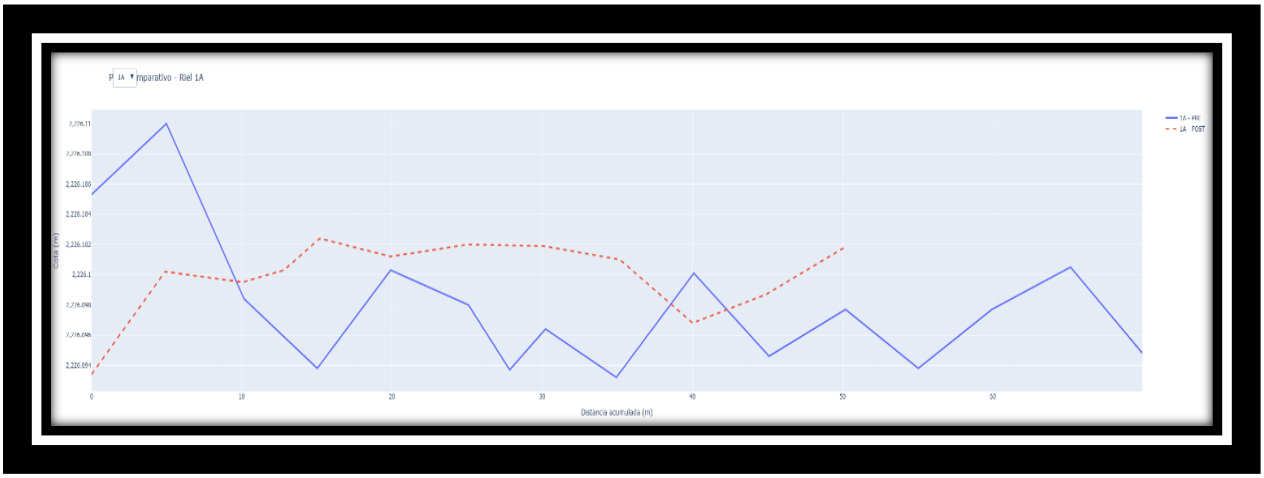


Ilustración 18 Bateo en campo, Foto propia

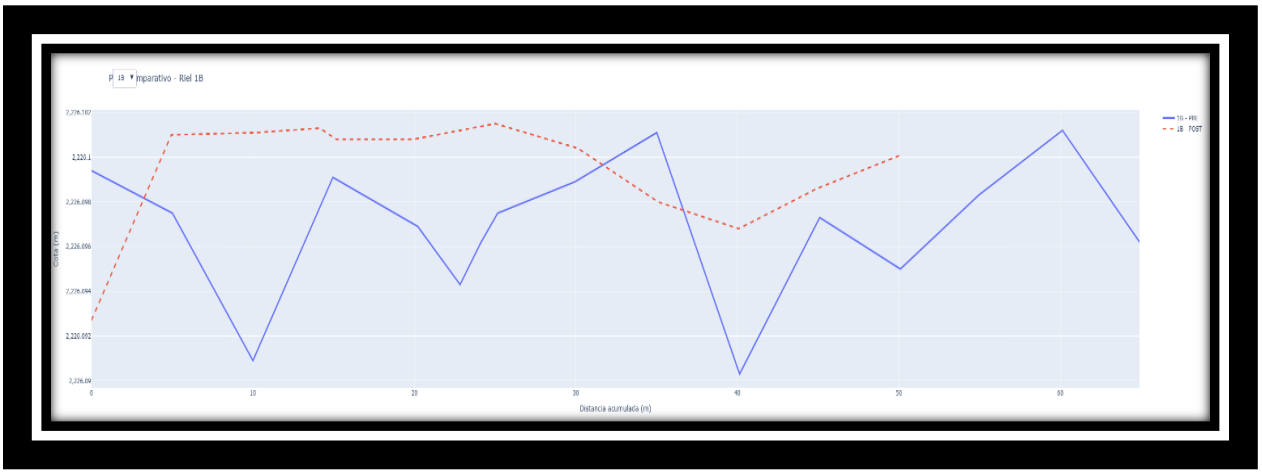
Al realizar un perfil basado en el levantamiento de la vía, es posible observar el comportamiento de la geometría de la vía. En este caso, el análisis correspondiente a la vía 1, especificamente a un aparato de vía para cambio de riel ubicado entre Atlalilco. La línea azul representa las condiciones de la vía antes del bateo, mientras que la linea roja punteada representa las condiciones posteriores al bateo.

Como se observa, el perfil previo al bateo presenta mayores variaciones y una distribución menos uniforme en cotas. En contraste, el perfil posteriormente al bateo muestra una mayor regularidad. Si bien la línea posterior no presenta

una continuidad completamente uniforme, las variaciones observadas se mantienen dentro de las tolerancias de trabajos establecidas, lo que permite apreciar el efecto de la intervención de mantenimiento sobre el perfil de la vía, La vía en este caso representa un patrón similar en ambas vías en cuanto a levante, como lo determina el proyecto para los trayectos de vía no hay ninguna curva.



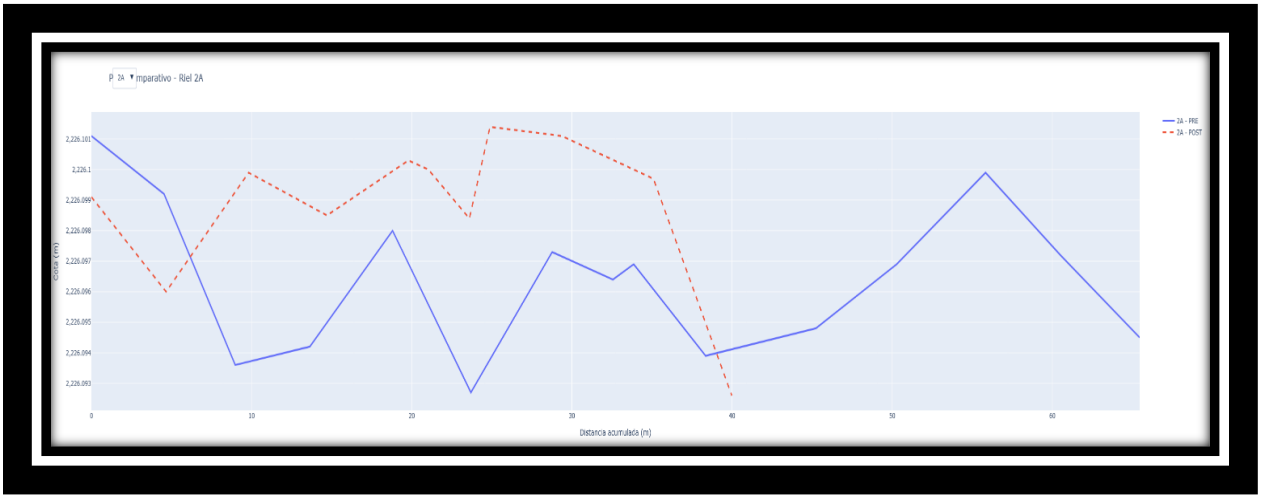
Gráfica 1, Representación de cota Riel A de Vía 1, Realizadas en Código Python



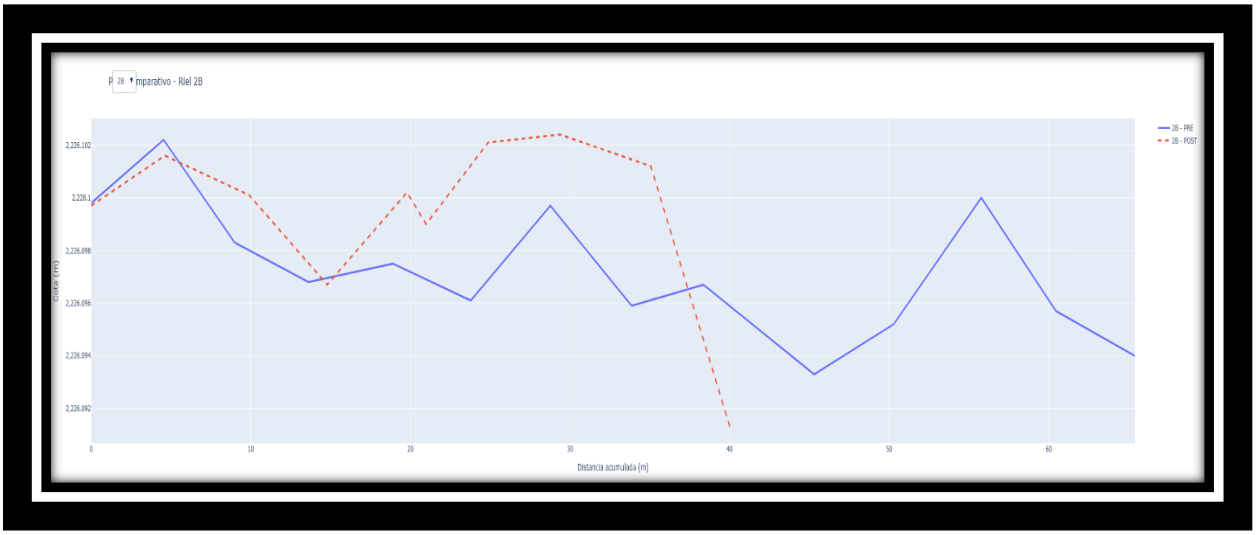
Gráfica 2, Representación de cota Riel B de Vía 1, Cita es mío Realizada en Código Python

Como se muestra en las gráficas 1 y 2 las cotas de los rieles A y B de la vía 1, la variable en el eje “x” representa la cota de la vía en intervalos de 2 milímetros, mientras que en la del eje “y” representa la distancia de la vía en intervalos de 10 metros como las demás graficas, los levantes En la gráfica 1 representan diferencias de cotas en distancias

pequeñas, mientras que la gráfica 2 presenta diferencias más notorias en cota, en ambos casos tras el mantenimiento es mucho más continua aproximadamente con diferencias de 2 milímetros entre secciones.



Gráfica 3 Representación de cota Riel A de Vía 2, Cita es mío Realizada en Código Python



Gráfica 4 Representación de cota Riel B de Vía 2, Cita es mío Realizada en Código Python

El grafico 3 y 4 representa los rieles de la vía 2, a diferencia de la otra vía esta presenta mucho más ruido y diferencia entre levantes, los rieles post mantenimiento no son tan continuas, puede deberse a diferentes razones, cuando los levantes quedan con tan poca diferencia de cota, para la multicalzadora realizar levantes tan pequeños es difícil y arriesgado porque pueden quedar sobre nivel de proyecto, esto implicaría un proceso más largo para bajar la vía, otra razón podría ser la misma cota de proyecto, la cual

marca ese levante, al final cualquier maniobra debe realizarse a partir del eje de proyecto, no solo es una guía importante sino el medio de protección de tú trabajo.

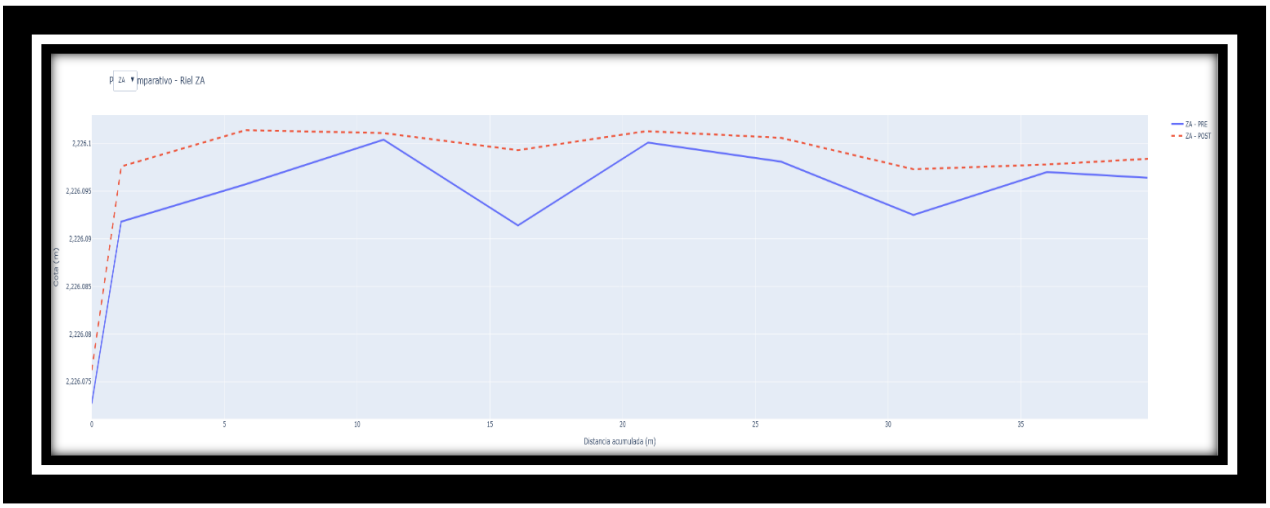


Gráfico 5 Perfil de vía Z, riel A, Cita es mío realizada en código Phyton

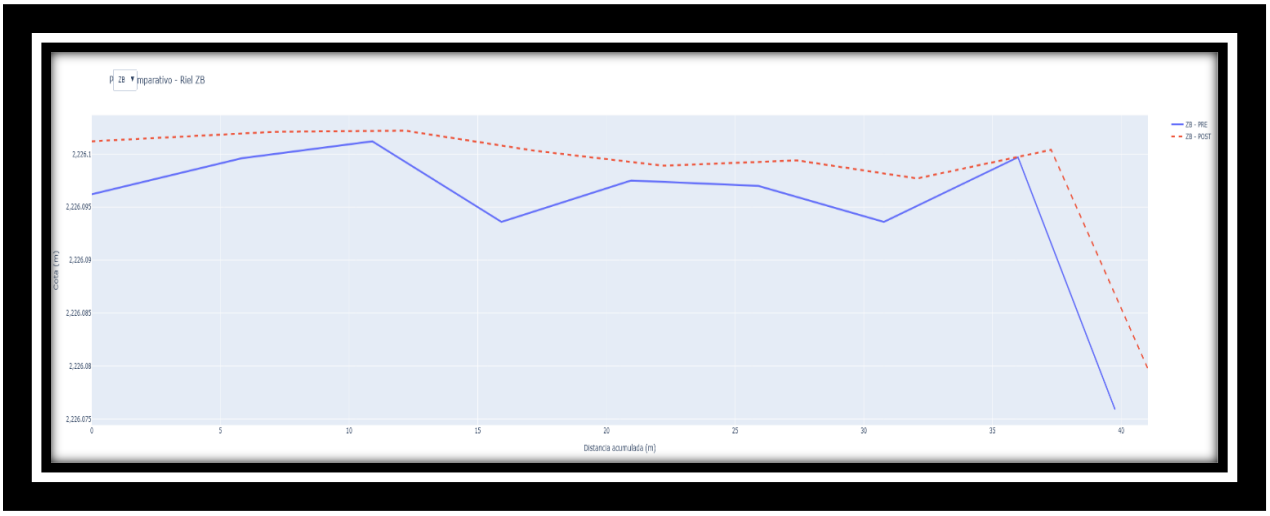


Gráfico 6 Perfil de vía Z, riel B, Cita es mío realizada en código Phyton

Por último, se ve el gráfico de la desviada o vía Z, lo más probable es que tuvo un movimiento manual eso justifica los levantes pequeños, cobra sentido por las características de una desviada presentan durmientes más largos por lo cual moverla mediante la multicalzadora no es posible.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES

El informe concluye como la línea 12 del STC Metro presenta condiciones complejas y de cambios constantes en el estado de la vía, derivada por factores como el paso constante de los trenes y las condiciones climáticas. Estos factores pueden generar modificaciones constantes, el perfil y el alineamiento de la vía, por lo cual, contar con un monitoreo topográfico constante resulta fundamental para detectar oportunamente estas variaciones y establecer las acciones de mantenimiento necesarias. Mantener de manera permanente la geometría y el alineamiento de la vía y sus condiciones ideales es prácticamente imposible, sin embargo, nosotros como profesionales y gracias a nuestro pensamiento técnico y ético podremos desarrollar soluciones mediante los trabajos de mantenimiento y verificación periódica y con ello así mantener la funcionalidad sin dejar a un lado la seguridad del usuario.

Todo en conjunto, representa y demuestra como la topografía es una herramienta fundamental para la conservación de la línea 12, no solo por su capacidad para determinar posición, sino también dentro del proceso de toma de decisiones para el mantenimiento, por último, descartar la continuidad de trabajos topográficos desembocan en la precisión para el desarrollo de una maniobra.

Bibliografía

De Paul Wolf, C. G. (2016). *Topografía* . New Jersey: Pearson Education.

Estruch Serra, M. T. (2003). *Topografía subterránea para minería y obras*. Barcelona: EDICION UPC.

J. Garzón, G. J. (2016). Poligonación topográfica de alta precisión en el campus de la Universidad del Quindío. *Scielo*.

Javier Peñafiel, J. Z. (10 de 2001). *Fundamentos de sistema GPS y sus aplicaciones en la topografía*. Obtenido de http://rutasnavarra-001-site1.btempurl.com/

Leica. (12 de 2006). *www.ibercarto.com*. Obtenido de https://www.ibercarto.com/images/niveles/dna_catalogo_es.pdf

Leica. (01 de 2026). *leica-geosystems.com*. Obtenido de https://leica-geosystems.com/es-es/products

Sistema de Transporte Colectivo. (29 de 12 de 2015). *metro.cdmx.gob.mx*. Obtenido de https://metro.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Informacion%20L12/Manual%20de%20Mantenimiento%20de%20la%20Linea%2012/tomo-iv-geometria-de-la-via-l-12.pdf

Villena, I. d. (2001). *Topográfia de Obras* . Barcelona : Politext.

Glosario

Aguja de cambio de vía; Elemento móvil de cambio de vía la cual permite desviar la circulación de un tren a otra vía.

Alineamiento; Posición horizontal del eje de la vía, utilizadas para verificar geometría de la vía.

Aparato de vía; Conjunto de elementos que permiten el cambio entre 2 vías mediante accionamiento de agujas,

Bateo; Conjunto de operaciones de mantenimiento de vía para recuperar alineaciones y cotas de vía.

Balasto; Conjunto de material pétreo colocado debajo de los durmientes para distribuir las cargas y proporcionar estabilidad.

Caja inductiva; Dispositivo entre rieles que forma parte del sistema de señalización y permite la transmisión de información.

Durmiente; Elemento transversal de concreto o madera que soporta los rieles, mantiene el ancho de vía.

Eje de vía; Línea imaginaria ubicada en el centro de la vía férrea, utilizada como referencia para el control de alineamiento de la vía.

Estación Total; Instrumento topográfico electrónico que permite medir distancia y ángulos para determinar posición de puntos de precisión.

Gálibo; Distancia horizontal existente entre la pantalla de referencia y el eje de la vía, utilizaba como parámetro de control para verificar la posición de la infraestructura.

Junta Aislante Pegada (JAP); Elemento que proporciona aislamiento eléctrico entre 2 rieles, permitiendo el funcionamiento de los sistemas de señalización.

Levante; Modificación de la cota de vía.

Línea geodésica; Línea de referencia mediante coordenadas conocida para el desarrollo para una red de bases topográficas.

Pantalla de Referencia; Elemento instalado junto a la vía que contienen información del kilometraje y el galibo.

Peralte; Diferencia de altura entre los dos rieles en una curva, diseñada para compensar la fuerza centrífuga durante el paso de trenes.

Perfil de vía; Posición vertical del eje de la vía a lo largo de su recorrido, utilizada para evaluar asentamientos o deformaciones.

Poligonal de referencia; Conjunto de puntos de ocupación utilizados para dar continuidad a los levantamientos topográficos y mantener la precisión de la red de control.

Punto Kilométrico (PK); Referencia utilizada para identificar la ubicación de un punto especifico dentro del recorrido de la línea 12.

Red de Bases Topográficas; Conjunto de vértices georreferenciados planimétrica y altimétricamente que sirven como referencia para todos los levantamientos topográficos.

Riel; Perfil de acero sobre cual circulan as ruedas del tren.

Ripado; Modificación horizontal de la vía.

Topera; Dispositivo el cual indica el final de vía para evitar el límite de circulación.

Vértice de referencia; Punto materializado mediante un perno fijado al muro (lateral y central), además de la guarnición.

Vía férrea; Conjunto de elementos estructurales los cuales permiten circulación segura de los trenes.