



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

GEOMÁTICA APLICADA A LA DETECCIÓN DE
ANOMALÍAS GEOTÉCNICAS A LO LARGO DEL TRAZO DE
LA LÍNEA 12 DEL METRO

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO GEOMÁTICO

P R E S E N T A :

JOSÉ LUIS SÁNCHEZ PALMA



DIRECTOR DE TESIS:
M.I. EDGAR MÉNDEZ SÁNCHEZ

MÉXICO, D.F. 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Geomática Aplicada a la Detección de Anomalías Geotécnicas a lo Largo del Trazo de la Línea 12 del Metro

CONTENIDO	Pag.
INTRODUCCIÓN	3
1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	5
1.1 <i>Antecedentes de la zona de estudio.</i>	5
1.2 <i>Ubicación del trazo de la Línea 12.</i>	7
1.3 <i>Relieve de la zona de estudio.</i>	9
2. AGRIETAMIENTO	11
2.1 <i>Recopilación, procesamiento y captura de la información.</i>	11
2.2 <i>Sistema de Información Geográfica para Grietas (SIG-G).</i>	12
2.3 <i>Distribución espacial de grietas a lo largo del tramo de estudio.</i>	14
2.4 <i>Grieta Avenida 11.</i>	15
2.5 <i>Grieta Avenida de las Torres.</i>	15
2.6 <i>Grieta Guadalupe y Vista Hermosa.</i>	17
2.7 <i>Grieta de Loma de San Luís – Turba.</i>	18
2.8 <i>Grieta Colonia Miguel Hidalgo.</i>	22
2.9 <i>Grietas Loma de Tlaltenco.</i>	24
2.10 <i>Interpretación del agrietamiento de la zona de estudio.</i>	27
2.11 <i>Efectos del agrietamiento y del hundimiento regional en la zona de estudio.</i>	28
2.12 <i>Mitigación del riesgo asociado al agrietamiento.</i>	30
3. ANOMALÍAS GEOTÉCNICAS	33
3.1 <i>Distribución espacial de anomalías a lo largo del tramo de estudio.</i>	33
3.2 <i>Calzada – Dique.</i>	34
3.3 <i>Tlatel – Islote.</i>	35
3.4 <i>Lomas.</i>	38
3.5 <i>Implicaciones de las anomalías detectadas.</i>	43
4. CONCLUSIONES	45
ANEXOS	
ANEXO A GIS	48
ANEXO B GPS	57
ANEXO C Glosario	68
BIBLIOGRAFÍA	71



OBJETIVO

El objetivo de esta tesis es la detección de grietas y anomalías geotécnicas con el fin de ayudar a prevenir a los diseñadores y constructores acerca de los efectos negativos que estas puedan inducir al comportamiento de la estructura del metro, tanto en la etapa de construcción como a lo largo de su vida útil.

ALCANCES

Los alcances de este trabajo son:

1. Recopilación de la información sobre las características físicas y geográficas de la zona de estudio.
 2. Recorridos de campo para la detección de grietas y anomalías.
 3. Posicionamiento físico de grietas y anomalías mediante un GPS geodésico diferencial.
 4. Implantación de un Sistema de Información Geográfica de Grietas y Anomalías.
 5. Efectos del agrietamiento y del hundimiento regional en la zona de estudio.
 6. Mitigación del riesgo asociado al agrietamiento
 7. Implicación de las anomalías detectadas en las construcciones.
-



INTRODUCCIÓN.

El desarrollo demográfico de la ciudad de México ha creado una demanda acelerada de servicios como la dotación de agua y de vías de comunicación para mejorar el bienestar de sus habitantes. Cada vez este desarrollo demográfico plantea la construcción de obras de infraestructura más ambiciosas como lo es la Línea 12 del Metro que nos ocupa en el presente trabajo de tesis.

La Línea 12 del Metro, además de ampliar la red del Sistema del Metro hacia el sur de la Ciudad de México, permitirá comunicar diariamente a sectores muy importantes desde el punto de vista habitacional, industrial y comercial de cuatro delegaciones políticas del Distrito Federal (Benito Juárez, Coyoacán, Iztapalapa y Tláhuac) a través de su ruta que se extiende a más de 28 kilómetros; en los cuales, se alojarán 21 estaciones cuatro de ellas tendrán correspondencia con las Líneas 2, 3, 7 y 8 respectivamente.

Conciente de las características excepcionales de los subsuelo de la Ciudad de México que siempre han dificultado la labor de los constructores, la Subgerencia de Proyectos de la Subdirección General de Obras y Mantenimiento del Sistema de Transporte Colectivo dependiente de la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal (GDF) solicitó al Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM) la realización de los estudios encaminados a determinar la posición de grietas y anomalías a lo largo del trazo de la Línea 12.

En los últimos años, el conocimiento acerca del fenómeno de agrietamiento, así como del hundimiento regional, se ha visto incrementado gracias al intenso trabajo realizado por distintos grupos, incluyendo el Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

El fenómeno del agrietamiento del suelo se puede manifestar a consecuencia de cualquier condición que genere esfuerzos de tensión importantes en el suelo (Auvinet, 2008). El agrietamiento del suelo del Valle de México tiene por tanto distintas causas, incluyendo la contracción de las arcillas lacustres por secado, la existencia de esfuerzos de tensión asociados al peso de las construcciones, el fracturamiento hidráulico en zonas de encharcamientos. Sin embargo, las grietas más importantes y destructivas son una consecuencia directa del hundimiento regional que se presenta en el valle de México por efecto del bombeo de agua en estratos profundos.

La existencia en el subsuelo de anomalías geotécnicas locales asociadas con fenómenos naturales o con la actividad del hombre (antiguos *tlateles* (islotes), calzadas, diques y canales) es una fuente constante de comportamiento inadecuado y de problemas estructurales en las edificaciones.

En este trabajo de tesis, se describen los estudios encaminados a determinar la posición de grietas y anomalías a lo largo del tramo de la Línea 12 con el propósito de que se tomen en cuenta sus efectos tanto en el diseño como en los procedimientos constructivos de la Línea y con ello, minimizar las consecuencias indeseables del fenómeno de agrietamiento en su vida útil y por consiguiente, asegurar condiciones de seguridad y confort para los usuarios. Se revisa asimismo la problemática de las anomalías geotécnicas detectadas, aportando información útil que permitirá una mejor elección de solución para cada tramo del metro y la selección de mejores equipos y procedimientos constructivos.

*CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y
GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE
ESTUDIO.*



1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

En este capítulo se describe de manera sintética tanto las características físico-geográficas como las condiciones del subsuelo de las zonas que atraviesa el trazo de la nueva línea del metro con el propósito de que los diseñadores y constructores tomen previsiones y revisen sus sistemas y procedimientos constructivos para cada tramo; así como, la selección del equipo. También se revisa la problemática que planteen las anomalías geotécnicas detectadas. Se aporta información útil acerca del agrietamiento con el fin de que se tomen en cuenta sus efectos dañinos y con ello, minimizar las consecuencias indeseables en la vida útil de la obra.

1.1 Antecedentes de la zona de estudio

En este inciso, se ha tomado muy en cuenta la información contenida en la cartografía histórica, la cual da cuenta de los aportes prehispánicos y de la evolución de la zona de estudio dejando ver las transformaciones que tuvieron lugar a finales del siglo XIX, a través del siglo XX y principios del XXI.

El trazo de la Línea 12 del metro, se extenderá por zonas que fueron tierra firme al sur poniente (Mixcoac) y luego por zonas correspondientes a lo que fuera la ribera del Lago de Xochimilco al sur-oriental de la Ciudad (al pie de la ladera del Cerro de la Estrella y de la Sierra de Santa Catarina). Estas zonas presentan características físico-geográficas y de subsuelo excepcionales que dificultarán considerablemente la labor de los constructores y que plantearán grandes retos para la definición de los sistemas, equipos y procedimientos constructivos. Además, el hundimiento regional y el agrietamiento afectarán el comportamiento a largo plazo de la futura obra.

En las láminas de las figuras 1.1, 1.2 y 1.3, se puede observar la evolución que ha registrado la zona sur de la Ciudad de México en cuanto a sus características físico-geográficas desde 1519 (Mapa reconstructivo de la Ciudad Azteca; González Aparicio, 1968); 1899 (La estupenda Carta Corográfica del Distrito Federal, construida por la Secretaría de Fomento por disposición del Secretario Ingeniero Manuel Fernández Leal) y 1927 (Plano de la Ciudad de México de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas).

La información toponímica contenida en la lámina anterior es relevante para los fines de este estudio. La importancia que tienen los nombres geográficos para referir o designar un rasgo dentro del ámbito geográfico es indiscutible, pues estos nombres nos permiten, entre otras cosas, identificarlo en forma rápida y objetiva y, en ocasiones describen sus rasgos físicos, incluyendo los geotécnicos.

Algunos de los documentos históricos tienen un valioso contenido geotécnico y geológico que permite inferir las características del subsuelo a través de rasgos como: ubicación de cauces de antiguos ríos y barrancas; trazo y cruces de antiguos canales; extensión de ex-lagos permanentes y eventuales; bordos o diques-calzadas; etc. Su estudio puede contribuir al análisis de la historia de cargas, ayudando a comprender muchas de las causas del mal comportamiento en las edificaciones.



Fig. 1.1 Ubicación del trazo de la Línea 12 del Metro bajo el contexto de 1919 (Según Arq. Luís González Aparicio, 1968)

Cabe destacar que la figura 1.2 es la más relevante e debido a que muestra el pasado lacustre, de pantanos y de tierra firme que tenían las zonas por donde se ubica y se extiende el trazo de la Línea 12 del Metro. Asimismo, advierte que los constructores de esta obra se enfrentarán a un gran reto.

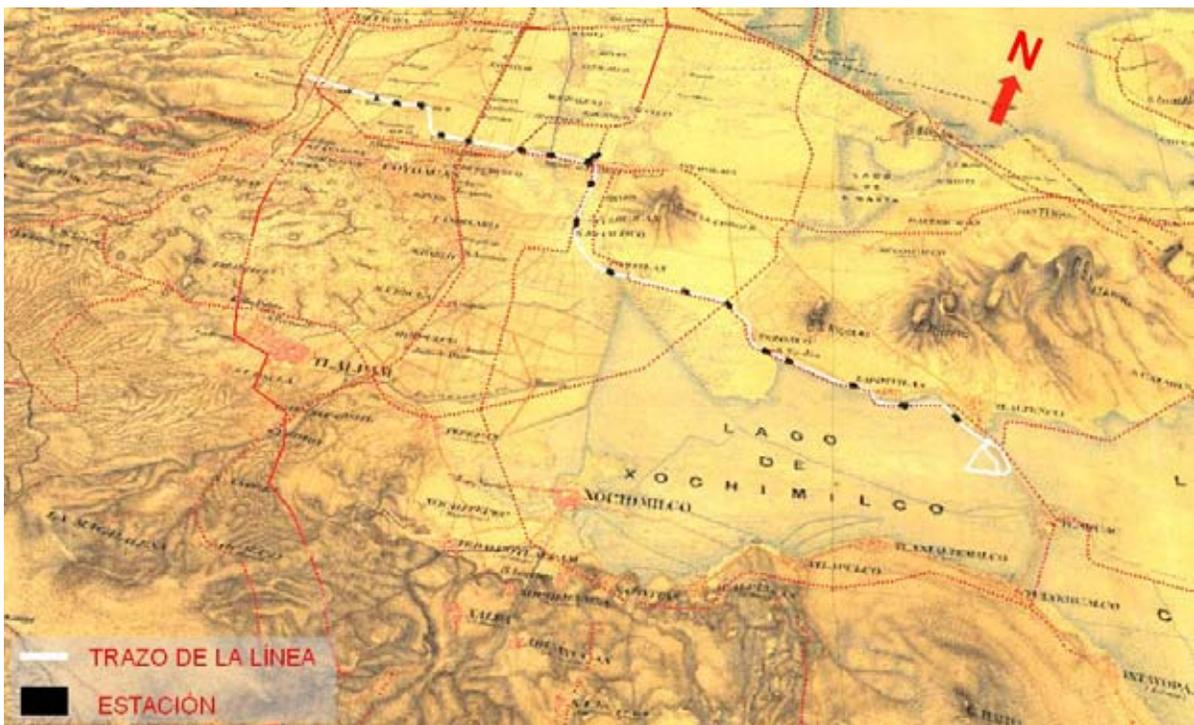


Fig. 1.2 Ubicación del trazo de la Línea 12 del Metro bajo el contexto de 1899, Fernández Leal



Fig. 1.3 Ubicación del trazo de la Línea 12 del Metro bajo el contexto de 1927

1.2 Ubicación del trazo de la Línea 12

La Línea 12 del Metro se localiza al sur de la Ciudad de México y permitirá comunicar a los habitantes del oriente con el poniente y cuyos extremos fueron definidos por las localidades de Tláhuac y Mixcoac. Esta vía cruzará cuatro delegaciones políticas del Distrito Federal (Benito Juárez, Coyoacán, Iztapalapa y Tláhuac). La ruta de la Línea tendrá una longitud total de 28 kilómetros; en los cuales, se alojarán 21 estaciones cuatro de ellas tendrán correspondencia con las Líneas 2, 3, 7 y 8 respectivamente. (figura 1.4). En las figuras 1.5 y 1.6, se puede observar los rasgos urbanos generales que circundan a la Línea 12 bajo el contexto de la Carta Topográfica escala 1:8000 del INEGI y de la Imagen Multiespectral LandSat TM.

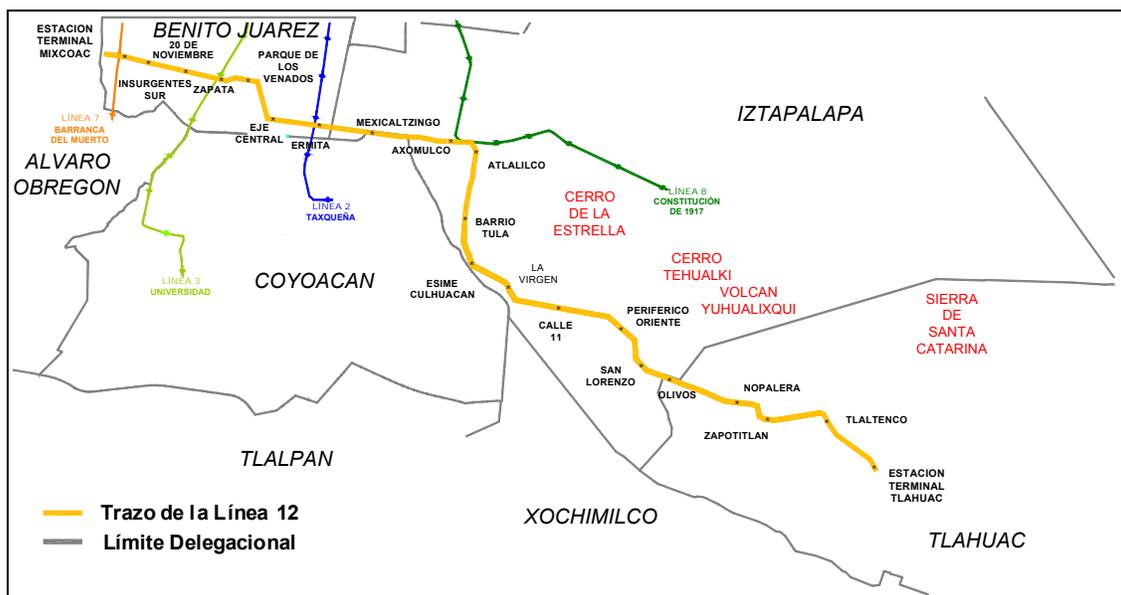


Fig.1.4 Localización del trazo y estaciones de Línea 12 del Metro



Fig. 1.5 Ubicación de la Línea 12 del Metro, Carta 1:8000 de INEGI, 2000



Fig. 1.6 Ubicación de la Línea 12 del Metro, Imagen LandSat TM 2000



1.3 Relieve de la zona de estudio

La información relativa al relieve es fundamental para cualquier actividad que se desee realizar en el territorio donde se alojará la Línea 12 del metro, debido a que permite apreciar la superficie física del terreno, con base en la planimetría y altimetría, y las formas y dimensiones de laderas, ríos, volcanes, calderas, conos, fallas, grietas, líneas o superficies de contacto, discontinuidades, valles, cuencas, etc.

La interpretación y el análisis de las características y rasgos generales del relieve (abrupto, medio, suave o plano), ayuda a definir la extensión en longitud y ancho de los depósitos de suelo, rellenos y formaciones geológicas mediante la proyección horizontal en un plano. Generalmente se presenta a través de curvas de nivel indicando su cota, definida como su altura sobre el nivel del mar. También sirve como mapa de fondo para enmarcar los datos de los diferentes estudios que requieren de los rasgos generales de la superficie para elaborar y definir nuevos mapas temáticos (geomorfológicos, orográficos, etc.)

Bajo el nombre de Modelo Digital del Terreno, MDT, se entiende al conjunto de datos numéricos que describen las características del terreno. Los MDT son una versión digital de los mapas topográficos convencionales por lo que, en ocasiones, han sido denominados mapas virtuales. Un MDT puede definirse en forma más completa y precisa como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua (altura o elevación, pendiente, etc.).

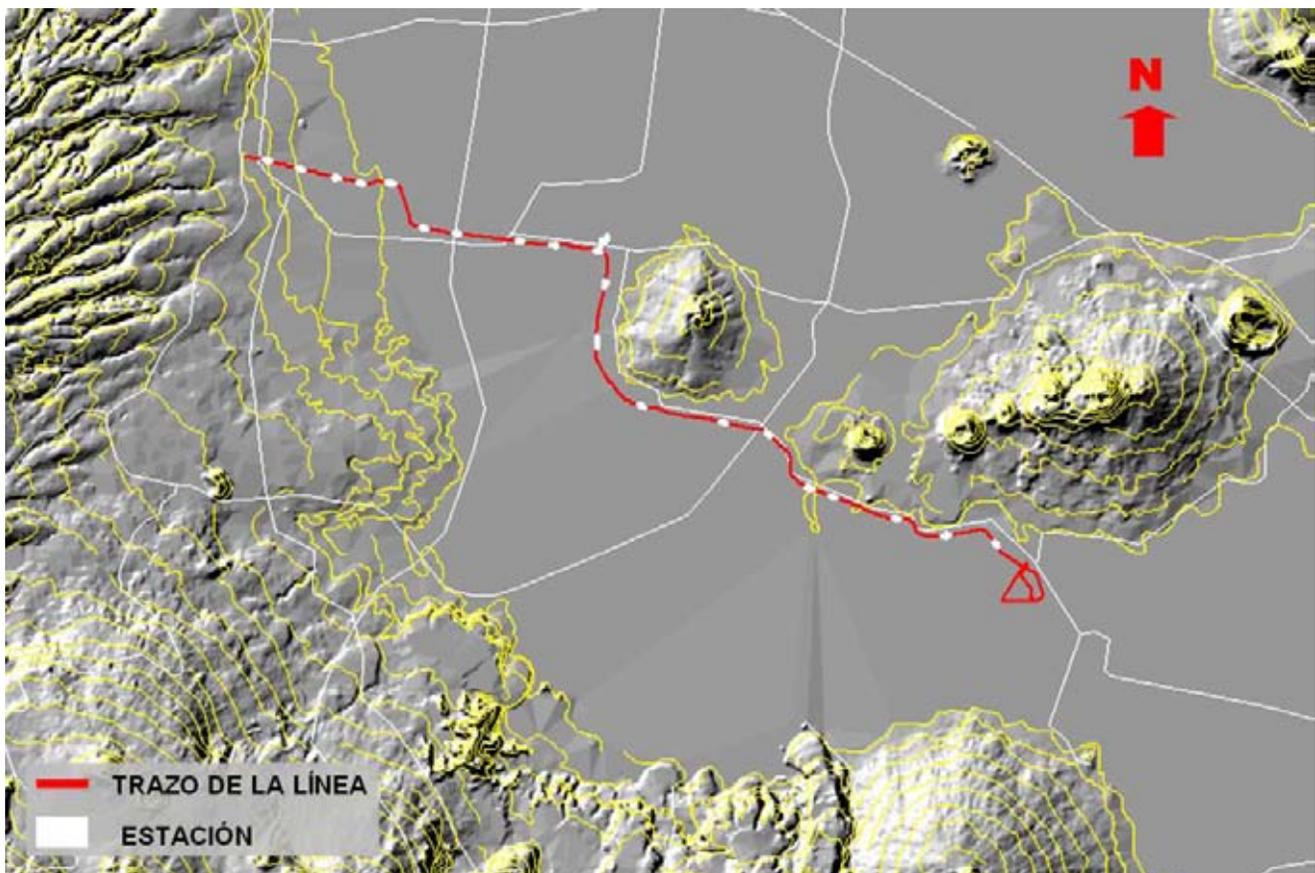


Fig. 1.7 MDT de la zona que circunda la Línea 12 del Metro.

AGRIETAMIENTO.



2. AGRIETAMIENTO

Cada vez con mayor frecuencia, se señala en alguna zona de la ciudad de México la aparición de grietas en el suelo que causan alarma entre la población y llegan a ocasionar daños de importancia a las construcciones.

El fenómeno del agrietamiento se puede manifestar a consecuencia de cualquier condición que genera esfuerzos de tensión importantes en el suelo (Auvinet, 2008). El fenómeno del agrietamiento del suelo en el valle de México tiene por tanto distintas causas, incluyendo la contracción de las arcillas lacustres por secado, la existencia de esfuerzos de tensión asociados al peso de las construcciones, el fracturamiento hidráulico en zonas de encharcamientos, los movimientos sísmicos, etc. Sin embargo, las grietas más importantes y destructivas son una consecuencia directa del hundimiento regional que se presenta en el valle de México por efecto del bombeo de agua en estratos profundos.

Al acentuarse el hundimiento, el agrietamiento del suelo, que antes solo ocurría en el vaso seco del Lago de Texcoco, ha tomado mucha importancia en la zona de transición, como consecuencia de los asentamientos diferenciales entre zonas de suelo blando y firme, con su secuela de daños a las construcciones e instalaciones urbanas.

2.1 Recopilación, procesamiento y captura de la información

Desde hace varios años, el Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería ha emprendido una campaña sistemática e intensa de recopilación de documentos y estudios de muy distinta índole relacionados con el fenómeno de agrietamiento en todo el valle (pozos de agua, hundimiento regional, topografía, geología, estudios de agrietamiento, etc.); así como la identificación de los sitios más documentados y conocidos que experimentan agrietamiento. En esta etapa resultó muy importante la colaboración con el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y el Archivo Histórico del Agua.

Otras de las tareas emprendidas, han sido el procesamiento y la captura de la información recopilada. Estas consisten en transformar los documentos de formato analógico a digital; posteriormente se procede a referenciar geográficamente los documentos y a agruparlos en temas o clases a través de capas de información.

Paralelamente, se realizaron trabajos de campo sistemáticos de levantamiento y/o captura física de grietas (control geodésico), ver figura 3.1; así como de observación y monitoreo de las mismas en la zona metropolitana del Valle de México mediante un sistema diferencial de posicionamiento satelital (GPS) equipado con antenas de doble frecuencia y con la posibilidad de trabajar en tiempo real. Además, cuando el número de grietas ha resultado de gran densidad, se ha empleado simultáneamente el sistema GPS y un equipo topográfico (Estación Total) con precisión de un segundo. Estos intensos trabajos de campo han permitido conformar una extensa base o banco de datos acerca de las grietas.

Otras de las capas de información que se capturaron para poder tomarlas en cuenta en el análisis del agrietamiento del subsuelo de la región, fueron la distribución de pozos de agua y el relieve de la Cuenca.

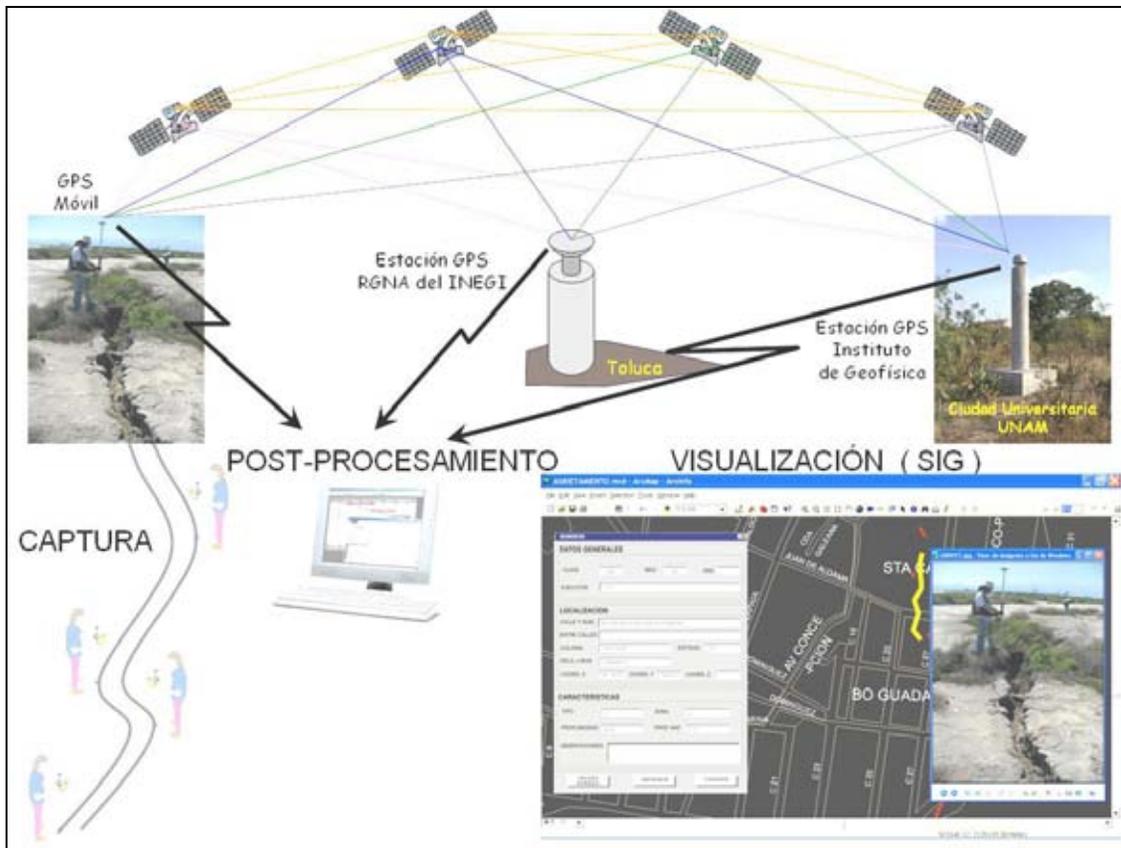


Fig. 2.1 *Tareas de captura, procesamiento y visualización de las grietas*

Cabe destacar que, hasta el momento, se ha logrado documentar 368 sitios de agrietamiento en el valle de México, descartándose 45 sitios que habían sido declarados sujetos al agrietamiento por extracción de agua pero podían atribuirse a otros efectos (principalmente: socavación).

2.2 Sistema de Información Geográfica para Grietas (SIG-G)

Para abordar el problema del fenómeno de agrietamiento con eficiencia, es posible recurrir a las nuevas herramientas que nos ofrecen las tecnologías de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y que se han desarrollado y puestos en operación en el último decenio en el Instituto de Ingeniería de la UNAM a través del Laboratorio de Geoinformática.

A estos Sistemas, se les ha podido integrar a través de los años un volumen considerable de capas o estratos de información que han permitido definir con mayor detalle y precisión el marco geográfico, histórico, físico y social de nuestra unidad principal de estudio que es el territorio de la Cuenca de México.

Se ha incrementado en los últimos meses la información almacenada en la base de datos respecto a la ubicación exacta de cada grieta, así como la descripción de las características físicas y geométricas de las mismas. Esto fue posible, gracias a los intensos trabajos de campo consistentes en levantamiento físico de grietas. A este banco o base de datos, se le denominó: Sistema de Información Geográfica para Grietas, SIG-G (figuras 2.2, 2.3 y 2.4).

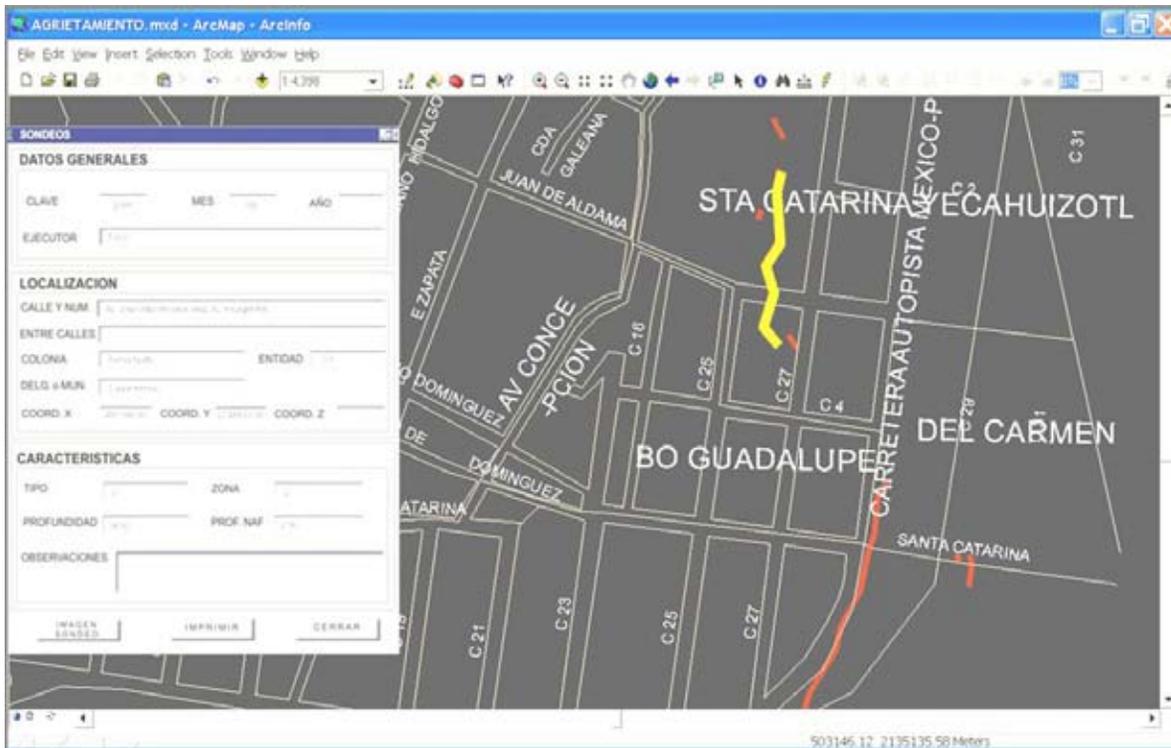


Fig. 2.2 La ventana de la izquierda, es la cédula que agrupa los atributos de la grieta marcada en color amarillo (datos generales, localización y características físicas y geométricas y que están contenidos en el SIG-G).

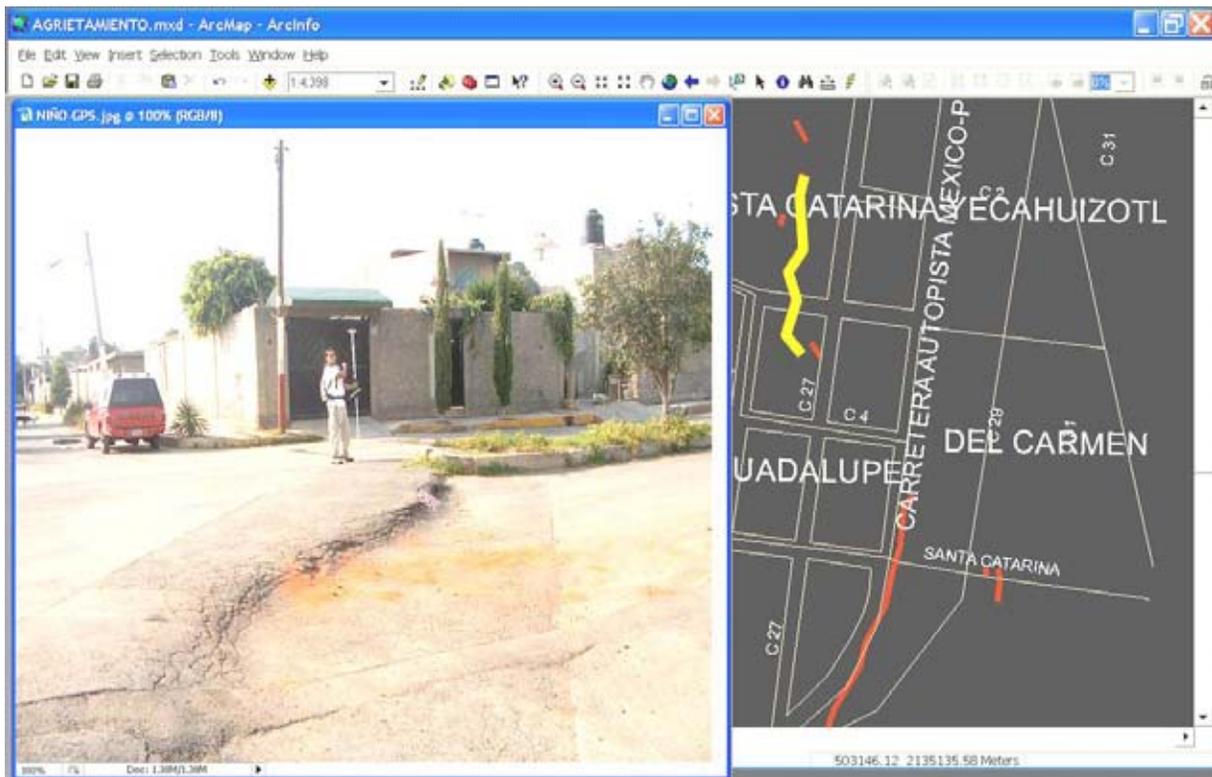


Fig. 2.3 La ventana de la izquierda es la fotografía de la grieta marcada en color amarillo y que está ligada a través de una clave numérica a la cédula de atributos

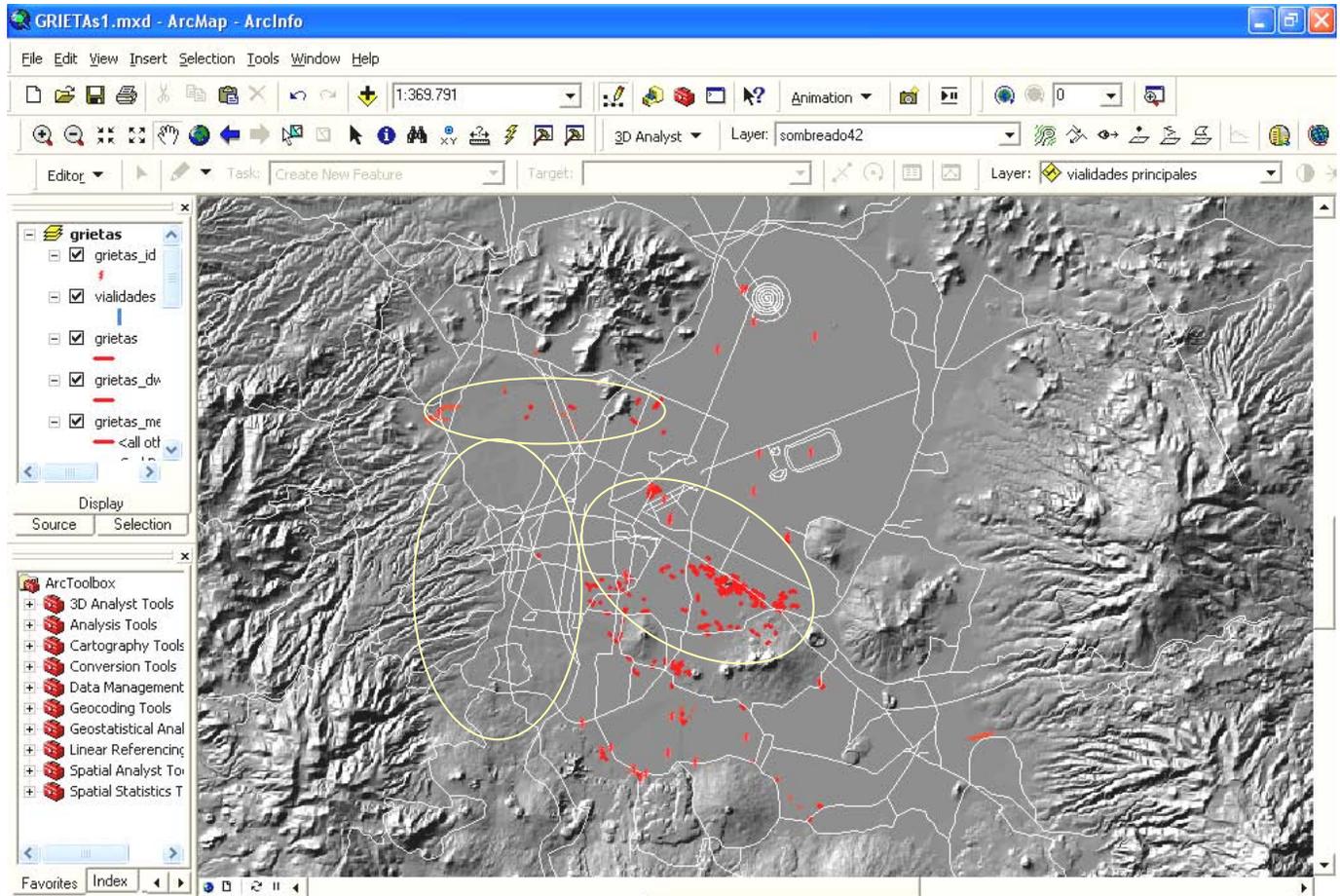


Fig. 2.4 *Distribución espacial de los 368 sitios hasta ahora almacenados en el SIG-G*

2.3 *Distribución espacial de grietas a lo largo del tramo de estudio*

En la zona específica de interés de la línea 12 y para fines del presente estudio, los trabajos descritos en los incisos anteriores se realizaron con mayor grado de detalle.

Se tomaron y ordenaron más de 60 fotografías panorámicas en formato digital de las distintas grietas detectadas y de los daños que ocasionan en las construcciones. A continuación, se muestra la distribución espacial de las grietas detectadas a lo largo del tramo de estudio (figuras 2.5 y 2.6). Los apartados 3.7 al 3.12 ilustran las actividades de posicionamiento realizadas para cada grieta detectada.

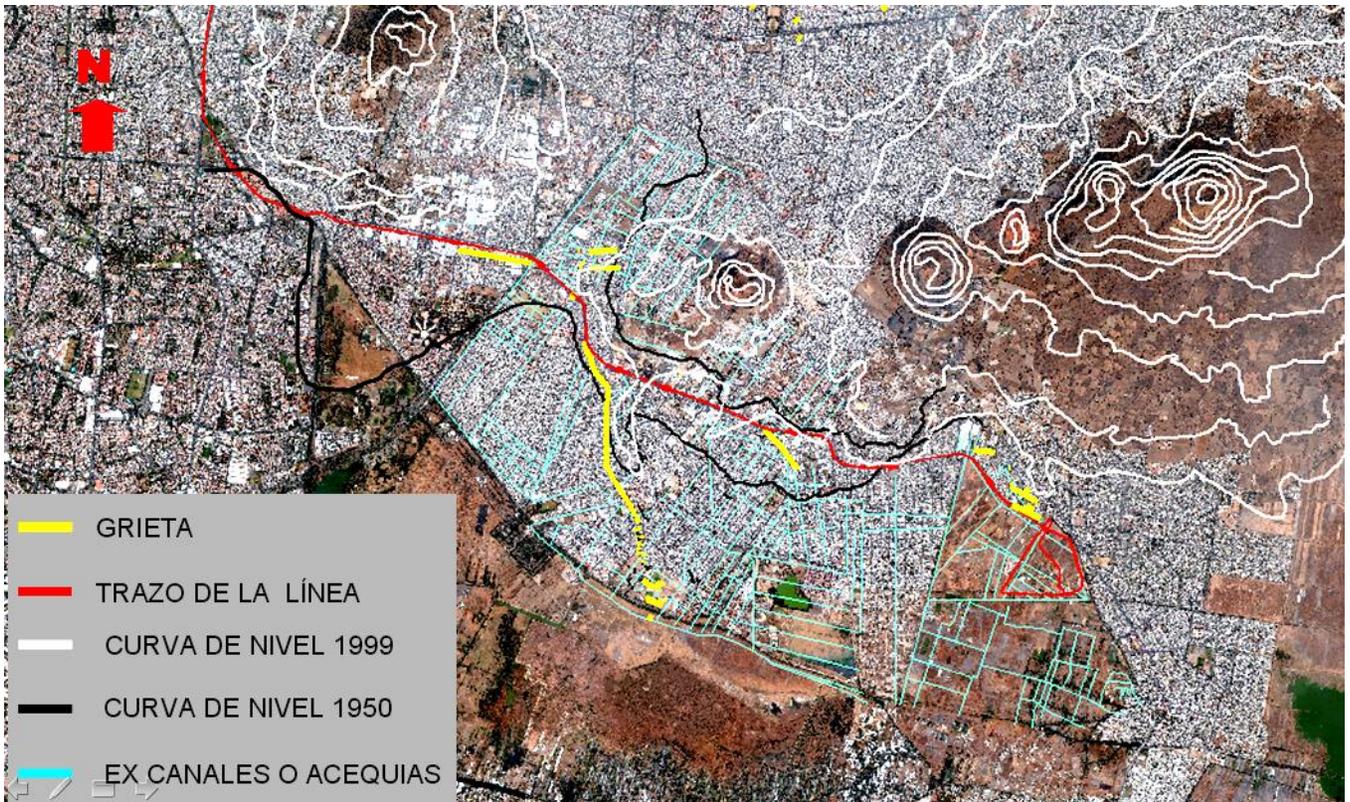


Fig. 2.5 Distribución espacial de grietas encontradas

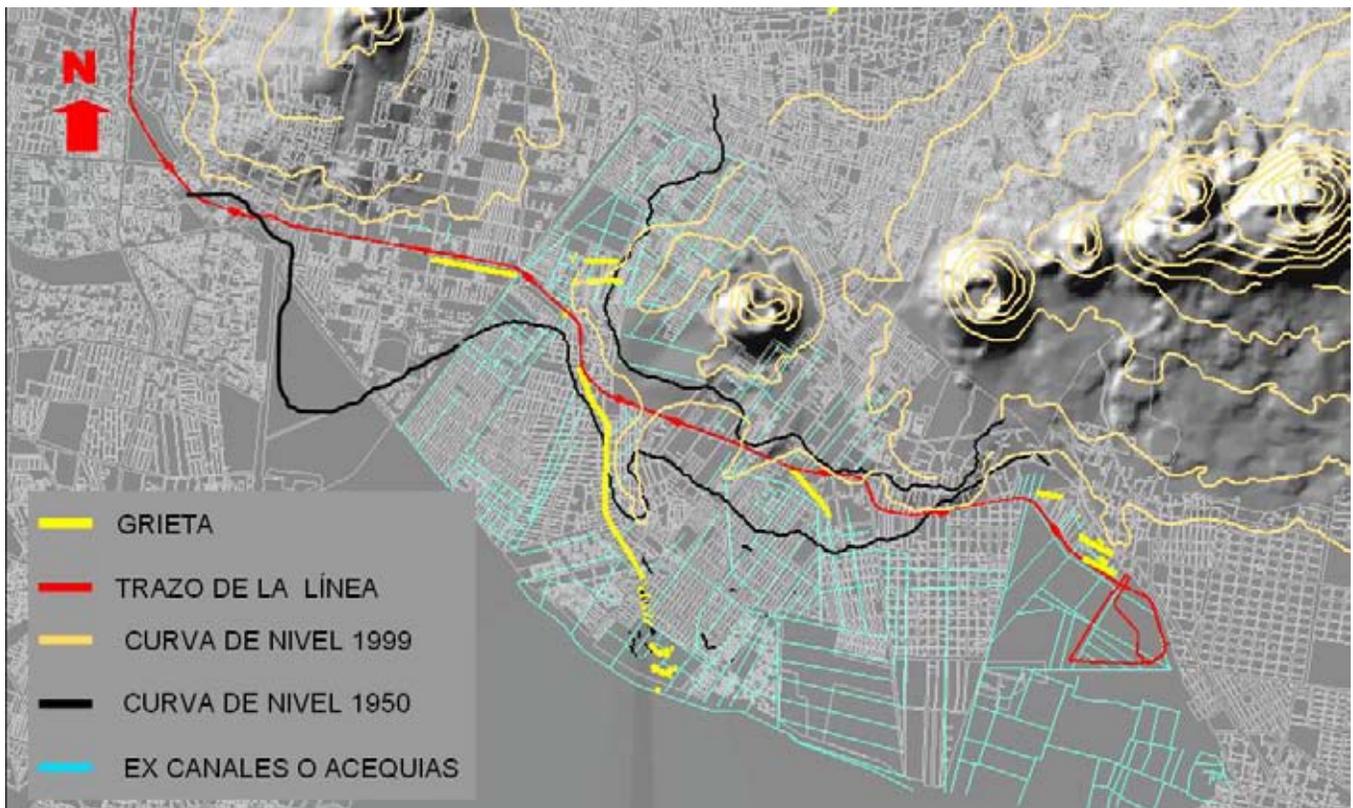


Fig. 2.6 Distribución espacial de grietas bajo el contexto del relieve



2.4 Grieta Avenida 11



Fig. 2.7 Grieta Avenida 11 esquina Avenida Tlahuac



Fig. 2.8 Grieta Avenida 11 esquina Avenida Tlahuac

2.5 Grieta Avenida de las Torres



Fig. 2.9 Grieta Avenida de las Torres esquina Avenida Tlahuac

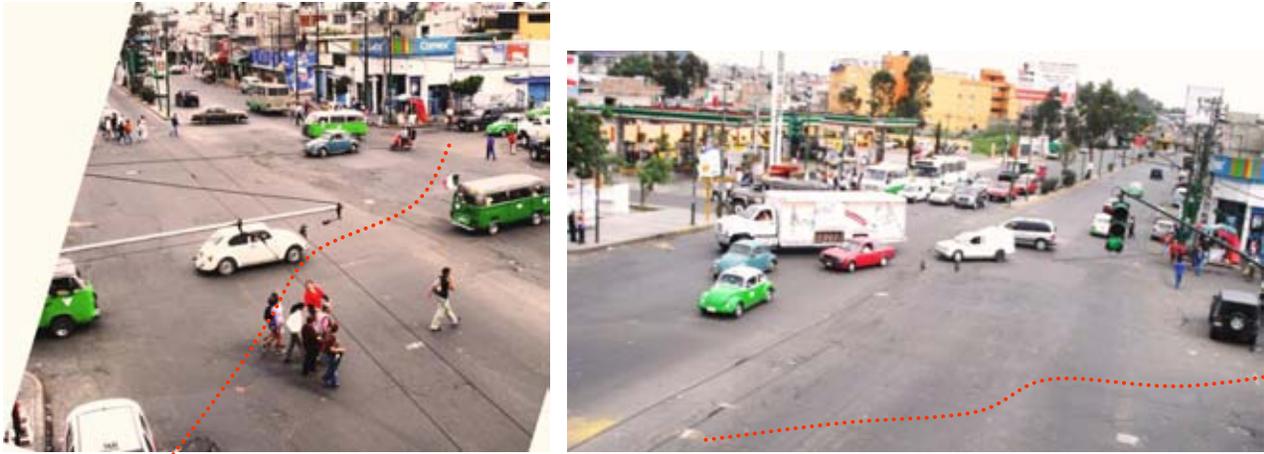


Fig. 2.10 Grieta Avenida de las Torres esquina Avenida Tlahuac

2.6 Grieta Guadalupe y Vista Hermosa

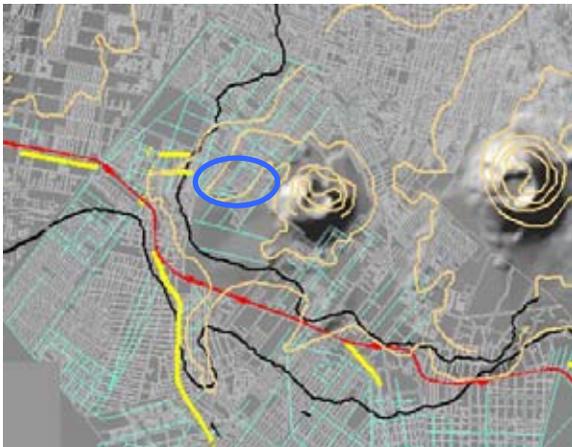


Fig. 2.11 Grieta Calle Guadalupe Victoria esquina Vista Hermosa



Fig. 2.12 Grieta Calle Flor de Azahar esquina Vista Hermosa y U.H. Zaragoza



Fig. 2.13 Grieta Calle Zaragoza esquina Libertad y Tlahuac y Canal de Garay

2.7 Grieta de la Loma de San Luís - Turba

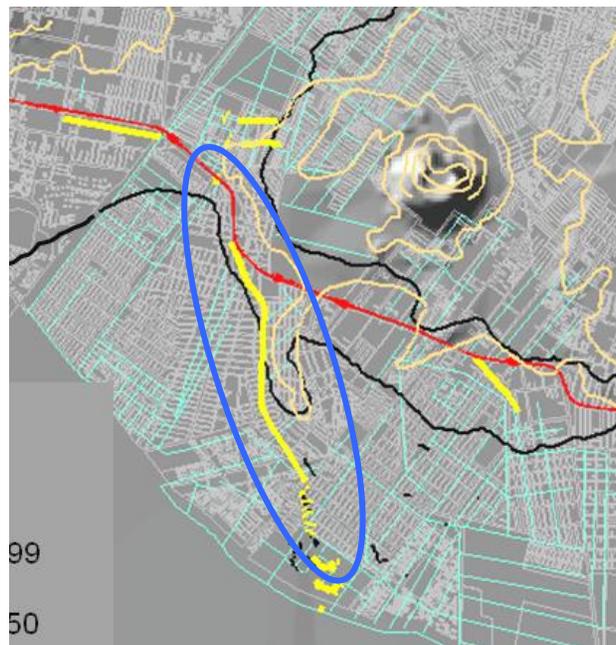


Fig. 2.14 Grieta de la Loma de San Luís – Turba



Fig. 2.15 Grieta Avenida Tlahuac esquina con calle Ramón Torres



Fig. 2.16 Grieta calle Ramón Torres esquina calle Isabel De Portugal (Nótese el fuerte salto que presenta esa grieta)



Fig. 2.17 Grieta en Avenida Mateo Saldaña



Fig. 2.18 Grieta Calle Del Rosario



Fig. 2.19 Grieta Calle Flor de Nube



Fig. 2.20 Grieta Calle Agapando



Fig. 2.21 Grieta Calle San Lorenzo esquina Calle Marisol



Fig. 2.22 Grieta Calle Pino esquina Jacarandas



Fig. 2.23 Grieta Calle Jacarandas esquina Cedro



Fig. 2.24 Grieta Calle Sauce esquina Pról. Turba



2.8 Grieta Colonia Miguel Hidalgo

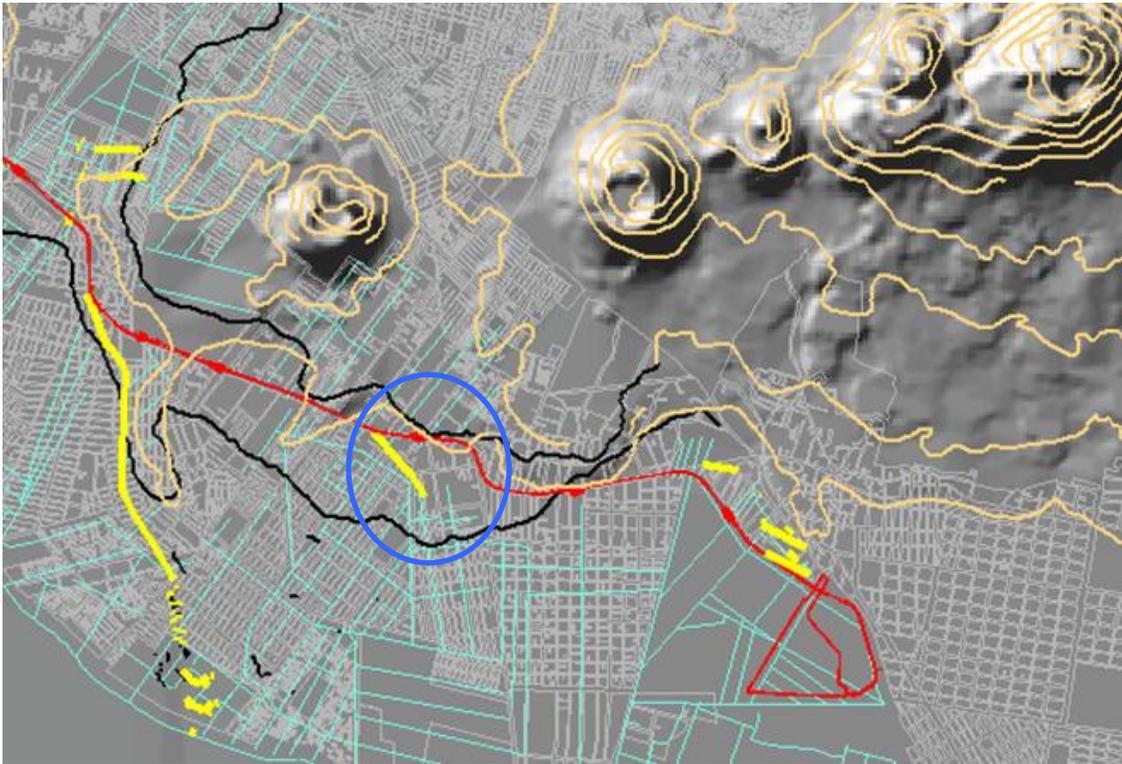


Fig. 2.25 Grieta Colonia Miguel Hidalgo



Fig. 2.26 Grieta Calle Cenicenta



Fig. 2.27 Grieta calle Cenicienta



Fig. 2.28 Grieta Calle Revolución



2.9 Grietas Loma de Tlaltenco



Fig. 2.29 Grietas Loma de Tlaltenco



Fig. 2.30 Grieta Unidad Habitacional Zacatenco



Fig. 2.31 Grieta Tlahuac a la altura de la Unidad Habitacional Zacatenco



Fig. 2.32 Grieta F.C. San Rafael Atlixco, Colonia las Puertas



Fig. 2.33 Grieta Calle Maximino Lugo, Colonia las Puertas



Fig. 2.34 Grieta Cda. Pueblo y Gobierno, Colonia las Puertas



2.10 Interpretación del agrietamiento de la zona de estudio

Tramo sin grietas (Vía Láctea - La Virgen)

a). Vía Láctea - Axomulco

En este tramo, se descartaron 8 sitios que tenían reporte de grieta. En efecto, en la visita de campo, resultó evidente que no eran grietas y que podían atribuirse a otros efectos (principalmente, socavación). Cabe destacar, que muchas de las reparaciones del pavimento en nuestra Ciudad, se deben a las socavaciones provocadas por fugas que tiene la red de agua potable y alcantarillado y no al agrietamiento.

b). Axomulco - La Virgen

El trazo de este tramo de la línea del metro se encuentra muy cerca del Cerro de la Estrella. Sin embargo, la transición entre el cuerpo del Cerro de la Estrella y los depósitos de suelo blando es muy progresiva y no genera tensión en los materiales. En las láminas de la figura 2.35, se ilustra la transición gradual que tiene el Cerro de la Estrella con los materiales blandos.



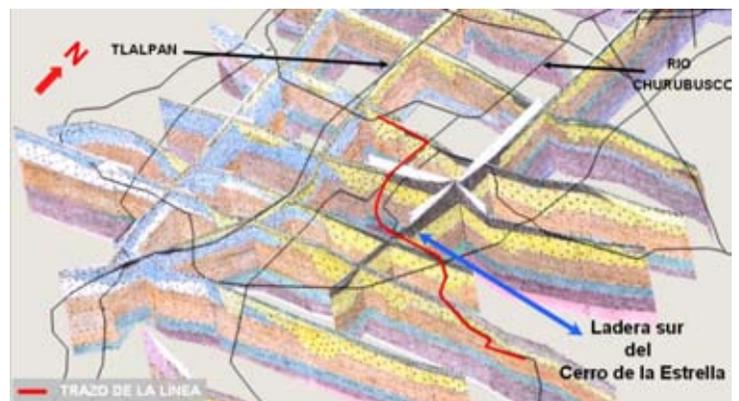
(a) Cerro de la Estrella 1866



(b) Sección del Cerro de la Estrella, 2008



(c) Cerro de la Estrella 1927



(d) Lito-estratigrafía, según Mooser, 2000

Fig. 2.35 Tramo Axomulco - La Virgen de la línea 12 y su interacción con el Cerro de la Estrella



Tramo con grietas (Calle 11 – Tláhuac)

El simple análisis de los cambios que ha experimentado la curva de igual elevación 2240 m.sn.m a lo largo de los años (entre 1950 y 1999) a consecuencias del hundimiento regional, pone en evidencia la interacción de tres afloramientos de materiales rígidos o lomas con el trazo de la línea, y señala esta zona como de mayor potencial de agrietamientos a lo largo del trazo del metro. La franja indicada en la Fig. 2.36 es la zona más susceptible a la aparición de grietas con rumbo aproximadamente paralelo a las curvas de nivel.

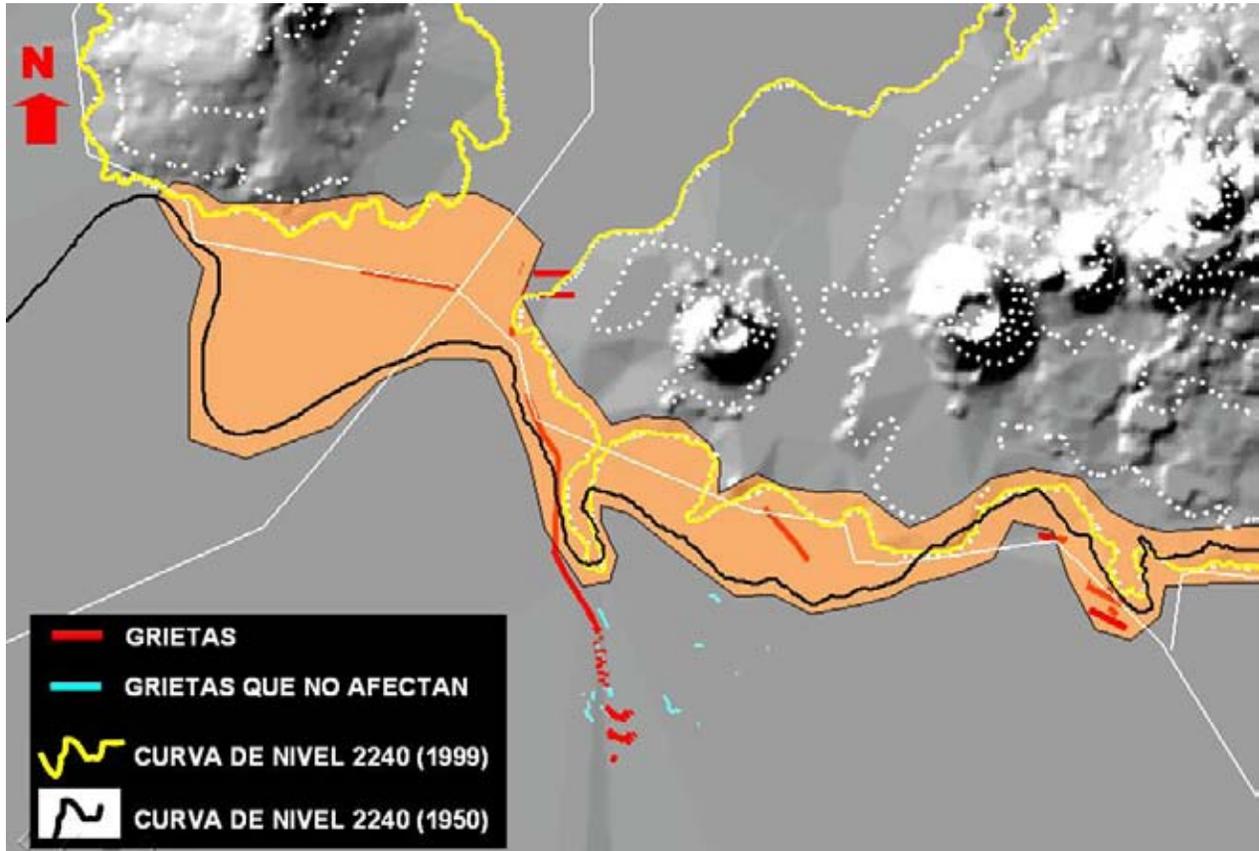


Fig. 2.36 Zona potencial de agrietamientos

Es previsible que si continua o se acelera el régimen actual de bombeo en la zona del Lago de Xochimilco, se manifestará cada vez más el agrietamiento en la zona indicada.

2.11 Efectos del agrietamiento y del hundimiento regional en la zona de estudio

El agrietamiento ha ocasionado distintos tipos de daños en las construcciones e instalaciones de la zona. Algunos de estos daños (agrietamiento en bardas, etc. son visibles en las fotografías presentadas en este informe)

Entre los daños de mayor importancia destaca la destrucción progresiva de la Ex Hacienda de San Nicolás (Fig. 2.37 y Fig. 2.38)

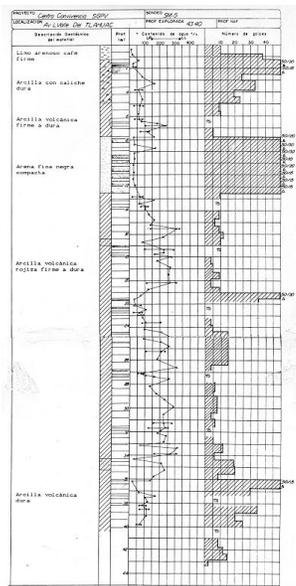
Se sabe por otra parte que las grietas del tipo indicado en la Fig. 3.39 han provocado la destrucción de viviendas en la colonia del Mar



Fig. 2.37 *Daños en la Ex Hacienda de San Nicolás en Iztapalapa*



Fig. 2.38 Hacienda de San Nicolás en Iztapalapa



(a) Perfil estratigráfico



(b) Agrietamiento por heterogeneidad del

subsuelo

Fig. 2.39 Agrietamiento con escalón en Tlahuac (Auvinet, 2008)

2.12 Mitigación de los riesgos planteados por las grietas.

Conviene recordar el concepto de riesgo:

$$\text{RIESGO} = \text{Probabilidad del evento riesgoso (peligro)} \\ \times \text{Valor de los bienes afectados} \\ \times \text{Vulnerabilidad}$$

De esta definición se desprende que los riesgos planteados por las grietas pueden reducirse siguiendo alguna de las estrategias siguientes:

a) Eliminación de la causa o reducción de la probabilidad del evento

- . Suspender el bombeo en la zona o por lo menos no inducir abatimientos piezométricos adicionales.
- . Seguimiento/instrumentación de las grietas (Fig. 3.40)
- . Tratamiento preventivo local de daños. Las grietas se vuelven más peligrosas cuando se erosionan y ensanchan por efecto del agua (rotura de tubería, etc) y por tanto deben sellarse rápidamente para restablecer la continuidad del medio. La experiencia obtenida en las grietas del canal de la Compañía parece indicar que el sellado de grietas con arena es preferible al sellado con lechada.

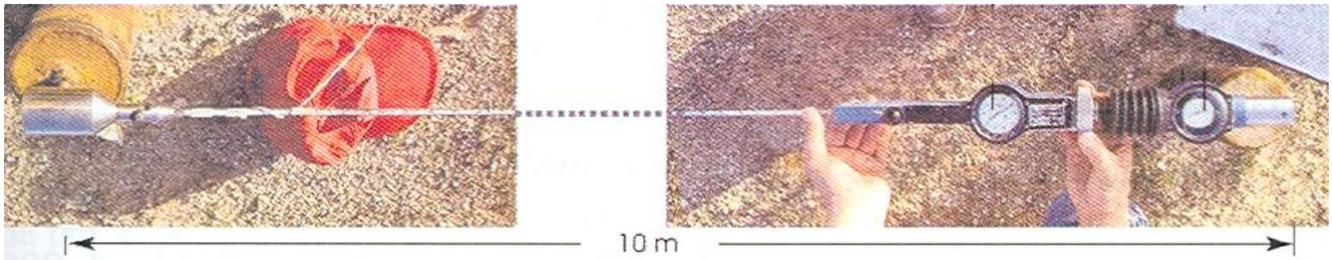


Fig. 2.40 *Extensómetros para medición de apertura de grietas.*

- b) Menor exposición de bienes al riesgo
Restricciones reglamentarias a la construcción

- c) Reducción de vulnerabilidad
Refuerzo de construcciones o diseños especiales (juntas) para minimizar el efecto de las grietas

La filosofía anterior deberá aplicarse a las obras del metro, analizándose la problemática de cada tramo.

ANOMALÍAS GEOTÉCNICAS.



3. ANOMALÍAS GEOTÉCNICAS

La existencia en el subsuelo de anomalías locales asociadas con fenómenos naturales o por la simple actividad del hombre (cortes verticales, cavernas, cimentaciones antiguas, rellenos, basureros y antiguos tlateles, calzadas, diques y canales, etc.) es una fuente constante de comportamiento inadecuado y de problemas estructurales en muchas edificaciones. A pesar de los enormes esfuerzos por mejorar la zonificación geotécnica y definir cada vez con mayor precisión las fronteras que delimitan las Zonas: I (Lomas), II (Transición) y III (Lago); se sabe que existen numerosas subzonas y sitios particulares en los que la estratigrafía local difiere significativamente de la considerada como típica de cada zona.

En las zonas de transición y lacustre (zonas II y III), existen sitios fácilmente identificables donde el subsuelo presenta características particulares como las que presenta el tramo Vía Láctea – Tláhuac de la línea 12 del metro y que se encuentra ampliamente discutido en el capítulo cuatro del presente trabajo.

3.1 Distribución espacial de anomalías a lo largo del tramo de estudio

Cabe destacar, que a lo largo del tramo de estudio comprendido entre la estación *Vía Láctea* a la de *Tláhuac* de la línea 12 del metro se detectaron cinco anomalías, como se indica en el mapa de distribución espacial de anomalías de la figura 3.1:

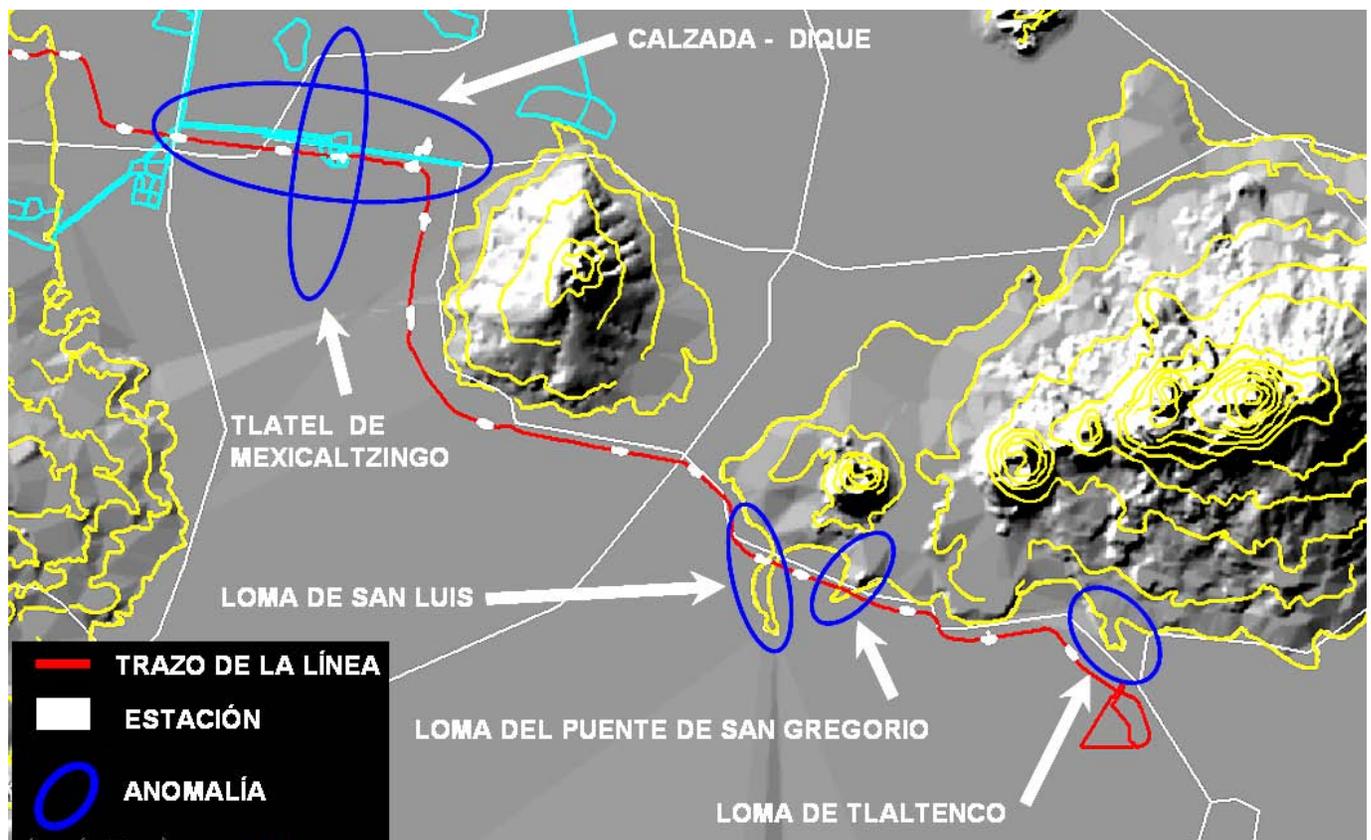


Fig. 3.1 Distribución espacial de anomalías a lo largo del tramo de estudio



3.2 Calzada – Dique

La primera anomalía es un dique que, además de contener las aguas, se utilizaba como calzada. Esta estructura partía de la Calzada de Tlalpan hacia el este para comunicar primero al poblado de Mexicaltzingo y luego a los habitantes de Iztapalapa (figuras. 3.2 y 3.3), Culhuacán y Tláhuac.

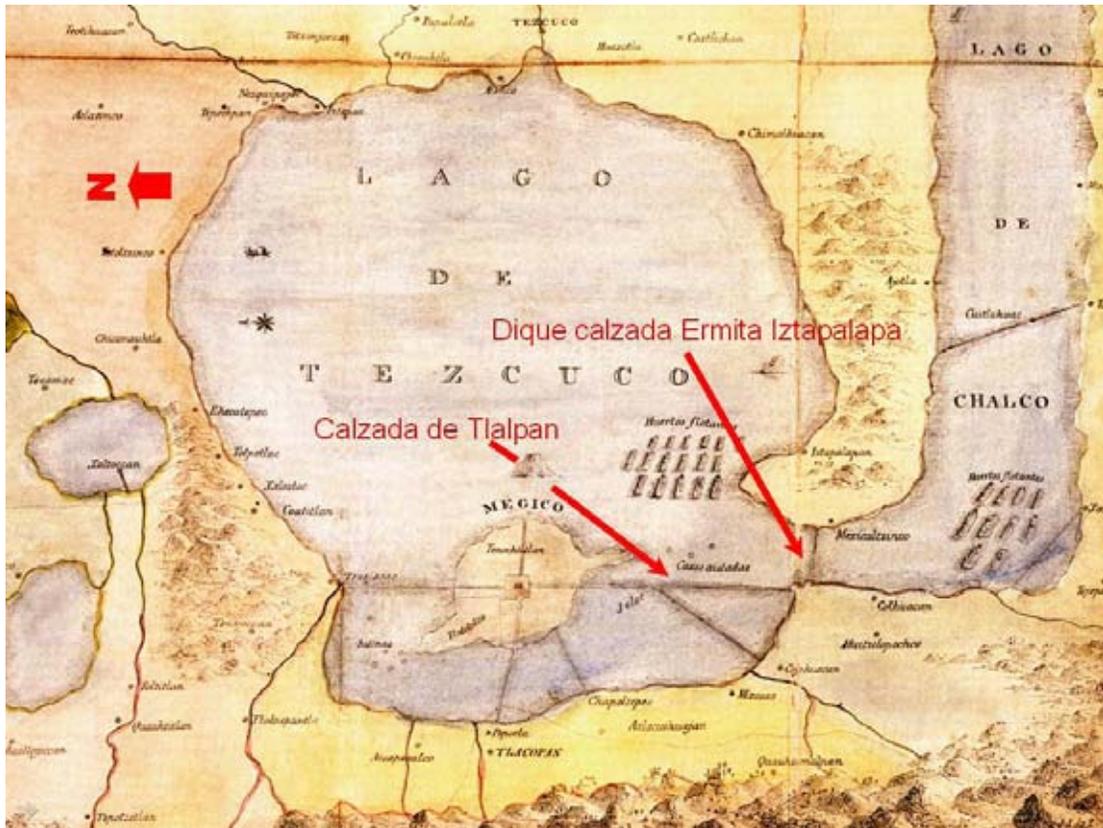


Fig. 3.2 Ubicación de la calzada dique hoy avenida Ermita Iztapalapa (Descripción de la comarca de México, Enrico Martínez 1608)

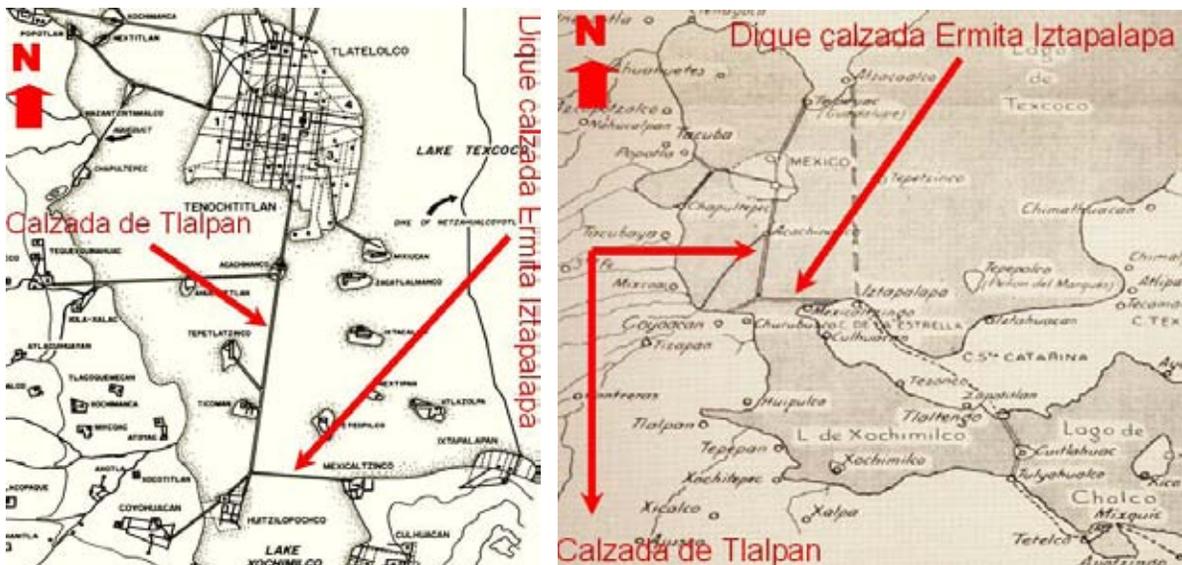


Fig. 3.3 Ubicación del dique calzada Ermita Iztapalapa



3.3 Tlatel - Islote

El *tlatel* o islote de Mexicaltzingo es la segunda anomalía detectada a lo largo del tramo de estudio. En la la figura 3.4 se muestra su ubicación. En las láminas de las figuras 3.5 y 3.6 se muestran los detalles geométricos y estructurales de este *tlatel*. En la figura 3.7 se muestra el posicionamiento del cuerpo del tlatel que emerge.

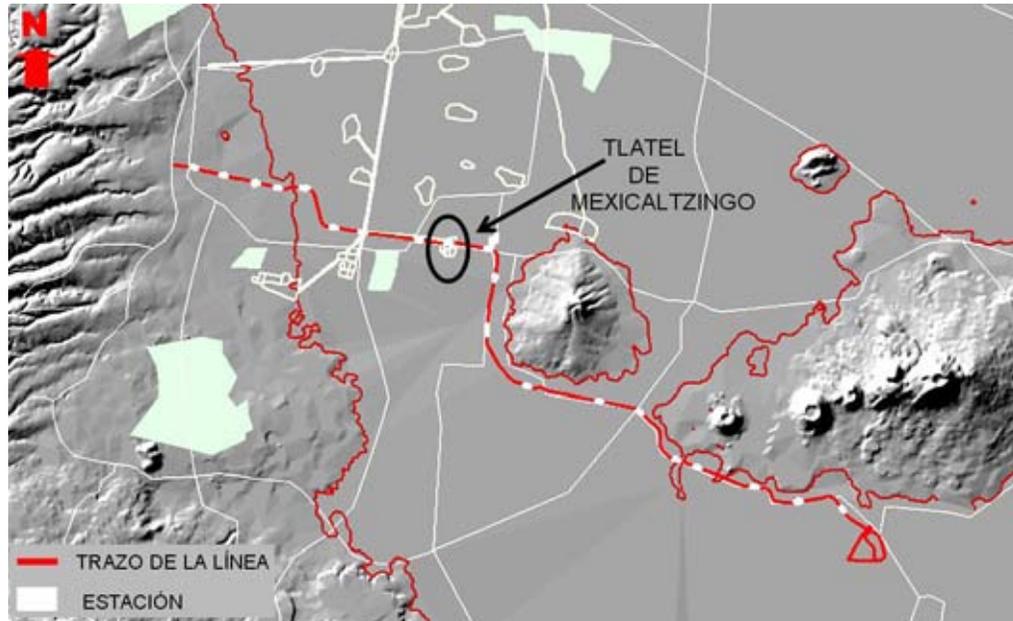


Fig. 3.4 Ubicación de los Islotes o *tlateles* del sur de la Ciudad Azteca

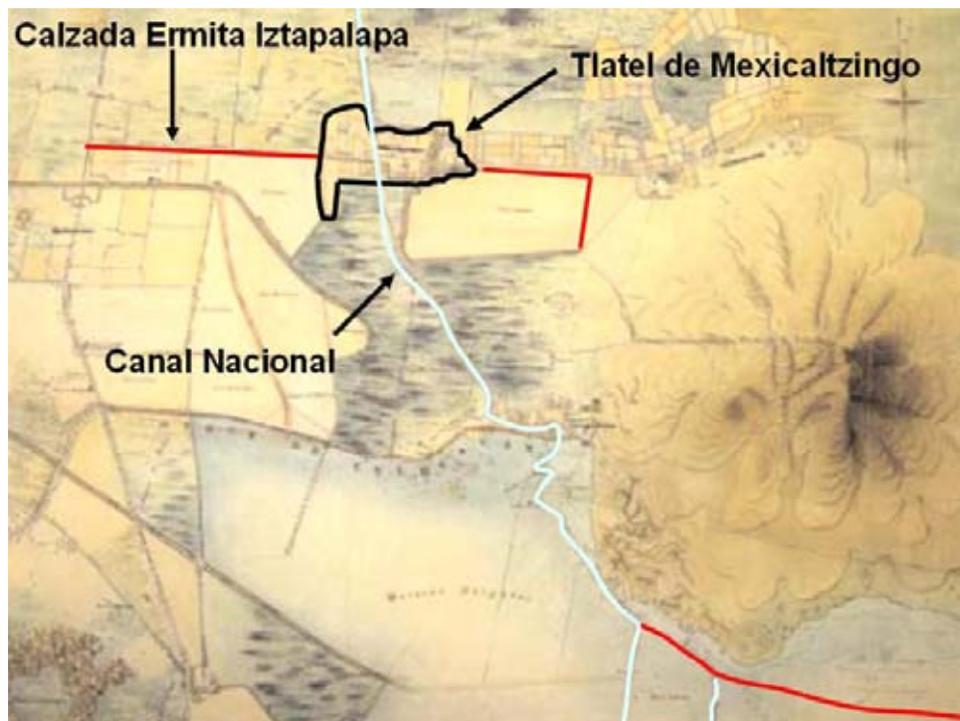


Fig. 3.5 Detalle del Islote o *tlatel* de Mexicaltzingo
(Obras de Desagüe ejecutadas en el Sur del Valle de México, siendo Director de Aguas Francisco de Garay, M. Téllez Pizarro, 1866)

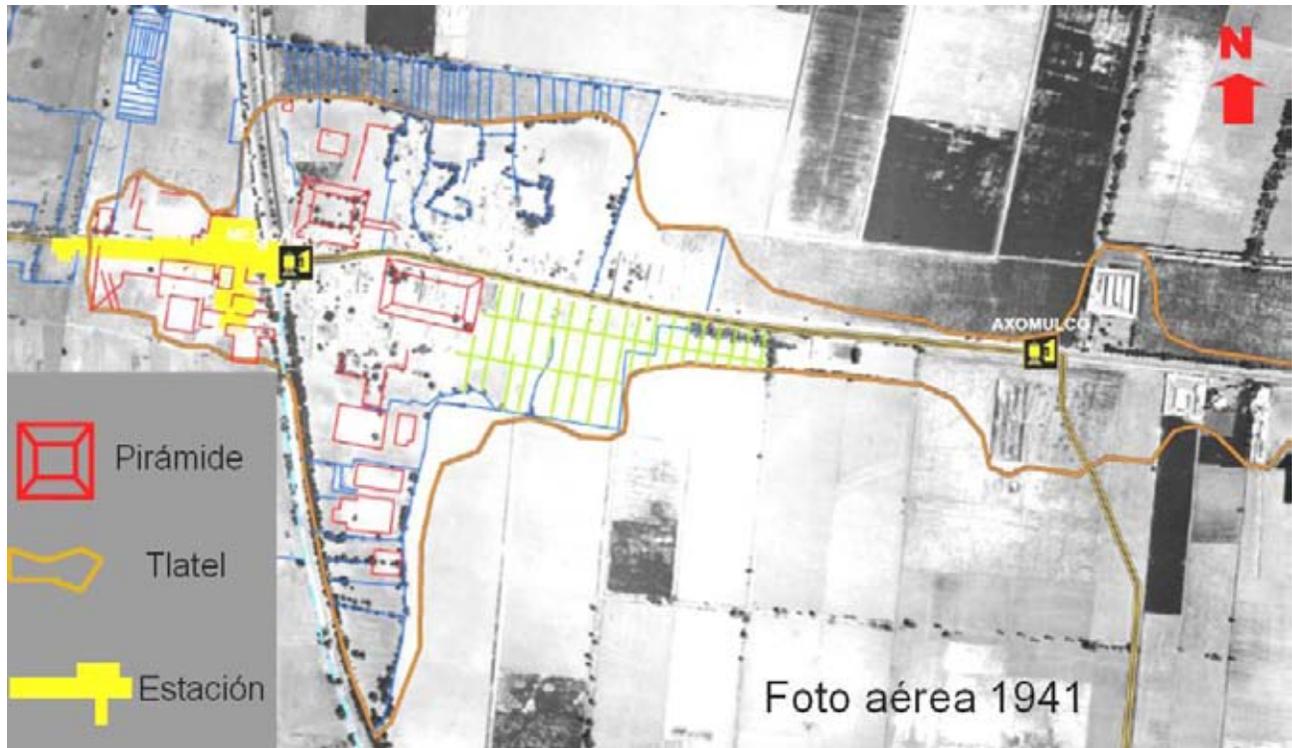


Fig. 3.6 Detalle del Islote o tlatel de Mexicaltzingo – Axomulco, Medina, Vieitez y Flores (INAH)



Fig. 3.7 Posicionamiento del cuerpo del tlatel de Mexicaltzingo que emerge



(a)



(b)

Fig. 3.8 (a) posicionamiento de la base poniente y (b) base oriente



Fig. 3.9 Posicionamiento de la cúspide a un costado de la torre de la iglesia

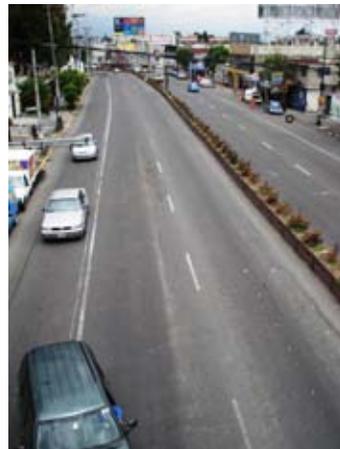


Fig. 3.10 Panorámica del islote o *tlatel*, O – W



3.4 Lomas

Por último, las siguientes tres anomalías detectadas corresponden a tres afloramientos de materiales piroclásticos constituidos por cenizas sueltas y escorias del tamaño de la grava y que hemos denominado *loma de San Luís*, *punto de San Gregorio* y *Tlaltenco* por haber sido citada en esta forma en un mapa topográfico de la Ciudad de México de 1927 (figura 3.11).

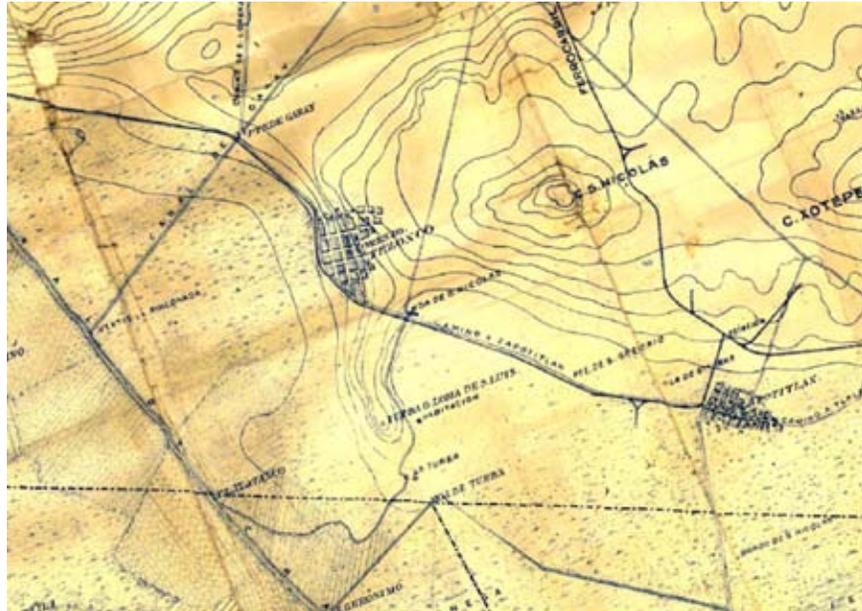


Fig. 3.11 Loma de San Luís también llamada la Turba, 1927



Fig. 3.12 Posicionamiento de la Loma de San Luís que emerge



Fig. 3.13 Imágenes del posicionamiento poniente del cuerpo San Nicolás – La Turba



Fig. 3.14 Imágenes del posicionamiento de la cúspide del cuerpo San Nicolás – La Turba



Fig. 3.15 Imágenes del posicionamiento oriente del cuerpo San Nicolás – La Turba



Fig. 3.16 Posicionamiento de la Loma del Puente de San Gregorio que emerge (Los Olivos – Xaltepec)



Fig. 3.17 Imagen del posicionamiento poniente del cuerpo Los Olivos – Xaltepec



Fig. 3.18 Imagen del posicionamiento de la cúspide del cuerpo Los Olivos – Xaltepec



Fig. 3.19 Imagen del posicionamiento oriente del cuerpo Los Olivos – Xaltepec



Fig. 3.20 Posicionamiento de punto bajo, Gallo de Oro – A. Nervo



Fig. 3.21 Imagen del posicionamiento de punto bajo



3.5 Implicaciones de las anomalías detectadas.

Las zonas anómalas detectadas en el presente estudio deberán ser objeto de una atención especial durante los trabajos de exploración para la línea 12 del metro, puesto que el subsuelo puede presentar características muy diferentes de las que se esperan en la zonificación reglamentaria. En estas zonas, la exploración deberá ser más densa con objeto de definir cambios estratigráficos que puedan afectar al comportamiento a largo plazo de la línea y deban tomarse en cuenta en el diseño.

Se sugiere que se haga una nueva evaluación de detalle de estas zonas cuando se disponga de los resultados de la exploración.

CONCLUSIONES.



4. CONCLUSIONES

De los tres capítulos y sus correspondientes incisos contenidos en el cuerpo del presente trabajo de tesis se desprenden las siguientes conclusiones:

Con base en los resultados de la evaluación de cada uno de los elementos que integran al marco físico-geográfico, así como de la información acerca del agrietamiento y anomalías geotécnicas, se desprende que el tramo centro oriente de la Línea 12 del Metro presenta la mayor incidencia de los problemas que plantea la naturaleza y condiciones del subsuelo por donde atraviesa el trazo de la Línea.

Nota: El tramo centro oriente de la Línea 12 del Metro, tiene como extremos: el cruce de Tlalpan con la calzada Ermita Iztapalapa (centro del trazo) y estación Terminal Tlahuac (extremo oriente)

Otra conclusión importante, se refiere a los daños que ocasionan las grietas y anomalías que se detectaron y capturaron (marzo del 2008) no sean atribuidos trabajos de construcción de la línea (febrero del 2009).

A lo largo del tramo de la Línea 12 del Metro, se identifican dos anomalías que corresponden respectivamente a un dique-calzada y a un islote o *tlatel*. Las restantes corresponden a tres afloramientos de materiales piroclásticos constituidos por cenizas sueltas y escorias del tamaño de la grava y que hemos denominado *Loma de San Luís*, *Loma del puente de San Gregorio* y *Loma Tlaltenco* (ver figura 3.1, distribución espacial de anomalías a lo largo del tramo de estudio).

Las dos primeras anomalías (dique-calzada y *tlatel*), pueden incidir de manera importante en las condiciones de apoyo de la futura línea del metro y por consiguiente, deberán ser tomados en cuenta por los diseñadores y constructores.

Las zonas anómalas detectadas deberán ser objeto de una atención especial durante los trabajos de exploración para la línea 12 del metro, puesto que el subsuelo puede presentar características muy diferentes de las que se esperan en la zonificación reglamentaria. En estas zonas, la exploración deberá ser más densa con objeto de definir cambios estratigráficos que puedan afectar al comportamiento a largo plazo de la línea y deban tomarse en cuenta en el diseño. Se sugiere que se haga una nueva evaluación de detalle de estas zonas cuando se disponga de los resultados de la exploración.

A raíz del presente estudio para la Línea 12 del Metro, se mejoró el conocimiento acerca de la distribución, densidad y posición de las grietas en el Valle de México por parte del personal que labora en el Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

El fenómeno de agrietamiento toma una importancia particular en los tres sitios donde se detectaron cuerpos de materiales rígidos (afloramiento de rocas cerca o en la superficie) denominados *Lomas* como la que se encuentra citada en un mapa antiguo consultado para el presente estudio (*San Luís*, *Puente de San Gregorio* y *Tlaltenco*). (ver figura 2.6 Distribución espacial de grietas bajo el contexto del relieve.)



En dos de las tres *Lomas (San Luís y Tlaltenco)*, se presentan grietas Tipo 1 (transición brusca suelos blandos/suelos firmes) a lo largo de la margen poniente. Estas grietas corresponden a hundimientos diferenciales en las zonas de transición abrupta entre materiales firmes y blandos sometidos al proceso de consolidación general. Estas se caracterizan por presentar escalones hacia la zona de mayor asentamiento.

Se señala como zona más susceptible a agrietamiento la franja de color naranja mostrada en la figura 2.36 (Zona potencial de agrietamientos). Esta franja es susceptible a la aparición de grietas Tipo 1 con rumbo aproximadamente paralelo a las curvas de nivel 2240 m.s.n.m.

Los cambios en la posición de la curva 2240 m.s.n.m. en 1999 con respecto a 1950 a consecuencias del hundimiento regional, pueden someter los depósitos lacustres a un estado de tensión que genera agrietamientos. El constructor deberá tomar en cuenta lo anterior en sus procedimientos constructivos.

Se muestra que los constructores y diseñadores deberán prestar atención a cada una de las características físicas y geográficas dentro de la zona de estudio donde se desarrollará el proyecto de la línea 12 del Metro (topografía, hidrología, etc.). Estas características físicas y geográficas se discuten en el primer capítulo de esta tesis.

Se subraya además que el proyecto deberá tomar muy en cuenta el agrietamiento y otras anomalías geotécnicas detectadas en la zona. Las láminas presentadas en el capítulo dos y tres del presente trabajo de tesis ilustran estas difíciles condiciones.

La información contenida en la cartografía histórica permite advertir tanto a los diseñadores como a los constructores de esta obra el gran reto al que se enfrentaran.

El modelo de relieve sombreado de la zona que circunda al trazo de la Línea 12 del Metro proporciona una visión clara acerca de cuales tramos de la Línea están apoyados en terrenos firmes y cuales en la ribera del ex lago de Xochimilco (transición y blandos).

En la lámina de la Figura 1.3, se muestra la posición y arreglo geométrico que presentaban los cauces de ríos y antiguos canales a fines del siglo XIX en el área que circunda el trazo de la Línea 12 del Metro. Este arreglo como todos sabemos ha sido borrado por la urbanización al entubar los ríos y al rellenar los canales seguramente con materiales no controlados.

ANEXOS.



ANEXO A. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (GIS)

Antecedentes

En los años 1960 y 1970 emergieron nuevas tendencias en la forma de utilizar los mapas para la valoración de recursos y planificación. Observando que las diferentes coberturas sobre la superficie de la tierra no eran independientes entre sí, si no que guardaban algún tipo de relación, se hizo latente la necesidad de evaluarlas de una forma integrada y multidisciplinaria. Una manera sencilla de hacerlo era superponiendo copias transparentes de mapas de coberturas sobre mesas iluminadas y encontrar puntos de coincidencia en los distintos mapas de los diferentes datos descriptivos.

Luego, esta técnica se aplicó a la emergente tecnología de la informática con el procedimiento de trazar mapas sencillos sobre una cuadrícula de papel ordinario, superponiendo los valores de esa cuadrícula y utilizando la sobreimpresión de los caracteres de la impresora por renglones para producir tonalidades de grises adecuadas a la representación de valores estadísticos, en lo que se conocía como sistema de cuadrícula (trama). Pero, estos métodos no se encontraban desarrollados lo suficiente y no eran aceptados por profesionales que manejaban, producían o usaban información cartográfica. A finales de los años 70`s la tecnología del uso de ordenadores progreso rápidamente en el manejo de información cartográfica, y se afinaron muchos de los sistemas informáticos para distintas aplicaciones cartográficas. De la misma manera, se estaba avanzando en una serie de sectores ligados, entre ellos la edafología, la topografía, la fotogrametría y la percepción remota. En un principio, este rápido ritmo de desarrollo provocó una gran duplicación de esfuerzos en las distintas disciplinas relacionadas con la cartografía, pero a medida que se aumentaban los sistemas y se adquiría experiencia, surgió la posibilidad de articular los distintos tipos de elaboración automatizada de información espacial, reuniéndolos en verdaderos sistemas de información geográfica para fines generales.

A principios de los años 80`s, los SIG se habían convertido en un sistema plenamente operativo, a medida que la tecnología de los ordenadores se perfeccionaba, se hacía menos costosa y gozaba de una mayor aceptación. Actualmente se están instalando rápidamente estos sistemas en los organismos públicos, los laboratorios o institutos de investigación, las instituciones académicas, la industria privada y las instalaciones militares y públicas

Definición

Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de realizar análisis espacial.

Los SIG son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.



Existen otras muchas definiciones de SIG, algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otras enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones, pero todas coinciden en referirse a un SIG como un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones.

Las soluciones para muchos problemas frecuentemente requieren acceso a varios tipos de información que sólo pueden ser relacionadas por geografía o distribución espacial. Sólo la tecnología SIG permite al macenar y manipular información usando geografía, analizar patrones, relaciones, y tendencias en la información, todo con el interés de contribuir a la toma de mejores decisiones

Componentes de un SIG.

La construcción e implementación de un SIG en cualquier organización es una tarea siempre progresiva, compleja, laboriosa y continua. Los análisis y estudios anteriores a la implantación de un SIG son similares a los que se deben realizar para establecer cualquier otro sistema de información. Pero en los SIG, además, hay que considerar las especiales características de los datos que utiliza y sus correspondientes procesos de actualización.

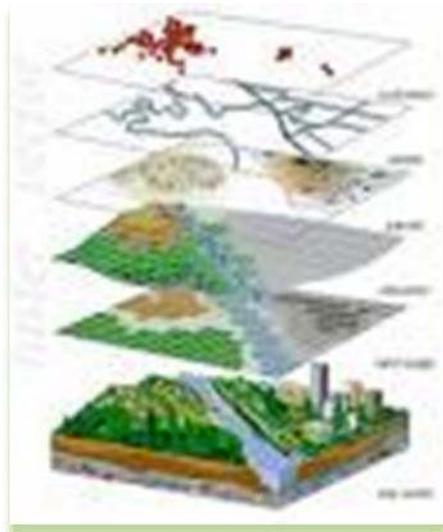


Fig A1. Representación esquemática de la realidad.

Hardware

Los SIG corren en un amplio rango de tipos de computadores desde equipos centralizados hasta configuraciones individuales o de red, una organización requiere de hardware suficientemente específico para cumplir con las necesidades de aplicación.



Fig. A2 Herramientas de SIG

Software

Los programas SIG proveen las herramientas y funcionalidades necesarias para almacenar, analizar y mostrar información geográfica, los componentes principales del software SIG son:

- Sistema de manejo de base de datos
 - * Una interface grafica de usuarios (IGU) para el fácil acceso a las herramientas
 - * Herramientas para captura y manejo de información geográfica
 - * Herramientas para soporte de consultas, análisis y visualización de datos geográficos

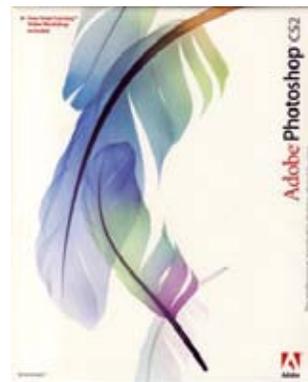
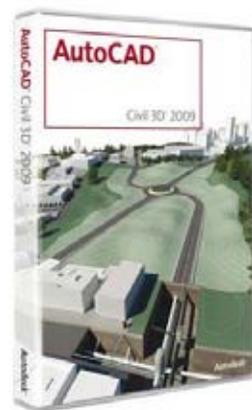
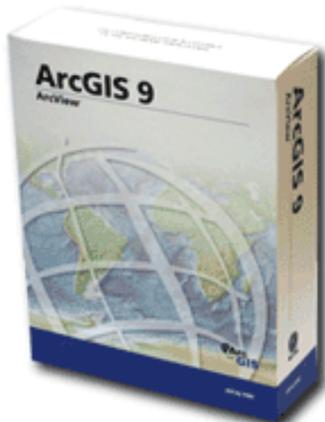


Fig A3 Software para SIG



Información

El componente más importante para un SIG es la información. Se requieren de buenos datos de soporte para que el SIG pueda resolver los problemas y contestar a preguntas de la forma más acertada posible la consecución de buenos datos generalmente absorbe entre un 60 y 80 % del presupuesto de implementación del SIG, y la recolección de los datos es un proceso largo que frecuentemente demora el desarrollo de productos que son de utilidad. La información producida solo tiene el valor de los datos introducidos previamente. Una información incorrecta o insuficiente introducida en el SIG produciría respuestas incorrectas o insuficientes, por muy perfeccionada o adaptada al usuario que pueda ser la tecnología. Los datos geográficos y alfanuméricos pueden obtenerse por recursos propios u obtenerse a través de proveedores de datos. Mantener organizar y manejar los datos debe ser política de la organización.

Las tecnologías SIG son de valor limitado sin los especialistas en manejar el sistema y desarrollar planes de implementación del mismo. Sin el personal experto en su desarrollo, la información se desactualiza y se maneja erróneamente, el hardware y el software no se manipula en todo su potencial. Cuando se define un SIG se tiende a limitar a equipos y programas como el sistema completo, relegando tal vez el elemento más primordial: El talento humano que hace funcionar eficazmente todo el sistema.

Para que un SIG tenga una implementación exitosa debe basarse en un buen diseño y reglas de actividad definidas, que son los modelos y practicas operativas exclusivas en cada organización.



Fig. A4 Elementos de un SIG



Naturaleza de los datos geográficos.

La información espacial contiene una referencia geográfica explícita como la latitud y longitud o una referencia implícita como domicilio o código postal. Las referencias implícitas pueden ser derivadas de referencias explícitas mediante geocodificación. Los SIG funcionan con dos tipos diferentes de información geográfica: el modelo vector y el modelo raster.

El modelo raster ha evolucionado para modelar tales características continuas. Una imagen raster comprende una colección de celdas (píxel) de una grilla más como un mapa o una figura escaneada. Ambos modelos para almacenar datos geográficos tienen ventajas y desventajas únicas y los SIG modernos pueden manejar varios tipos. En el modelo vector, la información sobre puntos, líneas y polígonos se almacena como una colección de coordenadas x, y . La ubicación de una característica puntual, pueden describirse con un sólo punto x, y . Las características lineales, pueden almacenarse como un conjunto de puntos de coordenadas x, y . Las características poligonales, pueden almacenarse como un circunscrito de coordenadas. El modelo vector es extremadamente útil para describir características discretas, pero menos útil para describir características de variación continua



Fig. A5 Representación del mundo real en información vectorial y raster.



Vector

Ventajas

- Buena similitud de las formas.
- Cálculo más preciso de áreas, perímetros y longitudes.
- Análisis de redes más consistentes
- Se pueden adaptar bajo bases de datos orientadas a objetos

Desventajas

- La diferente topología de las unidades espaciales dificulta los ejercicios de simulación
- Las superposiciones exigen más verificación de errores y pueden ser más lentas
- Estructura más compleja.

Raster

Ventajas

- Estructura más simple
- Asimilación más directa a datos de sensores remotos
- Operaciones de superposición más sencillas
- Análisis espaciales como distribución, densidad y de superficie, mas eficientes
- la unidad espacial conserva la misma forma y tamaño de modo que se facilitan las simulaciones
- Útil para análisis de grandes extensiones con baja precisión de propiedades espaciales

Desventajas.

- Transformación de coordenadas menos eficiente.
- Alto nivel de error en estimaciones de área, perímetro y longitud
- Gran espacio de almacenamiento a medida que aumenta la resolución
- Desperdicio de espacio de almacenamiento para datos espaciales muy esparcidos
- Análisis de redes muy complejos y menos consistentes

FUNCIONES PRINCIPALES

Cuestiones a las que responde un SIG

- Localización ¿Qué hay en.....?
- Condición ¿Dónde sucede que.....?
- Tendencias ¿Qué ha cambiado.....?
- Rutas ¿Cuál es el camino optimo.....?
- Pautas ¿Qué pautas existen.....?
- Modelos ¿Qué ocurriría si.....?

Estas cuestiones son de interés primordial en actividades relacionadas con la planificación. Toda la generación de nueva información que puede proveer un SIG depende significativamente de la información que poseen las bases de datos disponibles. La calidad de esta base de datos y sus contenidos determinan la cantidad y calidad de los resultados obtenidos del SIG



LOS SIG PERMITEN

Realizar un gran número de manipulaciones, sobresaliendo las superposiciones de mapas en corto tiempo, transformaciones de escala, la representación gráfica y la gestión de bases de datos, así como su administración y mantenimiento.

Comparar eficazmente los datos espaciales a través del tiempo (ANÁLISIS TEMPORAL)

Minimización de costos de operación e incremento de la productividad.

Ayuda en la toma de decisiones con el fin de focalizar esfuerzos y realizar inversiones más efectivas.

Efectuar algunos análisis, de forma rápida que hechos manualmente resultarían largos y molestos.

Realizar pruebas analíticas complejas rápidas y repetir modelos conceptuales en despliegue espacial, sin la necesidad de repetir actividades redundantes o tediosas

Consultar rápidamente las bases de datos, tanto espacial como alfanumérica, almacenadas en el sistema, con información exacta, actualizada y centralizada.

Integrar en el futuro, otro tipo de información complementaria que se considere relevante y que esté relacionada con la base de datos nativa u original

Análisis en los SIG

Las funciones de análisis tratan conjuntamente los datos cartográficos y sus atributos temáticos. Se identifican cuatro grupos de funciones según ARONOFF, 1989; COMAS Y RUIZ, 1993.

1. Recuperación

- 1.1. Recuperación filtrada
- 1.2. Consulta e interrogación de la base de datos
- 1.3. Reclasificación
- 1.4. Mediciones
- 1.5. Estadística espacial

2. Superposición

- 2.1. Superposición geométrica
- 2.2. Superposición lógica de atributos
- 2.3. Superposición aritmética de atributos

3. Vecindad

- 3.1. Poligonación o polígonos Thiessen
- 3.2. Generación de isolíneas
- 3.3. Interpolación
- 3.4. Modelos Digitales de Terreno

4. Conectividad

- 4.1. Contigüidad
 - 4.2. Proximidad
 - 4.3. Análisis de redes
 - 4.5. Visibilidad
-



SIG DE GRIETAS Y ANOMALÍAS.

El Instituto de Ingeniería desarrollo un sistema de información geográfica para el análisis espacial de las grietas y anomalías geotécnicas a lo largo del trazo de la línea 12 del metro.

La información para la elaboración de este SIG es muy valiosa, ya que contiene cartografía antigua, imágenes de satélite, puntos GPS, topografía y cartografía digital. Todos los datos se trabajaron en coordenadas UTM zona 14 NORTE asociadas al sistema ITRF 92, que es el marco de referencia oficial adoptado por INEGI.

El Sistema de Información Geográfico se desarrollo en el programa ArcGIS 9.2 de ESRI, ya que facilita el manejo de grandes cantidades de información y despliegue de varias capas de información.

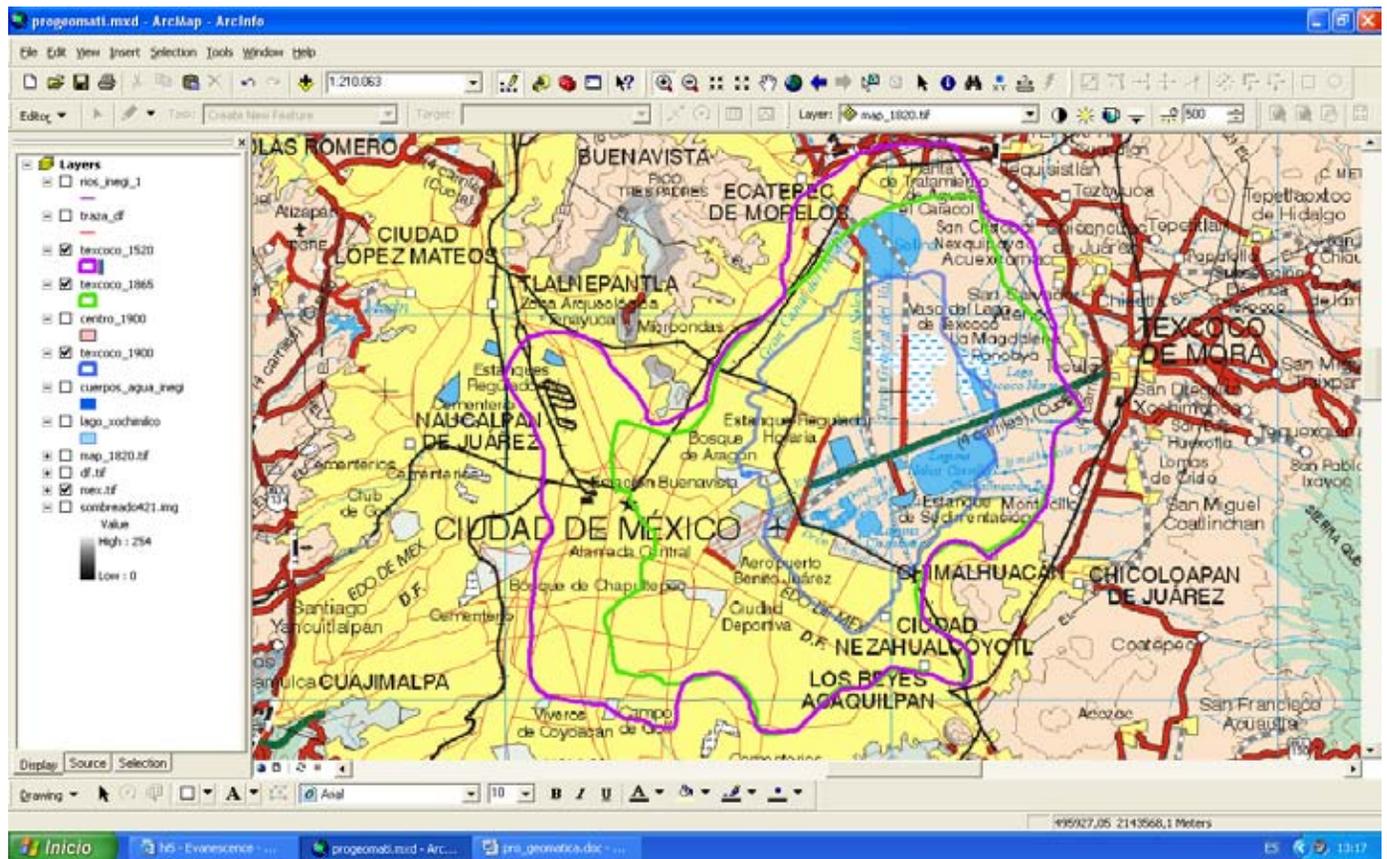


Fig. A6 Ventana de ArcMap mostrando la carta topográfica 1:50 000 de INEGI



Gracias al sistema de información geográfico para grietas, se logro la superposición del trazo de la línea 12 del metro en cartografía de los años 1800s y 1900s para poder analizar las características y rasgos generales del subsuelo.

Este análisis temporal fue de gran ayuda para detectar las zonas más probables a tener anomalías geotécnicas, para posteriormente ir al lugar a verificarlas o descartarlas. De esta manera se tiene un mejor contexto de la zona de estudio.



ANEXO B SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS).

El Global Positioning System (GPS) o Sistema de Posicionamiento Global, es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave. Aunque su invención se atribuye a los gobiernos francés y belga, el sistema fue desarrollado e instalado, y actualmente es operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos como un sistema de navegación de precisión, con fines militares. A partir de 1973 se comenzó el desarrollo de lo que sería la actual constelación NAVSTAR (NAVigation System Timing And Ranging, o Sistema de navegación por tiempo y distancia).

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.

El sistema se descompone en tres segmentos básicos, los dos primeros de responsabilidad militar.

Segmento espacial, formado por 24 satélites GPS con una órbita de 26560 Km. de radio y un periodo de 12 h.

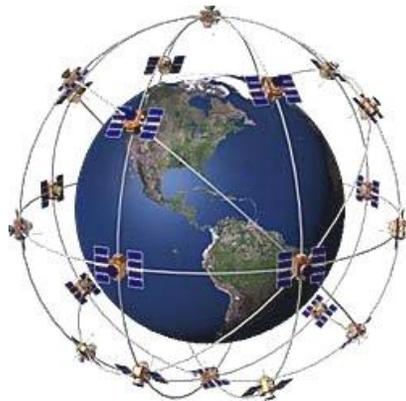


Fig B1. Constelación NAVSTAR.

Segmento control, que consta de cinco estaciones monitoras encargadas de mantener en órbita los satélites y supervisar su correcto funcionamiento, tres antenas terrestres que envían a los satélites las señales que deben transmitir y una estación experta de supervisión de todas las operaciones.

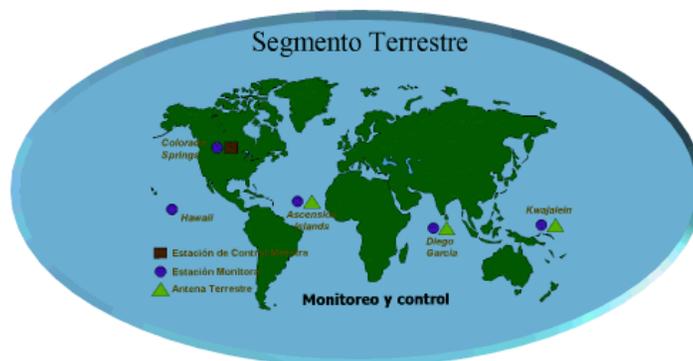


Fig.B2 Estaciones de control terrestre.



Segmento usuario, formado por las antenas y los receptores pasivos situados en tierra. Los receptores, a partir de los mensajes que provienen de cada satélite visible, calculan distancias y proporcionan una estimación de posición y tiempo.



Fig.B3 Usuarios GPS.

CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DEL SATÉLITE.

Sistema de tiempo.

Todos los satélites disponen de osciladores atómicos de cesio o de rubidio. En el caso de los primeros la precisión es de $0.000,000,000,001s$. ($1 \cdot 10^{-12}$ seg) La frecuencia fundamental de emisión de estos osciladores es de 10,23 MHz.

El tiempo utilizado por el sistema GPS es un tiempo universal coordinado denominado UTC-USNO (Universal Coordinated Time- United States Naval Observatory) que define el Observatorio Naval de los Estados Unidos mediante 230 relojes atómicos de hidrógeno. La unidad del tiempo GPS es el segundo atómico internacional y tiene su origen coincidente con el UTC a las cero horas del 6 de enero de 1980.

Para medir el tiempo que la señal necesita para viajar del satélite a nuestro receptor se requieren relojes de alta precisión, por lo que cada satélite cuenta con cuatro relojes atómicos. Los relojes en los receptores GPS no son relojes atómicos, pero si son relojes que cuentan con una excelente precisión

Cada satélite va provisto de un reloj-oscilador que provee una frecuencia fundamental de 10,23 MHz, sobre la que se estructura todo el conjunto de la señal radiodifundida por el satélite.



Estructura de la señal GPS.

El satélite emite información sobre dos portadoras, la primera es el resultado de multiplicar la fundamental por 154 (1575.42 MHz) y se denomina L1. La segunda, utiliza un factor de 120 (1227.60 MHz) y se denomina L2. El término "L" viene determinado porque los valores usados están en la banda L de radiofrecuencias que abarca desde 1 GHz a 2 GHz (1000 a 2000 MHz). El poder utilizar las 2 frecuencias permite determinar por comparación de sus retardos diferentes, el retardo ionosférico, difícilmente predecible por otros sistemas.

Existen dos tipos de códigos semialeatorios, el código C/A (Clear Acquisition) y el código P (Precise). El código P es de más alta frecuencia que el código C/A, por lo que puede dar una mayor precisión, razón por la que es de uso militar, aunque varios sistemas GPS de muy alta precisión pueden recibirlo. El código P puede ser encriptado o codificado y no ser recibido por ningún sistema GPS de uso civil. Al encriptarse el código P se le conoce como código Y, de uso exclusivo del departamento de defensa de E.U.A., ya que son los únicos que conocen la forma de decodificación.

Así, L1 (1,575.42 MHz) transporta al código C/A y al código P; L2 (1,227.60 MHz) sólo transporta al código P. Existen equipos de doble frecuencia, cuya ventaja sobre los de una frecuencia, además de la precisión, es que toman el doble de datos en el mismo intervalo de tiempo.

COMPONENTE		FRECUENCIA MHz
Frecuencia fundamental	V_0	10.23
Portadora L1	$154 \times V_0$	1575.42
Portadora L2	$120 \times V_0$	1227.60
Código P	V_0	10.23
Código C/A	$V_0/10$	1.023
Código W	$V_0/20$	0.5115

Proceso de la señal.

El mensaje de navegación modula el código de la señal L1-C/A, se transmite a 50 bps y contiene información acerca de la órbita del satélite, correcciones de reloj y otros parámetros del sistema.

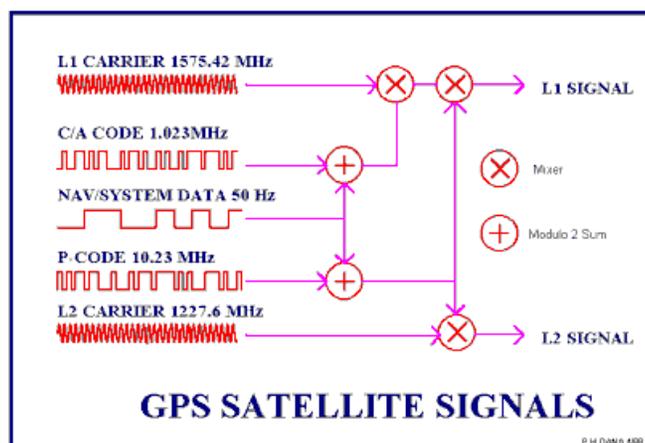


Fig.B4 señales de los satélites GPS



El mensaje de navegación está organizado en tramas y subtramas. Una trama consiste en 1500 bits organizados en 5 subtramas de 300 bits de 6 segundos de duración. Las tramas se transmiten cada 30 segundos.

Las tres primeras subtramas contienen las correcciones horarias e información precisa de la órbita del satélite (ephemeris data parameters).

Las restantes subtramas se emplean para transmitir información del sistema.

El mensaje de navegación está compuesto por un total de 25 tramas y tiene una duración total de 12,5 minutos.

Efemérides.

Las efemérides de los satélites se pueden leer en cada uno de los mensajes de navegación de cada satélite de la constelación. Dicha lectura, se realiza en las estaciones del segmento de control.

En ellas viene incluida una extensa información entre la que cabe destacar:

- * Influencia que sobre el satélite tiene el campo magnético terrestre.
- * Parámetros sobre la presión de la radiación solar.
- * Posibles fallos de los relojes atómicos.
- * Operatividad de cada uno de los satélites.
- * Posición estimada para cada uno de los satélites dentro de la constelación global, etc.

Los errores generados por las efemérides tienen un efecto relativamente pequeño, fácilmente compensable

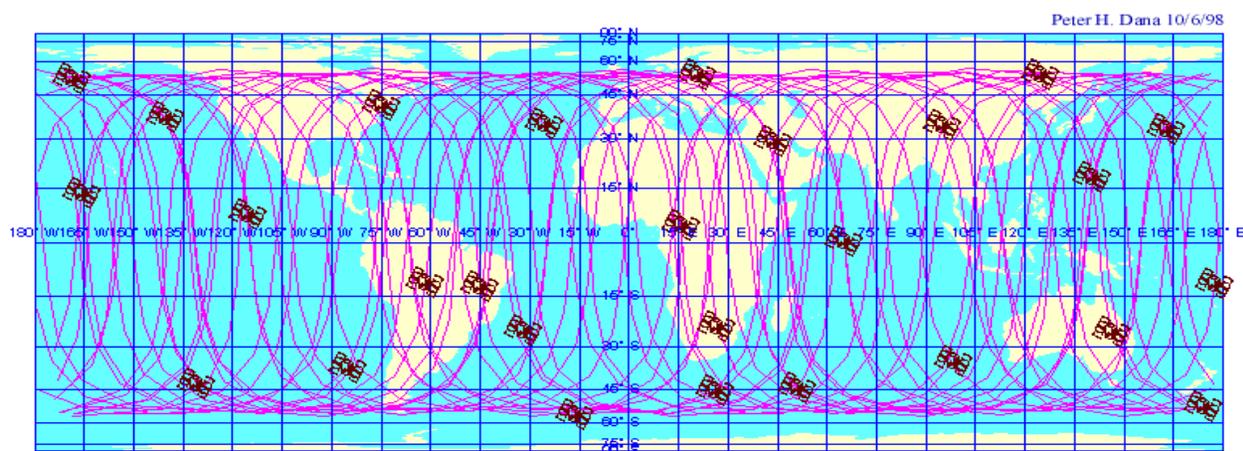


fig.B5 Global Positioning System Satellites and Orbits

OBSERVABLES.

El sistema GPS tiene por objetivo calcular la posición de un punto cualquiera en un espacio de coordenadas (x,y,z) , partiendo del cálculo de las distancias del punto a un mínimo de tres satélites cuya localización es conocida. La distancia entre el usuario (receptor GPS) y un satélite se mide multiplicando el tiempo de vuelo de la señal emitida desde el satélite por su velocidad de propagación. Para medir el tiempo de vuelo de la señal de radio es necesario que los relojes de los satélites y de los receptores estén sincronizados, pues deben generar simultáneamente el mismo código. Ahora bien, mientras los relojes de los satélites son muy precisos los de los receptores son osciladores de cuarzo de bajo coste y por tanto imprecisos.



Las distancias con errores debidos al sincronismo se denominan seudodistancias. La desviación en los relojes de los receptores añade una incógnita más que hace necesario un mínimo de cuatro satélites para estimar correctamente las posiciones.

Seudodistancias de code.

En el cálculo de las pseudo distancias hay que tener en cuenta que las señales GPS son muy débiles y se hallan inmersas en el ruido de fondo inherente al planeta en la banda de radio. Este ruido natural está formado por una serie de pulsos aleatorios, lo que motiva la generación de un código pseudo-aleatorio artificial por los receptores GPS como patrón de fluctuaciones. En cada instante un satélite transmite una señal con el mismo patrón que la serie pseudo-aleatoria generada por el receptor.

En base a esta sincronización, el receptor calcula la distancia realizando un desplazamiento temporal de su código pseudo-aleatorio hasta lograr la coincidencia con el código recibido; este desplazamiento corresponde al tiempo de vuelo de la señal. Este proceso se realiza de forma automática, continua e instantánea en cada receptor.

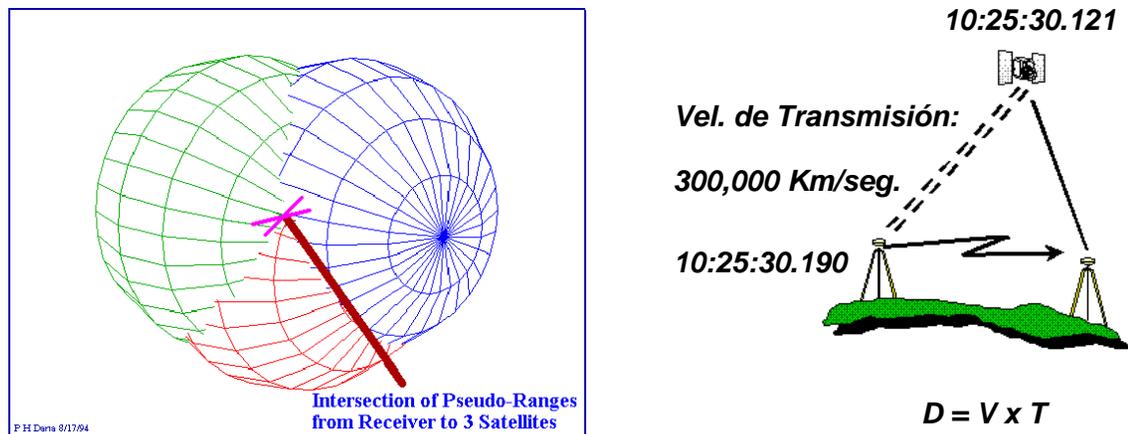


Fig.B6 Cálculo de seudo distancias

Seudodistancias de fase.

El método de medidas de fase es el que permite obtener mayor precisión. Su fundamento es el siguiente: partiendo de una frecuencia de referencia obtenida del oscilador que controla el receptor, se compara con la portadora demodulada que se ha conseguido tras la correlación, controlándose así, en fase, la emisión radioeléctrica realizada desde el satélite con frecuencia y posición conocidas. Cuando esta emisión llega a la antena, su recorrido corresponde a un número entero de longitudes de onda (denominado N_0 ambigüedad) mas una cierta parte de longitud de onda cuyo observable (o momento exacto de recepción por parte de la antena) puede variar entre 0 y 360°.

Tenemos pues, una frecuencia y cierta parte de la longitud de ondas conocidas, y la ambigüedad (Número entero de las longitudes de onda) por conocer. La resolución de la ambigüedad se realiza en base a un extenso proceso de cálculo, que además nos resolverá el estado de los relojes y por supuesto los incrementos de coordenadas entre estaciones.



Una vez obtenidos dichos valores, la resolución interna que nos proporcione el sistema, será de orden submilimétrico, aunque diversas fuentes de error limiten la precisión operativa a algún centímetro o incluso menos, siempre en función de las técnicas de observación empleadas.

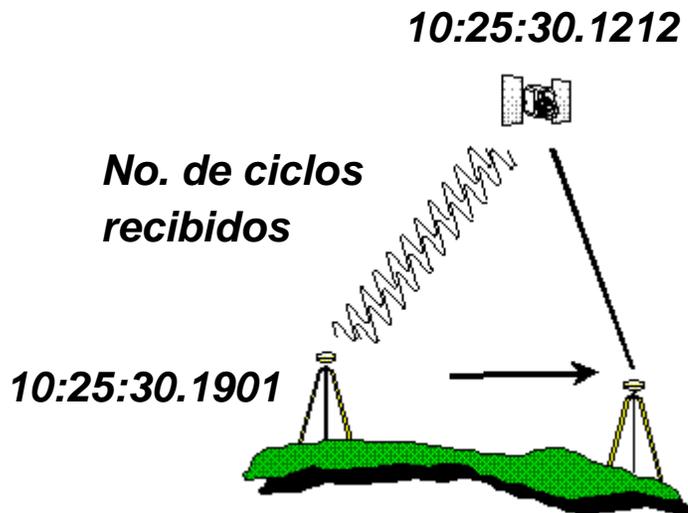


Fig.B7 Ciclos recibidos

En el cálculo de las pseudodistancias hay que tener en cuenta que las señales GPS son muy débiles y se hallan inmersas en el ruido de fondo inherente al planeta en la banda de radio. Este ruido natural está formado por una serie de pulsos aleatorios, lo que motiva la generación de un código pseudo-aleatorio artificial por los receptores GPS como patrón de fluctuaciones. En cada instante un satélite transmite una señal con el mismo patrón que la serie pseudo-aleatoria generada por el receptor. En base a esta sincronización, el receptor calcula la distancia realizando un desplazamiento temporal de su código pseudo-aleatorio hasta lograr la coincidencia con el código recibido; este desplazamiento corresponde al tiempo de vuelo de la señal. Este proceso se realiza de forma automática, continua e instantánea en cada receptor.

La utilización de estos códigos pseudo-aleatorios permite el control de acceso al sistema de satélites, de forma que en situaciones conflictivas se podría cambiar el código, obligando a todos los satélites a utilizar una banda de frecuencia única sin interferencias pues cada satélite posee un código GPS propio. Aunque la velocidad de los satélites es elevada (4 Km./s), la posición instantánea de los mismos puede estimarse con un error inferior a varios metros en base a una predicción sobre las posiciones anteriores en un período de 24 a 48 horas. Las estaciones terrestres revisan periódicamente los relojes atómicos de los satélites, dos de cesio y dos de rubidio, enviando las efemérides y las correcciones de los relojes, ya que la precisión de los relojes y la estabilidad de la trayectoria de los satélites son claves en el funcionamiento del sistema GPS.

Cadenas de código GPS.

El código pseudo-aleatorio transmitido se compone de tres tipos de cadenas:

El código C/A (Coarse/Acquisition), con frecuencia 1.023 MHz., utilizado por los usuarios civiles.



El código P (Precision Code), de uso militar, con una frecuencia 10 veces superior al código C/A.

El código Y, que se envía encriptado en lugar del código P cuando está activo el modo de operación antiengaños.

Los satélites transmiten la información en dos frecuencias:

- Frecuencia portadora L1, a 1575.42 MHz., transmite los códigos C/A y P.
- Frecuencia portadora L2, a 1227.60 MHz., transmite información militar modulada en código P.

El satélite transmite además una señal de 50 Hz. en ambas portadoras L1 y L2, que incluye las efemérides y las correcciones por desviación de sus relojes.

Niveles de Servicio GPS

El sistema GPS proporciona dos niveles diferentes de servicio que separan el uso civil del militar:

- Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS, Standard Positioning Service). Precisión normal de posicionamiento civil obtenida con la utilización del código C/A de frecuencia simple.
- Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS, Precise Positioning Service). Este posicionamiento dinámico es el de mayor precisión, basado en el código P de frecuencia dual, y solo está accesible para los usuarios autorizados.

FUENTES DE ERROR EN LOS GPS.

A continuación se describen las fuentes de error que afectan de forma significativa a las medidas realizadas con el GPS:

- Perturbación ionosférica. La ionosfera está formada por una capa de partículas cargadas eléctricamente que modifican la velocidad de las señales de radio que la atraviesan.
- Fenómenos meteorológicos. En la troposfera, cuna de los fenómenos meteorológicos, el vapor de agua afecta a las señales electromagnéticas disminuyendo su velocidad. Los errores generados son similares en magnitud a los causados por la ionosfera, pero su corrección es prácticamente imposible.

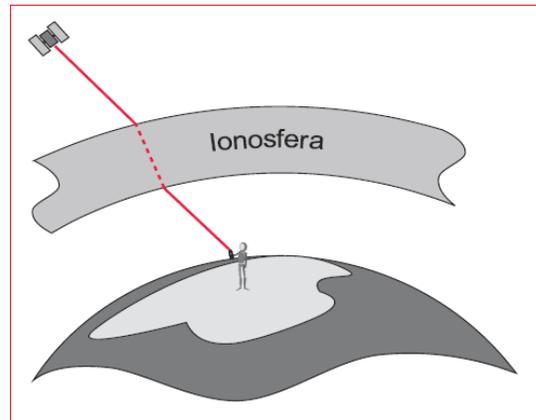


Fig.B8 Retrasos ionosféricos.

- Imprecisión en los relojes. Los relojes atómicos de los satélites presentan ligeras desviaciones a pesar de su cuidadoso ajuste y control; lo mismo sucede con los relojes de los receptores.
- Interferencias eléctricas imprevistas. Las interferencias eléctricas pueden ocasionar correlaciones erróneas de los códigos pseudo-aleatorios o un redondeo inadecuado en el cálculo de una órbita. Si el error es grande resulta fácil detectarlo, pero no sucede lo mismo cuando las desviaciones son pequeñas y causan errores de hasta un metro.
- Error multisenda. Las señales transmitidas desde los satélites pueden sufrir reflexiones antes de alcanzar el receptor. Los receptores modernos emplean técnicas avanzadas de proceso de señal y antenas de diseño especial para minimizar este error, que resulta muy difícil de modelar al ser dependiente del entorno donde se ubique la antena GPS.

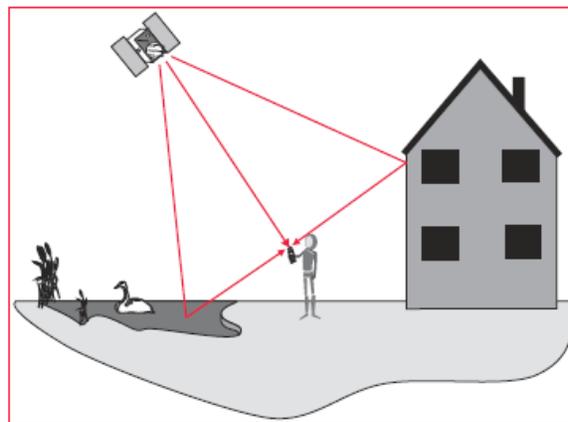


Fig.B9 Error multisenda.

- Interferencia "Disponibilidad Selectiva S/A". Constituye la mayor fuente de error y es introducida deliberadamente por el estamento militar.
- Topología receptor-satélites. Los receptores deben considerar la geometría receptor-satélites visibles utilizada en el cálculo de distancias, ya que una determinada configuración espacial puede aumentar o disminuir la precisión de las medidas. Los receptores más avanzados utilizan un factor multiplicativo que modifica el error de medición de la distancia (dilución de la precisión geométrica)



Las fuentes de error pueden agruparse según que dependan o no de la geometría de los satélites. El error debido a la Disponibilidad Selectiva y los derivados de la imprecisión de los relojes son independientes de la geometría de los satélites, mientras que los retrasos ionosféricos, troposféricos y los errores multisenda dependen fuertemente de la topología. Los errores procedentes de las distintas fuentes se acumulan en un valor de incertidumbre que va asociado a cada medida de posición GPS.

Cuantificación de la incertidumbre en localización GPS.

Debido a las múltiples fuentes de error anteriormente comentadas, los receptores GPS posicionan con un cierto grado de incertidumbre. Ofrecen una estimación de la posición, valor medio, a lo largo de un intervalo de tiempo con una determinada dispersión. De forma estándar se puede caracterizar esta dispersión mediante el error cuadrático medio (ECM) definido como la raíz cuadrada de la media de los errores al cuadrado, pudiendo referirse a una, dos o tres dimensiones.

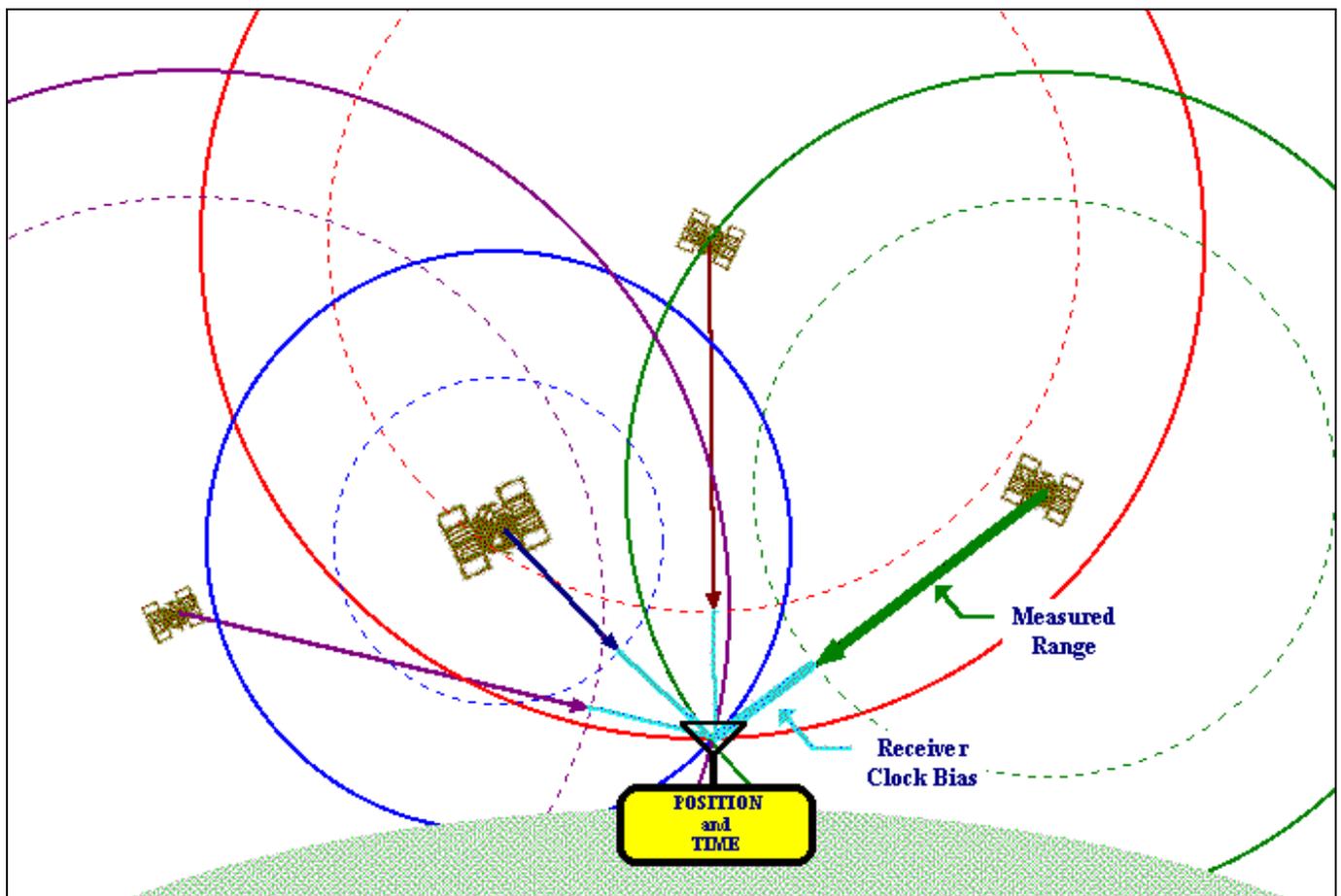


Fig.B10 Recibiendo datos de la constelación NAVSTAR.



CORRECCIÓN DE ERRORES MEDIANTE TÉCNICAS DIFERENCIALES (DGPS).

En aplicaciones que no requieren gran precisión se puede utilizar un receptor con un único canal y bajo coste, que calcula la distancia a cuatro satélites en un intervalo de 2 a 30 segundos. Ahora bien, la precisión de las medidas se ve afectada por el movimiento del satélite durante el cómputo y por el tiempo que se tarda en obtener las posiciones, debido a lecturas repetitivas de todos los mensajes de la constelación. El requerimiento de una localización precisa y continua en tiempo real, ha conducido al desarrollo de receptores con un mayor número de canales (8-12) capaces de disminuir al máximo el error de localización utilizando los métodos de posicionamiento diferencial. Así, un receptor GPS ubicado en una posición conocida de la Tierra calcula su distancia a un conjunto de satélites; la diferencia entre la posición calculada y la localización exacta del receptor constituye el error en la medida. Este error se transmite en un código predefinido (RTCM Radio Technical Commission Maritime) y cualquier usuario-receptor con capacidad de corrección diferencial puede acceder a él para corregir su posición. Esta técnica elimina prácticamente los errores S/A siempre que el receptor diferencial esté próximo a la base emisora de la corrección. Las correcciones pueden enviarse desde una estación base propiedad de los usuarios, desde una estación base virtual (por ejemplo el servicio Omnistar) y vía estaciones de radio comerciales (Rasant). En todos estos casos el modo de operación del DGPS se denomina de área global (WADGPS) ya que el error debido a cada satélite se procesa de modo individual.

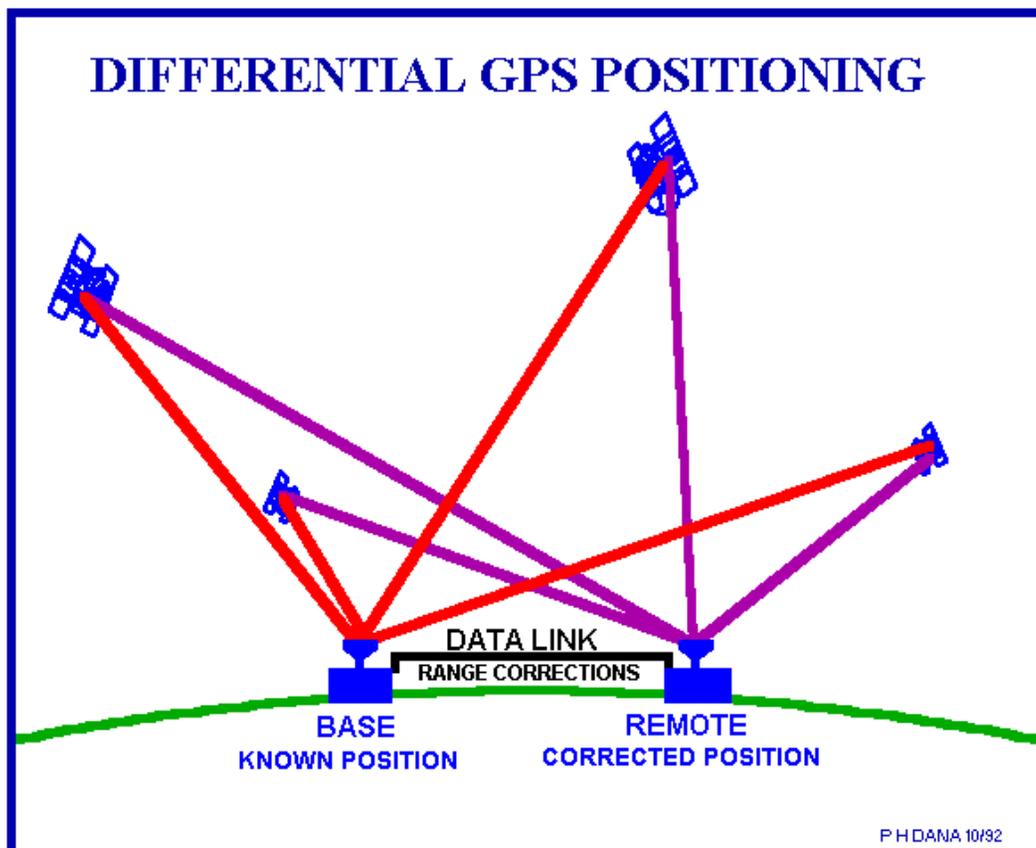


Fig.B11 Diagrama de posicionamiento diferencial



LEVANTAMIENTO DE ANOMALÍAS GEOTÉCNICAS.

Para lograr la ubicación de anomalías geotécnicas a lo largo del trazo de la Línea 12 del Metro se realizó un exhaustivo trabajo de campo, que consistió en levantamientos geodésicos utilizando el posicionamiento diferencial, que permite incrementar la precisión de la posición.

Para los levantamientos se empleó como receptor de referencia la antena UNIP que es operada por el Instituto de Geofísica de la UNAM. Esta antena se encuentra ubicada a un costado del museo UNIVERSUM en Ciudad Universitaria, UNAM. Y cuyas coordenadas geodésicas son las siguientes: Latitud: 19° 18' 45.63" N Longitud: 99° 10' 52.66" W H (altura elipsoidal): 2308.00 m.



Fig.B12 Antena fija UNIP.

La antena receptora UNIP almacena información de la constelación NAVSTAR las 24 horas del día y se accesa a ella mediante un servidor del Instituto de Geofísica, UNAM



Fig.B12 Receptor GPS sistema 1200 Leica (UNIP).



En los levantamientos de campo se utilizó como receptor móvil el sistema GPS 1200 de Leica, en modo de posicionamiento estático rápido, para capturar la mayor cantidad de puntos.



Fig.B13 Equipo receptor GPS 1200 de Leica

Se realizó el postproceso de la información recabada en campo en El Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería, UNAM, esto con el propósito de disminuir los errores que afectan la medición de distancia a los satélites. Se utilizó el software Leica Geo Office para procesar los puntos medidos con la antena de referencia UNIP.

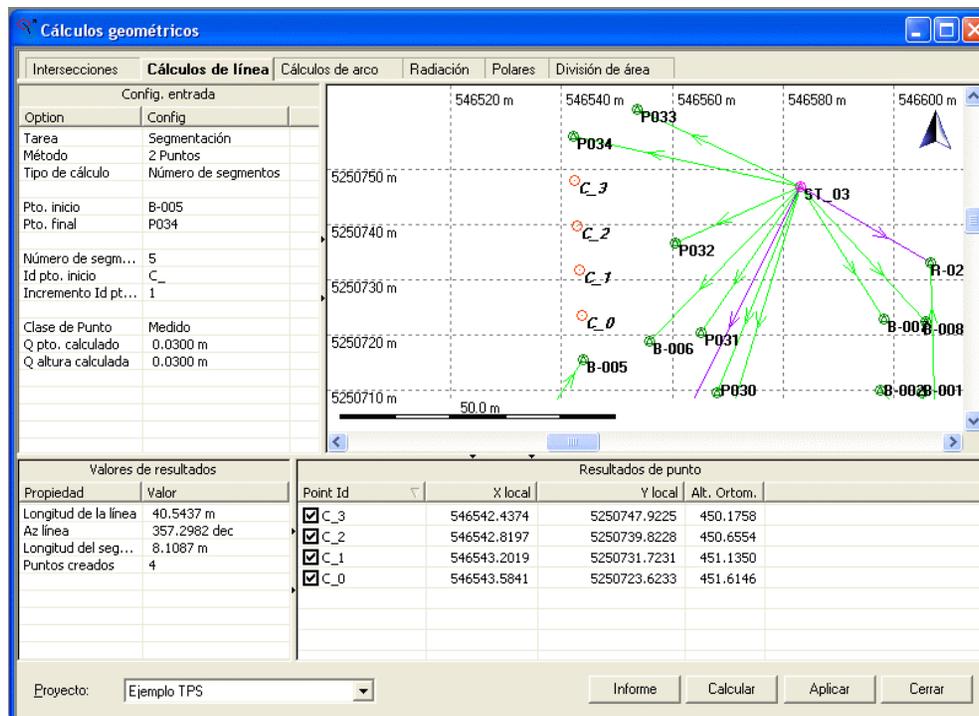


Fig.B14 Ventana del software Leica Geo Office.



ANEXO C GLOSARIO

Acimut

Ángulo horizontal, medido en el sentido de las manecillas del reloj, a partir de una dirección (como el Norte).

Almanaque

Conjunto de datos crudos de las órbitas de los satélites, empleados para calcular la posición, hora de salida, elevación y acimut de los mismos.

Altura Elipsoidal

Distancia vertical de un punto sobre el elipsoide.

Altura Ortométrica

Distancia de un punto sobre el geoide, medido a lo largo de la vertical del punto (altura sobre el nivel medio del mar).

Ambigüedad

Número entero de ciclos desconocidos de la fase portadora reconstruida, presentes en una serie de mediciones continuas, de un solo paso de satélite en un mismo receptor.

Ángulo Cenital

Ángulo vertical con un valor de 0° sobre el horizonte y 90° directamente sobre el usuario.

Ángulo de Elevación

Ángulo de elevación mínima por debajo del cual el sensor no rastrea ningún satélite GPS.

Banda L

Banda de frecuencia de radio que se extiende desde los 390 Mhz hasta los 1550 MHz. Las frecuencias de las fases portadoras de las bandas L1 y L2, transmitidas por los satélites GPS, quedan dentro de esta banda L.

Código

Sistema empleado para comunicación en el que a ciertas cadenas de ceros y unos, elegidos arbitrariamente, se les asignan significados definidos.

Constelación de Satélites

Disposición en el espacio de todo el grupo de satélites de un sistema, como el de GPS.

Coordenadas Geodésicas

Coordenadas que definen un punto en relación a un elipsoide. Las coordenadas geodésicas pueden emplear valores de latitud, longitud y altura elipsoidal o coordenadas cartesianas.

Datum Geodésico

Modelo matemático diseñado para ajustarse lo mejor posible a una parte o a la totalidad del geoide. Se define por un elipsoide y la relación que existe entre este y un punto sobre la superficie topográfica, establecido como el origen del datum. Dicha relación se establece por medio de seis cantidades, generalmente (aunque no necesariamente): la latitud y longitud geodésicas y la altura del origen, los dos componentes de la deflexión de la vertical en el origen y el acimut geodésico de una línea que va desde el origen hacia cualquier otro punto.

Deflexión de la vertical

Ángulo formado por la normal al elipsoide y la vertical (línea de plomada). Generalmente se calcula como un componente en el meridiano y un componente perpendicular al mismo.

Dilución de la Precisión (DOP)

Descripción de la contribución (puramente geométrica) a la incertidumbre para fijar una posición. El factor DOP indica la fortaleza geométrica de la constelación de los satélites en el momento de la medición. Los términos estándar empleados en GPS son:

GDOP coordenadas de posición tridimensional más el retraso del reloj

PDOP tres coordenadas



HDOP dos coordenadas horizontales
VDOP únicamente altura
TDOP únicamente retraso del reloj
HTDOP posición horizontal y hora

Efemérides

Lista de posiciones o ubicaciones de un objeto celeste en función del tiempo.

Elipsoide

En Geodesia, a menos que se especifique otra cosa, figura matemática formada al hacer girar una elipse alrededor de su eje menor (a veces se le denomina también esferoide). Dos elementos definen un elipsoide: generalmente se dan a conocer como la longitud del semi-eje mayor a y el achatamiento f .

Época

Instante fijo y particular de tiempo, empleado como punto de referencia en una escala temporal.

Geodesia

Ciencia que estudia el tamaño y la forma de la Tierra.

Geoide

Superficie equipotencial que coincide con el nivel medio del mar, el cual se extendería imaginariamente a lo largo de toda la superficie terrestre de no existir los continentes. Esta superficie es perpendicular en todos los puntos a la fuerza de gravedad.

GPS

Sistema de Posicionamiento Global

Gradícula

Cuadrícula plana que representan las líneas de Latitud y Longitud de un elipsoide.

Hora Local

La hora local es igual al tiempo medio de Greenwich + huso horario.

Huso Horario

Huso Horario = Hora Local – Tiempo medio de Greenwich (GMT). Nótese que el Tiempo medio de Greenwich es aproximadamente el mismo que el Tiempo GPS.

Inclinación

Ángulo formado entre el plano orbital de un objeto y un plano de referencia (por ejemplo, el plano ecuatorial).

Latitud

Ángulo entre la normal al elipsoide y el plano ecuatorial. Tiene un valor de cero sobre el ecuador y de 90° en los polos.

Línea Base

Longitud del vector tridimensional entre un par de estaciones en las que se han registrado simultáneamente datos GPS y se procesan con técnicas diferenciales.

Longitud

Es el ángulo que se forma entre el meridiano de Greenwich y el meridiano que pasa por el punto en cuestión. Por lo tanto, tendrá un valor de 0° en Greenwich y se mide hacia el este o el oeste, con valores máximos de 180° en un sentido y otro.

Longitud de Banda

Medición del ancho del espectro de una señal (representación del dominio de la frecuencia de una señal) expresada en Hertz.

Meridiano

Línea imaginaria que une el polo sur con el polo norte y pasa por el ecuador a los 90° .

NAVSTAR

Acrónimo de Navigation System with Time and Ranging, nombre original del sistema GPS.

**Ondulación Geoidal**

Distancia de la superficie del elipsoide de referencia al geoide, medida a lo largo de la normal al elipsoide.

Posicionamiento Diferencial

Determinación de coordenadas relativas entre dos o más receptores que rastrean simultáneamente las mismas señales GPS.

Posicionamiento Puntual

Reducción independiente de observaciones efectuada por un receptor en particular, empleando la información de pseudorángos transmitida por los satélites.

Post proceso

Proceso de calcular posiciones en tiempo no real, empleando datos previamente colectados por receptores GPS.

Proyección Transversa de Mercator

Proyección cilíndrica conforme que se basa en un cilindro que envuelve a la Tierra.

Rumbo

Término empleado en navegación para describir el ángulo entre una dirección de referencia (por ejemplo, norte geográfico, norte magnético, norte de cuadrícula) y la trayectoria.

Seudorango

Medición del tiempo de propagación de la señal aparente de un satélite a una antena receptora, referido en distancia dividida entre la velocidad de la luz. El tiempo de propagación aparente es la diferencia entre el momento de la recepción de la señal (medido en el receptor) y el tiempo de emisión (medido por el satélite). El pseudorango difiere del intervalo actual por la influencia del reloj del satélite contra el reloj del usuario.

Tiempo GPS

Sistema de tiempo continuo basado en el Tiempo de Coordenadas Universales (Coordinated Universal Time (UTC)) del 6 de enero de 1980.

Tiempo medio de Greenwich (GMT)

Tiempo medio solar del Meridiano de Greenwich. Se emplea como base para establecer el tiempo o la hora estándar a nivel mundial.

Tiempo Universal

Tiempo medio solar local en el Meridiano de Greenwich

UT Abreviatura de Tiempo Universal

UT0 UT como se deduce directamente de la observación a las estrellas

UT1 UT0 corregido por el movimiento polar

UT2 UT1 corregido para variaciones estacionales de la rotación terrestre

UTC Coordenadas de Tiempo Universal; sistema de tiempo atómico uniforme, muy similar al UT2 por correcciones.

Topografía

Forma del terreno de una región en particular.

Transformación

Proceso de transformar coordenadas de un sistema a otro.

UTM

Proyección Universal Transversa de Mercator. Es una variante de la proyección Transversa de Mercator. Se divide en diferentes zonas, cada una de 6° de ancho, con un factor central de escala de 0.996. La zona a emplear dependerá de la posición del usuario sobre la Tierra.

WGS 84

Siglas de World Geodetic System 1984. Sistema al cual están referidas todas las mediciones y resultados GPS.



BIBLIOGRAFÍA

1. Auvinet, G., (2008) "Agrietamiento de suelos", *Reunión Nacional de Mecánica de Suelos XXIV*, pp. 299-313, Aguascalientes, México.
2. Auvinet, G. et al., (1995). "Sistema de Información Geográfica para Sondeos Geotécnicos", *Proceedings*, Xth Pan-American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, pp. 312-324, Guadalajara, México.
3. Comisión Federal de Electricidad (1988). *Estudios geofísicos del Valle de México*, México, D. F.
4. Departamento del Distrito Federal, 1975, "*Memoria de las Obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal*", México, D.F.
5. García, S. y Romo, M. (2004). "Sistema de Información Geográfica y redes neuronales", *XXII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos*, Tomo I, p. 171, Guadalajara, México.
6. Gobierno del Distrito Federal (2004). "Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones", *Gaceta Oficial*, 6 de octubre, México, D. F.
7. Jaime, A. (1989). "El subsuelo del Valle de México: Propiedades dinámicas y zonificación", *Revista Ingeniería de la Facultad de Ingeniería*, UNAM, Vol. LVIII, No. 2., México.
8. Marsal, R. y Mazari, M. (1959). *El subsuelo de la Ciudad de México*, Contribución al I^{er} Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Facultad de Ingeniería, UNAM, México. Reeditado (español-inglés) en 1969.
9. Medina, Z. (2001). "Interpretación geoestadística de campañas de reconocimiento del subsuelo", *Tesis de Maestría*, DEPMI, UNAM, México.
10. Méndez, E. (1991). "Evolución de las propiedades de la arcilla de la Ciudad de México", *Tesis de licenciatura*, ESIA-IPN, México.
11. Méndez E. y Auvinet, G. (2004). "Avances en la caracterización geoinformática del subsuelo de la Cuenca de México", *Memoria, XXII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos*, SMMS, Vol. 1, pp. 259-266. Guadalajara, México.
12. Méndez, E. (2005). "Aplicación de la geoinformática a la zonificación geotécnica de la Cuenca de México", *Tesis de maestría*, DEPMI, UNAM, México.
13. Morales de la Cruz, M. (2005). "Aplicación de la geoestadística a la descripción estratigráfica de subsuelo de la zona sur de la Cuenca de México", *Tesis de Maestría*, ESIA-IPN, México.
14. Reséndiz, D. et al. (1970). "Información reciente sobre las características del subsuelo y la práctica de la ingeniería de cimentaciones en la Ciudad de México", *Memoria de la V^a Reunión Nacional de Mecánica de Suelos*, Tomo I, México.



15. Reyes Rodríguez, M. y Villamil Rodríguez, A. (2001). "Sistema de Información Geográfica para Sondeos Geotécnicos (SIG-SG)", *Tesis de Licenciatura*, FI-UNAM, México.

<http://tlacaelel.igeofcu.unam.mx/~vladimir/gpsred/universum/unipgps.html>.

http://gis.sopde.es/cursosgis/DHTML/que_2.html

<http://www.geotecnologias.com/gis.htm>

<http://www.fao.org/sd/spdirect/gis/Elgis000.htm>

<http://165.158.1.110/spanish/sha/shasigforum.htm>

http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=69

<http://www.urbanisme.equipement.gouv.fr/cdu/accueil/bibliographies/sig/introesp.htm>

<http://www.uca.es/dept/filosofia/TEMA%201.pdf>

<http://ulysses.carthage.edu/faculty/jrivera/aaginfor.htm>

http://www.sli.unimelb.edu.au/research/publications/IPW/INET98_final.html

<http://www.geog.buffalo.edu/~dmark/GISLIS89.html>