

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Diplomado en Ingeniería Estructural

Proyecto de Estudio.

Estudio del Comportamiento del Hundimiento
del Valle de Querétaro. Zona Norte

Presentan:

Carlos Correa García
Carlos Guerrero Ugalde
David Morales García
Hugo Eduardo Moreno Ríos

Asesor de Proyecto:

Dr. Moisés Arroyo Contreras

Querétaro, Qro. A Martes 19 de Septiembre del 2000

INDICE

- Resumen
- Introducción
- Capítulo I. “*Tectónica y Sismicidad*”
 - I.1. Tectónica**
 - I.2. Constitución Interna de la Tierra**
 - I.3. Tectónica de Placas y Sismicidad Mundial**
 - I.4. Sismicidad Nacional**
 - I.5. Sismicidad Regional**
 - I.6. Delimitación de la Zona de Estudio**
- Capítulo II. “*Geología, Geohidrología y Geotécnica*”
 - II.1. Geohidrología y Geotécnica de la Zona de Estudio**
 - II.2. Estructura Geológica:**
 - II.2.1. Graven Querétaro, Morfología
 - II.2.2. Distensión al Poniente
 - II.2.3. Distensión al Oriente
 - II.2.4. Relieve debido a fuerzas Endogénicas
 - II.2.5. Topoformas debidas a fuerzas Exogénicas
 - II.3. Unidad Hidrogeológica:**
 - II.3.1. Acuífero de Extensión Regional de Permeabilidades bajas a medias en medios granulares
 - II.4. Estructura Geológica:**
 - II.4.1. Tipos de Suelo en la Zona Urbana de la Ciudad de Santiago de Querétaro
- Capítulo III. “*Mediciones Topográficas*”
 - III.1. Generalidades de las Mediciones Topográficas**
 - III.2. Mediciones Topográficas en la Ciudad de Santiago de Querétaro**
 - III.3. Memoria de Puntos, Coordenadas X,Y,Z**
- Capítulo IV. “*Métodos Geofísicos*”
 - IV.1. Generalidades de los Métodos Geofísicos**
 - IV.2. Método Gravimétricos:**
 - IV.2.1. Estudios Gravimétricos
 - IV.2.2. Aplicaciones
- Capítulo V. “*Impacto en las construcciones*”
 - V.1. Falla Centro de la Ciudad de Santiago de Querétaro**
- Anexos
- Conclusiones
- Bibliografía

RESUMEN

El presente documento, forma parte de los trabajos efectuados dentro del diplomado de ingeniería estructural, llevado a cabo por la U.A.Q. a través de la facultad de ingeniería. En colaboración con el centro de estudios de posgrado de la facultad de ingeniería, se pretende dar una respuesta integral a la problemática causada por las fallas o los agrietamientos de suelo en los asentamientos humanos más importantes de la zona en estudio, delimitada por el Municipio de Querétaro. Para lograr este objetivo y dar una mejor respuesta a cada una de las áreas en estudio se trabaja entre diferentes grupos interdisciplinarios e interinstitucionales.

Las fallas o deslizamientos que se están presentando en las zonas urbanas de la zona en estudio, Santiago de Querétaro, son producto de varios fenómenos naturales que se pueden explicar e interpretar a través de la Tectónica, Sismicidad, Geohidrología y Geotécnica de la región.

El impacto de las fallas en las construcciones es también una de las principales preocupaciones y motivaciones de este estudio. Para ello, se van a elaborar cartas preliminares de las grietas y fallas ya identificadas. En los asentamientos más importantes de la región en estudio, como es la ciudad de Santiago de Querétaro. Se hace una identificación con detalle de las fallas y agrietamientos existentes, haciendo énfasis en cuanto a su ubicación exacta y velocidad de propagación de los desplazamientos relativos. A la par, se van identificando los daños causados en las construcciones existentes.

Las técnicas que se están usando para el seguimiento e identificación de fallas son instrumentación sísmica, vibración ambiental, geofísica y topográfica, así como fotogrametría.

A partir de los fenómenos potenciales que están provocando este tipo de fallas y agrietamientos; se podrán proponer modelos de comportamiento que permitan prever futuras fallas o agrietamientos, así como futuras trayectorias de las fallas ya identificadas; por otro lado, poder dar:

- a) Las más adecuadas recomendaciones para evitar o reducir los impactos en las estructuras aledañas a las zonas de fallas.
- b) Dar recomendaciones sobre uso del suelo en zonas potenciales de sufrir agrietamientos.

INTRODUCCION

Antecedentes

En el ejercicio de la vida profesional se reportan constantemente daños en las estructuras, provocados por movimientos diferenciales de suelo, o por deslizamientos de fallas geológicas, que pueden ser acelerados por la sobreexplotación de agua.

El problema de los hundimientos y la formación de grietas se empezó a estudiar en México en 1925, cuando Roberto Gayol informa a la sociedad de Ingenieros y Arquitectos de México que la Ciudad se está hundiendo y que la causa probable de este fenómeno es el drenaje de las aguas del subsuelo producido por las obras que él mismo había diseñado y construido a principios de siglo. Funda su afirmación en nivelaciones desde la Catedral al Lago de Texcoco.

La mayoría de ingenieros vinculados a las obras del Valle, no comparten esta opinión y sostienen que el lago se estaba azolvando. A mediados de este siglo (1947), con la llegada de Dr. Nabor Carrillo, quien se dio a la tarea de resolver el problema de hundimiento de la Ciudad de México obtiene una buena solución al primer problema.

A través de primer (1969) y segundo simposio Internacional (1976) sobre hundimientos de terreno, IAHS-UNESCO, diferentes autores mostraron sus observaciones sobre la relación entre la sobreexplotación de los mantos acuíferos así como la remoción de materiales de subsuelo, con los agrietamientos y hundimientos de suelo (Poland J.F., Shumann, Hoitzer, entre otros).

Algunas reuniones de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos han estado destinadas exclusivamente al tema de fallas y agrietamientos de suelos, como la segunda sesión de Simposio de dicha sociedad en 1978, donde se trataron principalmente los agrietamientos de la zona de Naucalpan, Edo. de México, la reunión sobre "Fallamiento de terrenos en Celaya" en 1985, de dicha Sociedad con la Sociedad de Geohidrología Mexicana para analizar las causas y efectos de fallamiento de terrenos en la ciudad de Celaya Gto., y la reunión de la sociedad sobre "Agrietamientos de Suelos" de 1991, donde se trataron los agrietamientos de suelos de Valle de México, Aguascalientes, Celaya y Querétaro.

Como conclusiones de esta última reunión, se recomienda incluir en los Reglamentos de construcción de Distrito Federal, Estado de México, Aguascalientes, Querétaro y Guanajuato los aspectos sobresalientes siguientes:

- a) Identificación de las zonas expuestas al agrietamiento,
- b) Identificación de los mecanismos de fisuramiento,

- c) Limitación de las dimensiones de las estructuras,
- d) Definición de los objetivos de los estudios geotécnicos particulares de los sitios antes mencionados,
- e) Definición de las tolerancias de desplomo admisibles.
- f) Definición de los criterios de reparación de estructuras dañadas.

Diferentes trabajos de investigación sobre las fallas y agrietamientos de la ciudad de Querétaro se han realizado, como el trabajo de investigación realizado por el alumno Alfonso Alvarez Manilla Aceves en colaboración con la M. I. María de la Luz Pérez Rea titulado "Caracterización Geotecnica del Valle de Queretaro"; se han llevado a cabo de una manera muy general y en forma dispersa, sin darse a la tarea de conjuntar esfuerzos entre las distintas disciplinas involucradas en el problema, geólogos, geofísicos, geotecnistas, estructuristas, hidráulicos, etc., para dar una respuesta integral al problema.

En este trabajo de investigación se elaborarán con detalle cartas de fallas y agrietamientos de suelo, de los asentamientos humanos más importantes ubicados en el municipio de Querétaro, Qro. A partir de un estudio del arte sobre los trabajos relacionados con el tema y con la región, así como, con cartas digitalizadas del INEGI (y de toda la información disponible sobre cartas urbanas, geológicas y de estadigrafías obtenidas de la perforación de pozos), se elaboran primero cartas preliminares de las grietas y fallas ya identificadas.

Se hará después una identificación con detalle de las fallas y agrietamientos existentes, haciendo énfasis en cuanto a su ubicación exacta, velocidad de propagación y profundidad. A la par, se van identificando los daños causados en las construcciones existentes y en las líneas vitales como son: las vías de comunicación, de drenaje, de agua potable, ductos de gas, de oleoductos, de transmisión de energía eléctrica, etc.

También, se estudian e identifican los fenómenos potenciales más importantes que están provocando este tipo de fallas y agrietamientos; para poder proponer modelos de comportamiento que permita prever la evolución futura de las grietas existentes e identificar las zonas potenciales de agrietamientos. Se darán recomendaciones de análisis, diseño y reestructuración para las construcciones afectadas o susceptibles de ser dañadas, elaborando cartas de riesgo en los asentamientos humanos antes mencionados, y finalmente se darán recomendaciones, para evitar o mitigar la propagación del fenómeno en las diferentes zonas.

Se pretende que este trabajo sirva de base para el estudio de otras zonas de la región donde los asentamientos humanos sean importantes, y sirva para poder normar los criterios de uso del suelo, y de las construcciones.



Para lograr los objetivos planteados de este proyecto, se están atacando los siguientes puntos:

- a) *Recopilación de información sobre cartas urbanas.* Para ello se podrá contar con el apoyo del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y del Departamento de Cartografía de la Dirección de Sistemas de Información del Municipio de Querétaro,
- b) *Recopilación de información existente sobre el subsuelo de la región,* la cual es comprendida en el municipio de Querétaro, como la geología, geotécnica, hidrología, etc.,
- c) *Identificación de pozos y sus estratigrafías.* En este punto se está contando con el apoyo de la Comisión Nacional del Agua.
- d) *Identificación de las profundidades del estrato duro.*
- e) *Recopilación de información sobre usos del suelo, daños históricos, tipos y densidad de construcción,*
- f) *Realización de mediciones de campo* para obtener la información requerida, como son campañas de exploración geofísica, vibración ambiental, gravimétricas, geológicas, geotécnicas, topográficas y geohidrológicas,
- g) *Identificación de mecanismos y fenómenos que provocan las fallas y agrietamientos del suelo de la región en estudio,*
- h) *Modelación analítica de los fenómenos* que provocan las fallas y agrietamientos,
- i) *Modelación analítica del impacto* que el fenómeno causa en las construcciones afectadas o susceptibles de ser dañadas,
- j) *Validación de los modelos analíticos con modelos experimentales.*

La infraestructura de la región es prácticamente nula, desde el punto de vista de instrumentación geofísica y sísmica, ya que no se cuenta con aparatos de medición de propagación de señales, como podría ser un sismógrafo, un acelerógrafo, o un registrador con alta resolución, entre otros.

Por otro lado, existe un gran interés por parte de la comunidad de profesionistas de la región por colaborar en el desarrollo de este proyecto, donde su principal aportación será la de recabar y proporcionar la información disponible, sobre los temas ya mencionados, como son:

- a) Datos relacionados con la ubicación y la estratigrafías de los pozos del valle de Querétaro,
- b) Cartas urbanas, de uso de suelo, de densidad de construcción, y
- c) Cartas geológicas, topográficas, etc.

DESCRIPCION DEL CONTENIDO DE LOS CAPITULOS

El presente trabajo de investigación, se encuentra estructurado de la siguiente manera.

Capítulo I. Tectónica y Sismicidad

En este capítulo se muestran los fenómenos y mecanismos que han motivado la constante transformación del planeta y de su corteza terrestre, bajo una visión global del planeta y en forma particular de la República Mexicana y de la zona de interés.

Capítulo II. Geología, Geohidrología y Geotecnia

Este capítulo estudia las características fisiográficas, estructurales, litológicas, hidrológicas de la zona en estudio, por lo que se podrán conocer y comprender los fenómenos físicos y naturales que se están desarrollando en la zona.

Capítulo III. Topografía de la Zona

Se describe y analiza como se llevo a cabo el perfil topográfico de la zona de estudio, para con ello:

- a) poder monitorear el hundimiento de la zona de estudio y.
- b) poder tener línea de trazo para el perfil gravimétrico.

Capítulo IV. Métodos Geofísicos

En este capítulo se muestran los métodos y técnicas de exploración geofísica utilizadas en el estudio de anomalías en la superficie terrestre, las cuales dan la pauta para la identificación y seguimiento de las fallas.

Capítulo V. Impacto en las Construcciones

Finalmente en este capítulo, se estudia el impacto que ha tenido en las construcciones, los movimientos diferenciales producidos en las fallas de la Cd. de Querétaro.

CAPITULO I.

"TECTONICA Y SISMICIDAD"

1.1. Tectónica

1.2. Deriva de los Continentes

1.3. Tectónica de Placas y Sismicidad Mundial

1.4. Sismicidad Nacional

1.5. Sismicidad Regional

1.6. Delimitación de la Zona de Estudio

CAPITULO I. "Tectónica y Sismicidad"

I.1. TECTÓNICA

En sus 4,500 millones de años de vida de la Tierra ha sufrido muchas alteraciones. Se han formado montañas y se han vuelto a erosionar, han ido y venido glaciares, entre otros. Los aspectos dinámicos actuales se manifiestan con la erupción de volcanes y violentos terremotos.

La presencia de fallas geológicas y la acción de las placas continentales son fenómenos naturales que siempre han estado presentes en la dinámica de la naturaleza del planeta y de nuestro País.

I.2. CONSTITUCIÓN INTERNA DE LA TIERRA

De acuerdo a los numerosos estudios científicos sobre la constitución interna de la tierra, como los basados en la propagación de las ondas sísmicas a través de los materiales terrestres, ha sido posible determinar su composición y dividirla en cuatro capas concéntricas: la Corteza, el Manto, el Núcleo externo y el Núcleo interno.

La corteza comienza en la superficie y se prolonga hasta una profundidad promedio de 35 km. La corteza es sólida y fracturada. El manto es una capa que inicia desde la parte inferior de la corteza hasta una profundidad 2,900 km. Debido a las condiciones de temperatura y presión en que se encuentran los materiales del manto, su estado es entre sólido y plástico. El núcleo externo tiene aproximadamente un espesor de 23,000 km. Con base en datos sismológicos se infiere que está en estado líquido, debido a condiciones de alta temperatura. El núcleo interno es el centro de la Tierra y tiene un diámetro de 2,340 km. Este núcleo se encuentra en estado sólido. La Litosfera está constituida por la corteza y la parte superior del manto, con un espesor promedio de 100 km. Esta cubierta rígida del planeta es de particular importancia para fines de la actividad sísmica.

I.3. DERIVA DE LOS CONTINENTES

La litosfera se encuentra dividida, formando una especie de mosaico de sectores rígidos, conocidos como placas que se mueven entre sí con desplazamientos promedios de varios centímetros por año.

Para entender el mecanismo que impulsa a las placas, la litosfera se desplaza sobre la parte viscosa del manto debido al arrastre provocado por las corrientes de convección.

Las corrientes de convección transmiten el calor del interior de la Tierra hacia las partes superiores de ésta, transportando materiales calientes de zonas profundas a profundidades menores y materiales a menor temperatura hacia profundidades mayores.

Los límites de las placas no coinciden con los límites de los continentes, una placa puede contener porciones de continentes y porciones de océanos. Los límites entre placas pueden ser de tres tipos: Divergentes, en donde las placas se están separando (las cordilleras oceánicas), Convergentes o de subducción, donde una placa se introduce debajo de otra (la placa de Cocos penetra bajo la placa de Norteamérica en la costa occidental del País) y Transformación o transcurrentes, donde dos placas se mueven entre sí lateralmente (la falla de San Andrés que afecta a nuestro país en la península y Golfo de Baja California).

I.4. TECTONICA DE PLACAS Y SISMICIDAD MUNDIAL

En los límites entre placas, donde hacen contacto una placa con otra, se generan fuerzas de fricción que mantienen atoradas dos placas adyacentes, produciendo grandes esfuerzos en los materiales en contacto de las placas. Cuando dichos esfuerzos sobrepasan la resistencia de la roca, o cuando se vencen las fuerzas de fricción se produce una ruptura violenta y una liberación repentina de energía acumulada. Esta energía es irradiada desde el foco (o hipocentro) en forma de ondas que se propagan en todas direcciones a través del medio sólido de la Tierra. Estas ondas son conocidas como ondas sísmicas.

Al ubicar esta información en mapas del globo terráqueo, se ha percibido que los eventos se concentran en zonas específicas, interpretándose esta concentración como los límites entre placas contiguas que conforman la corteza terrestre, las cuales se encuentran en contacto y a la vez en movimiento (unas respecto de las otras), debido a las corrientes de convección térmica del manto de la tierra; originando zonas de colisión generador de una alta concentración de fuerzas de fricción y energía que al rebasar la resistencia de la roca que conforma la corteza, ésta se fractura permitiendo la liberación de energía en forma de calor y de ondas sísmicas.

Las ondas se propagan en todas direcciones a partir del foco (donde se origina la fractura de la roca) con una velocidad alterada según las propiedades físicas de los estratos geológicos que atraviesan, haciendo vibrar a la superficie de la tierra, efecto que se conoce como temblor o terremoto cuando los daños que provoca son de gran magnitud.

Se estima que más del noventa por ciento de toda la actividad sísmica en el mundo, está relacionada con el movimiento y colisión entre placas. Se ha determinado la existencia de diecisiete placas principales.

Se ha detectado también que los rasgos morfológicos que presenta la superficie de la tierra como son las grabens o fosas así como pequeñas y grandes cadenas de montañas, volcanes, pliegues y en general las principales estructuras geológicas se deben en buena parte a estos mismos efectos de movimiento entre placas.

El movimiento de las placas tectónicas da lugar a la formación de plegamientos, fracturas y fallas. Como ejemplo de plegamientos se puede mencionar la Sierra Madre Orienta, las Rocallosas en América y los Alpes en Europa. Las fracturas se producen cuando las rocas presionadas por fuerzas intensas son poco plásticas y en vez de plegarse se rompen. Estas zonas fracturadas reciben presiones posteriores que hacen que el terreno en una de sus áreas se deslice mientras que en la otra permanece en el mismo nivel o se eleva ligeramente. A la porción elevada de la falla se le llama pilar y a las más bajas fosas. En algunas ocasiones las partes hundidas de las fallas se llenan de agua y se forman lagos como el de Pátzcuaro en México y el Baikal en Asia.

Así mismo se estima que más del 70% de los sismos se originan en las zonas llamadas de subducción, fenómeno en que una placa oceánica se sumerge debajo de una placa continental.

Los sismos de origen natural pueden ser de tres tipos:

a) Sismos tectónicos ue son producidos por al interacción de placas tectónicas, por un lado los interplaca ocasionados por una fricción en las zonas de contacto entre placas, por otro lado los intraplaca que se presentan lejos de los límites de placas conocidos. Estos sismos resultan de la deformación continental por el choque entre placas y son menos frecuentes que los interplaca y generalmente de menor magnitud. Un tipo particular de sismos interplaca son los llamados locales, que son producto de deformaciones de los materiales debido a la concentración de fuerzas en una región limitada, como los que se presentaron en la región de Pedro Escobedo el mes de enero de 1998.

b) Sismos volcánicos, que son ocasionados por el fracturamiento de rocas debido al movimiento del magma y acompañan a las erupciones volcánicas. Este tipo de sismos no llegan a ser tan grandes como los anteriores.

c) Sismos de colapso, son los producidos por derrumbamiento del techo de cavernas y minas. Estos sismos ocurren cerca de la superficie y se sienten en un área reducida.

Las ondas sísmicas que producen la sacudida que se siente y causa daños, pueden ser de tres tipos básicos:

a) Onda interna primaria u onda P, que se propaga en todas direcciones en el interior de la Tierra. Esta onda es la más rápida de las ondas internas y su principal característica es que comprime y expande la roca, en forma alternada, en la misma dirección en que viaja. Esta onda es capaz de viajar a través de las rocas sólidas así como de líquidos (por ejemplo los océanos o magma volcánico), además es capaz de transmitirse a través de la atmósfera, por lo que en ocasiones son percibidas por personas y animales como un sonido grave y profundo.

b) Onda interna secundaria u onda S, que viaja a menor velocidad que la onda P y deforma los materiales, mientras se propaga lateralmente respecto de su trayectoria. Por esta razón este tipo de ondas no se transmite en líquidos ni en gases. Cuando ocurre un terremoto la onda P se siente primero, con un efecto de retumbo que hace vibrar paredes y ventanas, algunos segundos después llega la onda S con su movimiento de arriba hacia abajo y de lado a lado, que sacude la superficie del suelo vertical y horizontalmente. Este es el movimiento responsable del daño a las construcciones.

c) Onda superficial, que tiene la característica de propagarse por la parte más superficial de la corteza terrestre, disminuyendo la amplitud de su movimiento a medida que aumenta la profundidad. Las ondas superficiales se pueden clasificar a su vez en dos grupos: - las ondas Love, llamadas así en honor a su descubridor el Físico A. E. H. Love, las cuales deforman las rocas de la misma manera que las ondas S, y - las ondas Rayleigh, en honor a Lord Rayleigh, que tienen un movimiento vertical similar al de las olas del mar. Las ondas superficiales viajan más despacio que las ondas internas, y de las ondas superficiales las ondas Love son las más rápidas.

Mediante sismógrafos de diferentes tipos se inició a finales del siglo pasado y a principios del presente, el registro instrumental de las ondas sísmicas generadas por los terremotos, tanto de origen local como lejano, lo que permitió determinar en forma relativamente precisa la localización de los focos sísmicos y su profundidad. Con el tiempo se elaboró un mapa bien definido de la distribución geográfica de los sismos.

Al representar los focos de los sismos registrados durante un periodo dado, estos se concentraron siempre a lo largo de franjas relativamente angostas, indicando en dichas zonas una alta sismicidad, a su vez limitan o separan grandes regiones oceánicas y continentales con actividad sísmica escasa o nula.

La distribución de los focos, como se observa en el mapa de la sismicidad mundial, sugiere la división de la superficie terrestre en una serie de placas que coincide con la teoría de tectónica de placas, esta coincidencia sorprendió grandemente a los investigadores de la época.

1.5 SISMICIDAD NACIONAL

Dentro del contexto mundial, México forma parte y está ubicado en la región norte del continente americano. Geográficamente se localiza entre las coordenadas $141^{\circ} 32' 27''$ y $321^{\circ} 43' 06''$ latitud norte, y entre los $86^{\circ} 42' 36''$ y $118^{\circ} 27' 24''$ longitud oeste.

En especial México ha participado de manera importante en la aportación de información ya que es miembro, desde su fundación, de la Asociación Internacional Sismológica en el año de 1904, contando para esto con el Servicio Sismológico Nacional desde Septiembre de 1910. Para el caso de México, la actividad sísmica es producida principalmente por la interacción de las placas tectónicas de Cocos, del Caribe, de Rivera, de Norteamérica y del Pacífico.

La interacción de las placas de Norteamérica y la del Pacífico son origen de la actividad sísmica que se manifiesta en la parte norte de la Península de Baja California, mientras que la subducción de la Placa de Cocos y Rivera bajo la placa de Norteamérica, que va desde el estado de Jalisco hasta el estado de Chiapas, provoca la gran actividad sísmica en la costa de México con el Océano Pacífico y origina la mayor cantidad de temblores de gran magnitud ($M_s > 7$).

Se ha observado que la placa de Cocos manifiesta una velocidad de desplazamiento que va de cinco a ocho centímetros por año a lo largo de la costa del Pacífico, siendo menor el desplazamiento hacia los estados de Colima y Jalisco y mayor hacia los estados de Oaxaca y Chiapas; por otro lado, la placa de Rivera se desplaza a razón de aproximadamente dos y medio centímetros con respecto al continente.

A través de registros acelerográficos, se han identificado zonas de contacto entre placas en las que se originan sismos, donde se manifiestan después de un cierto periodo de tiempo, que viene siendo el tiempo en que se vuelve a acumular energía, la cual se puede liberar a través de uno o más sismos de cierta magnitud.

Lo anterior da pauta a clasificar zonas de mayor o menor riesgo de que ocurra un sismo y estimar su magnitud en función de la zona por "romper". Estas zonas reciben el nombre de "brechas sísmicas".

Existe una área bastante extensa en la costa del estado de Guerrero que se considera actualmente tiene la probabilidad más alta de provocar algún sismo de gran magnitud, pues no ha tenido actividad desde hace más de treinta años; a esta zona se le denomina "Brecha de Guerrero" y guarda una distancia media aproximada en línea recta de cuatrocientos cincuenta kilómetros a la zona de estudio.

Por la importancia que reviste esta Brecha y ante la coincidencia de varios investigadores de que puede ser la fuente más probable a corto plazo de generar uno o más sismos de gran magnitud, se han realizado estudios detallados de la misma, identificando zonas con mayor o menor probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos.

1.6. SISMICIDAD REGIONAL.

De acuerdo a la tectónica de la Región, existe una serie de fallas o fracturas probables en dirección Sur-Norte, comenzando en Iguala Guerrero y terminando en San Miguel de Allende, Guanajuato; además existe otra serie de fallas o fracturas probables perpendiculares a las anteriores ubicadas al sur de la Zona en estudio, entre Morelia, Michoacán y Querétaro; finalmente una serie de fallas o fracturas probables al norte de Celaya con orientación aproximada de Este a Oeste que cruzan las ciudades de Salamanca e Irapuato, Guanajuato.

Aunque los sismos de origen tectónico son los más frecuentes y de magnitudes mayores, también ocurren sismos debido a fallas geológicas locales que indirectamente tienen su origen en la tectónica de placas. A este tipo de movimientos se les denomina sismos intraplaca, es decir que tienen ocurrencia dentro de la placa continental.

Con el objeto de tener una panorámica general e identificar las zonas sismogénicas con posible influencia sobre nuestra área de estudio, se recopiló información sísmica de trabajos recientes e históricos; referidos principalmente a la ciudad de México; sin embargo se consideran, por su ubicación, zonas sismogénicas coincidentes de posible influencia para la zona de estudio.

Existen tres zonas sismogénicas importantes dentro de la placa continental de posible repercusión para nuestra área de estudio, estas son las estructuras geológicas denominadas Graben de Acambay, Semigraben de Aljibes y en menor grado el Graben del Mezquital, de acuerdo a algunos autores, estas formaciones se deben a la influencia del Eje Neovolcánico.

Lermo et al. (1996) mencionan la detección de ocho temblores de magnitud alta (entre 4.1 y 6.9) dentro del Eje Neovolcánico, lo que denota una actividad importante en algunas zonas del mismo.

También menciona que la zona del semigraben de Aljibes, en los días 3 y 5 de Junio de 1996 ocurrieron dos sismos fuertes (magnitud de coda de 4.2 y 4.3 respectivamente), los cuales fueron localizados a 14 km. al Oeste de la presa de Zimapán, muy cercanos al pueblo de Bellavista, Qro.

Los temblores fueron sentidos por la población de Cadereyta, Qro. y tuvieron una intensidad de 5 grados en la escala de Mercalli modificada, habiéndose determinado que muy probablemente esta actividad sísmica esté relacionada con las fallas normales septentrionales que conforman el semigraben de Aljibes sin descartar que los movimientos se hallan debido a la acción de llenado del embalse de la presa de Zimapán.

1. 7. DELIMITACION DE LA ZONA DE ESTUDIO,

Los Estados de Querétaro y Guanajuato se encuentran ubicados en la zona centro del país, entre las coordenadas geográficas $190^{\circ} 45'$ y $210^{\circ} 50'$ latitud norte y los $99^{\circ} 00' 46''$ y $102^{\circ} 4'$ longitud oeste. El Estado de Querétaro tiene una extensión territorial de $11,270 \text{ km}^2$ y está conformado por dieciocho municipios.

La zona de estudio comprende parte de los municipios de Corregidora, Huimilpan, Pedro Escobedo y Querétaro por el lado del Estado de Querétaro. Específicamente, el área de estudio está comprendida entre las coordenadas geográficas $200^{\circ} 15' 45''$ y $200^{\circ} 45'$ latitud norte y los $100^{\circ} 00'$ y $101^{\circ} 00'$ longitud oeste.

CAPITULO II.

"GEOLOGIA, GEOHIDROLOGIA Y GEOTECNIA"

II.1. Geohidrología y geotécnica de la zona de estudio

II.2. Estructura Geológica:

II.2.1. Graven Querétaro, Morfología

II.2.2. Distención al Poniente

II.2.3. Distención al Oriente

II.2.4. Relieve debido a fuerzas endoqénicas

II.2.5. Topoformas debidas a fuerzas exoqénicas

II.3. Tectónica de Placas y Sismicidad Mundial

II.4. Sismicidad Nacional

II.5. Sismicidad Regional

II.6. Delimitación de la Zona de Estudio

CAPITULO II. "Geología, Geohidrología y Geotecnia"

II.1. GEOHIDROLOGÍA Y GEOTÉCNIA DE LA ZONA DE ESTUDIO,

Dadas las características fisiográficas, estructurales, litológicas, hidrológicas y geológicas de la zona en estudio, se podrán conocer y comprender los fenómenos físicos y naturales que se están desarrollando en la zona así como sus aplicaciones en las zonas urbanas de estudio.

De acuerdo a INEGI, la República Mexicana está dividida en 15 provincias fisiográficas, los Estados de Guanajuato y Querétaro forman parte de 3 provincias: Sierra Madre Oriental, Mesa Central y Eje Neovolcánico, donde la zona en estudio está ubicada al norte del Eje Neovolcánico.

La provincia de la Sierra Madre Oriental comprende la parte nor-oriental de los estados de Querétaro y Guanajuato, caracterizada por grandes cadenas montañosas con elevaciones de más de 3,000 metros sobre el nivel del mar (msnm) las cuales definen el parteaguas continental.

La provincia de la Mesa Central comprende la parte centro-occidental del estado de Querétaro y la parte central del estado de Guanajuato, se caracteriza por mesetas de aproximadamente 2,000 msnm. y cerros de hasta 3,000 msnm.

La provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico se extiende en las regiones centro y sur de los estados de Guanajuato y Querétaro (cubriendo totalmente la zona en estudio), las cuales están constituidas por lomeríos, montañas y mesetas de composición basáltica cuyo relieve es cortado por fallas normales que dieron origen a fosas entre ellas las de Querétaro, la cual al ser rellenada por sedimentos volcánicos, lacustres y aluviales, dio forma a lo que hoy es el Valle de Querétaro.

II.2 ESTRUCTURA GEOLOGICA.

La estructura geológica de la zona en estudio está conformada por una serie de fallas que son producto de una combinación de fenómenos tectónicos y geológicos. Algunas fallas se han manifestado en años recientes por la sobre extracción de agua de los acuíferos, como el del Valle de Querétaro, lo que ha provocado que éste se abata y junto con él los estratos de roca y suelo en los que está confinado.

Como se menciona anteriormente, el Valle de Querétaro queda enclavado en la Provincia denominada Eje Neovoicánico, producto del efecto de subducción de la Placa de Cocos con las Placas de Norteamérica y del Caribe, que provoca a su vez zonas de distensión, origen entre otras de la Fosa Querétaro.

Las fallas principales que se presentan, observan una dirección de nornoroeste a sur-sureste o viceversa, orientación característica de fallas y fosas dentro del Eje Neovolcánico y su área de influencia.

11.2.1 Graven Querétaro, Morfología.

Corresponde a un extenso valle de forma poco alargada en dirección norte-sur, relleno de sedimentos aluviales, flujos de lava y depósitos volcanoclasticos lacustres de aproximadamente 100 m de espesor para cada uno, según el área.

Este valle es el resultado del hundimiento producido por un sistema de fallamiento escalonados por el esfuerzos distensivos dirigidos hacia el poniente y al oriente respectivamnete, con fallas ordenadas casi simétricamente y notoriamente equidistantes con orientación noroestesureste entre los 101 y 151 de alto extendiéndose más hacia la parte occidental.

Al mismo tiempo, se origina otra serie de eventos con fallamientos trascurrentes secundarios con orientación noreste-suroeste entre los 701 y 800 m formando un tren estructural transversal al graben de Querétaro, como un proceso extensivo.

Hacia el norte, el piso del graben va subiendo paulatinamente hasta perder su estructura ya en el poblado de Santa Rosa de Jauregui aunque las fallas originales aun persisten. Los márgenes del graben se presentan asimétricamente, observándose más escarpadas hacia la parte oriente, coincidiendo generalmente con la traza de una de las fallas principales, hacia la parte poniente el escarpe de este margen es menos conspicuo con excepción de algunos lugares.

Se distinguen cuatro fallas principales dentro de la zona estudiada con orientación noroeste-sureste.

11.2.2 Distensión al poniente.

La distensión al poniente esta determinada por las fallas de Obrajuelo y la falla del Tlacote:

a) Falla Obrajuelo. Atraviesa el poblado de Obrajuelo en el Estado de Guanajuato hacia el sur, pasa por la zona geotérmica que se localiza a un costado de la Laguna El Salitre, lo que significa que se trata de una falla muy profunda posiblemente activa, presenta deslizamiento al poniente siguiendo más al sur con la misma orientación.

- c) **Falla Tlacote.** Atraviesa el poblado de Tlacote el Bajo hacia el norte y el poblado de Balvanera hacia el sur; también presenta un desplazamiento al oriente siguiendo su dirección, del poblado la Negreta a Puerta de San Rafael. Su orientación es dirección Noreste - Sureste y se observa desde los límites del poblado Tlacote el Bajo hasta las inmediaciones del poblado La Negreta, atraviesa el poblado Las Adjuntas, las carreteras de cuota y libre que van a la ciudad de Celaya, el poblado Balvanera en el municipio de Corregidora.

II.2.3 Distensión al Oriente.

- a) **Falla Querétaro.** De misma orientación que la falla "Tlacote", se origina al sur del poblado de Santa Rosa Jaúregui, sigue en forma casi paralela a la carretera Querétaro - San Luis Potosí que cambia de nombre a Avenida 5 de Febrero ya dentro de la zona urbana de la ciudad de Querétaro, posteriormente muestra un desplazamiento hacia el oriente hasta la altura del Boulevard Bernardo Quintana para después volver a retomar su orientación original y seguirse hasta las inmediaciones del Cerro del Cimatario.

La falla de Querétaro corre prácticamente paralela a la carretera Querétaro - San Luis Potosí y posiblemente se inicia en la parte sur de Santa Rosa de Jauregui, presenta un corrimiento hacia el oriente ocasionada por la falla Menchaca, se continua en la dirección sur aunque actualmente se encuentra cubierta por derrames basálticos del volcán del Cimatario, llegando hasta el poblado La ceja al oriente de Huimilpan. La equidistancia entre estas fallas es de aproximadamente 8 Km.

El piso del graben ha sido afectado por disturbios volcánicos de los cuales se detectan manifestaciones como el cerro del Tambor, el Cerro de Las Campanas, y otros que han rellenado parcialmente el graben, y que han quedado como testigos de estos eventos.

Se detectan lineamientos con orientación noroeste-sureste dentro de los 301 como principales y otro sistema de lineamientos controlados también por los esfuerzos tensionales del mecanismo del graben y paralelos a la dirección de máxima tensión. Tal es el caso de una fractura o Falla Cañada transversal al graben que se inicia sobre el río Querétaro, en el poblado de la Cañada y continua al poniente por Calera de Obrajuelo y Calera de Ameche.

Paralela a esta, al norte se encuentra la Falla Menchaca de las mismas características.

11.2.3 Relieve debido a fuerzas endogénicas

Formas debidas a vulcanismo. Entre estas se encuentran las estructuras volcánicas principalmente, que conforman las montañas de mayor elevación: en un caso constituidas por rocas andesíticas y dacíticas con un patrón estructural de fracturas que originan una red de drenaje dendrítico, como se observa al nor-poniente de Huimiipán entre los Cerros Las Monjas, Blanco y La Peña; al norte de Juriquilla y en Tlacote el Alto.

Estas estructuras volcánicas a su vez contienen focos volcánicos y flujos de lava que en algunos casos forma lengüetas de diferentes dimensiones en las que se marca su dirección preferencia. Conforman una red de drenaje paralelo separado por lomerios como se observa en Escolásticas, Los Cues, San Fandila.

También presentan algunos domos lavicos como estructuras volcánicas pero aisladas por efectos de denudación: como el Cerro Gordo, de las Campanas, Tejeda.

11.2.4 Topofomas debidas a fuerzas exogenicas.

Topofomas fluviales. Formas construccionales debidas a acumulación fluvial. Planicies fluvio lacustres. Representan el relieve geomorfologico de mayor importancia, después de las estructuras volcánicas. Constituyen extensas planicies rellenas por materiales granulares de diversa composición y granulometría cuya depositación es prácticamente horizontal en estratos de diversos espesores, algunos muy delgados, con estructuras laminares cruzadas.

Este relieve acumulativo prácticamente no tiene red de drenaje, solo es causado por corrientes de relativa importancia como el río Querétaro y el río Chichimequillas.

El valle de Querétaro y las mesas de Amascala, la griega son las más representativas de este relieve acumulativo. Otro relieve geomorfologico construccional es la depresión que existe en Juriquilla que se va relleno paulatinamente.

II.3. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA

II.3.1 Acuíferos de extensión regional de permeabilidades bajas a medias en medios granulares.

Litología. Depósitos aluviales y sedimentos clásticos lacustres con derrames basálticos intercalados e interdigitados a profundidad.

Distribución y espesor. Esta unidad de relleno de fosas se localiza en la parte plana del valle de Querétaro principalmente; al norte se limita en las inmediaciones de Jurica, se estrecha al sur en la zona Industrial y se abre hacia la Ciudad de Querétaro. En el límite sur se encuentra Villa Corregidora y hacia el poniente con la Falla Tlacote, para después abrirse al estado de Guanajuato.

El espesor promedio es de 400 m alcanzando hasta 600 m en la parte poniente de la zona de estudio así como también las mayores profundidades reportadas son en Santa María Magdalena, el Fraccionamiento Jurica y la parte sudoeste de Villa Corregidora.

Características hidrogeológicas, La conductividad hidráulica varía de 10 a 300×10^4 a la menos $6\text{m}^2/\text{s}$ y el coeficiente de almacenamiento regional es de 7 %. La capacidad específica varía de 0 a 10 lps/m en promedio. La resistividad tiene un rango de 0 a 20 ohms-m y los valores de conductividad eléctrica del agua registradas van de 500 a 1000 ohms / cm en la zona Industrial.

Funcionamiento hidráulico. Esta unidad funciona a nivel regional como un acuífero en medios granulares con intercalación de rocas volcánicas. Es del tipo semiconfinado a libre.

Los mecanismos de recarga mediante flujo subterráneo para esta unidad es como se describe a continuación:

- Por el oriente a través de la Cañada se presenta la principal entrada subterránea a esta unidad acuífera. El mecanismo de recarga tiene que ver con el fracturamiento abierto y el gradiente hidráulico de la UNIDAD 3.
- Por el sur se manifiesta un flujo local profundo procedente de la Sierra de Huimilpan que desemboca en Villa Corregidora.
- Por el norte la recarga subterránea proviene del valle de Buena Vista con dos entradas: Jurica y Tlacote el Bajo con direcciones n-s en ambas localidades.

Las entradas subterráneas son controladas por el flujo regional proveniente del valle de San Juan del Río desde el parte aguas dinámico formado en sus inmediaciones, así como del flujo subterráneo proveniente de la porción norte del valle de Querétaro.

La descarga superficial se lleva a cabo a través de retornos de riego e infiltración de aguas pluviales a los depósitos aluviales. También mediante las Sierras Periféricas a esta unidad, utilizando el fracturamiento como medio de conducción de agua a profundidad.

A través de esta unidad se lleva a cabo la descarga subterránea hacia la subcuenca de Celaya mediante el estrechamiento estructural que coincide con los límites estatales y que además está formado por la unidad 3. La principal descarga de agua se lleva a cabo mediante la explotación de pozos. El nivel estático era de 90 m en promedio y llegaba a 150 m en la Zona Industrial; ha tenido una evolución de casi 20 m de descenso en 5 años y hasta 50 m en la Zona Industrial; lo anterior se debe a que en esta zona se encuentran depositados grandes espesores de arcilla.

II.4 GEOTECNIA.

11.6.1 Tipos de suelo en la zona urbana de la ciudad de Santiago de Querétaro.

Con base a la referencia de Trejo A. (1 989) y de acuerdo a la estratigrafía superficial se identifican cuatro grandes zonas en la ciudad de Santiago de Querétaro y áreas conurbadas. Estas zonas se ilustrarán de manera aproximada en la carta 2.6, así como los cortes estratigráficos representativos de cada de ellas.

La primer zona corresponde a la parte plana y baja con características muy uniformes en su estratigrafía, está formada por depósitos lacustres conformados más superficialmente por un estrato de arcilla (arcilla con potencial expansivo) de color gris oscuro, hasta una profundidad aproximada de 3.00 m, cuya clasificación de acuerdo a S.U.C.S. se determinó como CH. Debajo de este estrato, se encuentra otro de aproximadamente 12.00 m de profundidad compuesto por suelos de tipo limos arenosos y arcillas de baja plasticidad de color café claro y consistencia firme a dura cuya clasificación SUCS les corresponde como CL, ML y MH. A su vez, este estrato es apoya en uno compuesto por gravas y arenas de consistencia muy compacta.

La segunda zona a que hace referencia, es la ubicada en las inmediaciones del río Querétaro la cual está formada también por depósitos lacustres con una estratigrafía menos definida que la anterior, en la que se observan intercalaciones de arena a diferentes profundidades, pudiendo determinarse que hasta profundidades de 4.00 m el primer estrato está compuesto por limos de consistencia blanda a firme. El segundo estrato de profundidades entre los 6.00 m y 10.00 m está compuesto por arcillas inorgánicas de plasticidad alta a media y clasificación SUCS CH y CL; debajo de este estrato, de profundidad no definida, se encuentra boleos empacados en gravas y arenas.

La tercera zona está compuesta de suelos finos arcillosos en un primer estrato de espesor que varía de entre 1.00 m y 6.00 m de profundidad, siguiéndole otro estrato de arcilla arenosa de consistencia compacta a muy compacta que se localiza entre los 5.00 m y los 13.00 m de profundidad el cual descansa sobre otro estrato, de profundidad no definida, formado por arena limosa con gravas y tezontles de compasidad alta a muy alta. Esta tercera gran zona la ubica entre los límites de la Av. Zaragoza y la autopista México - Querétaro en el tramo comprendido que va desde la colonia San Angel hasta la colonia Arquitos.

La cuarta zona se refiere a las partes altas que rodean al valle las cuales básicamente consisten en un estrato de arcilla clasificación SUCS CH de espesor variable de entre 0.50m. y 1.50 m que cubren roca basáltica y tobas.

CAPITULO III.

"MEDICIONES TOPOGRAFICAS"

- III.1. Generalidades de las Mediciones Topográficas
- III.2. Mediciones Topográficas en la Ciudad de Santiago de Querétaro
- III.3. Memoria de Puntos, Coordenadas X,Y,Z

CAPITULO III. "Mediciones Topográficas"

III.1. GENERALIDADES DE LAS MEDICIONES TOPOGRAFICAS,

En una primera etapa se busca y recopila información existente que pueda ser de gran utilidad para el seguimiento e identificación de las fallas, como cartas urbanas, geológicas y topográficas de las zonas urbanas de los asentamientos más importantes de la región en estudio.

En seguida se realizan actividades de campo como recorridos de las zonas urbanas, donde se han manifestado movimiento diferencial en el suelo o fallas en las construcciones, para el seguimiento e identificación de las fallas. Con base a los datos reportados en campo se van elaborando cartas de seguimiento de las fallas probables.

Finalmente se instrumento con testigos tipo placas fijas de 1 m, por donde paso el perfil topográfico, en puntos seleccionados de acuerdo a un criterio que puede ser la importancia del desplazamiento diferencial o en lugares donde se prevé la posible aparición de la trayectoria de la falla. Así como también la traza por donde paso el perfil topográfico.

111.2.1 Mediciones topográficas en la ciudad de Santiago de Querétaro.

Qro. En el caso particular de la ciudad de Santiago de Querétaro se realizan periódicamente recorridos por la zona urbana y conurbada de esta ciudad (ya que la mancha urbana se extiende sobre los municipios de Corregidora, El Marqués, Pedro Escobedo y Huimilpan), donde se han manifestado movimientos diferenciales en el suelo, para el seguimiento e identificación de las fallas existentes, aclarado que existe la dificultad de diferenciarlo del fenómeno y problemática relacionados con los suelos expansivos (o suelos susceptibles al cambio de volumen por el agua), por lo que se tiene el debido cuidado de no confundir el fenómeno de las fallas con dicha problemática de los suelos expansivos.

La trayectoria que sigue la falla central de la ciudad de Santiago de Querétaro se va trazando en una carta urbana de la ciudad, de acuerdo con los recorridos de la zona y puntos visualizados por desplazamientos diferenciales del suelo y daños en las estructuras. Como ilustración se muestra más adelante algunas fotografías de algunos puntos y de estructuras dañadas.

Un criterio de instrumentación para el seguimiento de los desplazamientos relativos y trayectorias de fallas, propuesto por los especialistas en Mecánica de Suelos, Geólogos y Estructuristas, ha sido en primera instancia colocar micropilotes de un metro de longitud, con una sección transversal de 10 cms. de diámetro, elaborados con concreto reforzado de armex triangular; además de rematar en un extremo con una placa de solera de 4", fijada con soldadura en el armado de armex y al micropilote, quedando la placa expuesta a la superficie y protegiendo el punto de referencia, de manera que facilite y permita realizar periódicamente las correspondientes lecturas de nivelación.

Finalmente se instrumenta con testigos tipo pilotes fijos de 1 m, a ambos lados de la falla, en puntos seleccionados de acuerdo a un criterio que puede ser la importancia de desplazamiento diferencial o en lugares donde se prevé la posible aparición de la trayectoria de la falla.

La ubicación de estos puntos de interés van siendo señalados de acuerdo a los criterios antes señalados y bajo la supervisión del geólogo Gerardo Valencia. En el lugar seleccionado se van colocando dos o tres puntos (según sea el caso) o pilotes alineados en el bloque alto al igual que otros dos o tres pilotes en el bloque bajo (ver figura 3.2), con la finalidad de realizar periódicamente (cada 3 o 6 meses) la nivelación topográfica y permita conocer el avance de los desplazamientos relativos en dichos lugares.

El proceso constructivo de los micropilotes consiste en a) la excavación de un oquedad de aproximadamente un metro de profundidad por 15 cm de ancho, b) colocación del armado previamente trabajado y c) colado de los elementos en el sitio (en cada una de las zonas señaladas previamente). El micropilote se elabora a base de concreto armado, con $f_c' = 100 \text{ kg/cm}^2$ empleando para el refuerzo acero ARMEX triangular de $10 \times 10 \text{ cms.}$, con f_y de 5000 kg/cm^2 .

Posterior a la colocación de los micropilotes en 10 puntos se realizó la primera nivelación, donde los valores obtenidos de dichos puntos en estudio, se muestran en la tabla 3. 1.

CAPITULO IV.

"METODOS GEOFISICOS"

IV.1. Generalidades de los Métodos Geofísicos

IV.2. Método Gravimétricos:

IV.2.1. Estudios Gravimétricos

IV.2.2. Aplicaciones

CAPITULO IV. "Métodos Geofísicos"

IV.1.GENERALIDADES DE LOS METODOS GEOFÍSICOS

Un levantamiento geofísico consiste en una serie de mediciones realizadas comúnmente sobre la superficie del terreno, aunque también se puede llevar a cabo desde el aire o debajo de la superficie, principalmente en pozos sin aforo. Las mediciones que se recaban son de las variaciones en superficie de uno o de varios campos de fuerza físicos. Estos campos están determinados, entre otras cosas, por la naturaleza y estructura del subsuelo. Debido a que las propiedades físicas de las rocas varía en un amplio margen, al menos una de esta propiedades presenta una discontinuidad marcada de un lugar a otro. Las discontinuidades físicas normalmente corresponden a contactos geológicos y por lo tanto cualquier problema estructural se reduce a interpretar los campos medidos sobre la superficie en términos de la forma de estas discontinuidades. La facilidad o dificultad con que esto se pueda llevar a cabo depende del grado de contraste de las propiedades físicas entre las rocas que conforman las estructuras que se investigan y de la selección del método que se seleccione para estudiarlas.

Por supuesto, mientras mayor sea el contraste, mas claros serán los indicios del tipo del Tipo de estructura de que se trate. Las propiedades de las rocas de mayor uso en exploración geofísica son:

- 1) la densidad,
- 2) la susceptibilidad magnética,
- 3) la elasticidad y
- 4) la conductividad eléctrica.

Toda la materia tiene un efecto gravitacional por lo cual los cambios laterales en la densidad del medio terrestre producen variaciones detestables en la gravedad sobre la superficie. De la misma forma, muchas rocas contienen materiales magnéticos en mayor o menor cantidad por lo que pueden presentar magnetización permanente o inducida por el campo magnético terrestre. Las diferencias en la intensidad de magnetización entre las rocas a consecuencia de diferencias en las susceptibilidades, así como a variaciones en la dirección de la magnetización y de su intensidad, producen variaciones medibles en el campo magnético de la Tierra resultante. Por lo tanto, a partir de la variación espacial en la superficie de los campos magnético o gravimétrico es posible hacer deducciones acerca de la estructura del subsuelo. Desafortunadamente los métodos gravimétrico y magnético tienen una limitación inherente, que consiste en que en teoría se pueden postular un numero infinito de estructuras que reproduzcan las variaciones de éstos campos observadas en superficie.

Sin embargo, en la práctica la mayor parte de las veces se dispone de información geológica del área de estudio, a partir de la cual y en combinación con los datos geofísicos se puede realizar una interpretación de utilidad. En general, no es necesario conocer el valor absoluto de los campos gravimétrico o magnético sobre la superficie en los lugares de interés sino el grado de perturbación de los mismos producido por las estructuras. A estas perturbaciones se les conoce como **anomalías**.

Mientras que los levantamientos gravimétricos y magnéticos hacen uso de campos de fuerza naturales, los métodos sísmico y eléctrico (incluyendo la mayoría de las técnicas electromagnéticas) que hacen uso de las propiedades elásticas y eléctricas de las rocas, necesitan la introducción de energía en el subsuelo. Debido a que la energía necesaria es introducida artificialmente al terreno se puede variar la distancia entre la fuente y el detector. Como resultado de esto la interpretación de las mediciones en términos de la estructura normalmente es menos ambigua y más precisa que con los métodos que utilizan campos naturales.

Entre los métodos eléctricos más comunes está el que utiliza una corriente directa que se inyecta al suelo a través de dos electrodos. La forma y la intensidad del campo de flujo de corriente está gobernada parcialmente por la distribución de resistividades de las rocas en el subsuelo. En el lugar en donde se suministra directamente al suelo, la medición es esencialmente de un gradiente de potencial aunque puede ser presentado por el instrumento utilizado como la medición de una resistencia. También es posible aplicar energía eléctrica al subsuelo por medio de la inducción que se realiza pasando una corriente de alta frecuencia (de cientos o miles de ciclos por segundo) a través de una bobina que no está directamente en contacto con el suelo. En este método **electromagnético** el campo de la bobina transmisora puede ser alterado en amplitud, dirección o fase por conductores presentes en el subsuelo y la distorsión producida puede a su vez ser medida electrónicamente en una bobina receptora,

Entre los métodos que tradicionalmente ha sido más utilizado por su efectividad está el método sísmico. Debido a que las rocas tienen diferentes propiedades elásticas y densidades las ondas elásticas se propagan a través de ellas a diferentes velocidades y son reflejadas y refractadas en las interfaces a través de las cuales cambian las propiedades. De esta forma, una onda elástica generada por un impulso en la superficie es en parte reflejada y refractada a la superficie y, a partir del conocimiento del tiempo de recorrido de la onda a un número de puntos sobre la superficie, se puede deducir con muy buena precisión una suma considerable de información acerca de las posiciones de las interfaces.

Existen dos técnicas sísmicas diferentes, una que hace uso de las ondas reflejadas y otra que utiliza las refractadas.

La selección del método geofísico a utilizar en un problema específico normalmente no presenta mucha dificultad. Cuando se trata de un subsuelo con rocas estratificadas en capas horizontales en donde no haya una estructura compleja los métodos sísmicos tienen una ventaja decisiva sobre otros métodos pues pueden proporcionar información clara, precisa y detallada del medio. Sin embargo a pequeña escala, en lugares en donde las estructuras son simples, los métodos eléctricos aunque no tan precisos como los sísmicos, pueden proporcionar buenos resultados y tienen la ventaja de ser más simples de operar, más rápidos y por lo tanto más económicos.

En ocasiones puede ser necesario que se aplique más de un método para atacar el mismo problema. De hecho es cada vez más frecuente que se utilicen dos o más técnicas geofísicas combinadas para reducir la ambigüedad en la interpretación, particularmente en zonas estructuralmente complejas. De esta forma es posible mejorar considerablemente la interpretación pues se hace posible rechazar anomalías espurias y estrechar el rango de soluciones posibles.

Una vez que se ha decidido el o los métodos que se utilizarán dado el problema específico a resolver, será necesario considerar la cantidad de información que se requiere para obtener una interpretación adecuada. La información mínima necesaria se define en base al propósito del estudio y en cierta medida a los recursos económicos con los que se cuenta para el estudio. Por ejemplo el máximo espaciamiento entre estaciones en un levantamiento se determina en función de las dimensiones mínimas de las estructuras que se pretende localizar, sin embargo desde el punto de vista ingenieril sería deseable realizar mediciones más detalladas para delinear con mayor precisión las anomalías.

Además de la cantidad de información requerida se tienen que considerar los problemas más fundamentales del ruido y de los errores relacionados. Además de los errores puramente instrumentales, cada medición está sujeta a variaciones locales, normalmente al azar, de las propiedades del subsuelo, mientras mayor sea este ruido comparado con la magnitud de la anomalía que se pretende medir, menor será el espaciamiento entre estaciones que tendrá que ser utilizado para poder detectar el objeto que pretendemos visualizar.

Es muy frecuente que sea el ruido ambiental más que cualquier factor instrumental lo que controla la detectabilidad. Aún en aquellas circunstancias en las que el problema del ruido no parezca ser de fundamental importancia éste no debe de menospreciarse, y por ello las interpretaciones deducidas a partir de muy poca información deben de ser tomadas con mucha cautela. Generalmente, las observaciones deben de ser parecidas unas a otras para haya una correlación óvía entre ellas y sea posible realizar una interpolación sin la posibilidad de ambigüedad.

IV.2. MÉTODO GRAVIMÉTRICO

El método de exploración gravimétrica para la exploración geológica del subsuelo se basa en las variaciones del campo gravitacional terrestre generadas por las diferencias en la densidad entre las rocas del subsuelo. El concepto detrás es la idea de un cuerpo causativo, el cual es una roca unitaria de una densidad diferente a sus alrededores. Este cuerpo causativo representa una zona de masa anómala del subsuelo que ocasiona una perturbación localizada del campo gravitacional llamada anomalía gravimétrica. Una gran variedad de situaciones geológicas producen zonas de masa anómala que provocan anomalías gravimétricas significativas. A pequeña escala, el relieve subterráneo del basamento, tal como un valle enterrado puede generar anomalías medibles mientras que a gran escala se generan anomalías gravimétricas mayores, tal como la que generaría una cuenca sedimentaria. La interpretación de las anomalías gravimétricas permite estimar la profundidad y forma del cuerpo causativo.

La base del método gravimétrico de exploración es la ley de Newton de la gravitación universal que establece que la fuerza de atracción entre dos masas m_1 y m_2 cuyas dimensiones son pequeñas con respecto a la distancia R que las separa *es dada por* (Fig. 1)

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$

donde la constante gravitacional es $G = 6.67 \times 10^{-8}$ en unidades cgs y 6.67×10^{-11} cuando se trabaja en unidades del S.I.

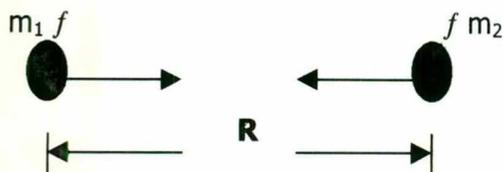


Fig. Atracción entre dos masas puntuales

En estudios de la gravedad una de las masas es considerada una masa de prueba que puede ser cambiada de posición. La fuerza gravitacional por unidad de masa de prueba (F/m_1) es la que se registra cuando se realiza un levantamiento con un gravímetro. Esto es a lo que se le llama el campo gravitacional de la otra masa (m^2). El campo gravitacional es una cantidad vectorial que tiene tanto dirección como magnitud las cuales varían con la posición. El campo gravitacional de la Tierra generalmente se denota con el símbolo g . En la práctica g es una cantidad escalar porque la dirección del campo gravitatorio de la Tierra es por definición vertical.

Puesto que la Tierra es aproximadamente esférica, g es aproximadamente constante en la superficie de la Tierra, y la vertical apunta hacia el centro de la Tierra. Una mejor aproximación es considerar a la Tierra como un esferoide achatado que rota uniformemente. Cuando se usa esta aproximación, la vertical está en dirección perpendicular a la superficie del esferoide y g varía suavemente alrededor de 0.5% con la latitud, siendo mayor en los polos. La componente de la aceleración debida a la rotación de la Tierra está incluida en g junto con la aceleración debida a la gravitación.

La unidad de la intensidad de campo gravitacional es (en unidades cgs) dinas/gramo o su equivalente dimensional, CM/S^2 . En la práctica, a esta unidad se le da el nombre de gal (en honor a Galileo). En el sistema SI (mks) es el newton/kg (N/kg) ó $\text{m/s}^2 = 10^2$ gales. La unidad práctica en el SI para anomalías gravimétricas es $1 \mu\text{m/s}^2$ lo cual corresponde a una vieja y bien conocida unidad práctica conocida como la unidad gravimétrica (gu); es decir, $1 \text{ gu} = 1 \mu\text{m/s}^2 = 0.1 \text{ mgales}$. El campo gravimétrico de la Tierra es aproximadamente:

978.03 gales en el ecuador
980.43 gales a 45° de latitud
983.22 galés en los polos

IV.2.1. Estudios gravimétricos

Las irregularidades en la distribución de la densidad interna de la Tierra y en su superficie topográfica, dan lugar a variaciones en la magnitud de g y en la dirección de la vertical de un lugar a otro.

El objetivo del método gravimétrico es medir esas variaciones y utilizar estos datos para hacer deducciones acerca de la configuración de las rocas en el subsuelo que tienen una densidad mayor o menor que la densidad de los alrededores. Esto generalmente requiere mediciones con una sensibilidad de por lo menos 1 mgal (10^{-3} gales) y los gravímetros modernos hacen posible determinar diferencias de gravedad con una precisión de hasta 10^{-2} mgales. Con ésta resolución las variaciones debidas a estructuras geológicas locales pueden ser detectadas sin mucho problema en condiciones de ruido moderado. Sin embargo las variaciones debidas a la superficie topográfica de la Tierra generalmente son del mismo orden por lo cual primero deben ser removidas a fin de ver el efecto gravimétrico de las anomalías de densidad del subsuelo. La porción de la gravedad observada que queda después de restar el efecto global de la Tierra y la topografía local se llama Anomalía de Bouguer, o gravedad de Bouguer.

Las mediciones de la intensidad del campo gravitacional pueden ser hechas con mucha mayor sensibilidad que las mediciones de las desviaciones verticales.

Por ésta razón usualmente se mide la intensidad del campo en vez de la deflexión en los levantamientos gravimétricos.

En general, se puede considerar que g está compuesta de una parte predecible, la cual se puede calcular por medio de una fórmula matemática y, de una parte anómala (δg), la cual es debida a irregularidades subterráneas de la densidad o a irregularidades topográficas en la superficie. Como se muestra en la figura, la componente anómala δg es un campo gravimétrico débil el cual puede tener una amplia variación en dirección e intensidad, sin embargo la magnitud relativa $|\delta g|/g$ siempre es muy pequeña. En cambio Δg , que corresponde a la variación observada en la intensidad de la gravedad es una medición de la *componente vertical* del campo gravimétrico anómalo; es decir, es la componente vertical de la anomalía gravimétrica la cual altera la **intensidad** de g , en tanto que la componente horizontal altera **la dirección** de la vertical.

IV.2.2. Aplicaciones

Las aplicaciones más comunes del método gravimétrico son las siguientes: En el estudio de anomalías locales a) observación de variaciones verticales en la estratificación sedimentaria o diferencias de elevación de basamentos en cuencas sedimentarias. b) observación de depósitos minerales, c) observación de estructuras superficiales como son los paleocanales. En estudios a gran escala pueden ser de gran ayuda en d) observación de geología regional relacionados con el origen de rasgos tectónicos tales como las fajas montañosas o las trincheras submarinas.

Los estudios gravimétricos con propósitos geológicos pueden tomar una variedad de formas dependiendo de la naturaleza del problema geológico a resolver. Sin embargo, la mayor parte de los estudios contendrán los siguientes seis pasos, cada uno de los cuales son importantes para el resultado final y todos requieren consideración y cuidado:

- (1) Medición de la gravedad.
- (2) Medición de la posición y de la elevación.
- (3) Reducción y corrección de datos para la obtención de la gravedad de Bouguer.
- (4) Estudio de la geología y de la probable densidad de las rocas.
- (3) Separación de las anomalías de Bouguer que se traslapen o que correspondan a diferentes escalas.
- (6) Interpretación de las anomalías seleccionadas en términos de la distribución de la densidad e interpretación geológica de los resultados.

CAPITULO V. "Impacto en las Construcciones"

V.1. Falla Centro de la ciudad de Santiago de Querétaro.

Hace no más de dos décadas, en la zona urbana de la ciudad de Querétaro, se empezaron a manifestar desplazamientos diferenciales y daños en varios tipos de construcciones ligeras (agrupando a estas como casa habitación de uno o dos niveles), naves industriales, vialidades, pavimentos, calles de empedrado, banquetas, guarniciones, bardas; los cuales fueron observados por los usuarios de estas construcciones.

Quizá los movimientos se han venido presentando desde tiempo atrás, pero es debido al incremento en los asentamientos humanos y por ende el aumento en la construcción, que se han podido percatar de tales movimientos.

El estudio de tal fenómeno es limitado, es decir no se cuenta con información abundante. Algunos autores como Valencia D. (1995) tratan el tema explicando el comportamiento de los desplazamientos presentados, bajo las hipótesis siguientes:

- a) El desplazamiento es debido a la sobre explotación de los mantos acuíferos,
- b) Los desplazamientos son motivo de una diferente resistencia que presentan los estratos subyacentes en el subsuelo, marcada por la trayectoria de la falla,
- c) Una combinación de las dos anteriores.

Algunos otros ingenieros de la región como Trejo A. y Martínez A. (1991), y Álvarez M. (1995) se han limitado a identificar algunas zonas de falla e impactos en las construcciones.

De acuerdo a los trabajos y reportes de campo, se han identificado algunos tipos de daños causados en las construcciones, producto del movimiento relativo entre los bloques de la falla Centro de la ciudad de Santiago de Querétaro.

Los daños manifestados por la falla geológica en las líneas vitales, tal como el caso de las vías de comunicación, se puede observar en la siguiente fotografía 3.4, en la cual se indica el defasamiento de los rieles ante el cruce de la falla.

Ante la presencia del desnivel que se tiene en la vía, se puede llegar a presentar daños en las conexiones de los vagones que pudieran ocasionar la separación de estos.

Continuando el recorrido hacia la parte norte de la ciudad, a escasos 200 mts. del punto señalado anteriormente, ubicamos un fuerte desnivel en la vialidad de acceso a la zona industrial Ave. Epigmenio González frente a la extinta fabrica de Singer, conservando aproximadamente el mismo desnivel a varios metros en dirección sur-norte, a partir de esta zona.

El mantenimiento de la vialidad es continuo debido al movimiento relativo de ambos de los bloques (alto y bajo), dada la importancia de la calle.

Recorriendo en la misma dirección, la falla no respeta el tipo de construcción que se encuentra a su paso (especialmente como ya se hizo mención en estructuras ligeras), como las construcciones de canales de desagüe, bardas de predios, casas habitación, naves industriales, vialidades, vías de comunicación, banquetas, calles de empedrado, etc.

Constantemente se requiere del mantenimiento de la carpeta asfáltica en la carretera 5 de Febrero frente al expendio de PEMEX, debido al daño transversal que sufre esta vía de comunicación hacia San Luis Potosi, ocasionado por un desnivel perpendicular a la trayectoria de la falla (surnorte) que se viene describiendo.

En lugares donde no se ha podido identificar la existencia de la falla geohidrológica o no se ha mostrado visual y físicamente, se ha recurrido a técnicas de predicción para esquivar la posible trayectoria de la falla; tal es el caso de la planta Nestlé. Así como esta planta, otras plantas industriales ubicadas en el área de influencia de la falla, han destinado parte de la superficie susceptible de ser afectada, por áreas verdes.

Otro tipo de estructuras que se han visto dañadas a consecuencia de los movimientos diferenciales de los bloques, han sido las naves industriales, que inclusive han tenido que ser desalojadas. Tal es el caso de la planta de CVC.

Las grietas y fallas estructurales se siguen incrementando en las construcciones ligeras (casa habitación) que se ubican sobre el área de influencia de la falla. Ante esta situación se recurre a proporcionar mantenimiento mayor que no es suficiente con una simple relleno de fisuras o resanamiento, pues pocos meses después, nuevamente, aparecen las fisuras que provocan daños secundarios como rompimiento de vidrios. Esto además de reducir su funcionalidad presenta aspectos antiestéticos e inversiones adicionales no previstas.

Como una alternativa para las vialidades interceptadas por la falla, se pueden implementar diferentes tipos de materiales como prefabricados (en este caso adocreto), que permitan adaptarse a los movimientos relativos entre los bloques de la falla, reduciendo el costo de mantenimiento y aumentando el periodo de funcionalidad para los usuarios. A diferencia del empleo de concreto hidráulico o asfáltico, que al sufrir el impacto de la falla es necesario retirar el material y volver a colocar concreto nuevo, como se observa en la fotografía 3.1 1, que corresponde a una calle de la zona antes descrita.

En la **parte norte** de la colonia Ensueño, donde el acceso principal es por la avenida Prolongación Pino Suárez, la presencia de la falla también a dañado el pavimento flexible, elaborado con concreto asfáltico.

El desnivel entre los bloques se incremento continuamente, es fácil de observarlo con el paso continuo de vehículos que tienden a frenarse, ante el escalonamiento de la vialidad. El mantenimiento para este tipo de estructuras, como ya se ha señalado anteriormente debe ser continuo, ya que es los materiales utilizados son muy susceptibles a los movimientos de la falla. Una manera de cómo han atacado el problema, es simplemente rellenando o encarpetado el tramo afectado de la calle, para dar el nivel a la superficie de rodamiento.

Los asentamientos humanos y sus construcciones han permitido identificar la falla hidrogeológica, a través de sus impactos en dichas construcciones, como se ha mostrado en las fotos anteriores. En terrenos baldíos o en campo abierto es más difícil identificar las trayectorias de la falla por la poca uniformidad que puede existir en el terrero o por la vegetación existente. En este caso particular se encuentra un predio baldío en la zona de influencia de la falla, sobre la carretera Querétaro Tlacote, en la parte Poniente de la ciudad, donde actualmente se pretende realizar un nuevo fraccionamiento (Fraccionamiento ITALIA). La observación que se hace es saber si es de con cocimiento de los interesados la presencia de la influencia que tiene la falla geológica sobre la zona y sus posibles construcciones.

El problema es aún más grave en las autoconstrucciones ligeras tipo casas habitación de las colonias Populares, donde las personas de escasos recursos económicos, construyen con materiales y estructuraciones rústicas.

Por los escasos recursos con que cuentan, construyen estructuras económicas, suprimiendo elementos estructurales que proporcionan la rigidez y estabilidad necesaria para garantizar una seguridad mínima, como pueden ser: una buena cimentación con anclaje de castillos, cadenas de desplante y de cerramiento, losas macizas de concreto reforzado, entre otros. Algunos de estos elementos son omitidos en este tipo de construcciones debido a las razones señaladas. Por otro lado, en la mayoría de los casos consideran esta inversión como su único patrimonio familiar.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

De los trabajos efectuados en este proyecto de Investigación, se concluye que:

- La Información bibliográfica existente respecto a este tema es escasa, a la vez de que la existente solo se obtiene mediante este tipo de trabajos de investigación.
- La Temática de este proyecto, requiere de trabajo en equipo, en la que se incluya no solo ingenieros civiles, sino profesionistas y personas de diferentes áreas, para así obtener una visión más clara y general de la problemática, a la vez de que se particularizará por áreas de interés.
- Al conocer la fenomenología del problema se podrá abundar más respecto del tema así como dar soluciones al respecto.
- En el caso particular de la cd. de Querétaro el mecanismo de hundimientos y fallas se viene gestando con el rápido crecimiento de la población que demanda más recursos, a medida que se tienen problemas de agua, lo cual se vé reflejado en la sobreexplotación de los mantos acuíferos.
- De las fallas existentes que ya se encuentran identificadas (visualizadas, por los daños en construcciones por donde cruzan) no se cuenta con información de importancia con lo que puede ser:

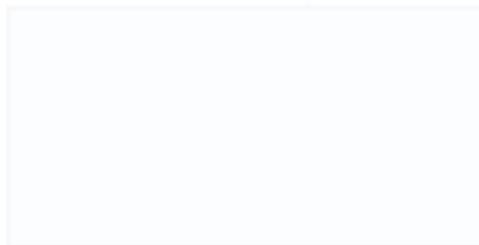
Mecanismo de falla

Velocidad de Hundimiento

Zona de afectación

Es por ello , la importancia que tiene este tipo de trabajos de investigación.

BIBLIOGRAFIA



BIBLIOGRAFIA

- **HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO**

Raúl J. MARSAL

Instituto de Ingeniería , UNAM

- **TESIS (MODELO GEODISTICO DE LOS PARAMETROS GEOHIDROLOGICOS DEL ACUIFERO DEL VALLE DE QRO)**

Guillermo San Roman Garcia

- **HIDROLOGIA SUBTERRANEA**

E. Custodio

M.R. Llamas

Ed. Trillas

- **TOPOGRAFIA**

Montes de Oca

Ed. Alfaomega

- **CARACTERIZACION GEOTECNICA DEL VALLE DE QUERETARO**

Alvarez Manilla Aceves Alofonso

M. en I. Maria de la Luz Perez Rea

Trabajo de Investigación, Posgrado Ingeniería UAQ

- **DIPLOMADO EN INGENIERIA ESTRUCTURAL**

Documento II

Universidad Autonoma de Querétaro

ANEXOS

MEMORIA DE PUNTOS COORDENADAS X,Y,Z

MEMORIA DE PUNTOS GEOMETRICOS
HUNDIMIENTO DEL VALLE DE QUERETARO
DEBIDO A LA SOBRE EXPLOTACION DE LOS MANTOS ACUIFEROS

PERFIL ZONA NORTE

C:\CivilCAD 6.0\Qro\PERFIL_NORTE
05/AGO/00 4:00pm Pagina 1

EST -----	PUNTO NO. -----	NORTE -----	ESTE -----	ASN -----
EST. No. 1	4	2,288,285.0822	350,100.4831	1,824.2469
EST. No. 2	8	2,287,988.1262	350,459.8420	1,826.2863
EST. No. 3	12	2,287,845.5744	350,620.3956	1,828.5494
EST. No. 4	24	2,287,734.9221	350,808.5317	1,832.5850
EST. No. 5	35	2,287,199.0552	351,366.8893	1,848.6271
EST. No. 6	38	2,287,166.4392	351,395.4485	1,848.0308
EST. No. 7	39	2,287,107.7998	351,362.4071	1,847.0662
EST. No. 8	58	2,286,324.1712	350,920.8752	1,829.0495
EST. No. 9	64	2,286,034.4678	350,768.3903	1,830.3667
EST. No. 10	72	2,285,826.6930	351,151.1700	1,833.3910
EST. No. 11	74	2,285,779.1161	351,229.8527	1,834.6592
EST. No. 12	76	2,285,637.1246	351,290.0953	1,835.5958
EST. No. 13	78	2,285,577.0933	351,375.5499	1,835.4059
EST. No. 14	82	2,285,505.7936	351,527.1534	1,836.7192
EST. No. 15	84	2,285,460.2461	351,531.4999	1,838.4319
EST. No. 16	94	2,285,327.5876	351,915.2205	1,857.3043
EST. No. 17	97	2,285,283.4772	352,023.4357	1,862.6307
EST. No.18	105	2,285,157.8006	352,054.9413	1,880.0422
EST. No.19	109	2,285,118.5327	352,258.6652	1,888.7301
EST. No.20	115	2,285,040.7878	352,337.3535	1,894.2298
EST. No.21	123	2,284,741.6102	352,684.9205	1,891.6455
EST. No.22	133	2,284,339.2419	353,143.3031	1,900.9887
EST. No.23	135	2,284,291.8519	353,202.7881	1,903.8109
EST. No.24	137	2,284,436.5702	353,425.1058	1,891.5197
EST. No.25	141	2,284,314.9295	353,701.9341	1,895.3025
EST. No.26	147	2,284,285.5162	353,844.3267	1,896.7443
EST. No.27	152	2,284,244.6093	353,940.4692	1,905.2007
EST. No.28	157	2,284,184.1631	354,009.7492	1,907.2918
EST. No.29	161	2,284,139.6263	354,032.5954	1,909.5712
EST. No.30	164	2,284,128.7066	354,131.3473	1,918.9969
EST. No.31	167	2,284,331.4262	354,245.6465	1,916.2916
EST. No.32	170	2,284,366.2424	354,483.3030	1,916.7024
EST. No.33	173	2,284,339.3613	354,605.4072	1,919.7280
EST. No.34	176	2,284,330.2186	354,743.0982	1,924.1760
EST. No.35	180	2,284,354.1311	354,864.2225	1,927.7571
EST. No.36	183	2,284,356.6882	354,939.9324	1,929.2625
EST. No.37	186	2,284,371.9662	355,001.4327	1,930.6854
EST. No.38	188	2,284,388.2491	355,027.5234	1,931.3519
EST. No.39	190	2,284,374.3432	355,089.8825	1,933.8073
EST. No.40	195	2,284,331.6938	355,176.7744	1,937.5155
EST. No.41	198	2,284,312.8387	355,255.4191	1,938.2147

EST. No. 42	201	2,284,265.8959	355,304.7828	1,941.4860
EST. No. 43	204	2,284,244.8537	355,377.9567	1,947.8866
EST. No. 44	207	2,284,245.3374	355,446.0987	1,955.1012
EST. No. 45	210	2,284,227.2201	355,482.1488	1,955.2646
EST. No. 46	213	2,284,129.1007	355,551.3958	1,955.6009
EST. No. 47	216	2,284,056.8633	355,541.5090	1,976.2888
EST. No. 48	219	2,284,031.5480	355,429.3386	1,990.1476
EST. NO. 49	222	2,283,914.8373	355,388.2535	2,000.9699
EST. NO. 50	225	2,283,645.0374	355,328.6653	1,994.6075
EST. NO. 51	244	2,282,853.6798	355,084.3045	1,992.7338
EST. NO. 52	247	2,282,644.7273	355,107.6643	2,006.5167
EST. NO. 53	252	2,282,538.3399	355,114.7119	2,013.7103
EST. NO. 54	254	2,282,506.7252	355,096.2304	2,014.4410
EST. NO. 55	257	2,282,419.8510	355,086.8553	2,018.9267
EST. NO. 56	260	2,282,342.9656	355,061.2226	2,018.4354
EST. NO. 57	263	2,282,232.6387	355,082.0934	2,021.4609
EST. NO. 58	268	2,282,129.7846	355,143.3014	2,028.2392
EST. NO. 59	271	2,281,954.9807	355,201.8692	2,035.8915

NOTA: LAS UNIDADES DE LAS COORDENADAS ESTAN DADAS EN METROS

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL HUNDIMIENTO DEL VALLE DE QUERÉTARO ZONA NORTE



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERÉTARO
DIPLOMADO DE INGENIERIA ESTRUCTURAL
FACULTAD DE INGENIERIA

ESTACION NÚMERO: 15

NORTE: 2,285,460.2461
ESTE: 351,531.4999
ASNM: 1838.4319

ANEXO NUMERO: 1



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL HUNDIMIENTO DEL VALLE DE QUERÉTARO ZONA NORTE



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERÉTARO
DIPLOMADO DE INGENIERIA ESTRUCTURAL
FACULTAD DE INGENIERIA

ESTACION NÚMERO: 55

NORTE: 2,282,419.8510
ESTE: 355,086.8553
ASNM: 2,018.9267

ANEXO NUMERO: 2



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL HUNDIMIENTO DEL VALLE DE QUERÉTARO ZONA NORTE



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERÉTARO
DIPLOMADO DE INGENIERIA ESTRUCTURAL
FACULTAD DE INGENIERIA

ESTACION NÚMERO: 57

NORTE: 2,282,232.6387
ESTE: 355,082.0934
ASNM: 2,021,4609

ANEXO NUMERO: 3



ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL HUNDIMIENTO DEL VALLE DE QUERÉTARO ZONA NORTE

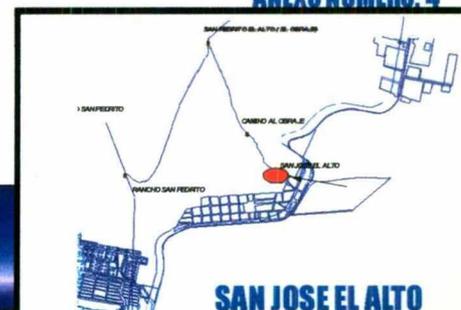


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERÉTARO
DIPLOMADO DE INGENIERIA ESTRUCTURAL
FACULTAD DE INGENIERIA

ESTACION NÚMERO: 58

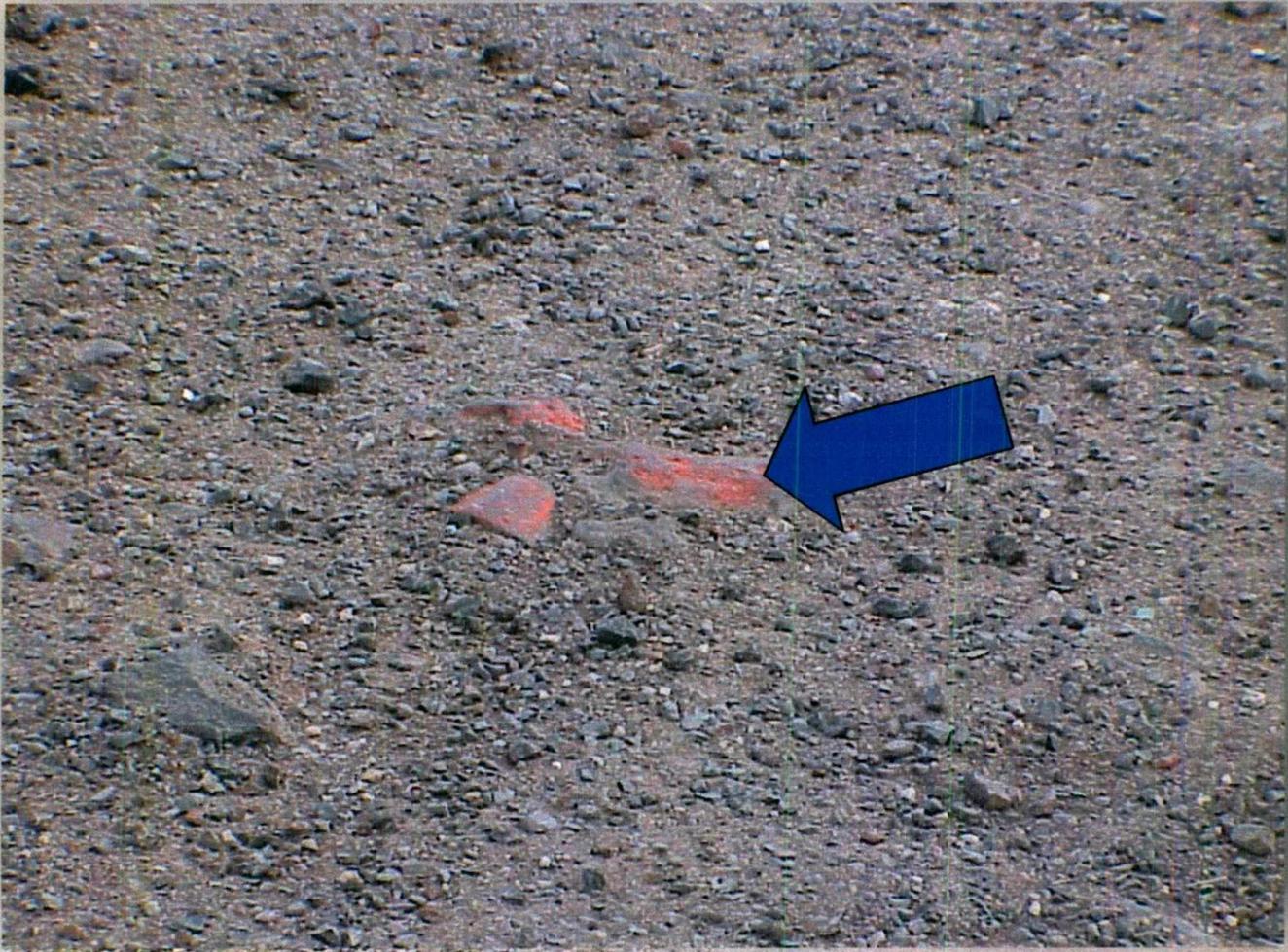
NORTE: 2.282.129.7846
ESTE: 355.143.3014
ASNM: 2.028.2392

ANEXO NUMERO: 4



SAN JOSE EL ALTO

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL HUNDIMIENTO DEL VALLE DE QUERÉTARO ZONA NORTE



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERÉTARO
DIPLOMADO DE INGENIERIA ESTRUCTURAL
FACULTAD DE INGENIERIA

ESTACION NÚMERO: 59

NORTE: 2,281,954.9807
ESTE: 355,201.8692
ASNM: 2,035.8915

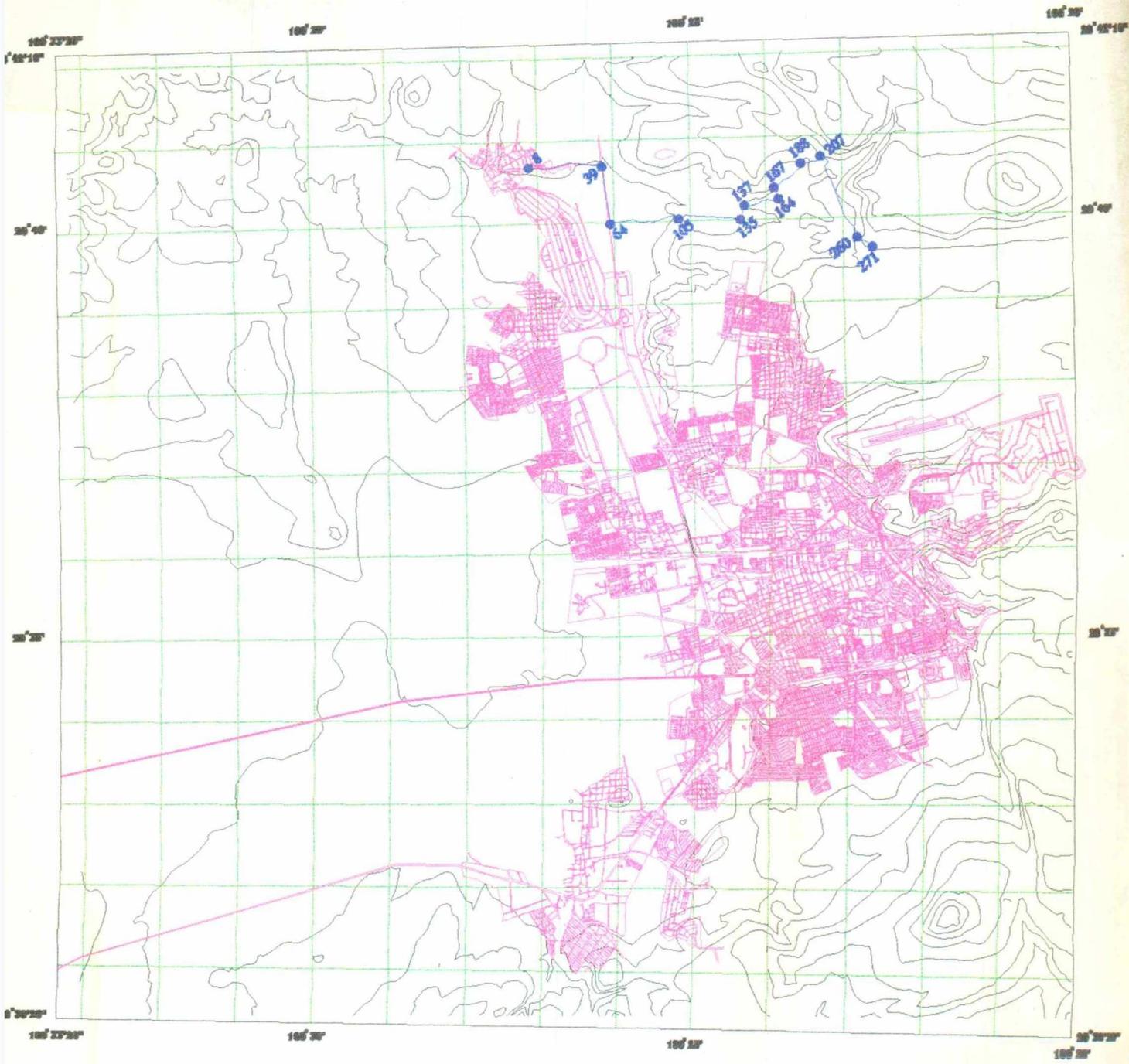
ANEXO NUMERO: 5



CAPITULO V.

"IMPACTO EN LAS CONSTRUCCIONES"

V.I. Falla Centro de la Ciudad de Santiago de Querétaro



NOTACION:

 CURVAS DE IGUAL PROFUNDIDAD DE NIVEL ESTÁTICO

 CURVAS DE NIVEL



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

División de Estudios de Posgrado



PROYECTO SIHGO DUV-1/96

CARTA 1. Nivelación Topográfica corte I-O al norte del Valle de Querétaro

