



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

**TRABAJO TOPOGRÁFICO Y GEODÉSICO EN EL TRAMO
GUELATAO – LOS REYES DE LA LÍNEA PANTITLÁN – LA PAZ
DEL SISTEMA DEL TRANSPORTE COLECTIVO (STC) DE LA
CIUDAD DE MÉXICO**

**INFORME
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO GEOMÁTICO**

**PRESENTA
PAOLA JULIETA MORA RAMÍREZ**

**ASESOR:
M. EN I. ADOLFO REYES PIZANO**

CIUDAD DE MÉXICO ENERO DE 2016



INDICE

INTRODUCCION.....	1
I ANTECEDENTES	1
1.1 Historia del Transporte Colectivo en México	1
II OBJETIVO	4
2.1 Objetivo del proyecto	4
2.2 Beneficios del proyecto	4
III TOPOGRAFIA.....	5
3.1 Planimetría.....	5
3.1.1 Tipos de levantamientos.....	5
3.1.2 Compensación de poligonales.....	9
3.2 Altimetría.....	16
3.2.1 Conceptos	16
3.2.2 Tipos de errores en la nivelación.....	17
3.2.3 Tipos de nivelación.....	19
3.2.4 Calculo de volúmenes por secciones transversales.....	24
3.2.5 Configuración de un terreno.....	24
IV DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO TOPOGRÁFICO	25
4.1 Equipos topográficos	28
4.2 Propiedades geométricas.....	40
V METODOS DE LEVANTAMIENTO	43
5.1 Exploración geofísica.....	43
5.2 Control horizontal y control vertical.....	45



VI	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	53
6.1	Reporte geofísico	53
6.1.1	Gráfica de espesores de capas	53
6.1.2	Gráfica de huecos	53
6.1.3	Gráfica de valores dieléctricos de materiales	53
6.1.4	Gráfica de humedades	53
6.1.5	Consideraciones de los trabajos geofísicos	54
6.2	Reporte topográfico	59
6.2.1	Secciones transversales del tramo Guelatao-Los Reyes.....	60
6.3	Comparaciones con los históricos	60
VII	INFORMACIÓN GRÁFICA	74
VIII	CONCLUSION.....	78



AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por darme la vida y la oportunidad de estudiar una profesión.

Quiero agradecer a todos mis maestros que me apoyaron a lo largo de mi carrera, que sin su sabiduría y paciencia no lo hubiera logrado.

En especial quiero dar mis más sinceras e infinitas gracias a:

El Ingeniero Adolfo Reyes Pizano

El Ingeniero Benito Gómez Daza

El Ingeniero Raymundo Arvizú, que siempre estuvieron apoyándome en todo momento.

Y el Gran Ingeniero Víctor Robles Almeraya.

Y en especial quienes han sido mi apoyo y mis guías en la vida por los quien he podido salir adelante, y siempre están a mi lado. Las dos personas maravillosas a las que les debo todo.

Mis Padres.



INTRODUCCION

El Sistema de Transporte Colectivo solicitó a la empresa Urelift, S.A. de C.V., a través del contrato No. SDGM-GOM-1-04/7, un estudio de exploración geofísica, tipo no destructiva, para localización de huecos bajo la losa de fondo del cajón de Metro, identificación de fuga de balasto y detección indirecta de fracturamiento de las losas de cajón, para el tramo Guelatao – Los Reyes de la Línea “A”.

Los problemas del tramo referido tiene un origen variado y complejo, entre los que destaca el fenómeno de hundimiento del Valle de México (probablemente es el de mayor importancia), las diferentes características del subsuelo de la zona y, en casos particulares, debido a fugas de agua en tuberías adyacentes al cajón del Metro y vialidades laterales a la Línea, que inducen la sobresaturación del suelo y tubificación.

De acuerdo con la zonificación geotécnica establecida en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones, del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal, la mayor parte del trazo del tramo referido se localiza sobre la llamada Zona del Lago, caracterizada por presentar grandes espesores de arcilla con alto contenido de humedad, baja resistencia y alta compresibilidad; una pequeña parte de la Línea se localiza sobre la zona de transición, conformada por intercalaciones de estratos arenosos, limo arenosos y arcillosos con espesores variables.

El Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) determinó que el hundimiento regional en la zona tiene una tendencia al asentamiento, sin vislumbrarse una estabilidad a mediano plazo, por lo que para seguir operando la Línea “A” se deben establecer acciones que contribuyan a minimizar los daños, la rigidización del cajón, el mejoramiento del suelo de apoyo y relleno de oquedades.

I ANTECEDENTES

1.1 Historia del Transporte Colectivo en México

Si en la etapa preindustrial el viaje era lento e inseguro era debido a la inexistencia de medios de transporte eficaces. Todo el tránsito por tierra se hacía a lomos de animales o en los carruajes tirados por esos mismos. Pero el transporte de grandes mercancías se hacía por mar, o por vías fluviales.

El transporte por tierra era de mercancías ligeras y de alto valor añadido, mercancías y personas. Normalmente los circuitos en los que se movían los artículos eran cortos, ya que no solían sobrepasar el ámbito interregional. Era llevado a cabo por arrieros profesionales especializados, que durante muchos siglos se agruparon en torno a gremios privilegiados. El transporte de mercancías pesadas y voluminosas requería más medios. También solía tener circuitos cortos, de ámbito local o regional, que dependían de las ferias y los mercados.



Existían por entonces dos tipos de vías: los caminos de herradura, por los que sólo podían circular: mulas, bueyes, caballos y personas; y las carreteras, por las que podían circular los carros. Las carreteras eran escasas, y sólo unían las principales ciudades.

Estas vías necesitaban continuas reparaciones, sobre todo tras la generalización en el siglo XVIII de las ruedas de clavos. Para ello se creó a lo largo de la red un servicio de peones camineros encargados de mantener la vía en buen estado. No obstante, con frecuencia, no se reparaba la vía más que con motivo de la visita real. En esta época, los viajes eran largos y lentos; se solía emplear más de una jornada.

Durante la revolución industrial el transporte consigue un avance espectacular, fundamentalmente por dos motivos: la creación de una vía segura y adecuada para el transporte, y una máquina potente y regular. Estas características las tuvo el ferrocarril, que fue el gran medio de transporte que impulsará la revolución industrial, no sólo por que pondrá las mercancías en el mercado en grandes cantidades, sino porque él mismo demandó gran cantidad de productos industriales. Será con la máquina de vapor aplicada al transporte como se consigan estos avances. El transporte por ferrocarril permite, al disponer de una vía privativa y rápida, transportar grandes cantidades de mercancía de una manera segura, rápida y regular.

A comienzos del siglo XX se consiguen los primeros derivados del petróleo de manera industrial, y se logra tratar la hevea para obtener caucho. Comienza entonces el asfaltado de las carreteras y se obtiene, con el motor de explosión y la rueda de caucho, un vehículo rápido, tanto como el tren, y seguro, pero mucho más versátil. Al no depender de la vía férrea puede llegar a todas partes, lo que le hace muy superior al ferrocarril. Al no depender de la vía férrea puede llegar a todas partes, lo que le hace muy superior.

El coche fue aumentando progresivamente su capacidad de carga, hasta que aparecen los camiones. Sin embargo, las carreteras, que hasta el momento habían estado infrutilizadas por falta de un vehículo adecuado, toman pronto un protagonismo decisivo; hasta el punto de desplazar en pocos años al ferrocarril. El transporte por carretera evita la carga y descarga del tren (dos operaciones menos), y también el almacenamiento en la estación, esto solo hace al transporte por carretera más barato. Además, impulsa la industria siderúrgica de transformación y crea una compleja red de servidores para el automóvil.

Hoy en día el sector del transporte es esencial para el funcionamiento de los países, por eso es el Estado quien construye las infraestructuras viarias: carreteras, vías de ferrocarril, puertos y aeropuertos, que todos pueden utilizar más o menos libremente. Para cualquier zona subdesarrollada la construcción de una carretera es una garantía, y una condición, de desarrollo.

Las grandes ciudades se caracterizan por conflictos viales debidos a la elevada demanda de transporte e intensa actividad económica. El Distrito Federal inició el siglo XX con aproximadamente 540 mil habitantes y 800 vehículos para satisfacer su demanda de transporte. Para 1953 la población se había incrementado a 3.5 millones y en 1960 la cifra superaba los 4.5 millones. Para 1964 había una fuerte tendencia hacia los 5



millones de habitantes en contraste con las 7 200 unidades de transporte público que circulaban por la capital (casi un 40% de los viajes totales se hacían en el centro de la ciudad).

Existen antecedentes poco documentados sobre las propuestas de trenes metropolitanos en la Ciudad de México: estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de México, en 1958, presentaron el proyecto de un *monorraíl* para la Ciudad de México como tema de tesis; en 1960 Vicente S. Pedrero y Ramón C. Aguado presentaron al Departamento del Distrito Federal estudios de factibilidad para la construcción de un *monorraíl*; y en 1965 José María Fernández desarrolló un proyecto para la construcción de un sistema de transporte elevado y subterráneo.

El ingeniero Bernardo Quintana Arrijoja (1919-1984), fundador de la empresa mexicana Ingenieros Civiles y Asociados, SA de CV, hoy Empresas ICA, SAB de CV, elaboró estudios que permitieron la creación de un anteproyecto, y posteriormente un proyecto, para la construcción de un sistema de transporte masivo en la Ciudad de México. La propuesta del proyecto se presentó en 1958 a Ernesto P. Uruchurtu, Regente de la Ciudad de México de 1952 a 1966, quien la rechazó al considerarla económicamente costosa. Además, el 28 de julio de 1957, un sismo de 7.7 grados en la escala *Richter* dañó diversos edificios del centro de la ciudad, hecho que provocó la desconfianza entre las autoridades para construir proyectos de grandes dimensiones como el presentado por Quintana.

Quintana presentó nuevamente su proyecto de transporte en el sexenio de Gustavo Díaz Ordaz, Presidente de México de 1964 a 1970. De nueva cuenta el obstáculo resultó el costo elevado de la obra. Gustavo Díaz Ordaz decidió aprovechar el acercamiento del presidente francés Charles de Gaulle hacia Latinoamérica. Alex Berger, empresario francés, entonces esposo de la actriz María Félix, amigo de Quintana, fungió como mediador entre los gobiernos francés y mexicano para la obtención del crédito.

Como resultado de la negociación el gobierno mexicano cubrió el costo de la obra civil, estudios de geotecnia, diseño de estaciones, entre otros, y el gobierno francés la obra electromecánica. La obra tuvo un costo total de MXP\$ 2 530 millones, de los cuales, MXP\$ 1 630 millones provinieron del crédito francés y MXP\$ 900 millones por parte del Departamento del Distrito Federal.

El 29 de abril de 1967 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el decreto presidencial que crea el Sistema de Transporte Colectivo, organismo público descentralizado, para construir, operar y explotar un tren rápido subterráneo como parte del transporte público del Distrito Federal.

El 4 de septiembre de 1969 Gustavo Díaz Ordaz y Alfonso Corona del Rosal, Regente del Distrito Federal de 1966 a 1970, inauguraron formalmente el servicio entre las



estaciones Chapultepec y Zaragoza. Un tren construido por la compañía francesa *Alstom*, modelo *MP-68*, decorado con franjas tricolores y el escudo nacional mexicano a sus costados, realizó el recorrido inaugural entre las estaciones Insurgentes y Zaragoza.

El Metro de la Ciudad de México es un sistema de transporte público tipo tren pesado que sirve a extensas áreas del Distrito Federal y parte del Estado de México. Su operación y explotación está a cargo del organismo público descentralizado denominado Sistema de Transporte Colectivo (STC), y su construcción estuvo a cargo del Proyecto Metro del Distrito Federal, un organismo desconcentrado perteneciente a la Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal. Se conoce coloquialmente como Metro, por la contracción del término *tren metropolitano*.

En el 2006 ocupó el tercer lugar a nivel mundial en captación de usuarios, al transportar a un promedio de 3.9 millones de pasajeros al día (en ocasiones superado por los metros de Nueva York, Moscú y Tokio). También en ese año obtuvo el quinto lugar a nivel mundial por la extensión de su red.

El Metro de la Ciudad de México cuenta con 11 líneas. Cada línea tiene asignado un número y un color distintivo (números del 1 al 9 y las letras A, B). El parque vehicular está formado por trenes de rodadura neumática, a excepción de la línea A, que emplea trenes de rodadura férrea. La extensión total de la red es de 201.388 kilómetros y posee un total de 175 estaciones de las cuales: 112 son de paso, 41 de transbordo y 22 terminales (11 de las terminales son de transbordo). El metro está construido de forma subterránea, superficial y viaducto elevado: 106 estaciones son subterráneas, 53 superficiales y 16 en viaducto elevado. 164 estaciones se encuentran en el Distrito Federal y 11 en el Estado de México.

II OBJETIVO

2.1 Objetivo del proyecto

Utilizar el Sistema Rodar®, integrado con tecnología no destructiva de vanguardia, para realizar levantamientos de información geofísica, con la finalidad de ubicar huecos bajo la losa de fondo del cajón del Metro, identificar los sitios a través de los cuales se presume la existencia de fuga de balasto y detectar fracturas o fallas estructurales de las losas del cajón, sin interrumpir la operación y causar daños a la estructura, instalaciones y sistemas de comunicación de la Línea “A” del Sistema de Transporte Colectivo.

2.2 Beneficios del proyecto

El estudio de exploración geofísica, tipo no destructiva, para localización de huecos bajo la losa de fondo del cajón del Metro, identificación de fuga de balasto y detección indirecta de fracturamiento de las losas de cajón, para el tramo Guelatao – Los Reyes de



la Línea “A” puede ser parte de la solución de la línea A del metro de la Ciudad de México ya que presenta problemas de hundimientos diferenciales que requieren la reconstrucción del cajón (por donde va la vía) en las zonas donde se encuentra fracturado.

Fue un proyecto de tres etapas, donde la tercera y última etapa consistiría en la inyección de polímeros por debajo de las vías con el método URETEK para su estabilización.

Cumplidas las tres etapas de trabajo, la línea A del Metro alargará su periodo de funcionamiento otros 20 años, siempre y cuando se le dé el mantenimiento adecuado mediante revisiones, siendo la técnica de RODAR una gran opción.

III TOPOGRAFIA

La topografía es una disciplina de vital importancia en todos los procesos relacionados con cualquier ingeniería y para desarrolló de muchísimos proyectos, sobre todo para el desarrollo de infraestructura en cualquier ámbito. Tanto es así que es común encontrar topografía como asignatura en la gran mayoría de las carreras técnicas y de ingeniería en nuestro país. Es bien sabido que para casi cualquier tipo de proyecto o estudio, es necesario contar con un modelo a escala del terreno donde se desarrollarán estos. Posteriormente, la topografía también será una de las herramientas más importantes para materializar en el terreno todo aquello que se ha proyectado.

Queda claro que es de vital importancia, para todos los futuros ingenieros, conocer las técnicas y métodos disponibles para modelar el terreno y plasmar algún proyecto en el mismo.

Dicho lo anterior, es necesario comprender la división que tiene la topografía que consta de dos partes. La primera encargada de obtener, por diferentes métodos, la proyección horizontal sobre un plano, la cual es denominada *planimetría*. La segunda parte será la encargada de obtener las cotas necesarias de puntos sobre el terreno y es denominada *altimetría*.

3.1 Planimetría

La planimetría es aquella rama de la Topografía que se ocupa de la representación de la superficie terrestre sobre un plano. Así es que la misma centra su estudio en el conjunto de métodos y procedimientos que tenderán a conseguir la representación a escala de todos aquellos detalles del terreno en cuestión sobre una superficie plana, exceptuando su relieve y representándose en una proyección horizontal.

3.1.1 Tipos de levantamientos



Levantamientos por poligonal

Para representar gráficamente la superficie de un terreno levantado es necesario apoyarse en figuras geométricas, puntos, líneas, coordenadas, curvas, etc. En este sentido podemos apoyarnos en poligonales abiertas o cerradas, desde las cuales podamos obtener las medidas angulares y longitudinales que nos permitan representar gráficamente la porción del terreno con todos sus detalles.

Poligonal envolvente

En algunas ocasiones la forma del terreno no nos permite hacer el levantamiento sobre sus linderos al presentar ciertos obstáculos o por no poder colocar el aparato dentro de los límites como en un lago o las orillas de un río, para ello utilizamos una poligonal que envuelva la porción del terreno a levantar como se muestra a continuación.

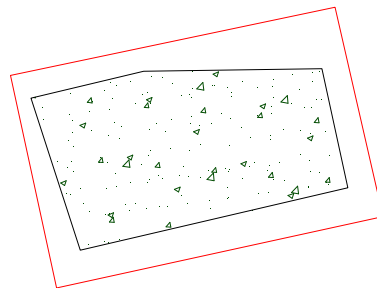


Fig. 1 Poligonal envolvente

Poligonal interior o inscrita

En el mejor de los casos al hacer un levantamiento se pretendería obtener los datos forma directa colocando cada vértice de nuestra poligonal en los vértices de la poligonal del terreno, no obstante es muy difícil caer en uno de estos casos incluso en ocasiones tampoco se puede utilizar una poligonal envolvente y es necesario apoyarse de una poligonal inscrita desde dentro del terreno.

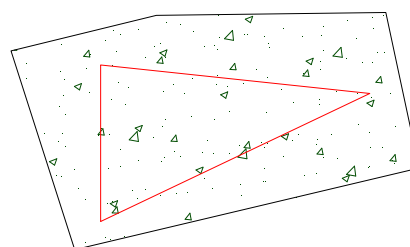


Fig. 2 Poligonal interior

Poligonal mixta

Esta es una combinación de las dos anteriores un y se aplica cuando por caprichos naturales obstáculos al medir es necesario tomar algunos puntos desde interior del terreno y otros por afuera de este llevando una poligonal que atraviesa el terreno y se encuentra afuera y dentro en algunas partes.

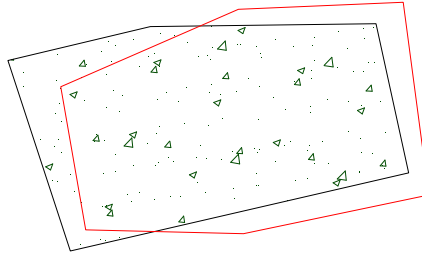


Fig. 3 Poligonal mixta

Poligonal coincidente

Al tener visibilidad en la poligonal del terreno desde cada vértice a su anterior y próximo con toda libertad y por lo tanto la poligonal de apoyo coincide ser la poligonal del terreno.

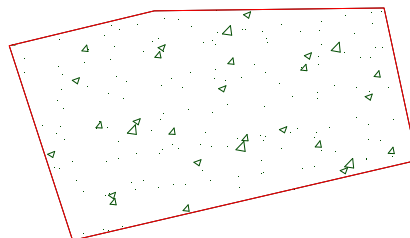


Fig. 4 Poligonal coincidente

Levantamiento por radiación

Estos se aplican cuando desde un punto y con una referencia tomamos las medidas angulares y distancias horizontales hacia cada punto o detalles del terreno.

Levantamiento polar

Cuando la referencia tomada es siempre el norte y los ángulos tomados en realidad son azimut's hacia los detalles del terreno.

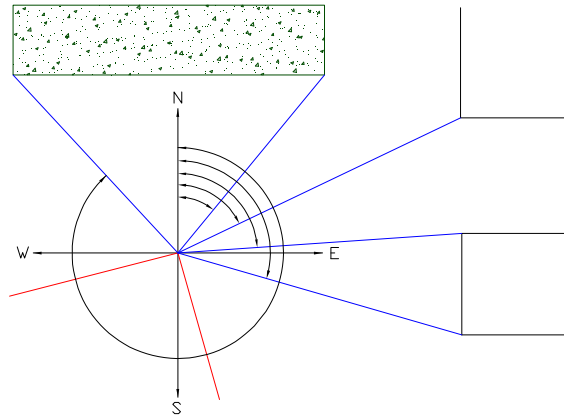


Fig. 5 Levantamiento polar.

Si el punto base tiene coordenadas, es posible propagarlas y dar coordenadas a los puntos radiados con la referencia al “N” con las siguientes fórmulas:

$$\tan \theta = \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1} = dist_{1-2}$$

$$dist_{1-2} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$$

Como conocemos θ y (X_1, Y_1) es posible encontrar los coordenadas del nuevo punto.

Radiaciones desde vértices de poligonal y con referencia a los lados de la misma

En este caso la línea de referencia no es hacia el norte si no visando al vértice anterior o siguiente de la poligonal.

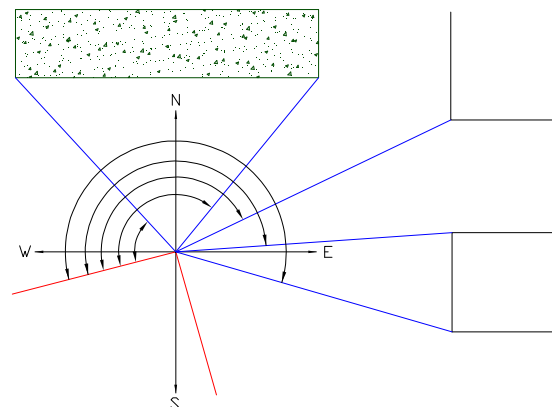




Fig. 6 Radiaciones desde vértices de la poligonal.

Levantamientos por intersección de líneas

Se utiliza cuando es inaccesible o de difícil acceso al punto que se necesita tomar, logrando ubicarlo al tomar las medidas angulares desde dos vértices de una poligonal abierta o cerradas hacia el punto inaccesible. Un ejemplo de este caso podría ser al ubicar bien un objetivo del lado opuesto de un río difícil de atravesar.

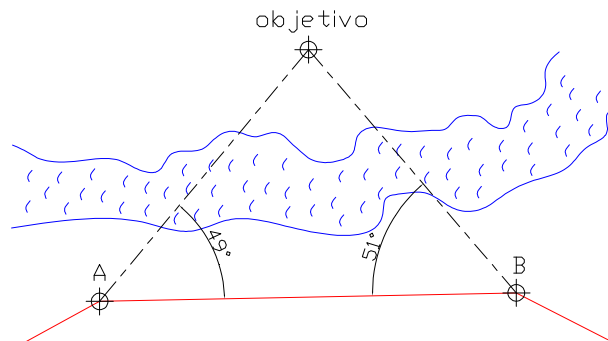


Fig. 7 Levantamiento por intersección de líneas.

3.1.2 Compensación de poligonales

Es evidente que las poligonales siempre tendrán un error de cierre por más pequeño que sea éste y con una compensación se pretende eliminar dicho error y convertir dicha poligonal en una figura geométrica perfecta. Existen dos tipos de compensación, una para un cierre angular y otra para cierre lineal, siempre siguiendo los siguientes criterios:

- Si el error es \leq a la tolerancia, el trabajo se ejecutó correctamente y se compensa el error de cierre.
- Si el error es $<$ a la tolerancia, el trabajo se ejecutó incorrectamente. Se rectifica o se repite el trabajo.

Cierre angular

Primeramente hay que tomar en cuenta lo siguientes:

En un polígono cerrado, $\sum \angle_{int} = 180^\circ (n - 2)$, $\sum \angle_{ext} = 180^\circ (n + 2)$ y $\sum \Delta = 360^\circ$

Una vez tomando en cuenta esto, se obtiene cual fue el error angular y este puede ser compensado aplicando una corrección en cada ángulo tomado obtenida al dividir el error angular entre el número de ángulos tomados ya que se considera que todos fueron tomados bajo las mismas condiciones.



Para comparar el error angular con su tolerancia se propone:

$$Em = \pm \left(\frac{a}{2} \right) : \text{para un ángulo}$$

Para (n) ángulos...

$$Et = Em\sqrt{n} = \pm \left(\frac{a}{2} \right) \sqrt{n} : y$$

$$\text{Tolerancia} = 2 \left[\pm \left(\frac{a}{2} \right) \sqrt{n} \right] : \text{por lo general se toma:}$$

$$\text{Tolerancia} = \pm a\sqrt{n}$$

Donde:

a = aproximación del aparato

n = número de ángulos medidos del polígono.

Cierre lineal

Existe una condición para que un polígono cierre linealmente se trata de que la suma algebraica de las proyecciones de sus lados sobre dos ejes rectangulares sea nula.

Convenientemente se adoptan los ejes como los que interconectan los puntos cardinales siendo N-S el eje vertical y E-W el horizontal y se habla de una suma algebraica ya que se toman los valores en N y E como positivos (+) y en S y W como negativos (-).

Para obtener una compensación en general de la poligonal se utiliza el método gráfico, que es el más práctico pero menos preciso o el método analítico que se divide a su vez en el método de la brújula y el del tránsito.

Método de la brújula

Esta basado en las siguientes hipótesis.

1. En que los errores en el levantamiento son accidentales y varían con respecto a la raíz cuadrada de la longitud de los lados, por lo que se corrige proporcionalmente a la longitud de los lados.
2. También en que los errores angulares tienen efectos semejantes a los de cadenamamiento.



Con los datos obtenidos en campo, rumbos y distancias se obtienen las proyecciones correspondientes y coordenadas correspondientes consiguiendo así la tabla siguiente:

Lado	Longitud	Rumbo	Seno	Coseno	Proyecciones				V	Coordenadas	
					+ N(cos)	- S(cos)	+ E(sen)	- W(sen)		X	Y
A-B									A		
B-C									B		
C-D									C		
D-A									D		
									A		

Tabla 1

Las coordenadas iniciales y finales no coinciden debido al error es por eso que se genera un factor de corrección para las proyecciones en X y para las proyecciones en Y de la siguiente manera.

Parcialmente se obtiene el error en Y (Ey) y el error en X (Ex).

$$E_y = \sum N - \sum S$$

$$E_x = \sum E - \sum W$$

$$\text{Error Total Lineal } E_t = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

Precisión

$$P = \left[\frac{1}{\frac{\text{perímetro}}{E_t}} \right]$$

De lo anterior se tiene que:

$$\frac{\text{Corrección a la proyección Xy de un lado}}{\text{Error Xy}} = \frac{\text{Longitud del lado}}{\text{Long. Total}}$$

$$\frac{C_x}{E_x} = \frac{L_{x_1}}{L_{T_x}} \therefore \frac{C_x}{E_x} = \frac{L_{x_1}}{\sum \text{Proy}E + \sum \text{Proy}W} \therefore C_x = \frac{E_x}{\sum E + \sum W} L_{x_1}$$

También:



$$\frac{C_y}{E_y} = \frac{Ly_1}{LTy} \therefore \frac{C_y}{E_y} = \frac{Ly_1}{\sum \text{Proy}N + \sum \text{Proy}S} \therefore C_y = \frac{E_y}{\sum N + \sum S} Ly_1$$

Donde:

$$K_x = \frac{E_x}{\sum E + \sum W} \quad \text{y} \quad K_y = \frac{E_y}{\sum N + \sum S}$$

Siendo estas unas constantes que se multiplicarán por las correcciones parciales y que se sumaran o restaran a las proyecciones originales para obtener una proyecciones corregidas.

El signo de la corrección será “+” o “-” dependiendo cual se sus sumatorias parciales sea mayor, es decir:

Si $\sum N > \sum S$ entonces las correcciones aplicadas a las proyecciones en N serán negativas ya que el objetivo es nivelar los valores en las sumatorias para que los errores de los ejes sean nulos, aplicando de igual manera esta regla a las proyecciones en el eje de las X.

Compensación de una poligonal abierta

Este método de compensación está basado en el triángulo del error.

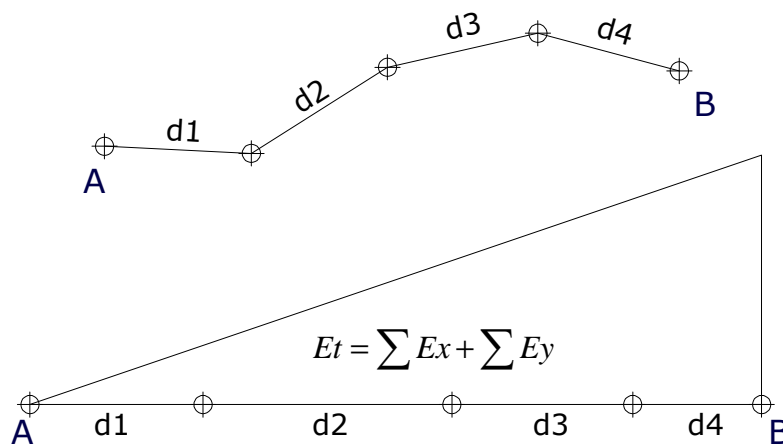


Fig. 8 Triángulo del error.



Los errores y las distancias se acumulan para obtener el error total. Este error total se distribuye proporcionalmente entre todos los lados de la poligonal.

Para compensar la poligonal abierta tenemos primero que tener una poligonal cerrada y compensada.

La poligonal cerrada contiene coordenadas fijas, ya que fue compensada y se eliminaron los errores que pudiese tener. De la poligonal cerrada establecemos dos puntos, los cuales servirán como coordenadas de partida y las coordenadas de llegada de la poligonal abierta, cabe mencionar que estos puntos de la poligonal abierta se han establecido de manera que puedan ligar las dos poligonales, teniendo en común estos puntos para ambas poligonales, pero considerando como fijas las coordenadas de la poligonal cerrada y como coordenadas a compensar las coordenadas de la poligonal abierta.

Las coordenadas de inicio para ambas poligonales son las mismas, pero las coordenadas de llegada serán diferentes, ya que las coordenadas de la poligonal cerrada son fijas, y éstas han sido compensadas, mientras que las de la poligonal abierta contienen errores en sus coordenadas y esta poligonal no está cerrada, por lo que es necesario compensarla.

Comparando las coordenadas de llegada de las poligonales cerrada y abierta encontraremos su diferencia que es el error total. Si éste cae dentro de la tolerancia permitida se procederá a repartir el error para compensar la poligonal, estableciendo proporciones entre la distancia recorrida y el error total.

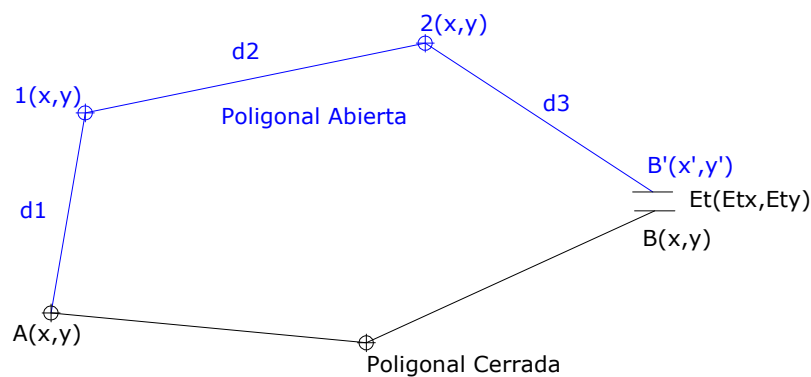


Fig. 9 Error de cierre.

De lo que:

$Dt = \sum d1, dn$; a la distancia total recorrida entre los puntos A y B.

B; Coordenadas de partida.



A; Coordenadas de llegada.

$d_1, d_2, d_3, d_4, \dots, d_n$; distancia entre los puntos intermedios de poligonal abierta, que se encuentran entre los puntos A y B y los cuales se van acumulando.

E_t ; error total de la comparación de coordenadas.

C_1, C_2, C_3 ; correcciones a las coordenadas de los puntos intermedios 1, 2, 3.

Para el eje X tenemos:

$$\left(\frac{C_{1x}}{C_{2x}} \right) = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)$$

Y la corrección será proporcional a la distancia entre cada punto y el punto de partida.

Si establecemos la proporción:

$$\left(\frac{D_t}{E_t} \right) = \left(\frac{d_1}{C_{1x}} \right) \text{ encontramos que:}$$

Como el error se va acarreado, en el segundo punto debemos considerar las distancias d_1 y d_2 (que son las distancias acumuladas) de manera que:

$$\left(\frac{D_t}{E_{tx}} \right) = \left(\frac{[d_1 + d_2]}{C_{2x}} \right); \text{ por lo tanto}$$

$$C_{2x} = \frac{[E_{tx}(d_1 + d_2)]}{D_t}$$

Siendo ésta la corrección del punto 2, de igual forma:

$$\left(\frac{D_t}{E_{tx}} \right) = \left(\frac{[d_1 + d_2 + d_3]}{C_{3x}} \right); \text{ quedando}$$

$$C_{3x} = \frac{[E_{tx}(d_1 + d_2 + d_3)]}{D_t}$$

Que es la corrección del punto 3.



Y así sucesivamente según el número de puntos que se tengan, aplicando en cada caso el signo correspondiente a la corrección, en función del signo que resulta en el error.

Para el eje Y tenemos:

Se obtiene la razón:

$$\left(\frac{C1y}{C2y} \right) = \left(\frac{d1}{d2} \right)$$

Y la corrección será proporcional a la distancia entre cada punto y el punto de partida.

Si establecemos la proporción:

$$\left(\frac{Dt}{Ety} \right) = \left(\frac{d1}{C1y} \right); \text{ encontramos que}$$

$$C1y = \frac{[Ety(d1)]}{Dt} \text{ ésta es la corrección del punto 1.}$$

Como el error se va acumulando, en el segundo punto debemos considerar las distancias $d1$ y $d2$ (que son las distancias acumuladas) de manera que:

$$\left(\frac{Dt}{Ety} \right) = \left(\frac{[d1 + d2]}{C2y} \right) \text{ por lo tanto,}$$

$$C2y = \frac{[Ety(d1 + d2)]}{Dt}$$

Siendo esta la corrección del punto 2, en igual forma:

$$\left(\frac{Dt}{Ety} \right) = \left(\frac{[d1 + d2 + d3]}{C3y} \right) \text{ con lo que;}$$

$$C3y = \frac{[Ety(d1 + d2 + d3)]}{Dt} \text{ que es la corrección del punto 3.}$$

Las correcciones se van realizando sucesivamente según el número de puntos que se tengan, se aplica la corrección con su correspondiente signo para eliminar el error. Al final se eliminarán los errores y la poligonal quedará cerrada y compensada como se muestra en la siguiente figura.

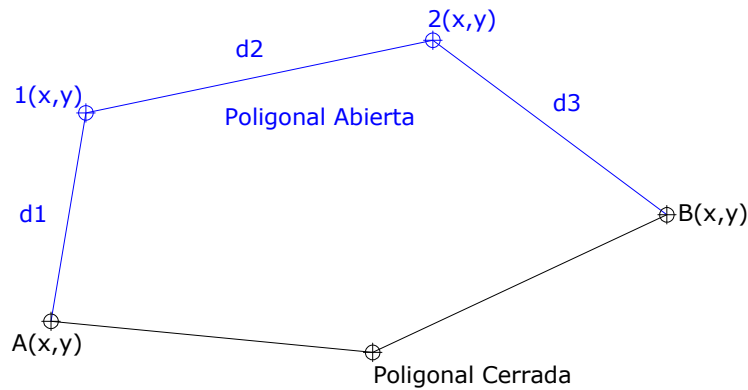


Fig. 10 Poligonal ajustada.

3.2 Altimetría

3.2.1 Conceptos

Altimetría

Altimetría es la parte de la topografía que tiene por objeto estimar las elevaciones de puntos respecto a una superficie de nivel; el nivel medio de las aguas del mar es la superficie que se toma como referencia y se le denomina dátum. En la práctica, cuando no interesa o no se tiene a la mano algún punto referido al nivel del mar, se puede elegir discrecionalmente.

Superficie de Nivel

La superficie de nivel es la curva que en cada uno de sus puntos, es perpendicular a la vertical. El agua tranquila o en reposo es un ejemplo de una superficie a nivel.

Plano Horizontal

El plano horizontal es perpendicular a la dirección de la gravedad y es tangente a una superficie de nivel en un solo punto, y una línea horizontal es una recta tangente a una superficie de nivel.

Nivelación

Nivelación es la operación por medio de la cual se determina la diferencia de nivel entre dos o más puntos o, lo que es lo mismo, las distancias verticales entre ellos. Los instrumentos que se emplean son el nivel de anteojo y una mira graduada que se coloca verticalmente y en la que se pueden leer decímetros y centímetros, e incluso doubles milímetros si el trabajo necesita gran precisión. La nivelación se emplea para determinar la elevación o cota exacta (distancia vertical) de puntos determinados, que se denominan puntos topográficos de referencia, sobre un nivel de comparación (plano de referencia); estos puntos se utilizan para colocar las rasantes en carreteras, alcantarillados, edificios y otros trabajos de construcción. La nivelación se emplea



también para obtener datos con los que trazar el perfil de una línea dada o determinar la forma de la superficie terrestre por medio de curvas de igual elevación (llamadas curvas de nivel).

Contrariamente al teodolito, el nivel no tiene por que colocarse en estación sobre un punto determinado; se coloca en cualquier sitio desde el cual se pueda ver y leer la mira fácilmente. De aquí que no lleve ninguna cadena con gancho para atar la plomada.

Los instrumentos utilizados para evaluar las diferencias de nivel, se denominan alímetros.

3.2.2 Tipos de errores en la nivelación

Instrumento desajustado

El ajuste del nivel es muy importante. El instrumentista experimentado siempre realiza constantes chequeos para constatar que el nivel está ajustado, inclusive es necesario verificar dicho ajuste en el instrumento antes de realizar cualquier nivelación para no provocar errores.

Burbuja de nivel no centrada

Si la burbuja del nivel no está centrada al tomar las lecturas, éstas tendrán errores. Una persona no experimentada frecuentemente comete errores, puede tropezar en el aparato, el triple puede hundirse en el suelo, desnivelar el aparato al girar el telescopio. En tal sentido, el observador debe ser muy cuidadosos y verificar la burbuja antes y después de cada lectura.

Cuando la mira no está vertical

El observador cuando visualiza la mira puede ver si está inclinada hacia un lado u otro por medio del hilo vertical del telescopio y si es necesario puede señalarle al estadalero que lo alinee. Por otro lado, como el observador no puede ver si la mira está vertical, el estadalero debe oscilar la mira hacia el instrumento y hacia atrás y anotar la lectura más pequeña que se observe a través del telescopio.

Hundimiento de la mira

El estadalero debe colocar la mira en puntos firmes, los cuales no se hundan y sean realmente identificables. Sobre suelo ordinario, sin la posibilidad de asentamientos, se puede colocar la mira sobre una estaca o algún rasgo natural como una roca firme.

Longitudes erróneas de la mira

Si las longitudes graduadas en la mira son erróneas, las lecturas tendrán errores. En tal sentido, las longitudes de las miras se deben verificar con una cinta de acero.



Telescopio desenfocado

El observador debe enfocar el lente del objetivo hasta que la imagen y los hilos de la retícula estén en el mismo plano, esto es, hasta que ellos no se muevan al mover el ojo.

Onda de calor

Cuando las ondas de calor son intensas causan errores en las lecturas de la mira. Estos se pueden minimizar reduciendo las visuales de la mira pero siempre es mejor realizar la nivelación sin la intensidad del calor.

Viento

Ocasionalmente los vientos fuertes causan errores accidentales al presionar el instrumento que provoca movimientos de la burbuja. Las visuales más cortas pueden reducir estos errores.

Lectura equivocada en la mira

El observador puede leer la mira incorrectamente, por ejemplo, puede leer 0.72 m. en lugar de 1.72 m. Esta equivocación ocurre frecuentemente cuando la visual está parcialmente obstruida por hojas, ramas, cerca del suelo, etc., por esto, es mejor si no se pueden ver las marcas, decirle al estadalero, el levante la mira hasta que se ha una de las marcas.

Mover los puntos intermedios

Un estadalero descuidado puede causar serias equivocaciones cuando mueve el estadal de la toma de la lectura en un punto intermedio o cuando se cambia de posición el instrumento para continuar una nivelación. Un buen estadalero previene estas equivocaciones, usando puntos intermedios bien definidos o mancándolos muy bien.

Equivocaciones en las anotaciones de campo

Estos errores se cometen cuando el observador anota valores incorrectos o cuando se equivoca en las operaciones de suma y resta de las lecturas. Para prevenir estos, conviene que el observador anuncie las lecturas cuando las toma y cuando las escribe.

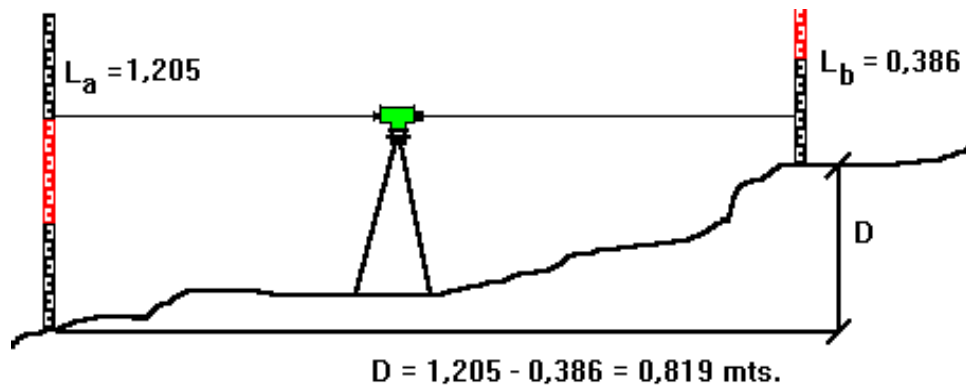


Fig. 10 Poligonal ajustada.

3.2.3 Tipos de nivelación

Es importante conocer el conjunto de métodos u operaciones que tienen por objeto determinar las altitudes de los diversos puntos del terreno referidos a un mismo plano horizontal de referencia.

Los métodos de nivelación son:

1. Diferencial o Geométrica.
2. Trigonométrica.
3. Barométrica.

NIVELACIÓN DIFERENCIAL

La nivelación diferencial puede ser simple o compuesta, siendo la primera aquella en la cual se puede determinar el desnivel entre dos puntos, con una sola estación y la compuesta cuando es necesario para determinar el desnivel entre dos puntos, dividir la sección, en cierto número de tramos. La nivelación diferencial se emplea solo cuando se desea determinar el desnivel entre dos puntos del terreno.

Nivelación diferencial simple

En la nivelación diferencial simple, se hace estación en medio de los puntos cuya altura se desea determinar, se nivela el aparato y con el telescopio girando azimutalmente se toman aproximando al milímetro, las lecturas de los estadales colocados verticalmente en cada uno de los puntos.

Nivelación diferencial compuesta

El desnivel de varios tramos de la sección nos dará el desnivel total.



A continuación se ilustra el modelo de registro para una nivelación diferencial compuesta. En la primera columna se anota el punto observado, en la segunda columna la lectura de atrás (+), en la tercera la lectura de adelante (-).

Tabla 2

P.O.	+	-	Cota
A	2.181		100.000
PL1	2.500	3.196	
PL2	1.260	3.181	
B		1.832	
Suma:	5.941	8.209	

$$Dn. = +5.941 - 8.209 = -2.268 \text{ m.}$$

Para obtener el desnivel total entre los dos puntos A y B, se suman las lecturas (+) y se restan de la suma de las lecturas (-). Si la suma de las lecturas positivas resulta mayor que las negativas, el desnivel será positivo y si es el contrario, el desnivel será negativo.

Nivelación de perfil

Es aquella donde independientemente de conocer las cotas de puntos sobre el terreno también se conocen las distancias horizontales entre ellos, así podemos representar el relieve en un perfil o proyectarlo en un plano.

MÉTODOS DE COMPROBACIÓN DE UNA NIVELACIÓN

Durante una nivelación se cometen errores que dependiendo de su magnitud pueden corregirse o también pueden reflejar en forma notable el resultado. Como ya se trató anteriormente el motivo de estos errores puede ser de carácter natural, personal o instrumental por lo que es necesaria una comprobación para conocer la magnitud del error y saber si es tolerable y posteriormente compensarlo.

Para conocer dicha magnitud de los errores es necesario aplicar en campo una comprobación y a continuación se describen algunos métodos.

Para comprobar la nivelación, ésta se repite de regreso (conocida como nivelación de circuito). Si el tramo es largo, es preferible llevar una doble nivelación, ya sea con doble puesta de aparato o doble punto de liga (PL).

La tolerancia en una nivelación debe ser igual a $1\text{cm}/K$, generalmente, siendo K el



número de kilómetros recorridos. Al término de la nivelación, ésta debe comprobarse con la tolerancia, de resultar mayor, debe repetirse la nivelación.

Comprobación:

Tabla 3

P.O.	+	-	COTA
A	2.16		
PL1	2.483	3.43	
PL2	1.162	3.018	
B		1.618	
SUMA:	5.805	8.066	

$$Dn = +5.805 - 8.066 = -2.261 \text{ m.}$$

$$Dn: \text{ primera nivelación} = -2.268 \text{ m.}$$

$$\text{No. de Km. Recorridos} = 2$$

$$\text{Tolerancia: } 1 \text{ cm}/2 = 0.014 \text{ m}$$

$$\text{Error} = 2.268 - 2.261 = 0.007 \text{ m}$$

$$\therefore \text{Error} < \text{Tolerancia.}$$

La cota del punto B será igual a la cota del punto A \pm el desnivel, en nuestro ejemplo la cota de B = $100.00 - 2.264 = 97.736$

Comprobación por nivelación de circuito.

Se parte desde un banco de nivel o punto fijo cuya cota sea conocida hasta llegar a un banco de nivel del cual se quiere conocer la cota, una vez finalizada esta nivelación se repite el procedimiento pero partiendo de este último banco de nivel y recorriendo un camino diferente. La diferencia de niveles entre estas dos nivelaciones, la de ida y la de regreso, deben coincidir en no más de una tolerancia $T = 0.01\sqrt{K}$. De no ser así se tendrá que repetir el trabajo.

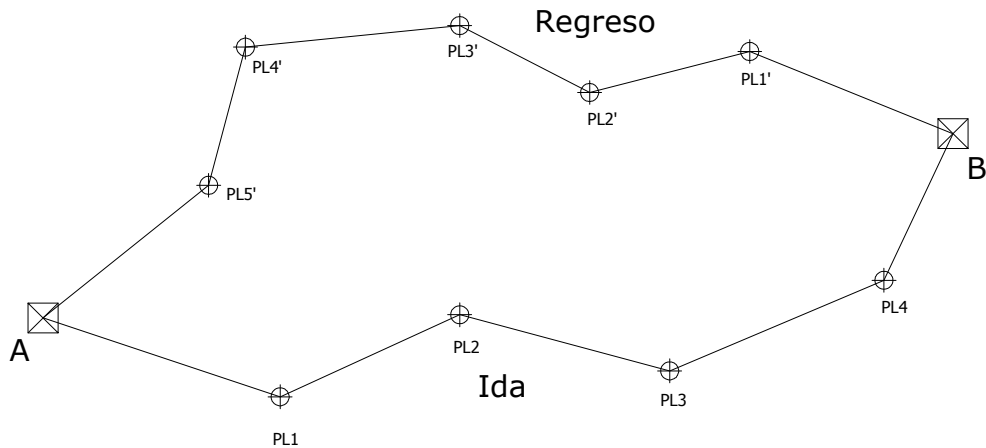


Fig. 11 Nivelación de circuito.

Comprobación por doble altura de aparato.

Esta nivelación se lleva a cabo solo de ida pero en cada punto de liga (PL) se repiten las lecturas después de colocar el aparato nuevamente y siendo que es muy difícil que se coloque exactamente en la misma posición y con la misma altura pues obtendremos unas lecturas diferentes que de hecho ese es el objetivo y que aun siendo diferentes nos deben de llevar al mismo resultado en no más de una tolerancia $T = 0.02\sqrt{K}$. Un beneficio de esta nivelación es que se puede ir comprobando en el trayecto realizando las operaciones pertinentes.

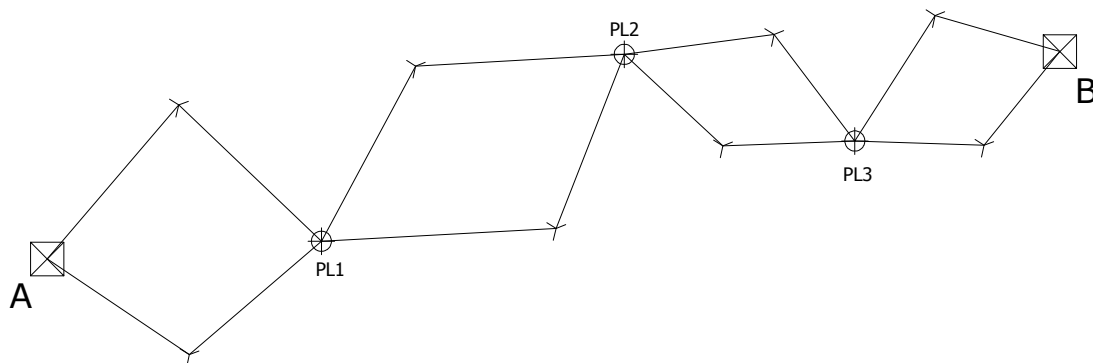


Fig. 12 Doble altura de aparato.

Comprobación por doble punto de liga.

Es parecido el este método al anterior ya que solo se hace de ida pero aquí solo se lleva una puesta de aparato desde el cual se toman las lecturas de dos puntos de liga y al pasar a la siguiente puesta de aparato se tomarán las lecturas a dichos puntos hacia atrás(+).

La diferencia de cotas entre el banco de nivel inicial y el final debe de ser no mayor que una tolerancia de $T = 0.15\sqrt{K}$.

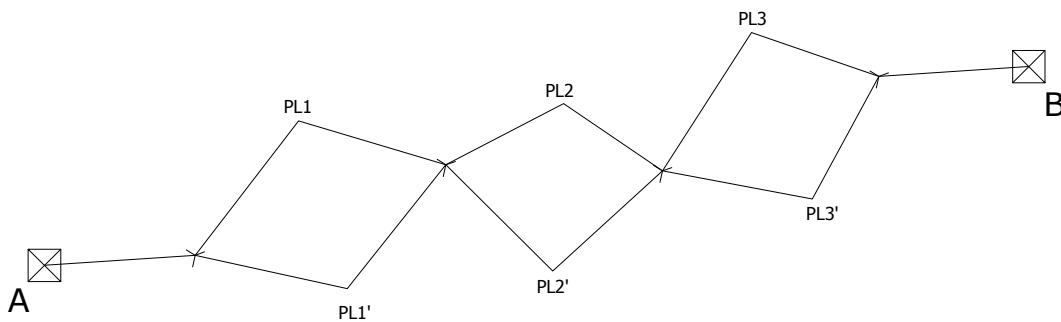


Fig. 13 Doble punto de liga.

Nivelación Trigonométrica

Para este método es importante basarnos en la resolución de un triángulo rectángulo situado en un plano vertical ya que en este caso no se trabaja exclusivamente en un plano horizontal para conocer el desnivel sino la resolución mediante funciones trigonométricas de dicho triángulo del cual se obtiene un ángulo vertical medido desde la visual en nuestro punto cuya cota conocemos y el punto del cual se desea conocer su cota y conociendo o determinando una de las distancias de los lados de dicho triángulo.

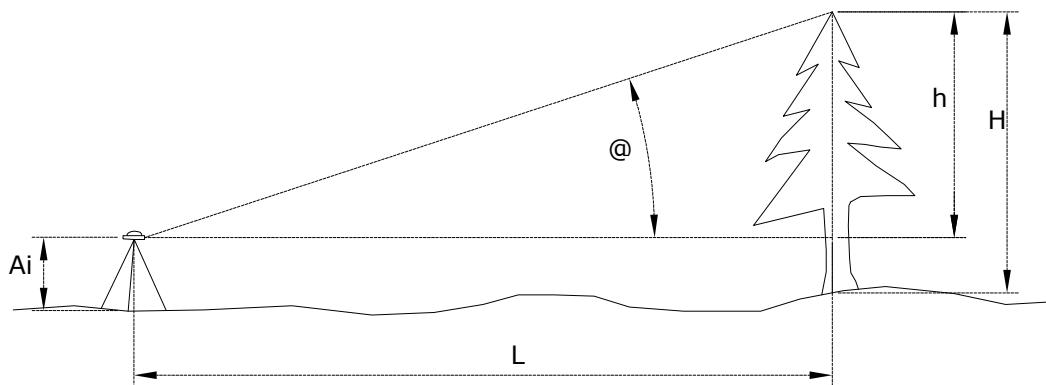


Fig. 14 Nivelación trigonométrica.

Nivelación Barométrica

Sí se requiere conocer el desnivel entre dos puntos se puede determinar tomando en cuenta que dichos puntos son localizados bajo la atmósfera y que la columna de esta por



encima de ellos nos ayudara a determinar, tras una serie de correcciones, el desnivel entre dichos puntos.

El principio general de este método está basado en los experimentos realizados por Torricelli.

3.2.4 Cálculo de Volúmenes por Secciones Transversales

Como ya se mencionó anteriormente es posible obtener el perfil de un eje conociendo los desniveles entre puntos sobre el mismo y las correspondientes distancias horizontales entre ellos y por comodidad es preferible que sean uniformes llamando a dichos puntos cadenamientos.

Tomando esto en cuenta, para calcular el volumen contenido en un tramo de terreno, se puede obtener el perfil de las secciones transversales en cada uno de estos cadenamientos y una vez teniendo los datos de dichas secciones no resulta difícil calcular el área de cada una de estas. Sí observamos por tramos el perfil del eje con sus secciones transversales obtenemos un prisma cuyas áreas de las bases son las correspondientes a las secciones transversales y la altura del prisma es la distancia entre cadenamientos con lo que obtenemos el volumen parcial entre dos cadenamientos y acumulados todos tendremos el volumen total de la porción del terreno que se desea calcular.

3.2.5 Configuración de un terreno

Las **Curvas de Nivel** son las líneas que describen la intersección de planos horizontales con la superficie terrestre por lo que también se puede describir como la línea que une aquellas puntos sobre el terreno natural que tienen la misma cota y que al ser representados por dichas líneas en un plano conseguimos la representación del relieve del terreno.

Las características principales de las curvas de nivel son:

- Las curvas de nivel definen la morfología del terreno.
- Cualquiera de los puntos de una curva de nivel están a la misma elevación.
- Todas las curvas de nivel son cerradas.
- Las curvas de nivel nunca se cortan, solo en casos de voladizos o socavones.
- La distancia horizontal entre curvas de nivel es inversamente proporcional a la pendiente, así pues, entre más pronunciada sea la pendiente menor será la distancia horizontal ya que el desnivel entre curvas de nivel es constante.
- Las curvas de nivel en una superficie plana son rectas paralelas.
- Las curvas de nivel no se bifurcan.
- En los cortes verticales las curvas de nivel se confunden pero no se pierden.

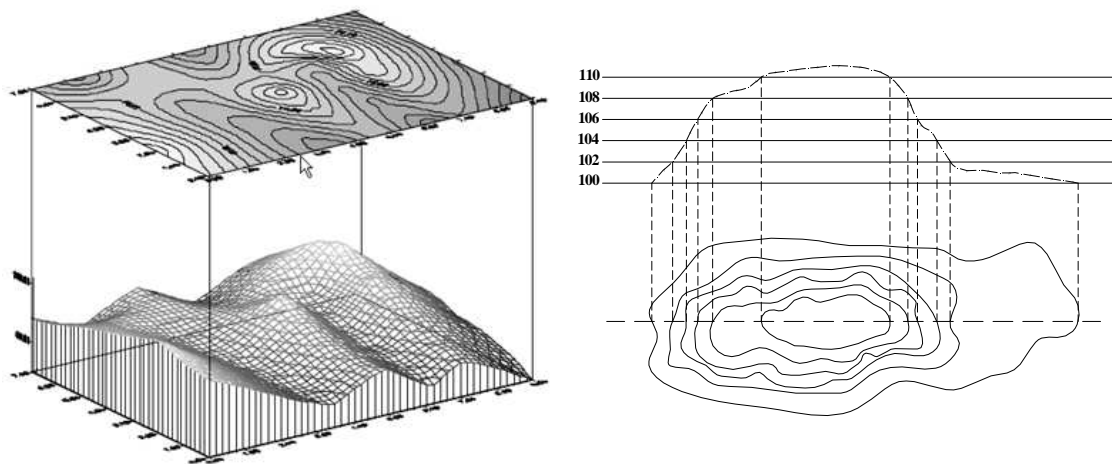


Fig. 15 Configuración del terreno (Curvas de nivel).

IV DESCRIPCION DEL EQUIPO TOPOGRAFICO

4.1 Equipo topográfico

Estación Total

Se denomina estación total a un aparato electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Algunas de las características que incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), leds de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, trackeador (seguidor de trayectoria) y en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales. Vienen provistas de diversos programas sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz y cálculo de acimutes y distancias.

Funcionamiento

Vista como un teodolito; una estación total se compone de las mismas partes y funciones. El estacionamiento y verticalización son idénticos, aunque para la estación total se cuenta con niveles electrónicos que facilitan la tarea. Los tres ejes y sus errores asociados también están presentes: el de verticalidad, que con la doble compensación ve reducida su influencia sobre las lecturas horizontales, y los de colimación e inclinación del eje secundario, con el mismo comportamiento que en un teodolito clásico, salvo que el primero puede ser corregido por software, mientras que en el segundo la corrección debe realizarse por métodos mecánicos.



El instrumento realiza la medición de ángulos a partir de marcas realizadas en discos transparentes. Las lecturas de distancia se realizan mediante una onda electromagnética portadora (generalmente microondas o infrarrojos) con distintas frecuencias que rebota en un prisma ubicado en el punto a medir y regresa, tomando el instrumento el desfase entre las ondas. Algunas estaciones totales presentan la capacidad de medir "a sólido", lo que significa que no es necesario un prisma reflectante.

Este instrumento permite la obtención de coordenadas de puntos respecto a un sistema local o arbitrario, como también a sistemas definidos y materializados. Para la obtención de estas coordenadas el instrumento realiza una serie de lecturas y cálculos sobre ellas y demás datos suministrados por el operador. Las lecturas que se obtienen con este instrumento son las de ángulos verticales, horizontales y distancias. Otra particularidad de este instrumento es la posibilidad de incorporarle datos como coordenadas de puntos, códigos, correcciones de presión y temperatura, etc.

La precisión de las medidas es del orden de la diezmilésima de gonio en ángulos y de milímetros en distancias, pudiendo realizar medidas en puntos situados entre 2 y 5 kilómetros según el aparato y la cantidad de prismas usada.

Levantamientos planimétricos

Los levantamientos planimétricos tienen por objetivo la determinación de las coordenadas planas de puntos en el espacio, para representarlos en una superficie plana: plano o mapa.

Cada punto en el plano queda definido por sus coordenadas. Estas pueden ser polares (rumbo y distancia) o cartesianas: distancias perpendiculares a ejes cartesianos: X e Y o N y E.

Los métodos de levantamiento comprenden todas las tareas que se realizan para obtener las medidas de ángulos y distancias, calcular las coordenadas y representar a escala los puntos en el plano, con la precisión adecuada.

Nivel

Instrumento conocido como equalímetro o nivel (este último término es el más usual). Consta de un nivel de burbuja, generalmente unido directa o indirectamente a un telescopio en el cual, el hilo horizontal de la retícula define un plano que contiene la línea de la visual o línea de colimación. Cuando la superficie de nivel es otro plano, las miras verticales o estadales serán paralelas entre sí, pero si la superficie de nivel se considera "no plana" es decir, la superficie del agua, en el caso más general la superficie de comparación es el nivel medio del mar, habrá que hacer las consideraciones pertinentes o bien las correcciones posteriores mediante el cálculo.

El telescopio va sobre un soporte metálico unido a una base con 4 y en aparatos modernos 3 tornillos niveladores, la parte inferior de esta base se encuentra sujeta mediante un tornillo, a la base de un trípode rígido, es decir sus patas no son extensibles.

Existen varios tipos de equalímetros o niveles: los tradicionales o antiguos, los de tipo basculante y los automáticos.



TIPOS DE NIVEL

Niveles tradicionales

Nivel tipo americano. También conocido como nivel “y” consta de un telescopio sostenido por dos en forma de y griega; de ahí su nombre. Permite que el telescopio gira libremente alrededor de su eje óptico, así como desmontarlo en un momento dado, ya que se encuentra sujeto por medio de dos abrazaderas. Lo anterior representa algunas ventajas en la revisión de las condiciones mecánicas que satisfacen las condiciones geométricas que se requieren, pero presenta el inconveniente de que pueden surgir errores sistemáticos y/o accidentales capaces de dañar los resultados. Este tipo de aparato prácticamente no se usa en la actualidad.

Nivel de tipo francés. A diferencia de anterior, solo puede girar el telescopio sobre su eje óptico pero no puede ser removido, al igual que el nivel americano. Este tipo de nivel ya no es muy usual.

Nivel de tipo inglés o nivel “Dumpy”. A diferencia de los dos descritos anteriormente, el telescopio se encuentra fijo sobre sus apoyos. Esto da rigidez y permanencia a los ajustes que, si bien es cierto se dificultan más en este tipo de aparatos, vale la pena por los resultados que se alcanzan. También el poder de resolución del telescopio es notablemente mayor que los niveles americano y francés.

Un nivel inglés y, para su buen funcionamiento, requiere las siguientes revisiones:

- 1) Se debe lograr que la directriz de nivel sea perpendicular al eje vertical de giro (eje acimutal en el tránsito). Esto se logra cuando la burbuja de aire, atrapada en el tubo del nivel del telescopio, permanece al centro entre las marcas correspondientes al dar una vuelta de 180° , es decir, al dar una vuelta o giro completos. Para ello, procederemos de la siguiente manera:

Fijamos el trípode firmemente sobre el terreno, montamos el nivel, colocamos el telescopio paralelo con dos tornillos niveladores y girando los tornillos niveladores, dos a dos en el mismo sentido al igual que con el tránsito. Después llevamos la burbuja del nivel tubular al centro, giramos 90° y con los otros dos tornillos (o el tercero cuando así venga provisto nuestro nivel). Llevamos nuevamente la burbuja permanezca en el centro; luego, giramos 180° respecto a la posición original y si el nivel tubular está correcto, la burbuja permanecerá en el centro.

- 2) Se hace que la línea de la visual o línea de colimación sea paralela con la directriz de nivel, de modo que la línea de colimación quede en la posición horizontal al momento de llevar la burbuja (que y fue corregida) al centro de la escala del nivel tubular. Se colocan en el terreno dos estacas separadas 60 u 80 m, al centro, se pone el nivel (no es preciso que se mida esta distancia al centro), se nivela el aparato. Sobre cada una de las dos estacas, se coloca un estadal en posición vertical, se efectúan las lecturas con el hilo medio de la retícula y a la primera lectura (cualesquiera que sea el orden, el derecho o el izquierdo pero debe mantenerse durante la revisión) se le resta la lectura realizada sobre el



segundo estadal. Y el resultado por geometría es el desnivel entre los dos puntos. Una vez hecho esto, el instrumento se traslada cercano a cualesquiera de los estadales de manera que el extremo del telescopio correspondiente a la lente del ocular quede a 1.5 cm. de la carátula del estadal. En esta posición y después de nivelar el aparato se ve a través del objetivo notará un pequeño círculo cruzado por los hilos de la retícula y, auxiliándose de un lápiz afilado o un portaminas, haga la lectura sobre el estadal, si se dificulta ver los hilos de la retícula. Anote la lectura observada y con el desnivel encontrado desde el centro, en la posición anterior, se determina la lectura que se deberá tener sobre el otro estadal. Se ve normalmente por el telescopio a través del ocular, haga la lectura y compárela con la calculada antes, si hubiese alguna diferencia, corríjala moviendo simultáneamente los tornillos de calavera de la retícula hasta que el hilo medio caiga sobre la lectura deseada. La operación deberá repetirse de ser necesario, hasta que quede corregida. Cabe mencionar que debe buscarse un terreno plano o casi plano para hacer esta corrección y que, al hacer la corrección, uno de los punzones que se introduce en los tornillos de calavera de la retícula gire en un sentido y el otro en sentido contrario. Si al hacer esta corrección se ve que el hilo horizontal está inclinado, se habrá que corregir buscando un punto fijo y recorriendo la visual con el tornillo de movimiento lento o tangencial o bien auxiliándose de una plomada para comparar el hilo vertical. Como la mayoría de los aparatos actuales, por construcción, traen grabados sobre cristal, los hilos de la retícula, al corregir uno, el otro queda corregido automáticamente.

Una vez corregido estos requisitos geométricos, el aparato se encontrará en condiciones de trabajar. No se debe tomar a la ligera estas revisiones ya que, de no hacerse, nunca llegaremos a los resultados deseados en nuestros trabajos de nivelación.

Niveles basculante

El nivel de tipo basculante posee un telescopio y un nivel que son movibles por medio de un tornillo micrométrico llamado tornillo basculante. Este es independiente del eje acimutal y por ello, una vez centrada la burbuja del nivel esférico mediante los tornillos niveladores, se pondrá horizontal con toda precisión a la línea de colimación por medio del tornillo basculante, pues posee un nivel tubular de burbuja del telescopio de una gran sensibilidad.

La burbuja aparece reflejada dentro del campo óptico del telescopio mediante un prisma que la presenta seccionada en dos partes, que se deben hacer coincidir, invariablemente, cada vez que se realice una observación.

Este tipo de instrumento se utilizan en nivelaciones de precisión y también para el control vertical constante de grandes obras de ingeniería como túneles, puentes y, sobre todo, presas.

Este tipo de instrumentos son más modernos y evolucionados que los del tipo tradicional y viene provistos de gran sensibilidad, una gran resolución, un campo visual adecuado, etc. En resumen, poseen las características necesarias para los trabajos de precisión.



Al igual que los niveles tradicionales, los niveles basculantes tienen que ser revisados y, en caso de necesidad, ajustados antes de iniciar cualquier trabajo de nivelación.

GPS (Global Position System)

GPS es un sistema que tiene como objetivo la determinación de las coordenadas espaciales de puntos respecto de un sistema de referencia mundial. Los puntos pueden estar ubicados en cualquier lugar del planeta, pueden permanecer estáticos o en movimiento y las observaciones pueden realizarse en cualquier momento del día.

Para la obtención de coordenadas el sistema se basa en la determinación simultánea de las distancias a cuatro satélites (como mínimo) de coordenadas conocidas. Estas distancias se obtienen a partir de las señales emitidas por los satélites, las que son recibidas por receptores especialmente diseñados. Las coordenadas de los satélites son provistas al receptor por el sistema.

Sistema GPS - Constitución

Está constituido por tres segmentos fundamentales:

Espacial, de control y del usuario

Segmento espacial

Se puede observar en la Figura 1 la disposición aproximada que tienen los satélites de la constelación NAVSTAR, GPS que integran el segmento espacial. Debido a que la vida útil de un satélite llega a término por envejecimiento de los paneles solares, falta de capacidad de los acumuladores, averías no reversibles en los sistemas electrónicos o agotamiento del combustible de maniobra, se planificó su reemplazo en bloques.

Los primeros satélites puestos en órbita fueron los integrantes del denominado Bloque I. Fueron lanzados desde la base Vandenberg, ubicada en el estado de California. El total de satélites puestos en órbita fue 11 entre los años 1978 y 1985, utilizándose para ello cohetes Atlas-F.

El peso de estos satélites es de 1500 Kg. con un período de vida de aproximadamente 10 años. A partir de estos satélites se modificó la inclinación de las órbitas llevándolas a 55 grados. Se lanzaron un total de 9 satélites.

Segmento de control

Las funciones principales del segmento de control, denominado internacionalmente con las siglas OCS (Operational Control Segment) son:

- Monitoreo y control permanente de los satélites con el objeto de determinar y predecir las órbitas y los relojes de a bordo.
- Sincronización de los relojes de los satélites con el tiempo GPS
- Transmisión, a cada satélite, de la información procesada.

Está integrado por una Estación de Control Maestra (MCS), varias Estaciones de Monitoreo (MS) y Antenas Terrestres (GA).



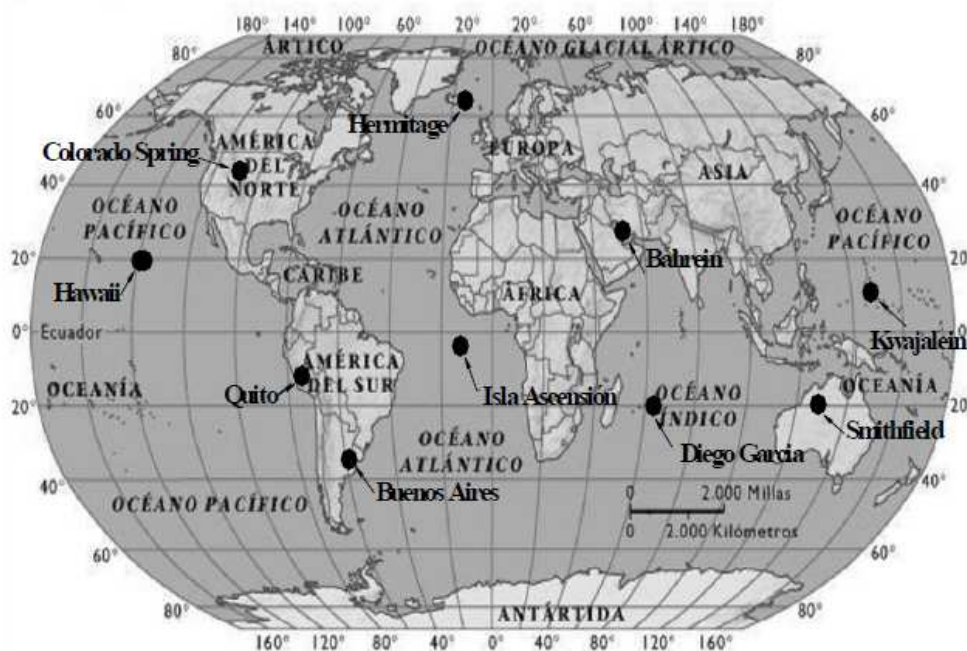
Las estaciones de monitoreo tienen coordenadas conocidas con gran precisión y están equipadas con receptores GPS de doble frecuencia L1/L2 y un reloj de Cesio. Su función es determinar las distancias a todos los satélites visibles y transmitirlos a la estación de control maestra junto con los datos meteorológicos de cada estación.

Con los datos recibidos de las estaciones monitoras, la estación maestra, ubicada en la Base de la Fuerza Aérea Schriever en el estado de Colorado, calcula los parámetros orbitales y los de los relojes y posteriormente los transmite a las antenas terrestres que los transfieren a los satélites a través de un enlace vía banda S.

El segmento de control está integrado por 10 estaciones.

Estas están ubicadas en:

- Colorado Springs (EUA)
- Isla Ascensión (Atlántico Sur)
- Diego García (Índico)
- Kwajalein (Pacífico Occidental)
- Hawaii (Pacífico Oriental)
- Quito (Ecuador)
- Buenos Aires (Argentina)
- Hermitage (Inglaterra)
- Bahrein (Golfo Pérsico)
- Smithfield (Australia).



● Estaciones de Control

Segmento usuario

Está constituido por los instrumentos utilizados para receptionar y procesar la señal emitida por los satélites.



Estos instrumentos están integrados esencialmente por una antena y un receptor. Un equipo complementario es usado, en ocasiones, para transferir datos entre receptores. La antena está conectada por cable al receptor o en otros casos forman una sola unidad. Las coordenadas que se calculan corresponden al centro radioeléctrico de la antena. El receptor consta de un mínimo de 4 canales (generalmente 10 ó 12) que permiten recibir y procesar simultáneamente la señal de cada satélite. Posee además un oscilador de cuarzo que permite generar la frecuencia de referencia para realizar la observación.

Desde hace ya varios años las estaciones totales se están viendo desplazadas por equipos GNSS (Sistema Satelital de Navegación Global, por sus siglas en inglés) que abarca sistemas como el GPS, antes conocido como Navstar, de E.E.U.U., el GLONASS, de Rusia, El COMPASS de China y el GALILEO de la Unión Europea. Las ventajas del GNSS topográfico con respecto a la estación total son que, una vez fijada la base en tierra no es necesario más que una sola persona para tomar los datos, mientras que la estación requería de dos, el técnico que manejaba la estación y el operario que situaba el prisma; y aunque con la tecnología de Estación Total Robótica, esto ya no es necesario, el precio de los sistemas GNSS ha bajado tanto que han ido desplazando a aquellas en campo abierto. Por otra parte, la estación total exige que exista una línea visual entre el aparato y el prisma (o punto de control), lo que es innecesario con el GNSS, aunque por su parte el GNSS requiere al operario situarse en dicho punto, lo cual no siempre es posible. La gran ventaja que mantiene la Estación Total contra los sistemas satelitales son los trabajos bajo techo y subterráneos, además de aquellos donde el operador no puede acceder, como torres eléctricas o riscos, y que con sistemas de medición sin prisma de hasta 3000m (a la fecha) estos levantamientos se pueden hacer por una persona y desde un sólo punto, aunque en este aspecto los Escáners Láser y la tecnología LIDAR han estado ganando terreno.

Por lo tanto, no siempre es posible el uso del GNSS, principalmente cuando no puede recibir las señales de los satélites debido a la presencia de edificaciones, bosque tupido, etc. Por lo demás, los sistemas GNSS RTK (Cinemático de Tiempo Real, por sus siglas en inglés) ya igualan e incluso superan la precisión de cualquier Estación Total, salvando los errores acumulables de éstas últimas, permitiendo además levantamientos de puntos distantes incluso a 100 km sin problema. En el futuro se percibe que la elección entre un equipo GNSS o bien una Estación Total estará más dado por la aplicación en sí, que por los límites tecnológicos que cada instrumento presente.

Laser Scan

El campo de la topografía cuenta actualmente con herramientas de gran precisión que han permitido agilizar los procesos de toma de datos, maximizar la información proporcionada por estos y obtener resultados que aportan una representación cada vez más fiel del objeto. Este es el caso del Levantamiento de Alta Definición mediante Láser Escáner 3D.

En este proyecto se presenta la aplicación de esta herramienta concreta al conjunto estudio de exploración geofísica, tipo no destructiva, para localización de huecos bajo la losa de fondo del cajón del Metro, identificación de fuga de balasto y detección



indirecta de fracturamiento de las losas de cajón, para el tramo Guelatao – Los Reyes de la Línea “A”, cuyos resultados han aportado una información muy valiosa tanto desde el punto de vista de la representación, el análisis y la propia interpretación o la generación de resultados.

Siendo cada vez más habitual la exigencia en la rapidez y precisión en la documentación de los trabajos topográficos, la tendencia actual es usar herramientas más avanzadas. Además, aunque la mayor parte de los resultados necesarios en los levantamientos se orientan a representaciones planimétricas en 2D (plantas, secciones, alzados), cada vez se hace más necesario obtener un registro en 3D y con ello, un modelo tridimensional que represente gráficamente tanto la geometría como el aspecto de sus distintas caras.

En este sentido ha avanzado en las últimas décadas la aplicación de la fotogrametría, en un mundo donde la información se almacena fundamentalmente en formatos digitales, se hace cada vez más necesario generar sistemas en los que ésta quede archivada en formatos que sean inservibles al ritmo que cambia el software concreto con el que fue creada, es decir que permitan su conservación en el futuro; un formato que sea además compatible con otro tipo de información digital sobre los sitios analizados (bien sea ésta descriptiva, gráfica, histórica, etc.), con la cual se pueda también relacionar.

En esta línea, y con la finalidad esencial de mostrar nuestra experiencia, se ha empleado como instrumento de medición un Láser Escáner 3D modelo HDS3000 de Leica.

El texto se centra, por un lado, en el proceso de registro de la información y su postprocesado, para lo cual se han combinado los datos obtenidos a través del registro aquí empleado y los resultados de otras metodologías de análisis.

El levantamiento topográfico de alta definición.

Se denomina Documentación Geométrica de Alta Definición (*High-Definition Survey*, HDS) al método de medición no-intrusivo que permite una captura de información rápida, detallada y precisa de una superficie o volumen por medio de una herramienta basada en la tecnología de escáner con láser, un instrumento de registro que también es denominado como Láser Escáner Terrestre (*Terrestrial Laser Scanning*, TLS, por diferencia con otras herramientas de características similares).

El **Escáner de Laser** realiza un barrido de una superficie captando miles de puntos por segundo con un haz de láser en abanico. Como resultado final se obtiene una **nube de puntos 3D** compuesta por cientos de miles de mediciones individuales en un sistema de coordenadas (x, y, z), que en si mismas componen un modelo tridimensional de los objetos registrados, aunque, como tal conjunto de puntos sin procesado posterior, son un modelo muy simplificado que opera sólo visualmente, pues se compone únicamente de entidades singulares tipo punto. Además, esta visualización puede llegar a alcanzar gran realismo ya que estos puntos pueden reflejar el color de la superficie registrada.

Esto es posible ya que, como en el caso del modelo del escáner que se ha empleado para los trabajos que aquí se presentan, el escáner incorpora una cámara fotográfica de alta resolución que permite relacionar cada punto medido con el láser con color del píxel correspondiente de la fotografía de referencia.



El láser escáner es un instrumento habitual en proyectos de ingeniería y ha sido empleado en campos diversos, desde la construcción de barcos o coches, diseños de infraestructuras industriales y civiles, etc., que se ha trasladado con gran éxito al campo del Patrimonio Cultural.

Pese a que el coste de adquisición de estos equipos es todavía elevado, su uso va siendo cada vez más habitual.

El uso de este instrumento se orienta hacia:

Registro de volúmenes en 3D: de todo tipo de volúmenes, positivos y negativos: desde edificios, terrenos, objetos muebles, murales, espacios urbanos, hasta el registro de datos en excavaciones arqueológicas, tanto volúmenes positivos (por ejemplo, muros, corazas de túmulos, hogueras, deposiciones de materiales, enterramientos, etc.) como negativos (fosas, agujeros de poste, etc.), con la posibilidad de ser georreferenciados.

Dibujo de líneas en 2D y en 3D, Modelado y Animación: una vez obtenido el registro del volumen en 3D, y por medio de diferentes programas de tratamiento de los datos de origen, se puede procesar y editar esta nube de puntos para obtener mallas, superficies y modelos 3D de todo tipo de objetos, edificios, estructuras, etc., además de imágenes en perspectiva, ortoimágenes y vídeos. Estos procesos, que se pueden aplicar genéricamente a cualquier nube de puntos independientemente del sistema con el que haya sido capturada, sirve de base para elaborar dibujos en formatos más clásicos y simples, como las plantas, secciones o alzados representados mediante líneas, tanto en 2D como en 3D, incluso llegando al detalle «piedra a piedra».

Microtopografías y Modelos digitales del terreno o de superficies de alta precisión: A partir de la nube de puntos registrada, se pueden obtener también modelos digitales del terreno de alta precisión. Los datos pueden ser georreferenciados y vinculados con otros datos adquiridos mediante otros procedimientos topográficos (como Estación Total o GPS). El modelo del terreno puede ser importado a otras herramientas, como los SIG, e integrado con el resto de información cartográfica, documental, etc.

En lo que a Patrimonio Construido se refiere, creemos que las aplicaciones principales de este tipo de registro son:

Documentación y Archivo digital: la información recuperada mediante este registro de gran precisión y detalle opera en sí misma como un mecanismo de documentación y archivo que posibilita la preservación digital del elemento registrado. Este archivo digital es especialmente útil en sitios sensibles o con riesgo de deformación, alteración, etc. ya que garantiza la documentación de detalle de un momento concreto tanto de sitios arqueológicos, edificios, terrenos e incluso mobiliario. Además, cabe la posibilidad de ser manipulado para obtener diverso material gráfico, mediciones e incluso la comparación con mediciones posteriores.

Evaluación de problemas estructurales de los elementos arquitectónicos o arqueológicos en base un registro de alta densidad y precisión.

Representación precisa de volúmenes en planos técnicos en 2D y 3D, creación de superficies y modelados.



Reconstrucciones de sitios, terrenos, elementos arqueológicos o arquitectónicos.

Creación de infografías: se pueden emplear las nubes de puntos como base para la recreación o reconstrucción de ambientes o sitios arqueológicos y arquitectónicos, reproducciones de piezas o simulación de escenas, para obtener imágenes, vídeos, paseos virtuales, etc. en la que representar cómo ha sido un edificio, un paisaje, cómo puede ser con la incorporación futura de elementos, por ejemplo, en un proceso de restauración, etc.

PROCESO GENERAL DE TRABAJO

A continuación vamos a presentar por medio de escaneado láser, con la finalidad de ejemplificar los procesos con el escáner 3D y sus implicaciones en términos de tiempo/esfuerzo y resultados.

El proceso de trabajo con el Láser Escáner comienza con la captura de datos en el sitio. Esta primera fase conlleva una planificación previa del trabajo en la que se debe tener en cuenta la finalidad del escaneado y, en consecuencia, la intensidad de la captura. Contra la idea de partida de que la opción óptima es hacer todo el registro con la mayor densidad de puntos de la que sea capaz nuestro escáner, hay que valorar que esto, sin duda, multiplica el tiempo de captura, a cambio de obtener un nivel de resolución en la información que, en su caso, puede ser muy superior al necesario. Debe valorarse por lo tanto qué grado de precisión es necesaria en función de las necesidades del proyecto.

La base de datos obtenida se compone de una nube de millones de puntos que, aunque se puede usar directamente (tanto para visualizaciones, ortoimágenes, obtención de medidas o captura de secciones), habitualmente será procesada para obtener a partir de ella unos resultados que permitan representar de forma más comprensible el elemento registrado, como son los dibujos en líneas en 2D y 3D, superficies, modelos tridimensionales sólidos, etc.

Hay distintos tipos y modelos comerciales tanto de Láser Escáner como de programas informáticos que condicionan, en cierta medida, el proceso de trabajo o la facilidad con la que se pueden obtener resultados. Los ejemplos que presentamos se han obtenido con el Láser Escáner de Leica HDS3000 y los programas *Leica Cyclone* y *CloudWorx Pro for AutoCAD* para la toma de datos y post-procesado de los mismos.

TRABAJO DE CAMPO

Levantamiento

En los casos que aquí presentamos, se ha buscado relacionar los datos obtenidos con el escáner con la posición geográfica absoluta de los elementos registrados. Así, además de emplear un Láser Escáner se ha trabajado con Estación Total Topográfica y con GPS, y relacionando su información, hemos obtenido nubes de puntos con coordenadas X-Y-Z. Con estas herramientas se llevó a cabo el **registro topográfico de alta definición**, destacando de este método el muy buen balance entre la rapidez de la captura de datos y su precisión.

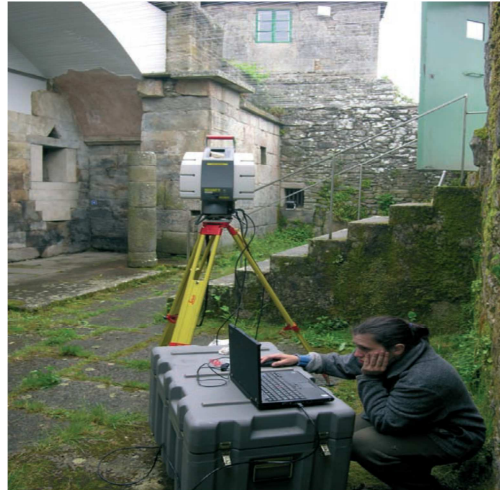
El escáner tiene un aspecto similar al de una Estación Total pero de mayor tamaño. Se sitúa sobre un trípode, aunque también se puede posicionar sobre elementos elevadores que tienen que permanecer fijos (como andamios, pértigas, etc.). Este modelo de escáner se maneja a través de un PC y en este caso, como se apuntó, empleamos el programa *Leica Cyclone*, que permite en primera instancia la captura de datos y su visualización, además de diversas operaciones que posibilitan extraer información directamente de la propia nube de puntos en bruto, el modelado de superficies, etc. La toma de datos con el escáner implica el fotografiado del área a escanear y la medición de puntos, estableciendo en este momento la resolución o densidad de puntos con la que se desea registrar un elemento: ésta se define por sectores, midiéndose la distancia existente entre el escáner y el área a registrar y estableciendo en ese momento la densidad de puntos (por ejemplo, 5 x 5 mm).



Fig. 16 Instalación en campo del escáner

Al ser un sistema que documenta una superficie por medio de láser, suele ser necesario **combinar distintas posiciones del escáner**, ya que la presencia de obstáculos visuales (un muro, un mueble o unas columnas) va a impedir que se registre la parte o partes del elemento que quedan ocultas desde la posición del escáner, creando zonas de sombra sin información en la nube de puntos.

Para ir completando esas zonas de sombra es necesario realizar varias posiciones combinadas del escáner, buscando una situación en la que sea visible la zona anteriormente oculta. La presencia de elementos que ocultan otras superficies o el hecho de estar limitados por unas perspectivas muy restringidas de las áreas que se quieren documentar, implica una mayor intensidad en el trabajo de campo, ya que son necesarias más posiciones para abarcar la totalidad del elemento a registrar.



Estos distintos escaneos fueron combinados en un registro único gracias al uso de **targets (objetivos)**, un elemento cuya posición fija es registrada en cada escaneo y que sirve como referencia para combinarlos. Son necesarias un mínimo de 3 objetivos desde cada posición de escaneo, aunque lo habitual en el caso que presentamos ha sido registrar más de 4 objetivos, procurando que se encuentren en una posición lo más frontal posible respecto al escáner, ya que una posición oblicua le restaría precisión.

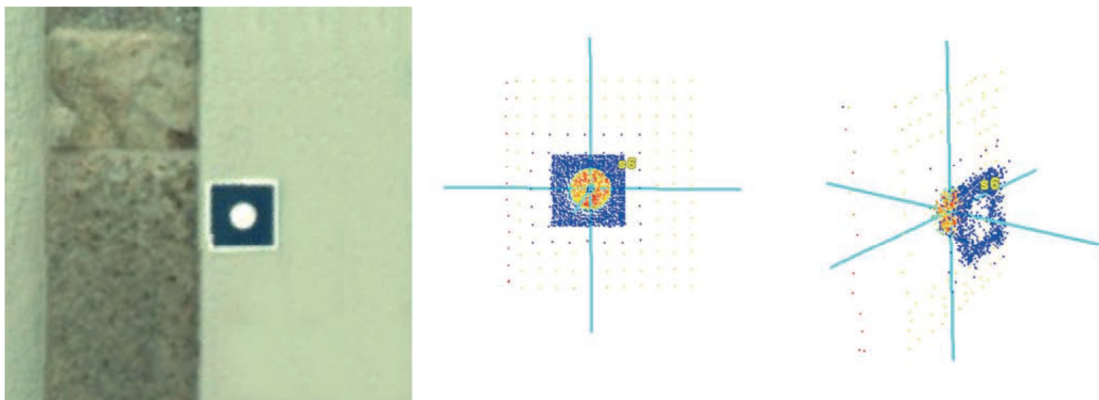


Fig.17 Detalle de un target (objetivo) y como se registra en el Escáner

Siendo habitual que los distintos espacios que se escanean no tengan una relación visual directa y no sea fácil que compartan los suficientes objetivos (por ejemplo entre los escaneados del interior y exterior de un edificio), se ha optado en la mayoría de los casos por establecer una red de bases topográficas que vincularan todos estos espacios. Es a partir de estas bases como se procede a registrar la posición exacta de cada objetivo. Con esto logramos una nube de puntos a partir de los datos de los objetivos y en base a ella, procedemos a referenciar el resto de los escaneos.

El primer resultado de este trabajo de campo es la obtención de una base de datos formada principalmente por imágenes y **nubes de puntos** que suelen estar compuestas por millones de puntos (así ha sido en los ejemplos que nos ocupan), aunque evidentemente esto depende de la superficie de trabajo y de la densidad con la que haya



sido registrada. El archivo que almacena esa base de datos tiene una extensión propia de *Leica Cyclone*.

Procesado de la información y resultados

La obtención de una nube de puntos con esta cantidad de información topográfica ya supone un resultado en sí misma. Respecto a nuestra experiencia previa, en la que los levantamientos y planimetrías se habían realizado con Estación total, se obtiene una reducción significativa de tiempo de trabajo en el sitio y un aumento aún más significativo de la intensidad y resolución del registro volumétrico. Pero además, como ya se ha indicado, uno de los objetivos de la aplicación de este método es conseguir una **documentación y un archivo digital** altamente preciso y detallado sobre el que se puede trabajar y consultar en el futuro, un registro que permitirá, en caso de ser requerido y obtener más información a detalle de elementos sobre los que no ha sido necesario incidir en un momento concreto del proyecto.

Cabe resaltar que algo que siempre se ha señalado como un problema (obtener muchos puntos pero no saber qué hacer con ellos), o al menos la más inmediata ventaja del escáner, aunque no le saquemos de forma inmediata todo el partido posible a estos millones de puntos, obtenemos una base de datos bruta de enorme precisión y detalle, que es en sí un producto altamente útil como tal, sobre todo si pensamos en elementos que puedan cambiar (un edificio que va a ser rehabilitado, una pared que va a ser revocada, una unidad estratigráfica que va a ser eliminada) o incluso desaparecer con el tiempo (el registro en excavación).

Una de las primeras fases del procesado de la nube de puntos es la **unión de los distintos escaneos** que, en nuestro caso, se ha hecho empleando el programa de *Leica Cyclone* y trabajando, como apuntamos, dentro de un sistema de coordenadas absolutas. En el caso de la presencia de elementos que interfieren al objeto registrado, como vegetación, transeúntes, mobiliario, cableado, etc., se puede eliminar de la nube de puntos a través de un proceso de depuración manual y controlado, con lo cual se excluyen elementos que pueden llegar a distorsionar los resultados de representación.

El programa permite la selección de partes concretas de la nube de puntos y sobre ella, obtener secciones o plantas de manera muy ágil, así como imágenes en perspectiva, ortoimágenes, vídeos, etc.

Es posible triangular la nube de puntos y crear mallas que representan las superficies del elemento documentado y que permiten un análisis y una visualización de mejor calidad que las que se pueden obtener directamente sobre la nube de puntos. También se puede mejorar la visualización rectificando fotografías obtenidas desde otros soportes sobre los modelos digitales, tanto de superficies como de nubes de puntos.

Para obtener un dibujo con un formato más común (como un DWG de AutoCad, por ejemplo) es necesario el uso de un plug-in (el *Leica Cloudworx* en este caso) que permite manejar ágilmente en un entorno Cad estas nubes con millones de puntos. Así se pueden crear dibujos en líneas en 2D y 3D que representen, desde los elementos principales de un edificio hasta los detalles, tanto en planta como secciones, alzados, lo que al día de hoy y a falta del desarrollo de procedimientos automáticos o semi-



automáticos de detección de bordes, superficies, etc., todavía supone un trabajo manual muy intenso.

Además, como la captura de datos se basa, entre otros factores, en la capacidad de refracción-absorción de los materiales sobre los que rebota la señal láser, es posible llegar a analizar la diferenciación entre materiales según el nivel de absorción registrado.

La principal problemática actual en el uso de esta metodología de registro es que frente a una captura de datos muy eficaz y rápida, su procesamiento es complejo, y para obtener unos resultados óptimos es necesario invertir mucho trabajo, ya que el dibujo de elementos concretos como líneas o superficies (por ejemplo en AutoCad) es básicamente manual y la creación de superficies a partir de estos puntos conlleva ciertas dificultades, ya que los elementos registrados suelen ser muy irregulares y no resulta idóneo cualquier algoritmo de triangulación. La actual investigación en este campo parece girar en torno a cómo procesar esta información de una manera ágil y lo más automatizada posible, pues nos encontramos ante un archivo digital, la nube de puntos, difícilmente es manejable salvo por programas específicamente diseñados para ello y que requiere de una gran inversión de trabajo por parte de técnicos especialistas para obtener cierto tipo de resultados de ellas.

Procesos Concretos de Trabajo

Realizándose los barridos o escaneos a una resolución de 5 x 5 mm, resolución que aumentamos a lo máximo que permite este modelo de Láser Escáner en algunas zonas concretas, un color muy diferente ayudó a la definición, tanto cuando la nube de puntos se visualizaba en relación al color captado en las fotografías en su caso, como con otros rangos de colores que se relacionan no con la fotografía sino con datos como la reflectividad del propio punto medido.

La principal ventaja en este caso es obtener un producto secundario (no programado en origen) dentro del flujo de trabajo de este proyecto a partir de una única base de datos original, sin necesidad de hacer nueva toma de datos en campo.

Como ya se comentó, uno de los resultados que se puede obtener directa y rápidamente de la nube de puntos son las **ortoimágenes**: al visualizar frontalmente la nube de puntos correspondientes al plano a representar y sobre esta ortoimagen se pueden hacer mediciones, dibujos y otro tipo de representaciones y operaciones.

La calidad visual de la ortoimagen, su aspecto, depende en gran medida de la fotografía de partida que hemos logrado con el escáner y de la intensidad de la nube de puntos. Hay casos en los que, por ejemplo, el tiempo de escaneado se dilata y la luz incide de distinta manera en el muro o, en otros casos, la fotografía obtenida con el escáner no tiene un color adecuado.

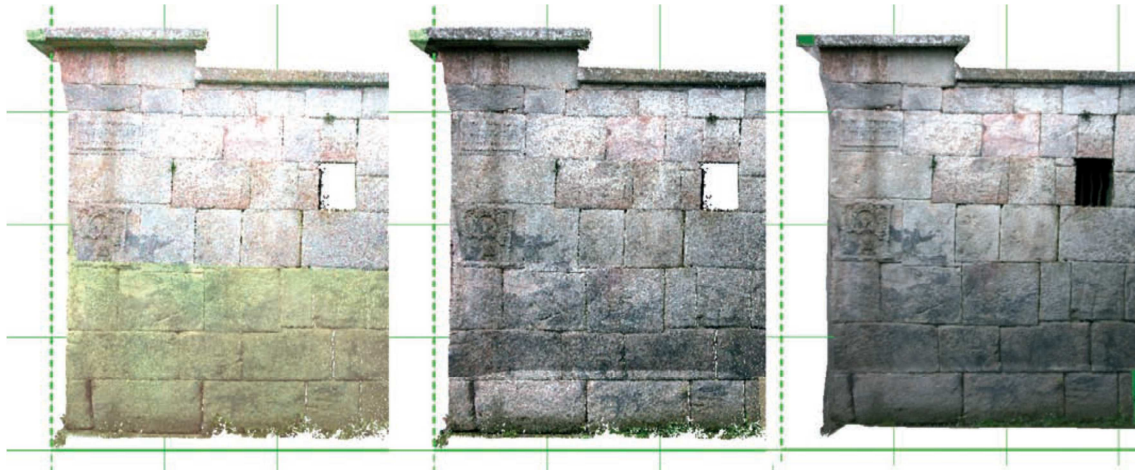


Fig. 18 Ortoimagen sobre la nube de puntos con imagen del escáner (izquierda), con imagen rectificadas sobre la nube (centro) y sobre malla triangulada con imagen rectificadas (derecha). La retícula es de 1 x 1 m

Una vez obtenida toda esta información topográfica se ha podido obtener la imagen real actual del mismo, lo cual permite analizar ciertos aspectos de tipo estructural como las deformaciones producidas.

En este caso, nos planteábamos documentar las condiciones del cajón del metro tanto en la Vía 1 como en la Vía 2, con el objetivo de lograr un registro de toda la estructura y sus elementos principales, intentando emplear el menor número de posiciones y en el menor tiempo posible con la misma toma del Escaner.

Toda esta área no era visible colocando el Escáner en una de las vías por lo que se realizó la toma en una posición elevada desde el muro central del cajón con lo que el registro cubrió las dos vías.

Con la combinación de estas posiciones se logró el registro total del tramo en estudio, tras esta fase se procedió a la unión de los distintos escaneos hasta lograr una nube de puntos completa. En este caso se requería también el dibujo de líneas de los elementos principales para obtener plantas y secciones en Auto-Cad

Valoración y perspectivas

Las ventajas son notables respecto los métodos que habíamos empleado con anterioridad especialmente en términos de la agilidad de la captura de los datos en campo y la definición y detalle del registro obtenido, pero también en los propios productos que se obtienen de manera directa de este uso, en la rentabilidad a nivel de análisis de este registro y los productos finales que se pueden presentar, la planificación de la complementariedad de las distintas vistas permite una mejor captura de datos.

Dentro de la planificación hay que valorar si existe la necesidad de tomar las fotografías del escáner con iluminación artificial, ya que este proceso suele implicar un tiempo significativo dentro del propio escaneado.



Además, en función de los objetivos del proyecto en cuestión y de la finalidad que se persiga con el escaneado, será necesario valorar la resolución de captura.

Evidentemente, cuanto mayor sea el número de posiciones necesarias y mayor la resolución, aumentará también el tiempo de captura de puntos en campo y, en consecuencia, el tiempo que habrá que invertir en gabinete (tanto para la unión de escaneos como para el tratamiento de la nube de puntos).

De la misma manera, si el producto final que se desea obtener es un dibujo de líneas del contorno de los volúmenes que conforman el objeto, habrá que invertir menos tiempo, tanto en la pura toma de datos como en su post-procesado, que si se dibujan individualmente todos los materiales, grabados, surcos, etc.

Cuanto mayor sea la complejidad de la herramienta empleada menor es el tiempo de captura de datos en campo, pero aumenta el tiempo de procesado de los datos en gabinete para obtener una representación del objeto en líneas 2D ó 3D. Sin embargo, la ventaja no es sólo la reducción del tiempo de trabajo de campo sino la mayor variedad de productos finales que se pueden obtener, entre ellos la posibilidad representar tridimensionalmente el objeto. Otro factor a favor del Escáner es que, con un registro bien planificado se evitan posteriores salidas al campo. Es habitual que con métodos topográficos como la Estación, una vez que se están procesando los datos sea necesario ampliar la información registrada o representar algún elemento que no se ha registrado inicialmente, o que la cantidad de puntos tomada sea insuficiente para analizar detalles como por ejemplo deformaciones de estructuras. La nube de puntos registrada con el escáner solventa estas inconveniencias y aquí, como hemos avanzado, radica uno de los principales beneficios de esta herramienta: la capacidad de componer una base de datos muy completa, precisa y detallada, que puede ser explotada de diferentes formas para obtener distintos productos finales, y que además permite recurrir a ella indefinidamente, sin agotar sus potencialidades con un número determinado de usos.

Por lo tanto, el Láser Escáner es una herramienta que captura datos de manera muy ágil e intensa, mientras que el proceso de post procesado se puede ralentizar y llegar a ser muy costoso dependiendo del nivel de los productos o resultados que se quieran obtener de ellos. Como se ha podido ver a lo largo de los ejemplos expuestos, según sea el resultado que se necesite obtener de la nube de puntos, el tiempo de post-procesado de los datos es muy distinto.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que esta herramienta todavía presenta un elevado coste en el mercado, no sólo en lo que respecta a la adquisición del aparato, sino también a las licencias de los programas y a los propios programas, encareciendo también los costes de los trabajos a realizar. Además, su manejo requiere personal especializado, ya que los programas de toma de datos y post-procesado demandan una formación específica.

4.2 Propiedades geométricas del equipo topográfico

Estación total



Datos Generales

Anteojo	
Aumentos:	30 x
Apertura libre objetivo:	40 mm
Campo de visión:	1°30' (1.66 gon) / 2.7 m a 100 m
Rango de enfoque:	1.7 m al infinito
Teclado y pantalla	
Pantalla:	LCD 1/4 VGA (320*240 píxeles), gráfica, iluminación, pantalla táctil (opcional)
Teclado:	34 botones (12 función, 12 alfanuméricos), iluminación
Ángulos mostrados:	360° °', 360° decimal, 400 gon, 6400 mil, v%
Distancia mostrada:	Metro, pie intl., pie/pulgada, pie US, pie/pulgada US
Posición:	Posición I estándar, Posición II opcional
Almacenamiento datos	
Memoria Interna:	32 MB (opcional)
Tarjeta de memoria:	CompactFlash (32 MB y 256 MB)
Número de grabaciones:	1750 / MB
Interface:	RS232, Bluetooth® (opcional)
Nivel circular	
Sensibilidad:	6' / 2 mm

Plomada Láser	
Precisión centrado:	1.5 mm a 1.5 m
Diámetro punto láser:	2.5 mm a 1.5 m
Tornillos sin fin	
Nº de tornillos:	1 horizontal / 1 vertical
Batería (GEB221)	
Tipo:	ión-Litio
Voltaje:	7.4 V
Capacidad:	3.8 Ah
Tiempo de trabajo:	tip. 6 - 8 h
Pesos	
Estación total:	4.8 - 5.5 kg
Batería (GEB221):	0.2 kg
Base nivelante (GDF121):	0.8 kg
Especificaciones del entorno	
Rango de temperatura de trabajo:	-20°C a +50°C
Rango de temperatura de almacenamiento:	-40°C a +70°C
Polvo / Agua (IEC 60529):	IP54
Humedad:	95%, sin condensación

Medición Angular

		Tipo 1201	Tipo 1202	Tipo 1203	Tipo 1205
Precisión	Hz, V	1" (0.3 mgon)	2" (0.6 mgon)	3" (1 mgon)	5" (1.5 mgon)
(desviación estándar, ISO 17123-3)	Resolución de pantalla:	0.1" (0.1 mgon)	0.1" (0.1 mgon)	0.1" (0.1 mgon)	0.1" (0.1 mgon)
Método	Absoluto, continuo, diametral				
Compensador	Rango de Trabajo	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)
	Precisión	0.5" (0.2 mgon)	0.5" (0.2 mgon)	1.0" (0.3 mgon)	1.5" (0.5 mgon)
	Método	Compensador de doble eje centrado			

Medición de distancias (IR)

Alcance	Prisma Circular (GPR1):	3000 m
(condiciones atmosféricas medias)	Prisma 360° (GRZ4):	1500 m
	Miniprisma (GMP101):	1200 m
	Diana Reflectante (60 mm x 60 mm):	250 m
	Mínima distancia medible:	1.5 m
Precisión / Tiempo Medición	Modo Estándar:	2 mm + 2 ppm / tip. 1.5 s
(desviación estándar, ISO 17123-4)	Modo Rápido:	5 mm + 2 ppm / tip. 0.8 s
	Modo Tracking:	5 mm + 2 ppm / tip. < 0.15 s
	Resolución pantalla:	0.1 mm
Método	Medición de fase (coaxial, láser infrarrojo invisible)	

Nivel

Características	AC-2S
Aumentos	24X
Desviación Estándar para 1Km en doble filo	2.0 mm
Imagen	Directa
Apertura del Objetivo	30 mm
Campo de visión	1° 30' (79 cm) @ 33 metros
Enfoque mínimo	0.75 metros
Constante (Factor)	1:100
Estimación	0.5"
Compensador	Magnético
Rango de Compensación	Maq. +/- 16', 0.5"
Lectura horizontal (círculo)	1° o 1 gon
Peso (solo nivel)	1.25 Kg
Medida para trípode	5/8" (M16)
Contenido del paquete	Nivel Trípode Aluminio Estadal de 4m



GPS THALES

Especificaciones de rendimiento

Estático, Estático rápido *

- Horizontal 0,005 m + 0,5 ppm (0,016 pies + 0,5 ppm)
- Vertical 0,010 m + 0,5 ppm (0,033 pies + 0,5 ppm)

Cinemático posprocesado

- Horizontal 0,010 m + 1,0 ppm (0,033 pies + 1,0 ppm)
- Vertical 0,020 m + 1,0 ppm (0,065 pies + 1,0 ppm)

Posición DGPS en tiempo real

- < 0,8 m (2,62 pies) Posición cinemática en tiempo real (modo fino)
- Horizontal 0,010 m + 1,0 ppm (0,033 pies + 1,0 ppm)
- Vertical 0,020 m + 1,0 ppm (0,065 pies + 1,0 ppm)

Inicialización ADAPT-RTK

- 99,9% de fiabilidad
- Inicialización típica de 2 segundos para líneas de base < 20 km

Especificaciones técnicas

Receptor GPS, Ambientales

- Cumple con IP54 para la humedad *
- Temperatura de funcionamiento: -30° a +55°C (-22° a +131°F)
- Temperatura de almacenamiento: -40° a +85°C (-40° a +185°F)
- Golpes: caída del poste de 1,5 m (4,92 pies)
- Vibración: MIL-STD-810F Método 514.4 (I-3.1.1, I-3.4.8, I-3.4.9) *

Físicas

- Módulo receptor: 1,371 kg (3,02 lb)
- Módulo de antena: 0,64 kg (1,17 lb)
- Módulo de alimentación: 0,52 kg (0,96 lb)

Alimentación *

- Entrada de 9-24 VDC
- salida de 10-24 VDC en puertos serie
- Batería Max-Run > 14 h de funcionamiento a 0 °C
- Batería Max-Lite > 7 h de funcionamiento a 0 °C

Memoria

- 48 horas de datos GPS brutos de 1 seg. con tarjeta Secure digital de 64 MB
- tarjeta SD de 128 MB disponible

Características estándar

- Frecuencia dual con Z-Tracking
- Software controlador integrado
- Grabación de datos a 10 Hz
- Módulo de antena GPS Z-Max
- Bolsa acolchada
- Maleta rígida
- Herramientas de oficina, incluidas Mission Planning, Download y RINEX Converter

Características opcionales

- Módulo de comunicación UHF Thales Navigation
- Módulo de comunicación UHF Pacific Crest
- Módulo de comunicación GSM
- Módulo de comunicación GSM+UHF

Software del sistema

Software de oficina GNSS Studio

- Procesado L1
- Compatibilidad RTK
- Opción de procesado L1 + L2

Software de campo FAST Survey

- Control GPS
- Control de instrumentos ópticos (opcional)
- Construcción avanzada de carreteras (opcional)

Laser Scan

Tipo de instrumento	Láser escáner de impulsos de alta velocidad, con precisión, alcance y campo visual topográfico completo, con cámara digital integrada de alta resolución.
Campo de visión	360° Horizontal × 270° Vertical
Clase láser	3R (IEC 60825-1), Color verde, visible
Precisión de superficie modelada* / ruido	2 mm, 1 δ
Alcance	300 m @ 90%; 134 m @ 18% de albedo
Velocidad de escaneo	Hasta 4'000 puntos/seg., velocidad máxima instantánea
Resolución de escaneo	<p><i>Tamaño del punto:</i> ≤ 6 mm desde 0-50 m (basado en definición Gausiana)</p> <p><i>Elegible:</i> Selección vertical y horizontal completamente independiente para el espaciamiento de medición de punto a punto</p> <p><i>Espaciamiento entre puntos:</i> Selección horizontal y vertical; 1.2 mm de espaciamiento mínimo, cubriendo todo el alcance.</p> <p><i>Densidad máxima de muestra:</i> 1.2 mm.</p> <p><i>Línea de barrido (horizontal)</i> 20'000 puntos/línea, máximo</p> <p><i>Columna de barrido (vertical):</i> 5'000 puntos/columna, máximo</p>
	*Sujeto a la metodología de modelado para la superficie modelada.

Tabla II. Especificaciones del Láser Escáner 3D Leica HDS3000



V METODOS DE LEVANTAMIENTO

5.1 Exploración Geofísica

EL METODO RODAR

Emite micro-ondas a una frecuencia fija de 10,000 millones de señales por segundo que rebotan en las capas del subsuelo, pavimentos, terracerías e interior de estructuras de concreto y mampostería o cualquier estructura que utilice materiales pétreos.

Las microondas son medidas y comparadas, el proceso de análisis de los datos que genera permite visualizar y analizar las características de estos elementos, determinar los espesores y la humedad en los diferentes estratos que los conforman, detecta infraestructura subterránea, componentes internos y huecos en el subsuelo.

Proceso de Análisis

Levantamiento inicial de información utilizando la tecnología RODAR®, que permite un diagnóstico visual, en tiempo real, de la conformación del subsuelo y el interior de estructuras.

Generación de información del Sistema RODAR®, que considera la utilización de tecnología electromagnética de baja potencia y alta frecuencia y el uso de equipos de posicionamiento (GPS y DMI).

Alimentación de un sistema de bases de datos, que genera elementos gráficos de la conformación y características del subsuelo.

Para el levantamiento de información, el equipo RODAR® se instala en vehículos y efectúa el barrido del terreno a una velocidad de entre 0.01 y 20 kilómetros por hora y hasta ocho metros de profundidad. En carreteras, sin tráfico, la velocidad de adquisición de información puede alcanzar hasta 120 kilómetros por hora.

Con la finalidad de mantener costos razonables en el levantamiento físico y procesamiento de la información, así como en la creación de bases de datos, se diseña un plan de investigación basado en la experiencia de más de 20 años en actividades especializadas, cientos de miles de kilómetros de análisis y elaboración de miles de soluciones para las empresas y organismos atendidos en todo el mundo

Rango completo de datos obtenidos con resolución máxima a distintas profundidades.

1 GHz 0 a 1 mt.

500 MHz 0 a 2 mts.

250 MHz 0 a 3 mts.

100 MHz 0 a 5-10 mts.

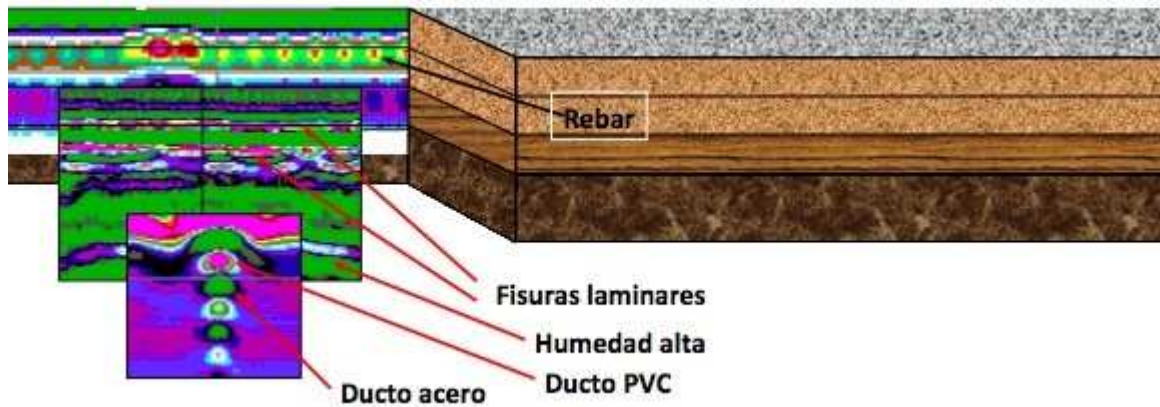


Fig. 19 Sistema Rodar

El Sistema Rodar®, integrado con tecnología no destructiva de vanguardia, para realizar levantamientos de información geofísica, con la finalidad de ubicar huecos bajo la losa de fondo del cajón del Metro, identificar los sitios a través de los cuales se presume la existencia de fuga de balasto y detectar fracturas o fallas estructurales de las losas del cajón, sin interrumpir la operación y causar daños a la estructura, instalaciones y sistemas de comunicación de la Línea “A” del Sistema de Transporte Colectivo.

La exploración geofísica se realizó con el Sistema RODAR®, que emite micro-ondas a una frecuencia fija de 10,000’000,000 de señales por segundo, las cuales rebotan en la superficie y las capas que forman las estructuras y suelos que se estudian son medidas, y con ello, el proceso de análisis de los datos que genera, permite conocer de manera rápida la composición de su interior, ubicar instalaciones subterráneas como ductos y líneas de conducción eléctrica, registros, etc., medir la humedad de las capas del subsuelo y encontrar huecos y cavernas.

Se utilizaron dos antenas, una de 500 Mhz. y otra de 1 Ghz., con la finalidad de garantizar la exploración a detalle de hasta 5.00 m. de profundidad. El levantamiento de información permitió un diagnóstico preliminar visual, en tiempo real, de la conformación del interior de las estructuras subterráneas y se registró la información para su análisis.

El Sistema de Transporte Colectivo facilitó un vehículo de tracción y dos remolques para vías en los que se instaló el Sistema RODAR® y un equipo de iluminación. Los trabajos de adaptación se realizaron en los Talleres La Paz de La Línea “A” del Metro.

El levantamiento de información y análisis geofísico se desarrolló del 12 al 31 de octubre, en horario nocturno, fuera de las horas de servicio, entre las 0:30 y 3:30 hrs.



5.2 Control horizontal y vertical

Levantamiento topográfico

La Gerencia de Obras coordinó la asistencia de personal de topografía del STC que acompañó al personal de la empresa Urelift en los casos que fue necesaria su presencia en la zona de vías.

La carencia de información de algunos tramos de la Línea por parte de la Gerencia de Obras, obligó a desarrollar un levantamiento topográfico completo con el Sistema LáserScan para cumplir con las metas de establecidas en el contrato que enmarca el presente proyecto, referentes a informar los resultados en planos de AutoCAD.

Levantamiento con Estación Total

Nivelación

COORDENADAS

GEOGRAFICAS
REFERENCIA : ITRF92

LAT.= 19 23 4.38988
LON.= 99 2 4.57036
ALT. = 2,223.414

GPS1

COORDENADAS

U.T.M
REFERENCIA : ITRF92

ESTE = 496,366.498
NORTE = 2,143,378.617
ELEV. = 2,227.324
ELEVACION REFERIDA AL N.M.M

COORDENADAS

GEOGRAFICAS
REFERENCIA : ITRF92

LAT.= 19 22 56.99067
LON.= 99 1 51.45683
ALT. = 2,221.066

GPS2

COORDENADAS

U.T.M
REFERENCIA : ITRF92

ESTE = 496,748.957
NORTE = 2,143,151.117
ELEV. = 2,224.968
ELEVACION REFERIDA AL N.M.M



COORDENADAS

GEOGRAFICAS
REFERENCIA : ITRF92

LAT.= 19 22 44.63563
LON.= 99 1 39.79471
ALT. = 2,281.500

GPS3

COORDENADAS

U.T.M
REFERENCIA : ITRF92

ESTE = 497,089.064
NORTE = 2,142,771.304
ELEV. = 2,285.395
ELEVACION REFERIDA AL N.M.M

COORDENADAS

GEOGRAFICAS
REFERENCIA : ITRF92

LAT.= 19 21 33.27647
LON.= 98 58 32.69075
ALT. = 2,232.112

GPS4

COORDENADAS

U.T.M
REFERENCIA : ITRF92

ESTE = 502,547.053
NORTE = 2,140,577.902
ELEV. = 2,235.851
ELEVACION REFERIDA AL N.M.M

RESULTADOS FINALES DEL PROCESAMIENTO G.P.S.

PEÑON VIEJO
MEXICO, D.F.

LIGA CON LA RED GEODESICA NACIONAL ACTIVA DEL INEGI

ESTACION BASE :TOLUCA			
LATITUD	19	17	35.64431 N
LONGITUD	99	38	36.49337 W
ELEV. ELP.			2651.725 m

COORDENADAS GEOGRAFICAS

REFERENCIA : ITRF92

EST	LATITUD		LONGITUD		ELEVACION
GPS1	19	23	4.38988	N 99 2	4.57036 W 2,223.414
GPS2	19	22	56.99067	N 99 1	51.45683 W 2,221.066
GPS3	19	22	44.63563	N 99 1	39.79471 W 2,281.500
GPS4	19	21	33.27647	N 98 58	32.69075 W 2,232.112



COORDENADAS UTM

REFERENCIA : ITRF92

EST	ESTE	NORTE	ELEV NMM
GPS1	496,366.498	2,143,378.617	2,227.324
GPS2	496,748.957	2,143,151.117	2,224.968
GPS3	497,089.064	2,142,771.304	2,285.395
GPS4	502,547.053	2,140,577.902	2,235.851

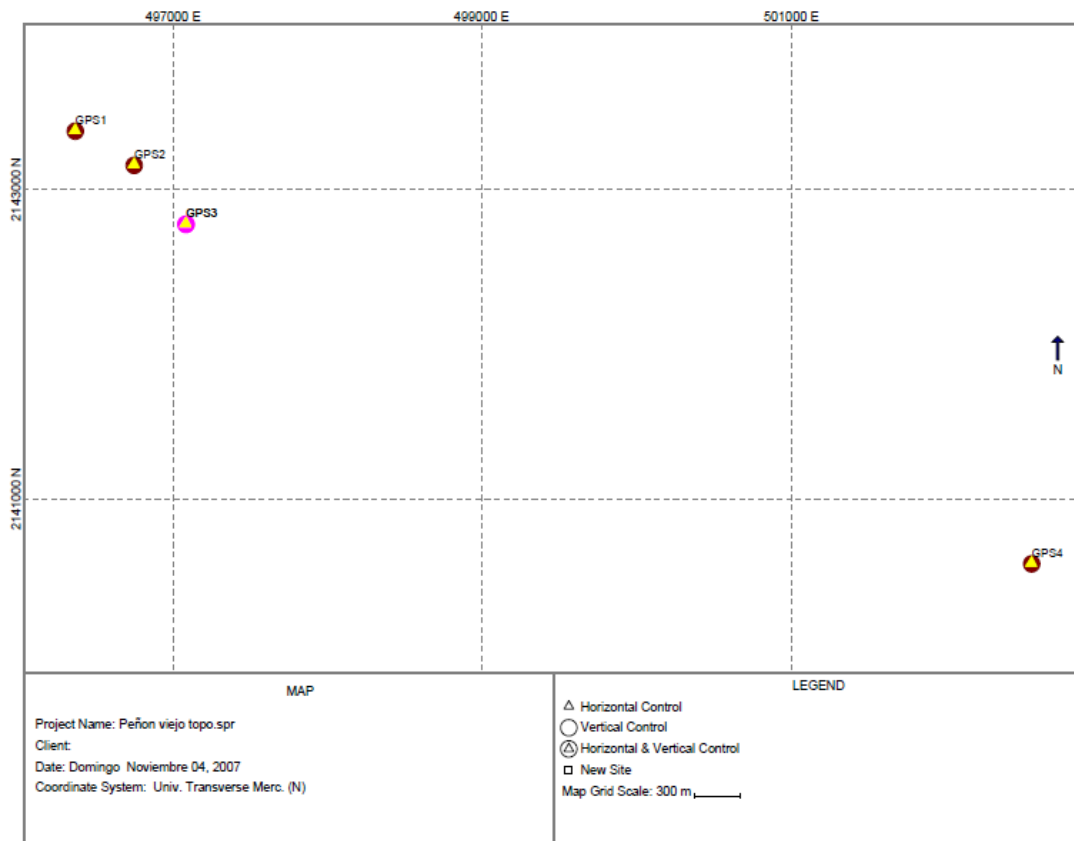
OBS
LIGA INEGI
LIGA INEGI
LIGA INEGI
LIGA INEGI

COORDENADAS TOPOGRAFICAS

REFERENCIA : ITRF92

EST	ESTE	NORTE	ELEV NMM
GPS1	496,365.856	2,143,378.958	2,227.324
GPS2	496,748.639	2,143,151.348	2,224.968
GPS3	497,089.064	2,142,771.304	2,285.395
GPS4	502,551.524	2,140,577.118	2,235.851

OBS
ESTACION ORIGEN



No obstante que fue necesario utilizar los programas de los propios sistemas RODAR® y LaserScan, para la manipulación de la información tridimensional en el caso de Laser



sobre la estructura del Metro, con importantes deformaciones longitudinales, torsiones y asentamientos diferenciales dinámicos, que requieren analizarse con sistemas de mayor capacidad como los que utilizó Urelift en el presente proyecto.

De acuerdo a lo anterior, en el contexto del estudio geofísico desarrollado, siguiendo las especificaciones del contrato, Urelift se avocó a elaborar los planos de perfiles, planta y secciones transversales en planos de AutoCAD.

La Gerencia de Obras aportó los operadores del vehículo de vías para realizar los recorridos con el Sistema Rodar® y efectuar el levantamiento de la información a lo largo de las vías 1 y 2 del tramo Guelatao–Los Reyes, entre los cadenamientos 16+090 y 23+010. Estos recorridos tuvieron una longitud total de 13,840 m. y se realizaron en la misma dirección, de la Estación Guelatao a la Estación Los Reyes, para evitar confusiones en la interpretación de los datos.

Con la finalidad de complementar la información derivada de los estudios realizados en el subsuelo del tramo referido con el Sistema RODAR® para explicar las variaciones de humedad y asentamientos diferenciales entre las vías 1 y 2, se amplió el levantamiento de información a los carriles contiguos a éste, de la Av. Ignacio Zaragoza y la Calle Generalísimo Morelos.

El STC informó a Urelift las marcas de los cadenamientos actualizados a partir de los cuales se correlacionaron los levantamientos y la referenciación realizada con el GPS (Sistema de Posicionamiento Global)

Se realizó el levantamiento de tres puntos GPS:

P 1 cadenamiento 16+143.973,

P 2 cadenamiento 16+589.305,

P 3 cadenamiento 17+120.035

en el Cerro del Peñón viejo.

Como ya se mencionó, con la finalidad de tener un marco de referencia, en planos de AutoCAD, e incorporar la información más importante para el Metro, obtenida por el Sistema RODAR®, así como complementar la información que refleje las condiciones actuales de estructura civil de la Línea “A” facilitada por el STC, se realizaron levantamientos de gran precisión con el LáserScan, enfocados a desarrollar un sistema “*as Built*” y “*AS IS*” (el estado actual de la obra civil), ya que de la fecha en la que se construyó al día de hoy ha cambiado significativamente la geometría del cajón de Metro sujeto de análisis, debido a los importantes asentamientos diferenciales y con ellos la fatiga y ruptura en múltiples puntos que requieren atención urgente.

Esta información que ahora proporciona Urelift como marco de referencia, servirá como parámetro de cotejo para medir, con precisión, las deformaciones presentes y futuras y crear un sistema de control de activos.



Como parte de la representación de resultados de las acciones anteriores, se realizó el levantamiento de una poligonal abierta y una nivelación del tramo, con punto de partida el banco de nivel = 4.191, km. 17+255 aproximado, ubicado sobre la guarnición poniente de la Calzada Ignacio Zaragoza, a un costado del Balneario Elba, enfocados a posicionar puntos para los trabajos del escaneo de alta resolución, con la que se puede conocer a fondo, por secciones, el comportamiento detallado de la obra civil del Sistema.

Para el estudio de exploración geofísica, se proporciono los siguientes documentos por parte de la STC:

- 1.- Memoria de mecánica de suelos y los estudios geofísicos existentes.
- 2.- Memoria estructural y su proceso cálculo.
- 3.- Planos del proyecto ejecutivo y planos electrónicos “as-Build” de la Línea “A”: arquitectónico, secciones transversales, estructurales, preliminares, eléctricos, hidráulicos, sanitarios, sistema contra incendio, plantas, cortes, escurrimientos.
- 4.- Cadenamiento oficial con sus referencias detalladas.
- 5.- Planos gálivos muro a muro y planos de catenaria existentes.
- 6.- Perfil longitudinal de la Línea “A” a la fecha de su construcción y actual.
- 7.- Estudio del Instituto de Ingeniería de la UNAM.
- 8.- Información de deformaciones.
- 9.- Ubicación de la losa de cajón de Metro.
- 10.- Estudios sísmicos y de resistividad.
- 11.- Estudio eléctrico y de resistividad

Los documentos recibidos de algunos tramos de la Línea en su mayor parte corresponden a planos en AutoCAD y Excel; de ellos, solo los planos de gálivos están completos.

Tabla III. Detalle de los planos recibidos

PLANOS RECIBIDOS	OBSERVACIONES
Plano de perfil, señalización y alimentación tracción	
Línea A, Metro Férreo Pantitlán-La Paz	Faltan tramos de la información proporcionada por medio de escaneo 11,13,14,15,16 y 17. Este



<p>Perfil longitudinal de movimiento diferencial de muros Peñón Viejo-Acatitla, febrero 2005.</p> <p>Plano horizontal de comparación, modificaciones actualización, febrero 2006, junio de 2007.</p> <p>Perfil de deformaciones diferenciales del muro lateral sur, vía uno.</p> <p>Planta de localización de juntas.</p> <p>Referencias PLS y B.N.</p> <p>16+593.00 al a7+993.00</p> <p>18+505.00 al 19+784.00</p>	
<p>Niveles Corona Norte Tramo Guelatao - Los Reyes (24-Abril-07)</p> <p>DE 87 Y 2001.</p> <p>16+ 100 al 23+009.884.</p>	
<p>DAÑOS EN EXCEL</p>	
<p>Daños nivelación 2007 Tramo Guelatao-Peñón Viejo Muro Central, Norte y Sur (20-Junio-07)</p> <p>16+100 al 18+250.</p>	
<p>Daños Tramo Guelatao-Los Reyes Muro Central, Norte y Sur (10-Julio-07) 16+100 al 23+000.</p>	
<p>Proyecto de gálibos (impresos).</p>	
<p>Proyecto de gálibos,</p> <p>Línea Pantitlán-La Paz,</p> <p>Tramo: Guelatao-Los Reyes</p> <p>Cad. 16+016.015 al cad. 16+742.000</p> <p>Cad. 16+091.015 al cad. 16+578.009</p>	



Mod. 0	
Cad. 16+091.015 al cad. 16+578.009	
Mod. 2	
Cad. 16+742.000 al cad. 17+367.000	
Cad. 17+367.000 al cad. 17+974.000	
Cad. 17+974.000 al cad. 18+372.670	
Cad. 18+372.670 al cad. 18+600.825	
Cad. 18+600.825 al cad. 19+223.000	
Cad. 19+223.000 al cad. 19+901.435	
Cad. 19+901.435 al cad. 20+477.000	
Cad. 20+477.000 al cad. 21+151.608	
Año abril 1987.	

Se enfrentó la falta de información referente a diversos tramos de la Línea, como los casos del túnel que se encuentra en el cadenamiento: 20+220 al 20+960; el puente ubicado en el cadenamiento 21+920 al 22+220 dado que en esta zona las alturas de los muros tienen más de cuatro metros y en el deprimido denominado El Tornillo; no se tienen las medidas del plano de proyecto original para el tramo de Santa Martha-Los Reyes, de cajones de Metro tienen la leyenda: “variable verificar en campo”, motivo por el cual se dejó este tramo sin calculo de espesor de balasto (el cual es una aproximación, por el constante cambio del mismo) y sin secciones transversales bien definidas, debido a que se desconocen las alturas proyectadas de ese tramo de cajón, correspondiente a los cadenamientos: 21+225.608 al 22+785.642.

Por la falta de la información antes detallada, Urelift decidió realizar trabajos complementarios de topografía con la finalidad de generar y proporcionar al STC la información derivada, que se considera relevante y que también utilizó para presentar y comprobar el estudio geofísico, motivo del presente convenio con la elaboración de los planos en AutoCAD.

Revisar el estatus “AS-IS” (como se encuentra actualmente la geometría real del tramo del Metro) para medir y tomar decisiones objetivas respecto a las soluciones a plantear.
Crear una base de datos de control a lo largo del tramo Guelatao-Los Reyes.
Establecer un sistema de medidas vectoriales, reales, comparables, tridimensionales y objetivas en puntos o espacios de interés y que no se cuenta con ellas.
Demostrar los resultados obtenidos mediante el Sistema Rodar®.



VI ANALISIS DE LA INFORMACIÓN

6.1 Reporte Geofísico

La información obtenida con el Sistema RODAR® se integró en una base de datos, se procesó, analizó y elaboraron informes gráficos preliminares, con cadenamientos y profundidades de espesores de capas de balasto, huecos, valores dieléctricos de materiales y humedades, la información se entrega con el presente informe en excel.

A continuación se presenta una explicación de las características de cada uno de los reportes generados por el Sistema Rodar®

6.1.1 Gráfica de espesores de capas

El espesor de una capa indica la zona en que la respuesta dieléctrica es constante; ayuda a conocer el nivel de densidad de los estratos y define con claridad cambios importantes en los límites de las interfases y las diferentes capas de materiales que se tienen en el subsuelo del área a estudiar.

Cuando se habla de un lugar homogéneo, significa compactación/consolidación uniforme y espesores constantes con niveles de humedad también homogéneos, sus límites son iguales.

En las gráficas se observa que en algunas secciones el balasto alcanza más de 2 m. en otras tiene un espesor de .70 m.

6.1.2 Gráfica de Huecos

El tamaño de un hueco se mide en centímetros y representa el espesor del mismo, indica dónde empieza y termina. En la gráfica se muestra que la información es obtenida en forma vertical, desde la antena hacia el subsuelo.

Si en su recorrido hacia el subsuelo se encuentra más de un hueco, estos se enumeran como se indica, Hueco 1, Hueco 2, etc.

Si se presentan múltiples zonas en la grafica de cualquier tono excepto el blanco, implica que el lugar tiene problemas por la existencia de huecos.

6.1.3 Gráfica de valores dieléctricos de materiales.

Los valores dieléctricos de las subcapas son conocidos. Los valores reales son determinados en el lugar y el porcentaje de humedad en cada capa, obtenido por medio de la aplicación de fórmulas programadas de software.

Valores dieléctricos: Asfalto 3-6. Concreto 4-7. Caliza 7. Arcilla 2 – 6. Aire 1. Metal infinito.

6.1.4 Gráfica de humedades.



El porcentaje de agua o contenido de humedad está definido por el valor dieléctrico de cada estrato. Lo define el valor dieléctrico de cada interfase, medida con los millones de muestras que son recabadas por segundo a lo largo del estudio. En estas gráficas se presentan valores del contenido de agua en porcentaje.

6.1.5 Consideraciones de los trabajos geofísicos

En el plano de perfil se consideró el nivel superior del balasto como plano horizontal de referencia. Del tramo Acatitla a Santa Martha no existen datos históricos, por ello no se proporcionaron.

La escala vertical del plano de perfil se presenta en metros, en el plano de planta de localización de huecos solo se encuentran ubicados los huecos bajo la losa.

En el Estudio Geofísico se encontraron múltiples zonas con huecos en la losa de cajón de Metro y en la parte inferior de ésta variaciones significativas en el espesor del balasto y en la separación de las juntas de dilatación, fracturas en el cajón y altos niveles de humedad.

En las siguientes tablas se aprecia el cadenamamiento en el que se detectaron exclusivamente los huecos bajo la losa de cajón de Metro por el sistema RODAR, tanto en vía 1 como en vía 2.

Tablas IV. Huecos bajo la losa por cadenamamiento de las vías 1 y 2

ZONA DE HUECOS BAJO LA LOSA, TRAMO GUELATAO-LOS REYES, VIA 1								
17+742.170	AL	17+744.000	18+993.980	AL	18+994.280	19+427.050	AL	19+447.900
17+749.170			18+995.400	AL	18+995.710	19+483.160		
17+752.470	AL	17+763.400	19+024.200			19+485.320		
17+783.470	AL	17+765.070	19+024.900	AL	19+026.320	19+486.540		
17+799.500	AL	17+801.300	19+037.390			19+487.470		
17+806.100			19+037.650			19+488.860		
17+810.100			19+037.700			19+540.600		
17+948.500			19+041.260			19+719.090		
17+952.300	AL	17+954.600	19+044.600			19+809.700		
17+955.700	AL	17+958.200	19+044.850			19+812.620		
17+959.700	AL	17+960.200	19+045.450			21+432.190	AL	21+432.920
17+961.500	AL	17+963.900	19+045.940			21+470.470	AL	21+470.920
17+965.300			19+047.000			21+542.580		



17+997.000	AL	17+998.000	19+047.440			21+700.910		
17+999.000	AL	18+001.630	19+047.660			21+703.750		
18+002.720	AL	18+003.150	19+047.740			22+028.640		
18+004.400			19+048.310			22+180.750	AL	22+181.040
18+020.330			19+049.310			22+259.440		
18+084.770			19+073.610	AL	19+075.480	22+260.620		
18+276.440			19+078.120	AL	19+078.980	22+262.010		
18+278.680	AL	18+287.010	19+145.920	AL	19+146.150	22+659.120	AL	22+661.510
18+292.170	AL	18+297.750	19+148.870	AL	19+154.970	22+707.200	AL	22+707.990
18+470.500	AL	18+472.400	19+158.610	AL	19+168.900	22+717.580		
18+510.500			19+184.870	AL	19+187.300	22+790.200	AL	22+793.230
18+515.100	AL	18+516.700	19+197.890	AL	19+202.640	22+892.310	AL	22+895.080
18+599.700			19+207.190	AL	19+214.060			
18+604.000	AL	18+605.400	19+217.610					
18+615.500			19+235.900	AL	19+239.620			
18+618.800	AL	18+620.200	19+245.250					
18+626.900			19+260.500	AL	19+266.940			
18+627.800	AL	18+628.100	19+281.930					
18+631.600	AL	18+638.600	19+284.770					
18+651.900			19+285.280					
18+673.500	AL	18+676.000	19+289.660	AL	19+292.210			
18+843.820			19+295.340	AL	19+297.900			
18+857.690			19+332.690	AL	19+334.300			
18+892.910	AL	18+897.313	19+344.200					
18+894.330	AL	18+894.600	19+376.380	AL	19+377.160			
18+984.840	AL	18+985.280	19+394.010	AL	19+422.180			
18+992.280	AL	18+992.580	19+423.300	AL	19+425.810			



ZONA DE HUECOS BAJO LA LOSA, TRAMO GUELATAO-LOS REYES, VIA 2

18+447.220	AL	18+447.670				21+977.310		
18+448.270	AL	18+448.590	19+296.910			22+016.690	AL	22+017.160
18+450.120	AL	18+450.110	19+299.190			22+087.630		
18+452.250	AL	18+453.180	19+300.540			22+091.240		
18+458.690			19+305.350			22+094.880	AL	22+095.130
18+457.760			19+307.790	AL	19+308.810	22+118.400		
18+467.870	AL	18+468.760	19+313.340	AL	19+316.310	22+120.240		
18+473.080	AL	18+474.290	19+318.450	AL	19+321.190	22+129.090	AL	22+132.490
18+475.830	AL	18+474.100	19+326.170	AL	19+331.160	22+135.650	AL	22+136.840
18+481.340	AL	18+481.950	19+334.790	AL	19+337.370	22+141.740	AL	22+148.750
18+484.180	AL	18+493.280	19+341.020			22+208.110	AL	22+208.430
18+757.530			19+344.160			22+224.980		
18+791.440			19+346.230	AL	19+357.290	22+281.130		
18+832.150	AL	18+839.200	19+359.010	AL	19+367.730	22+444.250	AL	22+444.880
18+848.010			19+370.020			22+451.780		
18+908.360	AL	18+916.020	19+381.670			22+454.930	AL	22+455.610
18+927.960	AL	18+928.820	19+381.670			22+462.460	AL	22+464.070
18+942.960			19+381.690	AL	19+399.070	22+466.860	AL	22+469.850
19+023.170	AL	19+025.040	19+381.690	AL	19+399.070	22+517.700		
19+059.840	AL	19+080.000	19+400.610	AL	19+459.570	22+552.600	AL	22+553.520
19+083.460			19+468.740	AL	19+468.960	22+601.000		
19+089.380	AL	19+091.210	19+459.520			22+604.090		
19+104.610	AL	19+105.910	19+464.730	AL	19+478.010	22+641.330		
19+118.410	AL	19+118.870	19+487.510	AL	19+489.660	22+744.620		
19+130.990			19+493.700	AL	19+495.000	22+789.000	AL	22+796.170
19+138.030	AL	19+141.080	19+499.00			22+799.770	AL	22+802.530



19+143.150	AL	19+144.490	19+502.460			22+820.810	AL	22+825.610
19+147.190			19+505.800			22+929.030	AL	22+962.610
19+149.290			19+517.000			22+971.180	AL	22+971.830
19+155.370			19+521.070	AL	19+524.230			
19+157.200			19+515.900					
19+159.690	AL	19+163.880	19+531.096	AL	19+551.190			
19+166.610			19+557.000	AL	19+567.000			
19+10.530			19+570.000					
19+176.210			19+581.000					
19+173.680			19+598.560					
19+188.510	AL	19+187.140	19+ 599.470	AL	19+601.820			
19+212.030	AL	19+220.140	19+723.330	AL	19+726.000			
19+222.200	AL	19+236.640	19+773.460	AL	19+780.440			
19+237.850	AL	19+243.630	19+788.880					
19+245.660			19+791.216	AL	19+791.590			
19+248.390			19+809.220	AL	19+817.110			
19+251.100	AL	19+253.170	19+819.920	AL	19+823.670			
19+255.490	AL	19+273.150	21+437.580					
19+276.160			21+562.190					
19+279.890			21+926.030	AL	21+926.430			
19+290.060			21+962.840					

La problemática de huecos puede estar relacionada con fracturas del cajón, movimiento de juntas de dilatación y pérdida de balasto. De las tablas anteriores se revela un alto porcentaje de huecos bajo la losa en la vía 2 correspondiente al Muro Norte y que se comprueba con el estudio topográfico.

Los huecos en la losa del cajón de Metro pueden implicar filtraciones de humedad, oxidación de las varillas y porosidad, disgregamiento y debilidad del concreto de la losa del cajón.



Los huecos y altos niveles de humedad que generan porosidad en la masa del suelo bajo la losa del cajón, evitan que éste no se encuentre en contacto con la base de suelo de apoyo y un posible daño a su estructura.

En ciertos subtramos no se perciben los huecos pero la humedad es superior al 30% y penetra la losa con posibilidad de debilitarla y deformarla.

Se detectaron variaciones importantes en el espesor del balasto, de entre 1.62 y 2.35 m., que podrían implicar escalones o desniveles deformaciones del cajón de Metro.

Esta problemática es consistente con la de la Avenida Ignacio Zaragoza que se corroboró con resultados de Rodar®.

Las juntas de dilatación que se han separado, se presentan con huecos y altos niveles de humedad en el fondo y podrían generar fuga de balasto.

La información precisa de cadenamios y profundidad de los problemas expuestos se presenta en archivos de Excel y en los planos de planta y perfil que se entregan con el presente informe.

Urelift, S. A. de C. V. reitera al Sistema de Transporte Colectivo la disposición para que su personal especializado en el levantamiento y procesamiento del Sistema Rodar® asista a reuniones con la finalidad de profundizar en el manejo de los datos contenidos en la información que se entrega con el presente informe, analizarla y promover su utilización para solucionar los problemas detectados; asimismo, para ajustar las diferencias que pudieron suscitarse en la ubicación de la problemática objeto del presente contrato en los casos en los que no se contó con información suficiente.

Un factor que pudo ocasionar variaciones en la información, fue la carencia de dispositivos de control de distancia y velocidad del vehículo del STC donde se instalaron las antenas y el equipo periférico del Sistema Rodar®, sin embargo, se agradecen las facilidades que recibidas para utilizar el equipo referido.

Con la información obtenida es posible definir, en conjunto con la Gerencia de Obras del STC, las zonas prioritarias que requieren estabilización de tratamiento de porosidades y oxidación en la losa suelos, relleno de huecos en la base de la losa y a mayor profundidad e incremento de valores relativos de soporte de la losa mediante inyecciones de resinas poliméricas expansivas, hidro-insensibles de alta resistencia y densidad.

Es evidente que existen hundimientos diferenciales provocados por la extracción de agua del subsuelo, que al reducir la masa de soporte de los suelos el nivel de los mismos tiene asentamientos diferenciales; la segunda razón, es el algoritmo ampliamente demostrado de que al aumentar el contenido de agua en suelos compactables generado por fugas, estos pierden capacidad de carga; por tanto, se aumentan los asentamientos diferenciales en formas puntuales.

La información obtenida por el sistema RODAR® dejó claro que existen fugas de agua y drenaje en las vialidades laterales al cajón del Metro; estas fugas y filtraciones deben eliminarse lo antes posible para evitar una mayor caída de capacidad de carga de los suelos que soportan el cajón de Metro y, por tanto, evitar mayores hundimientos diferenciales.



Al aumentar el peso (debido al aumento de agua provocado por fugas) en los suelos de las capas adyacentes y subyacentes al cajón del Metro se provocan hundimientos diferenciales y torsiones a la estructura civil del Metro.

Al tener mayor humedad el concreto reforzado del cajón de Metro, debido a fugas en las redes hidráulicas e hidro-sanitarias, el acero de refuerzo acelera su velocidad de corrosión y con esto la desintegración del concreto estructural provocando una vida más corta al concreto de la obra civil.

Es importante eliminar la existencia de huecos y debe inyectarse la resina polimérica hidro-insensible patentada URETEK® Star 486 en todos los lugares donde el concreto esta “volando” ya que la estructura del cajón de Metro no fue diseñada para esas demandas.

En zonas puntuales se deben realizar pruebas con el Cono Eléctrico Penetración (DCP), con la finalidad de definir las prioridades de tratamiento, profundidades de inyección y cantidades a inyectar de acuerdo a la intención de la Gerencia de Obras del STC.

En las zonas de juntas de dilatación es importante hacer inyecciones con las Resinas Poliméricas STAR 486 URETEK® para eliminar la perdida de balasto, reducir la penetración de agua que disminuye la capacidad de carga y puede afectar la operación del Metro. Con las inyecciones de Resinas Poliméricas URETEK® aumentará la capacidad de carga de los suelos alrededor de las juntas de dilatación.

Es importante verificar la seguridad de las estructuras de concreto del cajón de Metro con la información obtenida; si bien se han vaciado los resultados en los planos de AutoCAD, se ratifica que esta información puede proporcionar muchos más detalles y precisión para la toma de decisiones.

En el corto y mediano plazo se pueden presentar daños graves si no se le da atención inmediata a los huecos que se ubican junto al cajón del Metro. El soporte del cajón se debe restituir.

Será muy importante consolidar resultados post inyección para documentar, la base de datos e inventario de inyecciones, de acuerdo con el análisis de las bases de datos del estudio geofísico que se realice entre los funcionarios del STC y la empresa Urelift.

6.2 Reporte Topográfico

Desarrollo del Trabajo

Se realizó un levantamiento topográfico de planimetría y altimetría simultaneas, para la representación de resultados del estudio Geofísico y complemento de la escasa o información nula de ciertas áreas del tramo en estudio, que permita medir las deformaciones reales a lo largo del cajón del Metro en el tramo que nos ocupa.

Se efectuó una nivelación y el levantamiento de una poligonal abierta, las cuales se utilizaron para dar línea al sistema de escaneo láser tridimensional “AS-IS”. Se anexan resultados de los mismos. Es importante hacer notar que esta información tiene un potencial relevante para el análisis y establecimiento de soluciones prácticas, ya que define parte de la geometría tridimensional del cajón y túnel del Metro, con gran



densidad de información vectorial utilizable. Esta información es indispensable para complementar el acervo de la Gerencia de Obras.

6.2.1 Secciones transversales del tramo Guelatao-Los Reyes

En el estudio de secciones transversales, 2007-URE-GEO-LAM000-III-17-17-P-0 al 2007-URE-GEO-LAM000-III-20-20-P-0, realizadas a cada 5 metros se puede concluir que faltan múltiples medidas de proyecto de cajón de Metro, como por ejemplo en el subtramo correspondiente a los cadenamientos: 21+225.608 al 22+785.642 donde señala que se tomen las medidas en el lugar, por ello faltaron datos para calcular cajones de metro y su comportamiento con la toma de datos actual, sin embargo en varios subtramos se ve claramente como el muro actual con respecto al de proyecto queda desplazado.

El túnel que va del cadenamiento 20+220 al 20+960 da una exacta idea de la situación actual en la que se encuentra este tramo, desde las medidas de los gálibos, el nivel de rasante, las alturas exactas de los muros Norte y Sur, vías 1 y 2 respectivamente, altura del túnel, estado del balasto y de los muros del cajón de metro e incluso el estado de cables y su ubicación puntual.

Con lo anterior es posible modelar para agregar o eliminar posibles estructuras además de verificar estado de conservación de las instalaciones.

6.3 Comparaciones con los Históricos

Comparaciones con los Históricos sobre el trabajo de perfiles de los muros Norte, Sur y Central se presenta una gráfica en Excel donde se observa el hundimiento diferencial que ha tenido cada muro respectivamente en relación con los datos proporcionados por el STC y los tomados con el LáserScan; la escala vertical se presenta en cm. y en la horizontal se muestran los cadenamientos.

Las zonas más conflictivas se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla V. Cadenamientos con hundimientos determinados con el Láser Scan y Sistema Rodar ®

CADENAMIENTO	HUNDIMIENTOS EN METROS COMPARATIVO CON EL AÑO 2001- 2007 Datos históricos tomados del estudio IPISA	ESTUDIO GEOFÍSICO
	MURO NORTE	
16+120	2.4	
16+160	2.24	HUECOS BAJO LA LOSA, OXIDACIÓN EN LA LOSA, BALASTO MAL



		COMPACTADO
16+280	2.0	HUECOS BAJO LA LOSA, OXIDACIÓN EN LA LOSA, BALASTO MAL COMPACTADO
16+320	2.31	
16+400	2.2	
16+440	2.1	
16+520	2.1	
16+560	1.9	
17+600 al 17+800	Mas de 2	HUECOS BAJO LA LOSA, OXIDACIÓN EN LA LOSA, BALASTO MAL COMPACTADO
17+960	2.01	HUECOS BAJO LA LOSA, OXIDACIÓN EN LA LOSA, BALASTO MAL COMPACTADO
18+080	2.7	HUECOS BAJO LA LOSA, OXIDACIÓN EN LA LOSA, BALASTO MAL COMPACTADO
18+120	3.2	OXIDACIÓN DE LA LOSA
18+160 al 18+820	entre 2 y 2.6	HUECOS BAJO LA LOSA, OXIDACIÓN EN LA LOSA, BALASTO MAL COMPACTADO
18+980	1.7	HUECOS BAJO LA LOSA, OXIDACIÓN EN LA LOSA, BALASTO MAL COMPACTADO



19+000	1.9	
19+020 al 19+080	Entre 1.9 y 2.4	HUECOS BAJO LA LOSA, OXIDACIÓN EN LA LOSA, BALASTO MAL COMPACTADO
19+660 al 19+720	Entre 2.1 y 2.3	
19+980 al 20+160	Entre 2.1 y 2.9	HUECOS BAJO LA LOSA, OXIDACIÓN EN LA LOSA, BALASTO MAL COMPACTADO
20+080	3.1	
20+220	3.03	
20+980 al 21+360	Entre 2.1 a 3	
22+400 al 22+500	Entre 1.7 a 1.9	HUECOS BAJO LA LOSA, OXIDACIÓN EN LA LOSA, BALASTO MAL COMPACTADO

Es determinante considerar el hundimiento y el pronóstico de que este seguirá incrementándose si no se toman las medidas correctivas necesarias.

Con la siguiente tabla se puede calcular el hundimiento con respecto al proyecto original del año 1987.

Tabla VI. Hundimientos por cadenamiento en relación con el proyecto original de 1987.

CADENAMIENTO KM	HUNDIMIENTO RESPECTO A PROYECTO ORIGINAL (1987)	CADENAMIENTO KM	HUNDIMIENTO RESPECTO A PROYECTO ORIGINAL (1987)	CADENAMIENTO KM	HUNDIMIENTO RESPECTO A PROYECTO ORIGINAL (1987)
16120	5.661891	17160	1.416131	18160	5.419963
16160	5.935022	17200	1.327882	18200	5.21895



16200	6.177932	17240	1.598882	18240	5.21295
16280	6.660484	17280	1.082384	18280	5.256413
16320	6.939511	17320	0.857307	18480	4.944817
16360	6.497956	17360	0.8027	18520	5.111317
16400	6.760778	17400	1.000203	18560	5.074601
16440	6.886221	17440	1.991571	18600	5.165625
16480	6.952168	17480	2.243141	18640	4.686878
16520	7.040376	17520	1.977953	18720	4.068168
16560	6.870368	17560	2.900119	18760	3.797154
16600	6.648803	17600	3.642607	18780	3.673668
16640	5.366011	17640	4.044527	18800	3.514263
16680	4.800899	17680	4.254699	18820	3.552581
16720	4.230173	17720	4.91047	18840	3.098079
16760	3.913658	17760	5.305548	18860	2.494734
16800	3.993658	17800	5.676425	18880	1.849452
16840	4.043888	17840	5.777378	18900	1.773213
16880	3.743885	17880	6.073101	18920	1.724422
16920	4.375885	17920	5.955046	18940	1.69009
16960	2.969233	17960	6.073025	18960	1.712398
17000	2.957066	18000	5.830025	18980	1.712398
17040	2.694609	18040	5.680025	19000	1.730398
17080	2.670899	18080	6.159617	19020	1.832398
17120	1.747826	18120	6.34832	19040	2.056576



CADENAMIENTO KM	HUNDIMIENTO RESPECTO A PROYECTO ORIGINAL	CADENAMIENTO KM	HUNDIMIENTO RESPECTO A PROYECTO ORIGINAL
19060	1.473154	19640	1.010019
19080	1.708623	19660	2.414525
19100	1.645405	19680	2.09085
19120	1.683152	19700	2.854482
19140	1.803152	19720	2.831685
19160	1.945152	19740	1.233805
19180	1.914152	19760	
19200	1.099619	19780	1.414279
19220	1.139088	19800	1.477658
19240	1.207456	19820	1.736488
19260	1.275366	19976.435	2.214488
19280	1.321245	19980	2.214488
19300	1.230245	20000	3.075804
19320	1.181245	20020	3.145578
19340	1.285084	20040	3.15555
19360	1.32153	20060	3.07555
19380	1.373907	20080	3.79643
19400	1.382186	20100	3.47818
19420	1.413017	20120	3.48607
19440	1.24678	20140	3.342478
19460	1.276169	20160	3.042439



19480	1.276169	20180	3.161856
19500	1.408958	20200	3.257856
19520	1.399917	20220	3.381856
19540	1.416273	20240	
19560	1.549263	20260	
19580	1.550019	20280	
19600		20300	
19620		20320	

Del cadenamiento faltante no se cuenta con datos históricos pero los tomados son importantes para constituir una base de datos con la finalidad de comparar con futuras mediciones.

La Línea “A” del Metro presenta problemáticas importantes de desplazamiento de balasto debido, básicamente, a la existencia de huecos.

Los puntos de hundimiento más significativo se encuentran en los siguientes cadenamientos:

- Del 16+200 al 16+600
- Del 17+600 al 18+840
- Del 20+000 al 20+220

De acuerdo con la subrasante calculada por los muros Norte y Sur es posible obtener un estimado del comportamiento de la losa del cajón de Metro.

Tabla VII. Ubicación de losa y altura de los muros determinados con el LáserScan y el Sistema Rodar®

Las fallas más importantes se presentan en los siguientes

CADENAMIENTO	SUBRASANTE EN METROS		ESTUDIO GEOFÍSICO
	MURO NORTE VÍA 2	MURO SUR VÍA 1	
16+747 al 16+891	VARIA DE 24.69 A 24.97		COINCIDE CON LA ZONA DE BALASTO MAL COMPACTADO Y OXIDACIÓN EN LA LOSA



17+484	29.05		
17+819			
17+899 AL 18+460			
20+220 AL 20+960	ES LA ZONA DE TÚNEL Y LA SUBRASANTE QUEDA ARRIBA DEL NIVEL DE BALASTO PUES NO SE TIENEN MEDIDAS DE LOS PROYECTOS DE CAJÓN DE METRO EN ESTA ZONA		
21+390 al 21+500	ZONA CON COMPLICACIONES		
17+434		SUPONEMOS LA PRESENCIA DE HUECOS	
17+768 al 18+462		LOSA FRACTURADA	ZONA DE HUECOS BAJO LA LOSA, LOSA POROSA Y BALASTO MAL COMPACTADO
18+600 al 18+800			
18+900 al 19+090		PROBLEMAS FUERTES CON LA LOSA	
19+600 al 19+705			

Este estudio es consistente en información ya que **presenta la altura exacta de los muros tomada en el mes de octubre y noviembre**, aunque el nivel de balasto este cambiando constantemente se observa, de acuerdo con estas alturas la deformación de los muros, como ejemplo se presenta el siguiente tramo:

<i>CADENAMIENTO</i>	<i>ALTURA MURO NORTE</i>	<i>ALTURA MURO SUR</i>
---------------------	--------------------------	------------------------



21+237.255	2.613464	1.960266
21+237.915	2.620758	1.96817
21+238.575	2.708557	1.973144
21+239.175	2.716888	1.928985
21+239.835	2.730865	1.928772
21+241.285	2.720855	1.879059
21+243.235	3.055695	1.826325
21+244.675	2.683075	1.824738
21+246.855	2.72464	1.795044

Se aprecia un problema en el muro Norte, cadenamiento 21+241 al 21+244, donde en dos metros, el muro Norte exclusivamente tiene una deformación de +30 cm y en un metro de casi -40 cm. Este estudio refleja con exactitud el comportamiento del muro al milímetro de acuerdo con los datos tomados con el LáserScan. Las alturas se pudieron calcular con la lectura tomada a las coronas de los muros tanto Norte como Sur y la del balasto.

Además cabe aclarar que debido a que no hay medidas de proyecto en el subtramo 21+225.608 al 22+785.642, no fue posible calcular la subrasante ni información adicional para el mismo, pero al contar con toma de datos se genera una base de datos importante para el STC y en futuras mediciones se podrá fundamentar la toma de decisiones para la corrección de problemas.

Es interesante ver en el cadenamiento 20+415 al 20+870, en el muro Norte y el cadenamiento 20+400 al 20+875 del muro Sur como se alcanzan alturas de de 5 y hasta 6.4 metros. Este estudio se complementaría de manera contundente si el Metro contara con las alturas de los muro proyectadas.

Otro dato importante se puede concluir de este estudio, si se analiza subtramo por subtramo; por ejemplo, en el cadenamiento 21+235 al 21+400 se observan cambios en tramos muy pequeños de .40 cm hasta más de metro y medio, siendo específicos en el subtramo de cadenamiento 21+281 al 21+316 se tienen variaciones en las alturas de 1.18 a 1.61 metros, lo que hace suponer un grave problema en el fondo de la losa y la existencia de huecos.

El asentamiento longitudinal de los muros se calculó tomando en cuenta que se pueden deducir las pendientes de los muros; estas se calcularon a cada 40 metros debido a que fue la información que se recibió del STC, pero se cuenta con la información de 2007



para hacerlo a cada metro o menos y contar con los puntos exactos donde el cajón de Metro está sufriendo deformaciones o se encuentra con mayores daños.

Se encontraron los siguientes tramos con mayores problemas, considerando la diferencia de pendientes mayores a medio metro.

Tabla VIII Asentamiento longitudinal de los muros.

CADENAMIENTO	PENDIENTES 2001	PENDIENTES 2007	DIFERENCIA M2-M1
	MURO NORTE DATOS ESTUDIO IPISA		MURO NORTE ASENTAMIENTO LONGITUDINAL VÍA 2
16 + 640.	0.0578	1.362792	-1.304992
16 + 920.	0.9471	0	0.9471
16 + 960.	0.947	2.046652	-1.099652
17 + 120.	0.9255	1.517073	-0.591573
17 + 320.	-0.6737	-0.195923	-0.477777
17 + 440.	-0.3575	-1.079368	0.721868
17 + 560.	-0.0283	-1.175166	1.146866
17 + 600.	-0.0263	-0.819488	0.793188
18 + 080.	0.3598	-0.441592	0.801392
18 + 120.	0.3598	-0.151703	0.511503
18 + 160.	0.3533	0.966357	-0.613057
18 + 860.	0.316	0.803345	-0.487345
18 + 880.	0.2835	0.833282	-0.549782
18 + 900.	0.2835	0.176239	0.107261
18 + 920.	0.2059	0.060791	0.145109
18 + 940.	0.2059	0.034332	0.171568



18 + 960.	0.2059	-0.022308	0.228208
18 + 980.	0.2059	0	0.2059
19 + 000.	0.2058	0	0.2058
19 + 020.	0.2059	0	0.2059
19 + 040.	0.2059	-0.104178	0.310078
19 + 060.	0.2059	0.541596	-0.335696
19 + 080.	0.2059	0.082428	0.123472
19 + 100.	-0.735	0.134155	-0.869155
19 + 120.	0.087	0.095245	-0.008245
19 + 140.	0.051	0.036103	0.014897
19 + 160.	0.227	0	0.227
19 + 180.	0.0403	0	0.0403
19 + 200.	0.0404	-1.331528	1.371928
19 + 220.	0.0403	0.012848	0.027452
19 + 240.	-0.242	-0.080549	-0.161451
19 + 260.	-0.0308	-0.085271	0.054471
19 + 280.	-0.0308	-0.042905	0.012105
19 + 300.	-0.0307	-0.023973	-0.006727
19 + 320.	-0.0308	2.279295	-2.310095
19 + 340.	-0.0308	0.058411	-0.089211
19 + 360.	-0.0308	-0.046326	0.015526
19 + 380.	-0.0307	-0.116821	0.086121
19 + 400.	-0.0308	-0.040283	0.009483
19 + 420.	-0.0308	-0.071167	0.040367
19 + 440.	-0.1001	0.059143	-0.159243



19 + 460.	-0.1001	-0.126658	0.026558
19 + 480.	-0.1001	-0.401123	0.301023
19 + 500.	-0.1001	0.318206	-0.418306
19 + 520.	-0.1002	-0.007263	-0.092937
19 + 540.	-0.1001	-0.070923	-0.029177
19 + 560.	-0.1001	0	-0.1001
19 + 580.	-0.1001	0	-0.1001
19 + 600.	-0.1001	0	-0.1001
19 + 620.	-0.1159	0	-0.1159
19 + 640.	-0.1159	0	-0.1159
19 + 660.	-0.1159	0	-0.1159
19 + 680.	-0.1159	0	-0.1159
19 + 700.	-0.1159	0	-0.1159
19 + 720.	-0.1159	0	-0.1159
19 + 740.	-0.1159	0	-0.1159
19 + 760.	-0.1159	0	-0.1159
19 + 780.	-0.1159	0	-0.1159
19 + 800.	-0.1159	0	-0.1159
19 + 820.	-0.1225	0	-0.1225
19 + 976.44	0.6617	0	0.6617
19 + 980.	0.1698	0	0.1698
20 + 000.	-0.4704	-3.453868	2.983468
20 + 020.	-0.1127	-0.148774	0.036074
20 + 040.	-0.1128	-0.090972	-0.021828
20 + 060.	-0.1128	0	-0.1128



20 + 080.	-0.1128	-0.80088	0.68808
20 + 100.	-0.1127	0.23825	-0.35095
20 + 120.	-0.1278	-0.08789	-0.03991
20 + 140.	-0.167	0.032592	-0.199592
20 + 160.	0.1628	0.083039	0.079761
20 + 180.	0.1627	0.035583	0.127117
21 + 000.	0.4419	0	0.4419
21 + 020.	0.0635	0	0.0635
21 + 040.	0.0061	0	0.0061
21 + 060.	0.0051	0	0.0051
21 + 071.61	0	0	0
21 + 240.	-0.6565	-0.003523	-0.652977
21 + 260.	0.022	-0.146485	0.168485
21 + 280.	-0.211	-0.532348	0.321348
21 + 300.	-0.418	0.030609	-0.448609
21 + 320.	-0.433	-0.84826	0.41526
21 + 740.	0.088	0	0.088
21 + 760.	0.095	0	0.095
21 + 780.	0.049	0	0.049
21 + 800.	-0.039	0	-0.039
21 + 820.	-0.1028	0	-0.1028
21 + 840.	-0.0692	0	-0.0692
21 + 860.	-0.102	0	-0.102
21 + 880.	-0.148	0	-0.148
21 + 900.	-0.129	0	-0.129



21 + 920.	-0.153	0	-0.153
21 + 940.	-0.193	0.80173	-0.99473
21 + 960.	-0.221	1.000366	-1.221366
21 + 980.	-0.233	0.893494	-1.126494
22 + 000.	-0.24	0.805908	-1.045908
22 + 020.	-0.231	0.704559	-0.935559
22 + 040.	-0.195	0	-0.195
22 + 060.	-0.065	0	-0.065
22 + 080.	-0.051	0.560919	-0.611919
22 + 100.	-0.036	-0.51593	0.47993
22 + 120.	0.02	-1.188232	1.208232
22 + 140.	0.141	-0.943756	1.084756
22 + 160.	0.295	-0.621216	0.916216
22 + 180.	0.403	-0.421967	0.824967
22 + 200.	0.447	0	0.447
22 + 220.	0.445	0.080321	0.364679
22 + 240.	0.57	0.008056	0.561944
22 + 260.	0.016	-0.137054	0.153054
22 + 280.	-0.035	-0.305267	0.270267
22 + 300.	-0.133	-0.321656	0.188656
22 + 320.	-0.147	-0.303375	0.156375
22 + 340.	-0.133	0	-0.133
22 + 360.	-0.105	0	-0.105
22 + 380.	-0.082	-0.539793	0.457793
22 + 400.	-0.014	-0.049896	0.035896



22 + 420.	0.052	-0.016449	0.068449
22 + 440.	0.076	0.078705	-0.002705
22 + 460.	0.079	0.117096	-0.038096
22 + 480.	0.043	0.250061	-0.207061
22 + 500.	0.057	0	0.057
22 + 520.	0.009	0.643786	-0.634786
22 + 540.	-0.071	0.188934	-0.259934
22 + 560.	-0.15	0.211274	-0.361274
22 + 580.	-0.235	0.293457	-0.528457
22 + 600.	-0.316	0.177002	-0.493002
22 + 620.	-0.352	0.197387	-0.549387
22 + 640.	-0.343	0	-0.343
22 + 660.	-0.344	0	-0.344
22 + 680.	-0.347	0	-0.347
22 + 700.	-0.33	0.620326	-0.950326
22 + 720.	-0.257	0.312286	-0.569286
22 + 740.	-0.183	0.102203	-0.285203
22 + 760.	-0.096	0.100952	-0.196952
22 + 780.	-0.001	0.05478	-0.05578
22 + 800.	0.062	0	0.062
22 + 820.	0.058	0	0.058
22 + 840.	0.236	0.151205	0.084795
22 + 860.	0.414	-0.011078	0.425078
22 + 880.	0.511	-0.013916	0.524916
22 + 900.	0.606	0.054169	0.551831



22 + 920.	0.59	-0.003418	0.593418
22 + 940.	0.598	0.008559	0.589441
22 + 960.	0.565	-0.059234	0.624234
22 + 980.	0.43	-0.038666	0.468666
23 + 000.	0.258	-0.025726	0.283726
23 + 009.85	0.046	0	0.046

Del cadenamamiento 18+960 al 19+020 la altura del muro Norte, Vía 2, realizada con el LáserScan se mantiene constante antes del cadenamamiento inicial, el asentamiento longitudinal es casi cero y después en el cadenamamiento 19+100 llega a casi un metro, lo que hace suponer un problema en la losa de fondo debido, probablemente, a huecos.

De acuerdo con el estudio del Sistema RODAR®, esta zona es altamente conflictiva debido a una concentración balasto mal compactado, porosidad en la losa y huecos debajo de la losa.

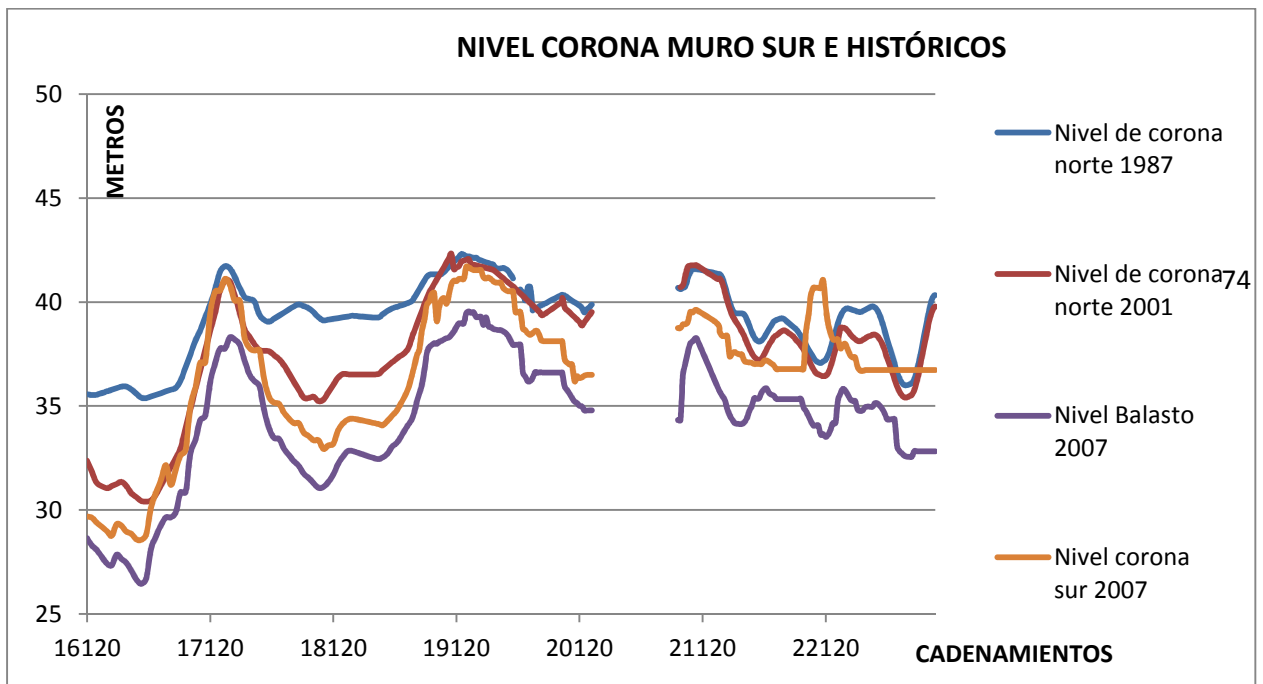
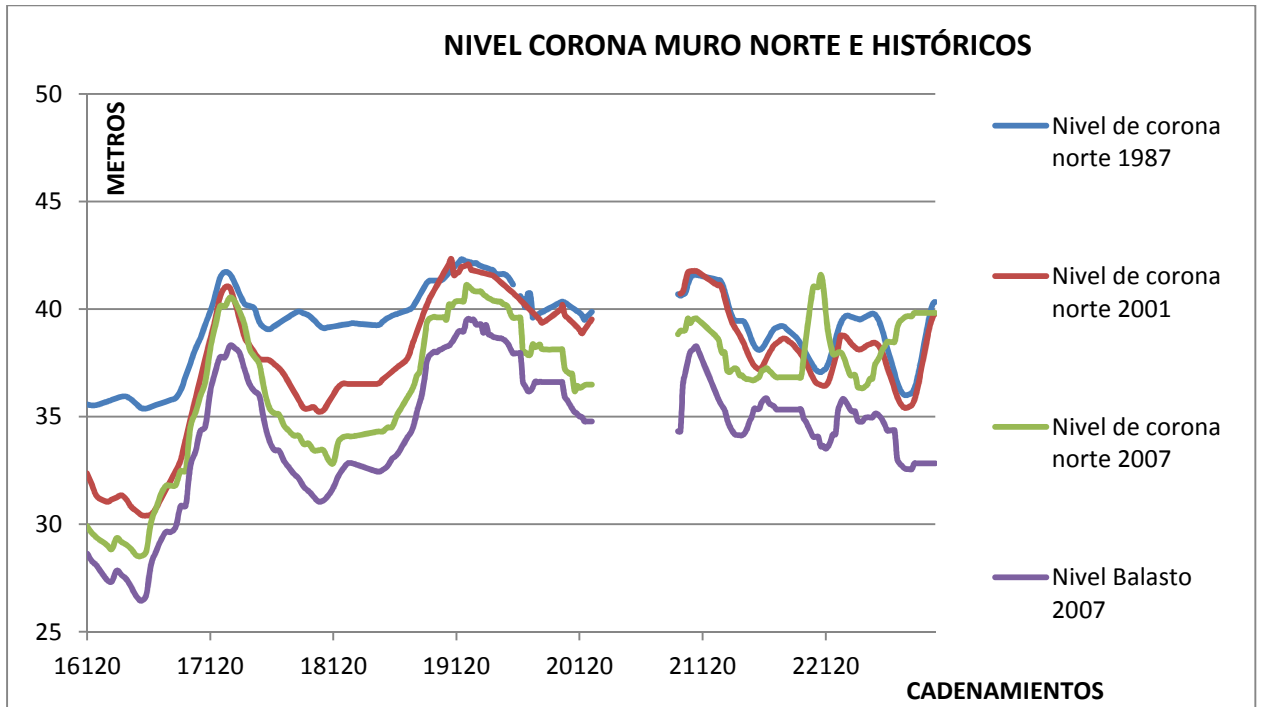
Lo mismo pasa en el cadenamamiento 19+200 donde el asentamiento longitudinal rebasa el metro y en el 19+220 pasa a casi cero, coincidiendo en esta zona con el estudio geofísico donde en el plano de perfil se marca una zona abundante de huecos incluso, más profundos de lo normal. El mismo análisis procede para los otros puntos del muro Norte.

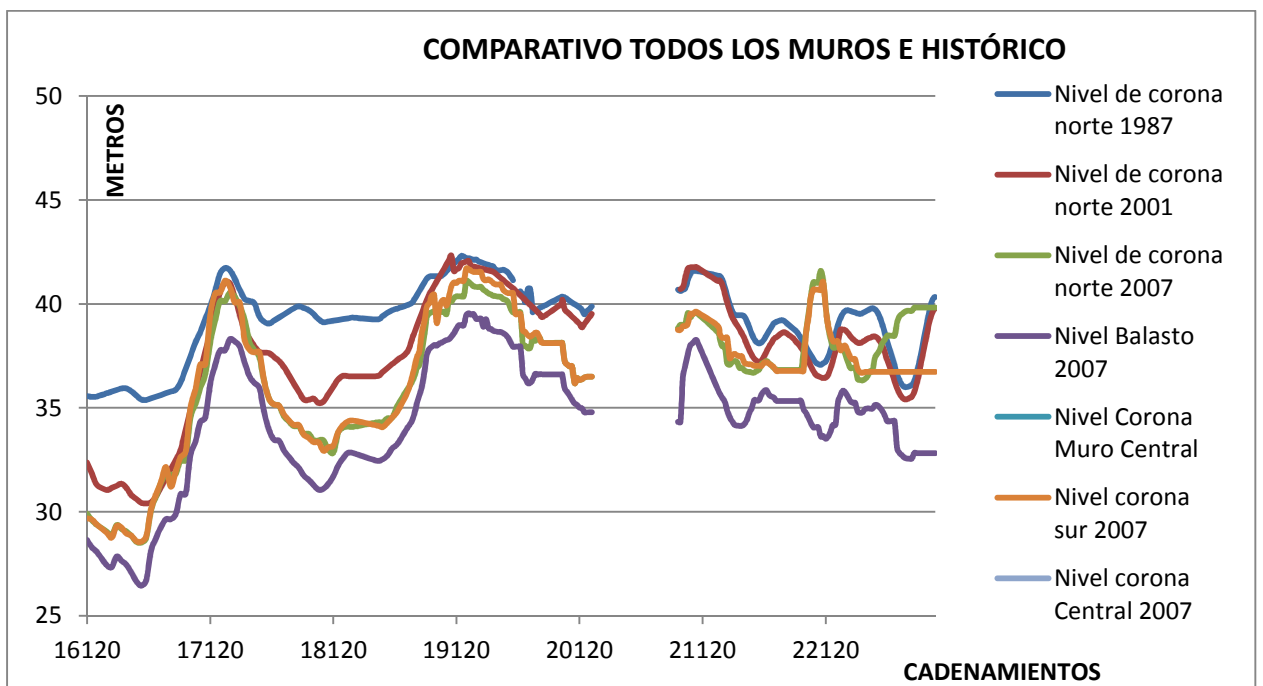
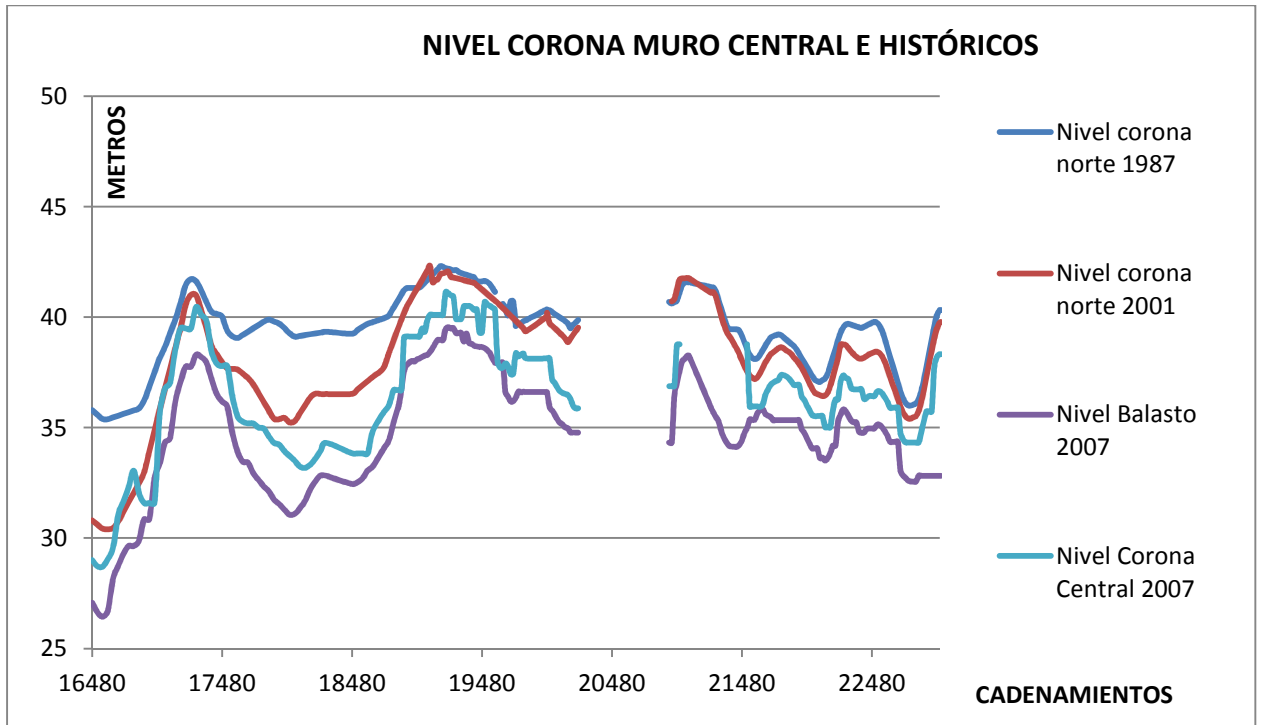
En el cadenamamiento 20+220 al 20+960 se encuentra el túnel donde se identificaron escasos huecos con el Sistema RODAR®.

Del cadenamamiento 21+340 al 21+710 el asentamiento es casi nulo, sin embargo en el cadenamamiento 21+600 se reporta un hundimiento de 0.17 pero en el cadenamamiento 21+400 este llega a casi dos metros y en el 21+300 a casi tres y algo más después de cadenamamiento 21+600, exactamente en el 21+780 llega a casi 2 metros nuevamente. El comportamiento anterior hace suponer un sitio especialmente conflictivo de huecos en esta área. De esto se concluye que para tener un buen diagnóstico se deberían calcular las pendientes a cada metro ya que cada 40 metros (que es la información histórica que se tiene), no permite conocer a detalle el asentamiento longitudinal que han tenido los muros. Se sugiere verificar los hundimientos combinados con este estudio.

Es evidente la grave problemática que existe después del cadenamamiento 21+940 y hasta el fin del tramo. Lo cual se constata en el plano localización de huecos perfil que se dibujó después del estudio geofísico.

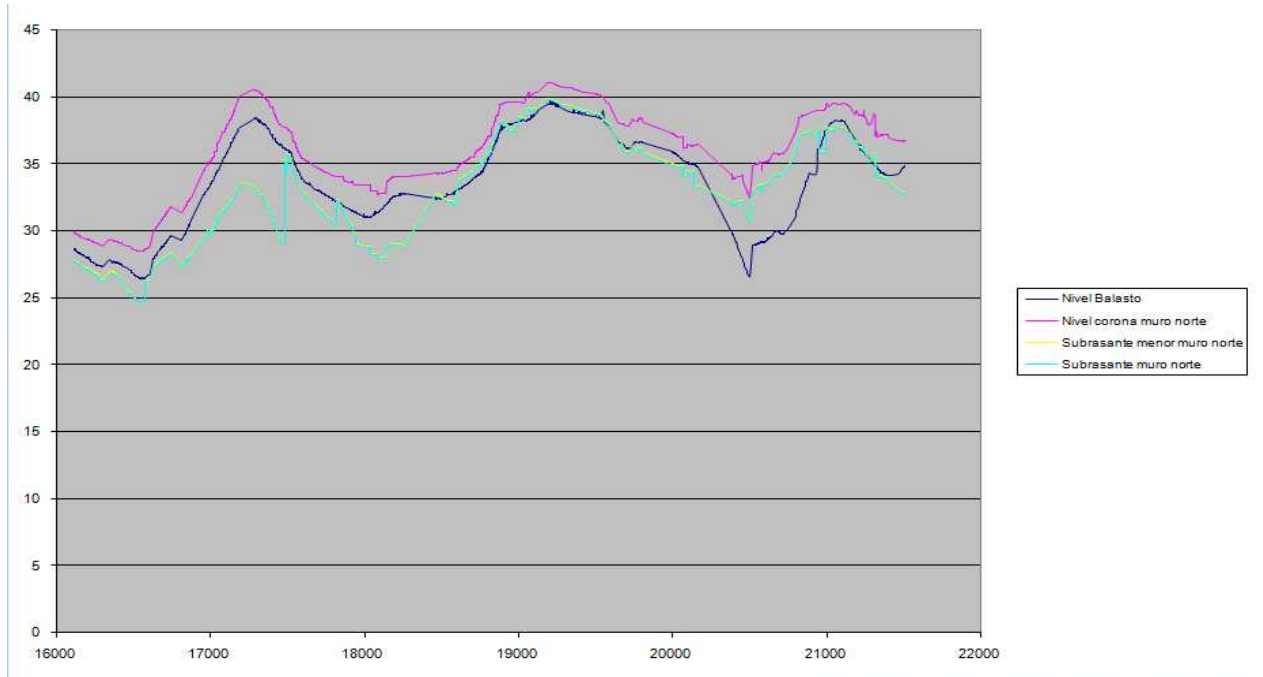
VII INFORMACIÓN GRÁFICA



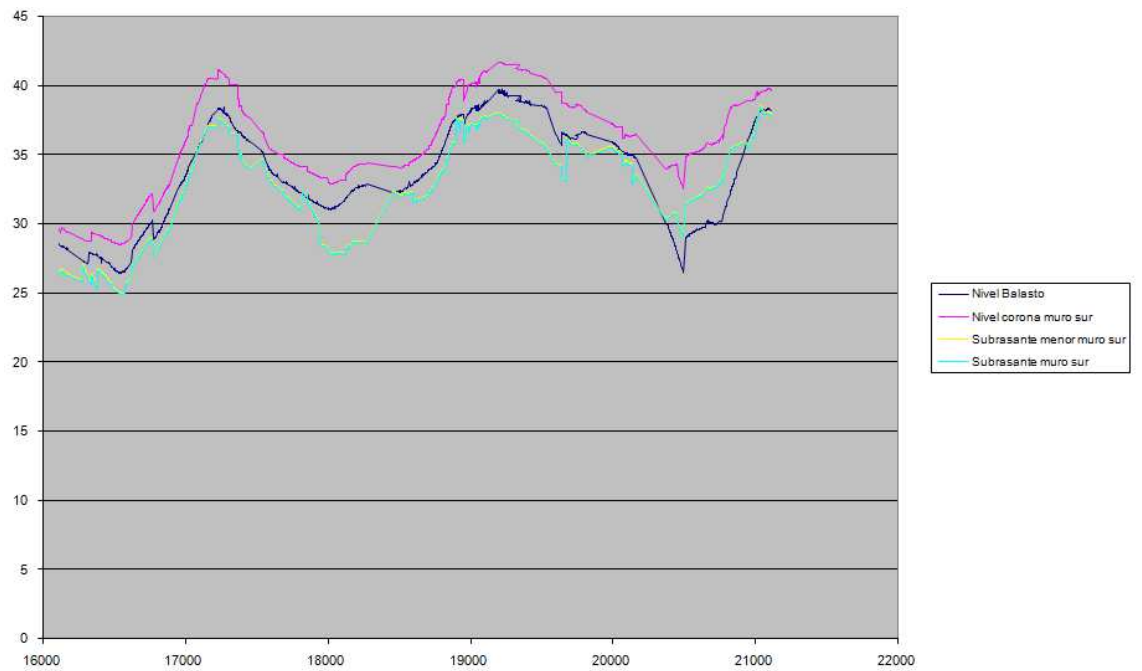




Perfiles de Espesores de balasto de muros Norte



Perfiles de Espesores de balasto de muros Sur





VIII CONCLUSION

Los problemas de hundimientos diferenciales que se presentan a lo largo del tramo “Guelatao – Los Reyes” de la Línea A, tiene un origen variado y complejo, entre los que destaca el fenómeno de hundimiento del Valle de México, así como las diferentes características y disposición de las formaciones de suelo en la zona.

Es evidente que existen hundimientos diferenciales, que promueven la deformación de la superficie de apoyo (asentamientos diferenciales); que modifica la condición original de apoyo de dicho cajón, situación que reduce la seguridad de las instalaciones.

Se determinó que el hundimiento regional en la zona tiene una tendencia al asentamiento, sin vislumbrarse una estabilidad a mediano plazo.

Se detectaron variaciones importantes en el espesor del balasto, de entre 1.62 y 2.35 m, que podrían implicar escalones, desniveles o deformaciones del cajón de Metro y separación de las juntas de dilatación.