



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

ESTUDIO GEOTÉCNICO DE UN TERRENO COLAPSADO EN LA ZONA SUB-URBANA AL NW DE LA CAPITAL DEL ESTADO DE HIDALGO.

TRABAJO ESCRITO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

INGENIERO GEÓLOGO

P R E S E N T A :

MARURI ZAMORA JORGE ARNULFO

DIRECTOR: ING. LUIS ARTURO TAPIA CRESPO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D. F.

NOVIEMBRE, 2012



Agradecimientos

En este breve espacio, quiero reconocer y agradecer a todos mis compañeros, amigos y familiares que me impulsaron para finalmente concluir este proyecto de tesis, particularmente a los académicos (y sinodales) Ing. Luis Arturo Tapia Crespo, Director de tesis, e Ing. Miguel Ildefonso Vera Ocampo; quienes con su apoyo, dedicación y enseñanzas, mostraron el camino para dar forma y hacer posible el presente trabajo.

Además de los Ingenieros mencionados, agradezco a los académicos Ing. Enrique Faustino Del Valle Toledo, Ing. Javier Mancera Alejandrez, e Ing. Miguel Ángel Ruvalcaba Sepulveda, por aceptar la asignación como sinodales, además de sus valiosos comentarios y aportaciones al trabajo.

Entre algunas otras amistades, a Jesús Carrasco por su ánimo y valioso apoyo para la corrección de planos; A mi esposa Heysdy e hijo Jorge, por su amor; a mis hermanos Agustín y Lelia y a la memoria de mis queridos padres, Agustín y Tere... Y a todas aquellas personas especiales que de algún modo u otro han influido para el logro de este proyecto.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
60-I-110

SR. JORGE ARNULFO MARURI ZAMORA
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Arturo Tapia Crespo y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

ESTUDIO GEOTÉCNICO DE UN TERRENO COLAPSADO EN LA ZONA SUB-URBANA AL NW DE LA CAPITAL DEL ESTADO DE HIDALGO

- I INTRODUCCIÓN
- II ANTECEDENTES
- III GEOLOGÍA REGIONAL
- IV GEOLOGÍA LOCAL
- V ESTUDIO GEOFÍSICO
- VI GEOTECNIA
- VII CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

CD. Universitaria, D. F. a 15 de Febrero de 2012

El Presidente del Comité de Titulación de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

DR. JOSÉ ANTONIO HERNÁNDEZ ESPRIÚ

JAHE*EAGT*srs

ESTUDIO GEOTÉCNICO DE UN TERRENO COLAPSADO EN LA ZONA SUB-URBANA, AL NW DE LA CAPITAL DEL ESTADO DE HIDALGO.

ÍNDICE

- I. INTRODUCCIÓN
 - I.1 Antecedentes
 - I.2 Objetivo
 - I.3 Métodos de trabajo

- II. INFORMACIÓN GENERAL
 - II.1 Localización
 - II.2 Vías de acceso
 - II.3 Fisiografía
 - II.4 Geomorfología
 - II.5 Hidrología superficial y clima

- III. GEOLOGÍA REGIONAL

- IV. GEOLOGÍA LOCAL

- V. GEOFÍSICA
 - V.1 Métodos de prospección eléctrica
 - V.2 Análisis de datos e interpretación

- VI. GEOTECNIA
 - VI.1 Levantamiento topográfico
 - VI.2 Método de exploración directa
 - VI.3 Análisis geotécnico

- VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

I. INTRODUCCIÓN

I.1 Antecedentes

La ciudad de Pachuca data del siglo XV, cuando fue fundada por un grupo mexicana que la llamo Patlachiuhcan “lugar estrecho” o “lugar de plata y oro”; con la llegada de los españoles comenzó su auge minero a mediados del siglo XVI, mediante la explotación de vetas en las que fueron extraídos minerales preciosos, principalmente plata, para posteriormente ser embarcados hacia Europa.

Las obras realizadas para la explotación - que en algunos casos casi llegaron a la superficie - no fueron registradas en planos, y con el paso de los años y el crecimiento de la ciudad, la superficie de estos terrenos fue ocupada por la población para establecer sus viviendas. Por tal motivo, se sabe de la existencia de antiguos túneles de laboreo minero bajo las zonas que actualmente están habitadas, aunque su localización con exactitud es incierta. Estas estructuras pueden encontrarse a profundidades mayores a los 80 m y se comunican entre sí en varios puntos de las zonas altas de la ciudad, muchas de estas vetas han dejado de ser explotadas desde hace ya largo tiempo, y por tanto se les dejó de dar mantenimiento.

Se cree que alguno de estos viejos túneles mineros pasan por debajo del barrio El Arbolito, una zona densamente poblada que se encuentra hacia el NW del centro de la ciudad de Pachuca de Soto, ya en las faldas de la sierra de Pachuca y en los límites de la zona urbana; donde en el mes de Octubre del 2005 en la calle Peñuñuri #305, de este barrio, se produjo un colapso de terreno superficial que descubrió una cavidad de 12 m de profundidad y 16 m de diámetro.

Este evento propició que se realizaran varios estudios de reconocimiento del subsuelo en la zona, para evaluar las condiciones y el riesgo de futuros colapsos.

I.2 Objetivo

El objetivo de la presente tesis, es analizar las condiciones geológico-geotécnicas que originaron el hundimiento superficial que se suscitó en la antigua zona minera del barrio El Arbolito, en Pachuca de Soto, Hidalgo; mediante métodos, tanto indirectos como directos, así como observaciones directas de campo, delimitar la zona de riesgo, diseñar el tratamiento de remediación en la zona, y verter las recomendaciones apropiadas a un sitio densamente poblado.

I.3 Métodos de trabajo

Después de que las autoridades de protección civil del municipio de Pachuca de Soto tomaran conocimiento del hundimiento, se recabo información del subsuelo en la zona mediante bibliografía relacionada con la geología de la zona, realizándose un reconocimiento in-situ, tomografías eléctricas, levantamientos topográficos, tanto en superficie como dentro de dicho hundimiento y métodos directos de muestreo.

Al contar con la información necesaria, se continuó con la interpretación y análisis de la misma, para posteriormente hacer una recomendación que dé solución a la zona colapsada y así evitar sea desalojada la zona de riesgo.

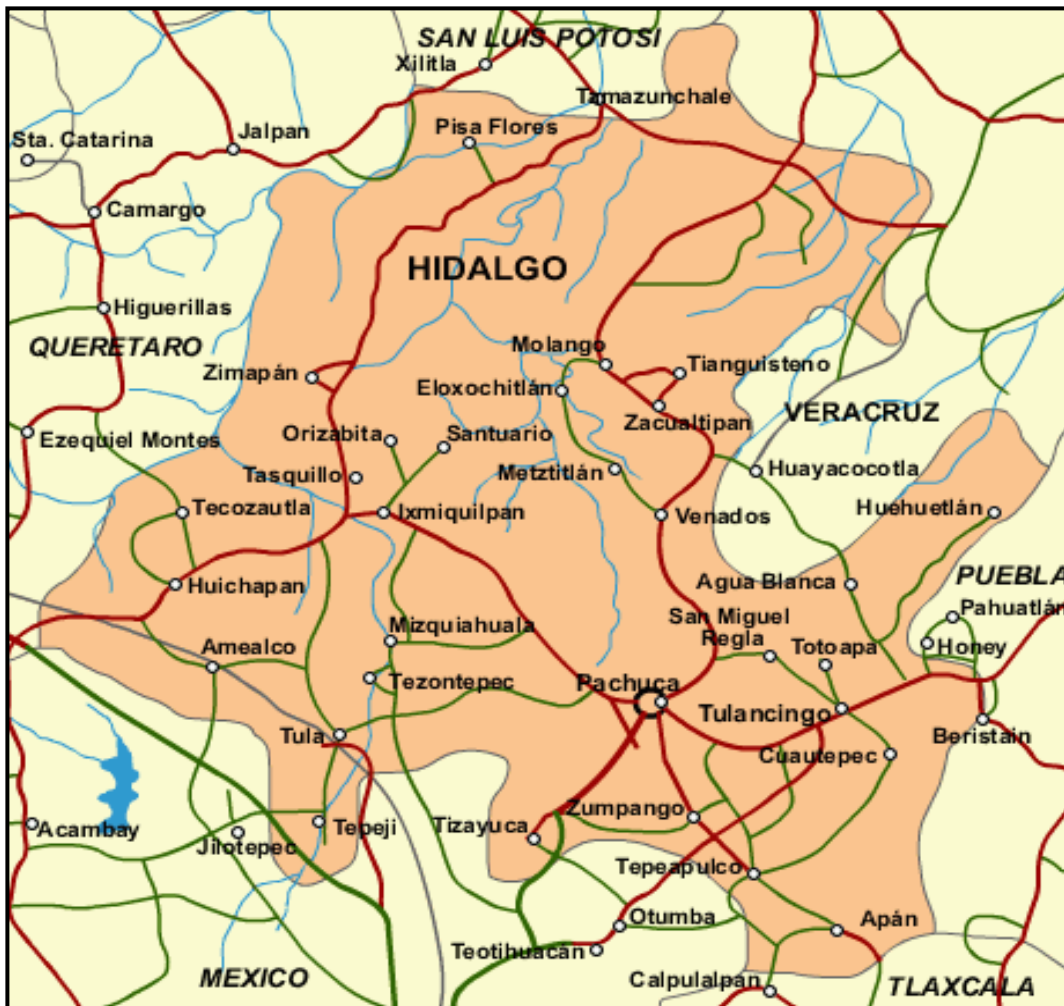


Fig. 2 Principales vías de acceso en el estado de Pachuca de Soto, Hidalgo

II.3 Fisiografía

La ciudad de Pachuca de Soto, se localiza en el límite de las subprovincias Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, que comprende desde la ciudad de Querétaro hasta Pachuca de Soto (vista aérea de la zona de estudio, fig. 3), es un corredor debajo de los 2000 msnm, que comprende lomeríos bajos de material volcánico encerrado desde todos los lados por un sistema de sierras y mesetas casi todos de origen volcánico, y al sur la subprovincia de Lagos y Volcanes del Anáhuac. Se encuentra en la provincia Fisiográfica de FVTM (Franja Volcánica Transmexicana), siendo el principal rasgo fisiográfico la Sierra de Pachuca. La FVTM constituye una franja volcánica que cruza transversalmente la República Mexicana a la altura del paralelo 20°.

II.4 Geomorfología

Se caracteriza en términos generales por la presencia de una gran cantidad de aparatos volcánicos asociados en su mayor parte a fracturas regionales, como son: conos cineríticos, volcanes compuestos, volcanes escudo y calderas, además de extensos flujos piroclásticos y derrames lávicos basálticos, que tienen forma de mesetas y planicies sobre las que se han originado algunos lagos, debido al cierre de las cuencas. De este tipo de fenómenos quedan huellas en el lago de Tecocomulco.

II.5 Hidrología y clima

Tiene un clima templado, con una temperatura media de 16°C con una precipitación media de 532 mm al año. Las lluvias caen principalmente de marzo a septiembre. Aunque frecuentemente la ciudad es afectada por frentes fríos, y los huracanes y tormentas tropicales que afectan al Golfo de México, debido a su cercanía a éste. El río Moctezuma, nace en la Sierra de Pachuca y por la gran extensión que irriga es el más importante; sirve de límite entre el estado de Hidalgo y los de San Luis Potosí y Querétaro; confluyen a este río gran cantidad de aguas provenientes del río Tizayuca (Amajaque) al que se le une el río Claro. Los ríos de cauce menor que confluyen también en el río Moctezuma se encuentran al este y noreste del Estado y son: el Tenexco y Chahuatlán, que se unen para formar el río Encinal o Calabozo.



Fig. 3 Localización de la zona de estudio. Barrio El Arbolito, ubicado al NW de Pachuca de Soto, Hidalgo.

III. GEOLOGIA REGIONAL

La geología consta de un basamento de rocas metamórficas de edad precámbrica, en discordancia con una secuencia de rocas sedimentarias paleozoicas, seguidas por rocas sedimentarias mesozoicas del Triásico, Jurásico y Cretácico que sobreyacen en discordancia angular a las rocas anteriores estando éstas a su vez cubiertas por un cenozoico que en la base es marino, para cambiar hacia su cima a rocas volcánicas de composición andesítica y basáltica (fig. 4).

III.1 Precámbrico (PÉ)

Las rocas más antiguas que se conocen en la entidad son gneises granulíticos de color gris verdoso, los cuales afloran aproximadamente 5 km², en las cercanías del río Chinameca y de Huiznopala, (Fries y Orta, 1965). Está constituido por cuarzo, ortoclasa, plagioclasas, con biotita, apatita, zircón y granate, su origen se considera meta sedimentario del Proterozoico 1,210 +/- 140 Ma. Esta unidad denominada Gneis Huiznopala subyace discordantemente a la Formación Guacamaya, una secuencia de lutitas, areniscas, conglomerados y calizas del Pérmico Inferior.

III.2 Paleozoico (Pz)

Las rocas paleozoicas que se conocen en el estado corresponden a la Formación Guacamaya. Esta formación se ha descrito al noreste de Zacualtipán, Molango y Otongo y consta de una secuencia rítmica de sedimentos del Pérmico Inferior, (Carrillo Bravo, 1965). Esta formación calcárea, representa más de 200 m de espesor, contiene fusilínidos, braquiópodos y peliépodos, presenta horizontes con abundante flora fósil; estratigráficamente subyace discordantemente con la Formación Huizachal, y su contenido de plantas fósiles es indicador paleogeográfico de la existencia cercana de islas o continentes.

III.3 Mesozoico

Triásico (Tr)

La Formación Huizachal (Carrillo Bravo, 1961), consiste de una secuencia hasta de 2,000 m de espesor de lutitas limolíticas, areniscas y conglomerados de color rojo con flora del Triásico Superior. Estas rocas afloran en el anticlinorio Huizachal Peregrina. También aflora en la barranca de Chipoco en el municipio de Otongo, Hidalgo. El contacto inferior de esta formación en la región de Calnali, Hidalgo, es discordante y angular con las rocas pérmicas de la Formación Guacamaya, aunque en ocasiones no es visible ya que un paquete de rocas volcánicas cubre este contacto. Los estudios de plantas fósiles indican una edad Triásico Tardío y probablemente Jurásico Temprano.

Jurásico Inferior (Ji)

Imlay (1948), denominó Formación Huayacocotla a una sección de más de 300 m de espesor, situada en Tlahuelompa y Tianguistengo, norte de Tulancingo, Hidalgo, la cual está constituida por una secuencia de lutitas y areniscas de grano fino en bancos gruesos. Estas rocas se encuentran ampliamente distribuidas en la región de Huayacocotla, sobreyace discordantemente a rocas pérmicas y del Triásico Superior. Su localidad tipo se ubica al sur de la población de Huayacocotla. De acuerdo con Schmidt Effing, Reinhard (1980), forma el

relleno de una cuenca de extensión (Rift Basin) de orientación NNW, longitud 600 km y ancho de 200 km.

Jurásico Medio (Jm)

La Formación Cahuasas es una secuencia de sedimentos de origen continental constituida por areniscas, conglomerados y limolitas de color rojo de aproximadamente 1,000 m de espesor. Su localidad tipo está en el rancho Cahuasas en Hidalgo sobre un costado del río Amajac al sureste de Chapulhuacán. Esta formación sobreyace discordantemente a la Formación Huayacocotla y subyace estratigráficamente a la Formación Tamán. Se trata de sedimentos aluviales y fluviales depositados en cuencas intermontanas, asociadas probablemente a estructuras de graben.

Jurásico Superior (Js)

El Jurásico Superior en el Estado ha sido ampliamente estudiado, estratigráficamente comprende las formaciones siguientes: Las Trancas y sus equivalentes en tiempo, Tamán, San Andrés y Pimienta. La Formación Las Trancas (Segerstrom, 1956), está constituida por lutitas, limolitas calcáreas ligeramente filíticas de color gris oscuro con intercalaciones de caliza arcillosa y capas delgadas de grauvacas y pedernal negro. La base de esta formación no se encuentra expuesta y su cima aflora en el puerto de Las Trancas situado en el km 217 de la carretera federal N°85 México-Nuevo Laredo, por su contenido faunístico se considera de edad Kimmeridgiano-Titoniano (144-156 ma).

La Formación Tamán (Heim, 1940), comprende un paquete de calizas manganesíferas de estructura bandeada que subyace concordantemente a la Formación San Andrés, y está representada por calizas oolíticas, peletoides, bioclásticas e intraclásticas, que en algunas partes se encuentran dolomitizadas.

La Formación Pimienta (Heim, 1926), en la localidad tipo, tiene un espesor de 300 m. Sobreyace concordantemente a la Formación San Andrés. Litológicamente está constituida por calizas arcillosas de estratificación delgada con intercalaciones de lutitas carbonosas. Con base en el contenido faunístico se ha determinado que la edad de esta formación es Titoniano.

Cretácico

El período Cretácico, está representado por una amplia variedad de rocas calcáreas marinas con intercalaciones de lutitas, limolitas y pedernal negro en la mayor parte de éstas. Estas rocas ocupan la mayor parte de la porción norte central del estado de Hidalgo y abarcan aproximadamente 3,750 km² de la Sierra Madre Oriental.

Cretácico Inferior (Ki)

El Cretácico Inferior está caracterizado por la presencia de importantes espesores de rocas sedimentarias carbonatadas y evaporitas como dolomitas, yeso, anhidritas y calizas. El Cretácico Inferior ha sido estudiado en el área de Huayacocotla, en el río Chinameca y en el camino Yatipán Tianguistengo. Comprende 4 unidades estratigráficas que están distribuidas en la porción norte central del Estado, mencionándolas de la más antigua a la más joven se tiene la Formación Tamaulipas Inferior, que consta de calizas micríticas densas de estratificación media a gruesa, y ocasionalmente horizontes bentoníticos verdes con presencia de nódulos de pedernal y especialmente de estilolitas bien desarrolladas. Su edad es Hauteriviano-Barremiano (127-142 ma), y su espesor aproximado es de 400 m. Esta

formación subyace discordantemente al Horizonte Otates, el cual según Muir (1936) consta de calizas, arcillas de estratificación media, en alternancia con lutitas laminares, ocasionalmente presenta pedernal Este horizonte tiene un espesor de 10 a 15 m y es de edad aptiana (121 ma).

La Formación Tamaulipas Superior (Muir, 1936), está formada en la base por calizas de grano fino de color blanco y amarillo crema en estratos delgados que alternan con estratos gruesos. En la cima consta de calizas de grano fino con estratificación ondulante de espesor variable, con nódulos de pedernal intercalados con margas laminadas. La edad de esta formación se ha determinado como del Albiano -Cenomaniano, con base en su contenido faunístico y su espesor aproximado es de 400 m.

La Formación El Doctor (Segerstrom, 1961), está constituida por calizas bien estratificadas con capas de potencia variable, las más gruesas generalmente se encuentran en la base y las más delgadas hacia la cima, debido a los cambios laterales y verticales que se ha observado en esta unidad, subdividiendo en 4 facies, éstas son: San Joaquín, Cerro Ladrón, Socavón y La Negra. El ambiente de depósito es de plataforma con facies arrecifales. Por la fauna se le asigna una edad del Albiano-Cenomaniano (98 ma).

Cretácico Superior (Ks)

Esta secuencia de rocas calcáreas marinas tiene una menor distribución en el Estado, aflora principalmente en los flancos oriental y occidental de la Sierra Madre Oriental, forma lomeríos de pendientes más suaves que las que conforman las sierras del Cretácico Inferior. Se encuentra constituida por 5 unidades, mencionándolas de la más antigua a la más joven son la Formación Soyatal, constituida por calizas de estratos delgados, interestratificadas con bandas de pedernal, de edad del Turoniano (88 ma), su espesor medio es de 300 m subyace en forma discordante a la Formación Mezcala (Fries, 1960), consiste de una secuencia que en su sección inferior presenta una alternancia de limolitas, lutitas, margas, calizas y areniscas, hacia su sección superior predominan los terrígenos, incluyendo intercalaciones conglomeráticas, y desaparecen los horizontes calcáreos. Su espesor es del orden de 1,000 m, subyace a la Formación Agua Nueva, constituida por calizas de estratificación delgada (Stephenson, 1921), en forma discordante, el espesor de esta formación es de 120 m, de edad Turoniano-Santoniano, esta formación a su vez es concordante con la Formación San Felipe, la cual aflora en la carretera Venados-León-Meztítlán y se encuentra constituida por calizas margosas con intercalaciones de arcilla bentonítica, el espesor de esta formación es de 120 m (Muir 1936). Así mismo, ésta se encuentra en contacto transicional con la Formación Méndez constituida principalmente por margas, con intercalaciones menores de arenisca hacia la cima de la formación, abarca del Campaniano al fin del Maestrichtiano, en la región de Meztítlán se han medido espesores de 200 a 300 m.

III.4 Cenozoico

Terciario marino (Tm)

Esta asociación de rocas se encuentra ampliamente distribuida en la porción noreste del estado, abarcando una superficie de aproximadamente 2,800 km², representada por la Formación Chicontepec, que comprende sedimentos de aguas profundas de la cuenca de Tampico-Mizantla. Comprende alternancias rítmicas de areniscas, limonitas y lutitas. Se le ha asignado una edad Paleoceno Eoceno Temprano (Benavides G L, 1969)

Terciario continental (Tc)

Esta unidad litológica está representada por la Formación El Morro que consiste de un conglomerado fluvial lacustre que aflora hacia el poniente y norte de la ciudad de Pachuca, está cementado, tiene inclinaciones que varían entre los 20° y 60° y presenta como componentes principales fragmentos de calizas, areniscas, pedernal y rocas volcánicas, alojadas en una matriz arenosa, los fragmentos varían de subangulosos a redondeados con tamaños de 0.02 a 0.50 m.

Su contacto inferior es discordante con las formaciones más antiguas y su contacto superior también es discordante con el paquete volcánico del Terciario y un espesor aproximado de 400 m. A esta unidad le asignan una edad del Eoceno Superior-Oligoceno, (Fries, 1955).

Terciario volcánico (Tv)

El más antiguo, Pre Mioceno Superior, de composición andesítica, el intermedio del Mioceno Superior al Plioceno, característicos del Eje Neovolcánico, también andesítico basáltico, el último, a finales del Plioceno y Cuaternario, muy ampliamente distribuido, y de carácter andesítico y basáltico. Las unidades correspondientes son:

Grupo Pachuca (Fries, 1963) La mineralización económica se encuentra emplazada en esta secuencia de 8 formaciones comprendidas por rocas volcánicas y vulcanoclásticas cuyos nombres en orden ascendente son Santiago, Corteza, Pachuca, Real del Monte, Santa Gertrudis, Vizcaína, Cerezo y la Formación Tezuantla. Todas las formaciones mencionadas están constituidas por capas o estratos interdigitados, compuestos por corrientes lávicas de composición riolítica, dacítica y andesítica con una textura porfídica; brecha volcánica, conglomerado volcánico, tobas y areniscas tobáceas (Geyne, 1963). Su espesor es mayor de 2,000 m. Su edad se ha asignado al Oligoceno, Mioceno (y probablemente Plioceno).

Formación las Espinas. Está constituida por un paquete de derrames de rocas volcánicas que varían de andesitas a basalto, tobas, brechas andesíticas que lateralmente cambian a latitas y cuarzolitas, material volcanosedimentario constituido por tobas arenosas, tobas bentoníticas y paleosuelos intercalados. Esta formación está cubierta discordantemente por la Formación El Morro y su espesor máximo es de 400 m

Tobas Don Guiño. Esta unidad fue nombrada por Segerstrom (1956), se encuentra constituida por tobas riolíticas y brechas riolíticas y dacíticas, que representan derrames piroclásticos e ignimbritas, se encuentran aflorando a unos 20 km al poniente de Ixmiquilpan, tienen un espesor aproximado de 170 m, un fechamiento radiométrico señala una edad Plioceno (5.3 ma).

Formación Zumate. Esta unidad sobreyace en discordancia angular al Grupo Pachuca (Fries, 1963). Está constituida por una sucesión de derrames de lavas dacíticas, aglomerados de composición dacítica y lahares o derrames de lodo volcánico, que afloran en las sierras de Pachuca y Actopan Su espesor medido de esta unidad es de 500 m, subyace en discordancia erosional a la Formación San Cristóbal (Fries, 1963), se le ha asignado una edad del Plioceno Superior (3.4 ma).

Formación Tezuantla. Esta formación está integrada por una serie de derrames de lavas dacíticas que muestran una coloración en forma bandeada que es el producto de alteración y

fluidez, su espesor máximo es de 150 m y aflora al norte del distrito de Pachuca Real del Monte.

Formación San Cristóbal. El nombre de esta formación fue propuesta por Geyne (1963), para un paquete de rocas intermedias y máficas compuestas por derrames de andesitas y basaltos de olivino, su espesor es de aproximadamente 300 m, aflora en la región de Pachuca Real del Monte (Fries, 1960).

Formación Tlanchinol. Esta formación según Robín (1975), fue definida como una secuencia de derrames basálticos que descansan sobre sedimentos marinos. Los derrames de basaltos destacan formando mesas y cerros testigos que se les asigna una edad de 710 ± 03 ma (Cantagrel y Robín, 1979)

Formación Tarango. Se encuentra representada por material clástico que se acumula rellenando amplios valles. Esta formación fue depositada por corrientes de aguas superficiales que acumularon gravas, arenas, limos y arcillas Su espesor aproximado es de 400 m (Fries Jr, 1962)

Formación Atotonilco El Grande. Los sedimentos que componen a esta formación se diferencian poco de los de la Formación Tarango. Se encuentran constituidos por conglomerados, arenas y arcillas, ciertas capas son margosas, el espesor medido de esta formación es de 500 m (Fries Jr, 1962).

Cuaternario basáltico (Qb)

La actividad volcánica en el Cuaternario fue también muy intensa principalmente en el Eje Neovolcánico dando lugar al depósito de rocas ígneas extrusivas tales como andesitas y basaltos.

Las rocas agrupadas en la construcción de la caldera de Huichapan constituyen los últimos productos del vulcanismo en la estructura y es posible que sean contemporáneos con algunos de los productos que edificaron el volcán de Nopala. En los bordes de la caldera se han observado brechas de escoria básicas, derrames andesíticos y basálticos formando una gran cantidad de volcanes cineríticos monogenéticos (Silva Mora, 1991).

Cuaternario (Qal)

Entre los depósitos cuaternarios puede ser mencionado el suelo rojo residual que está desarrollándose principalmente sobre el borde oriental de la plataforma de Valles San Luis Potosí, en la Formación El Doctor.

Conglomerados fluviales. Se encuentran constituidos por fragmentos angulosos y subangulosos de calizas del Cretácico Inferior en tamaños que van de unos cuantos centímetros hasta un metro, dichos fragmentos están cementados por carbonatos y arcillas, se encuentran depósitos en forma de abanicos aluviales en los alrededores de Zimapán, alcanzando un espesor máximo de 15 m. (Simons y Mapes, 1956).

Terciario ígneo intrusivo (Til)

Las rocas ígneas ocupan aproximadamente 5% del territorio. (Segerstrom, 1961) El tronco de composición félsica localizado cerca de Jacala es granítico y cubre una superficie aproximada de 0.25 km². Este tronco es el más septentrional de un grupo de intrusivos de composición granítica, granodiorítica y diorítica que afloran en la región de Encarnación San Nicolás Cerro del Águila. La edad radiométrica de estas rocas varía de 62.2+/-41.5 ma.

En la región de Zimapán, el cuerpo intrusivo de mayor importancia es una monzonita cuyos afloramientos se ubican al norte noroeste de esta población, en la mina El Carrizal. Asociadas a este cuerpo, se tienen intrusiones menores y numerosos diques de la misma composición emplazados en los planos de estratificación de las rocas sedimentarias marinas de Cretácico Inferior (JICA, 1980).

COLUMNA ESTRATIGRAFICA

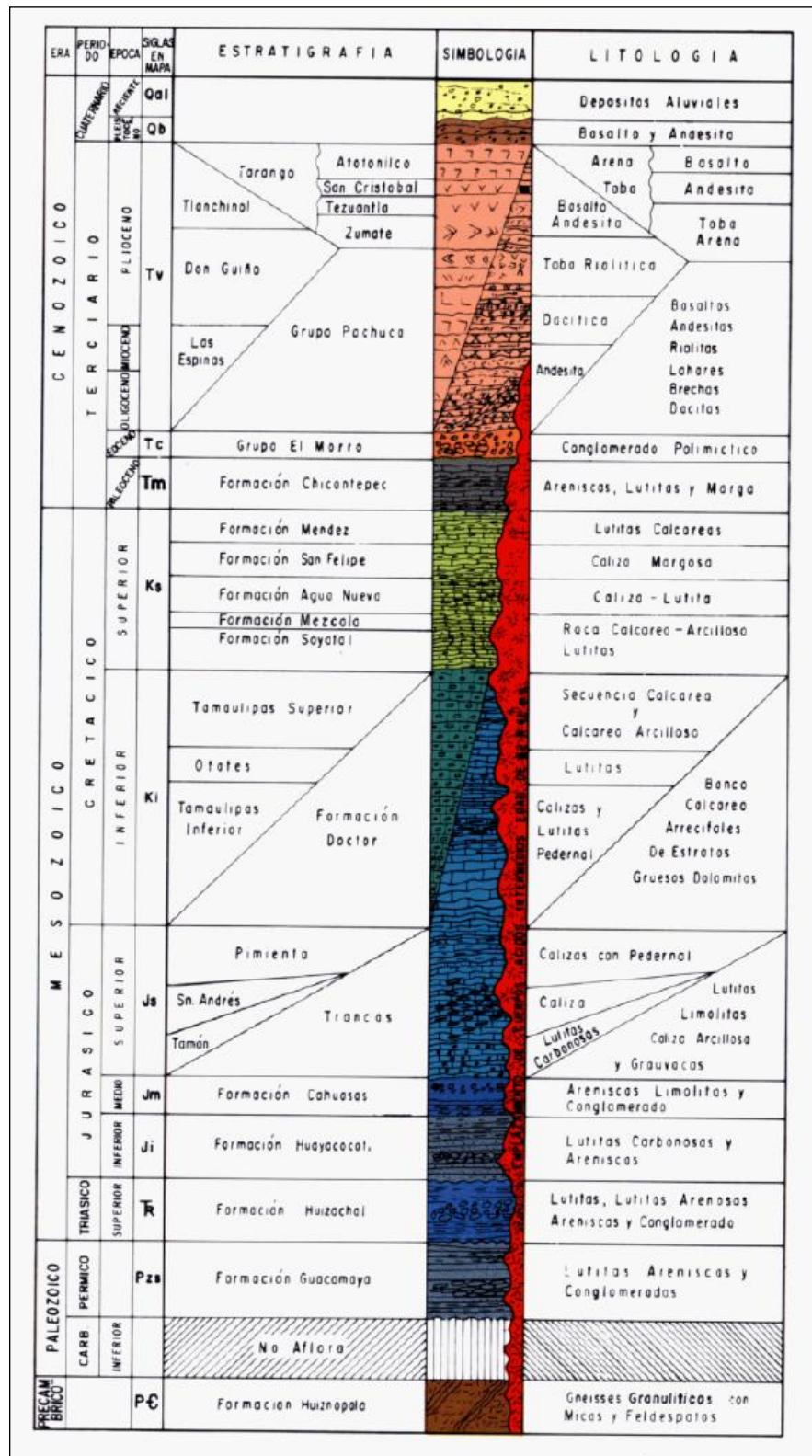


Fig. 4 La estratigrafía del estado data del precámbrico, con rocas metamórficas en su base, sedimentarias en el paleozoico y mesozoico y coronadas por rocas volcánicas en la cima del cenozoico (Yta, et al., 1999).

IV. GEOLOGIA LOCAL

La columna geológica está conformada por una variedad de rocas sedimentarias representadas por calizas, lutitas, areniscas, margas y conglomerados, cuya edad va de la parte alta del Cretácico Inferior (Formación El Doctor) hasta la base del Cenozoico, cubiertas posteriormente por una variedad de rocas volcánicas de composición riolítica y andesítica (fig. 4) las cuales se encuentran intrusionadas por diques ígneos del Terciario Tardío, la estructura de dicha litología es del tipo brecha, toba y derrame, a manera de niveles heterogéneamente repetitivos que se caracterizan por estar fuertemente alterados, así como intensamente fracturados. Las rocas del Cuaternario consisten principalmente de productos volcánicos basálticos, masas extrusivas de traquita, depósitos aluviales derivados de estos y material de talud, así como tobas. La consistencia de la columna litológica es heterogénea debido a varios factores como son la alteración, el fracturamiento y la escasa consolidación de la base de cada nivel litológico y sobre todo cuando se trata de niveles brechoides y tobáceos.

La alteración presente en las rocas es de dos tipos: una hidrotermal relacionada a los fluidos que dieron origen a los yacimientos minerales del distrito minero emplazados en lo que se conoce como Grupo Pachuca, esta alteración ha producido la transformación de los minerales primarios de la roca (plagioclasas, piroxenos, anfíboles), transformándolos en minerales de menor dureza y menor cohesión entre ellos (sericita, clorita, caolinita, etc.), lo que hace a la roca inconsistente; por otro lado, la alteración meteórica ha sido más destructiva, sin embargo es más superficial debido a que los fluidos son de carácter descendente. Ambos tipos de alteración se suman y se tornan un factor que ha aumentado el grado de inconsistencia de las rocas de la zona.

Es importante mencionar que la mineralización económica se encuentra emplazada en lo que se conoce como Grupo Pachuca (Gaytán, 197; JICA, 1980), representado por la formaciones Santiago, Corteza, Pachuca, Real del Monte, Santa Gertrudis, Vizcaína, Cerezo, Tezuantla y Zumate: cuyas secuencias litológicas están compuestas principalmente por corrientes lávicas de composición riolítica, dacítica y andesítica con una textura porfídica. Estas formaciones (de edad Plioceno Superior) están representadas por rocas andesíticas y basaltos de olivino, así como por depósitos aluviales ligeramente cementados, masivos a bien estratificados.

A continuación se describen (Fig. 4) las formaciones reportadas en la localidad (Gaytán, 1975; JICA, 1980):

ESTRATIGRAFÍA LOCAL		
Época	Unidad de Roca	Espesor (m)
Pleistoceno y reciente	Deslizamientos de tierra y tobas	0-30
Pleistoceno y reciente	Aluvión	0-210
Pleistoceno y reciente	Traquita Guajolote	0-200
Pleistoceno y reciente	Flujos de Basalto de Olivino, brechas y cenizas	0-500
Plioceno	Formaciones: San Cristóbal Riolita Navajas Atotonilco El Grande Tarango	0-500
Plioceno	Fm Zumate	0-360
Plioceno	Fm Tezuantla	0-150
Plioceno	Fm Cerezo	0-200
Mioceno	Fm Vizcaína	0-600
Mioceno	Fm Sta. Gertrudis	0-350
Mioceno	Fm Real del Monte	0-350
Oligoceno	Fm Pachuca	110-620
Oligoceno	Fm Corteza	50-300
Oligoceno	Fm Santiago	480
Eoceno	Grupo El Morro	0-200
Cretácico Superior	Fm Mezcala-Méndez	0-500
Cretácico Inferior	Fm El Doctor	100-1000

Fig. 4

La columna estratigráfica de la cavidad (Fig. 5), fue descrita como se muestra a continuación:

Profundidad (m)	<u>Descripción</u>
0.0 – 0.4	Material heterogéneo compuesto principalmente por cascajo.
0.4 – 2.0	Roca de color pardo grisáceo con textura afanítica, estructura compacta, densidad media, cuya composición mineralógica primordialmente son feldespatos tipo plagioclasas intermedias y ferromagnesianos. Es una roca ígnea extrusiva con estructura lajeada.
2.0 – 5.0	Horizonte constituido por arcilla de color castaño oscuro, saturada y plástica con un contenido incipiente de arena fina.
5.0 – 8.0	Brecha color pardo claro con fragmentos líticos con tamaños desde 12.0 cm de diámetro hasta el tamaño de la arcilla (0.074 mm). La forma de los clastos más grandes es equidimensional angulosa embebidos en una matriz limo-arenosa y se hallan de manera aleatoria y errática, la composición de éstos es esencialmente andesítica aunque existen algunos otros vítreos.
8.0 – 12.0	Brecha color pardo oscuro con fragmentos líticos con tamaño de 12.0 cm de diámetro hasta el tamaño de la arcilla. La forma de los clastos es equidimensional angulosa embebidos en una matriz limo-arenosa y se hallan de manera aleatoria y errática, la composición de éstos es esencialmente andesítica aunque existen algunos otros vítreos.

Fig. 5 La descripción de la estratigrafía en la cavidad, fue descrita por exploración in-situ, en correlación con la exploración directa e indirecta, realizada en la zona de interés.

V. GEOFÍSICA

V.1 Métodos de prospección eléctrica

Estos estudios se llevaron a cabo en el barrio El Arbolito, dentro de la zona relacionada con el hundimiento. El método geofísico utilizado fue el de tomografía eléctrica; éste se eligió en función de la capacidad de resolución de rasgos, profundidad y facilidad de aplicación en una zona urbanizada.

Estos métodos eléctricos estudian la respuesta del terreno cuando se propagan a través de él corrientes eléctricas continuas (DC). El parámetro físico que se controla es la resistividad (ρ) y la interpretación final se hace en función de las características geológicas de la zona. La resistividad es una propiedad intrínseca de las rocas y depende de la litología, estructura interna y - sobre todo - de su contenido en agua, no siendo una propiedad isótropa en la masa rocosa.

La medida de las resistividades del subsuelo se lleva a cabo en los siguientes pasos:

- Introducción en el terreno de una corriente continua de intensidad (I), mediante dos electrodos (A y B), conectados a una fuente de energía.
- Medida de la diferencia de potencial ΔV , generada por el paso de la corriente, entre dos electrodos (M y N).
- Cálculo de la resistividad del espesor de terreno afectado por el paso de la corriente.

La resistividad que se obtiene no corresponde a una unidad litológica concreta, sino que define al conjunto de materiales afectados por el paso de corriente, y se denomina resistividad aparente (ρ_a):

$$\rho_a = K(\Delta V/I)$$

Donde K es la constante de configuración geométrica del dispositivo en cada medida, que depende de las distancias entre electrodos AM, MB, AN y NB. Modificando la configuración de electrodos se obtienen múltiples posibilidades de investigación. Lo más frecuente es utilizar configuraciones normalizadas, siendo las más comunes las denominadas "Schlumberger" y Wenner". La primera es simétrica, con los electrodos de potencial MN interiores y alineados con los de corriente AB, y separación entre M-N interior a 1/5 de A-B. En la segunda, la disposición es igual, salvo que las distancias A-M, M-N y N-B son iguales. Los aparatos a ocupar son similares para las distintas configuraciones y consisten en una caja de baterías, electrodos de corriente y potencial, cables de conexión y resistivímetros.

Los métodos más comunes son los sondeos eléctricos verticales y las calicatas eléctricas.

Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

Esta técnica consiste en separar sucesivamente los electrodos de corriente A y B del punto central, siguiendo una línea recta, y medir la resistividad en cada disposición. La resistividad aparente calculada será, por tanto, la correspondiente a mayores espesores según se van separando los electrodos. Se emplea generalmente la configuración Schlumberger. El resultado que se obtiene del SEV es la variación de la resistividad ρ con la profundidad en el punto central del perfil investigado. Las profundidades más habituales de investigación están entre 0 y 200 m.

Calicatas Eléctricas (CE)

Para su realización se adopta un dispositivo de tipo Wenner, donde las distancias entre electrodos son iguales moviendo lateralmente el dispositivo a lo largo de un perfil seleccionado. De esta manera se detectan las variaciones laterales de la resistividad aparente, ρ_a , a una profundidad aproximadamente constante. Las profundidades más habituales de investigación están entre 0 y 50 m.

Dipolo-Dipolo o pseudosecciones

Se sitúa el dipolo MN lateralmente al AB y alineado con él. Posteriormente y manteniendo fijo el dipolo AB, se desplaza sucesivamente el MN: a continuación se mueve un paso AB y se repite el proceso. El resultado de esta técnica es un perfil de resistividades en el terreno o pseudosección.

La interpretación de las investigaciones eléctricas se realiza mediante aplicaciones informáticas que proporcionan unos resultados más confiables por el parecido con el modelo geológico real. El proceso de interpretación consiste en obtener la distribución real de las resistividades del subsuelo. El resultado final presenta en falso color la distribución real de las resistividades a profundidad (fig 6), de tal manera que permite un mejor análisis en la identificación de estructuras. La pseudosección obtenida representa los valores de resistividad aparente en el subsuelo. Es necesario calcular la distribución de las resistividades verdaderas, que será ya una imagen interpretable desde el punto de vista físico y geológico.

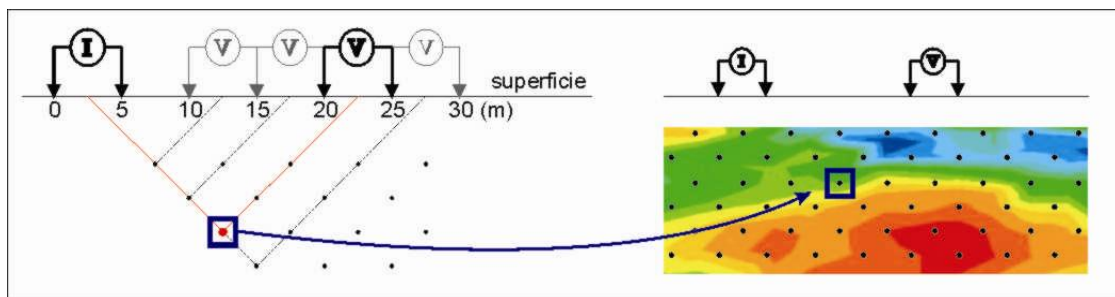


Fig. 6 Pseudosección mostrando en falso color la distribución real de las resistividades a profundidad, de tal manera que permite un mejor análisis en la identificación de estructuras.

V.2 Análisis de Datos e Interpretación

El trabajo de Tomografía Eléctrica se llevo a cabo sobre 5 líneas o secciones, que rodean el hundimiento observado en la calle Peñuñuri N° 305. Como ya se mencionó, se utilizó un arreglo tetrapolar en su modalidad de Dipolo-Dipolo. La nivelación de cada punto con precisión de 0.005 m, para corregir el perfil del relieve del terreno y localizar las posibles anomalías a profundidad.

Los electrodos se seleccionaron de tal manera que permitieran una adecuada conducción de la energía eléctrica y que logran atravesar la capa de concreto que cubre las calles donde se realizó el estudio (fig. 8). Así mismo se mantuvieron húmedos con una solución de agua y sal durante la adquisición, todo ello para asegurar que la resistencia de contacto fuera pequeña.

Barrio El Arbolito, Pachuca, Hgo.

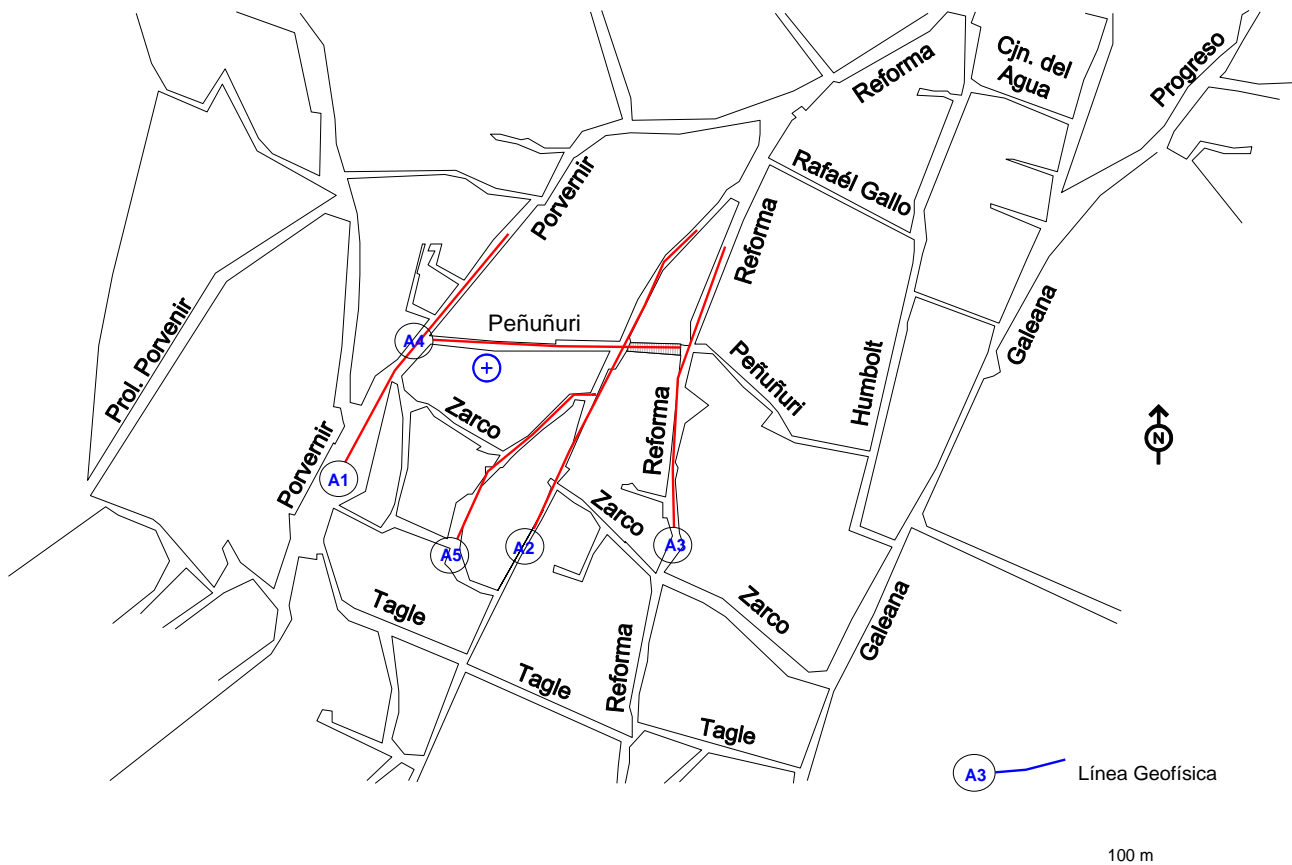


Fig. 7 Localización del arreglo de cinco secciones de tomografía eléctrica, efectuado en las inmediaciones de la zona de estudio.

Los datos obtenidos fueron procesados por el programa RED2INV. A continuación se detallan los resultados para cada perfil interpretado:

PERFIL	POSICION	PROFUNDIDAD	RESISTIVIDAD
	x (m)	z (m)	ohm-m
A1	30	menor de 3	400
	90-105, 120	~4,4	5
	45	6	100
A2	90*	16*	450*
	40*	14*	5*
	94	11	5
	110-130	7	5
A3	40*	17*	5*
A4	27	2.5	100
A5	60-75*	8*	450*

Fig. 8 Anomalías de interés encontradas en los perfiles de tomografía eléctrica. (*) Valores donde se sugiere realizar un barreno exploratorio.

(A1) Calle Porvenir:

Los resultados muestran que a profundidad existe un subsuelo de resistividad aproximada de 21 ohm-m. Para los primeros metros de profundidad se encuentra una zona heterogénea donde se observan en los primeros 30 m del perfil zonas de alta resistividad 400 ohm-m a una profundidad menor de 3 m. Estos valores se pueden asociar a heterogeneidades locales, posiblemente rocas de origen andesítico. De igual forma, las resistividades bajas del orden de 5 ohm-m se pueden asociar a zonas altamente saturadas en el subsuelo, que posiblemente se deben a fugas en tuberías o acumulación de agua de lluvia, que procede de las zonas altas. Hacia la posición $x = 45$ m y a una profundidad de 6 m se observa un rasgo pequeño caracterizado por una resistividad de 100 ohm-m que se puede asociar a un efecto del rasgo topográfico paralelo al perfil, que tenía un desnivel de 4 m, aproximadamente.

Sin embargo, se encuentra un cuerpo resistivo que llama más la atención, hacia la posición $x = 90$ m y que se encuentra a una profundidad media de 16 m, desde la superficie de la calle. Este rasgo tiene una extensión lateral aproximadamente de 30 m y esta caracterizado por una resistividad de 450 ohm-m. “Este valor de resistividad obtenido es bajo para definir una cavidad vacía a menos que dicho rasgo hubiese sido rellenado o remediado en el pasado, información que no se tiene en el Gobierno del estado de Hidalgo”

(A2) Calle Observatorio:

La imagen eléctrica responde a una resistividad de fondo de 21 ohm-m. En los primeros metros de profundidad del perfil, se observan pequeñas estructuras resistivas caracterizadas por valores del orden de 450 ohm-m que se deben a pequeñas heterogeneidades en la geología, también pueden asociarse a la presencia de registros de desagüe, debido a que todos se encuentran a la misma profundidad. En la parte media del perfil de tomografía eléctrica se observan zonas caracterizadas por resistividades muy bajas, menores a 5 ohm-m. Como en el caso A1 (El Porvenir), estas zonas se pueden asociar a estratos saturados por agua, que puede deberse a movimiento de agua en el interior del subsuelo que proviene de las partes más elevadas de la zona. Aunque no se descarta la posibilidad de drenaje o tubería colapsada que pudiera estar contribuyendo a saturar a estos estratos. Es importante

hacer notar que por la profundidad a la que se encuentran aproximadamente 14 m hace difícil pensar en este tipo de problemas. Parece mas adecuado suponer, que como en el caso de la calle El Porvenir, la corriente de agua subterránea que proviene de las partes altas de la montaña, fluye por debajo de la mancha urbana y se va acumulando. Esto explicaría los enormes cuerpos de saturación distribuidos a profundidad a lo largo de este perfil. Es claro también, que la imagen eléctrica no muestra ninguna evidencia de la existencia de alguna cavidad en el subsuelo.

(A3) Calle Reforma:

Como en los casos anteriores, la imagen eléctrica muestra un subsuelo caracterizado por una resistividad de 20 ohm-m. Como en el perfil anterior de la calle Observatorio, se observan zonas que presentan una saturación por agua caracterizada por una resistividad de 5 ohm-m. Se pueden observar también pequeñas anomalías resistivas con valores altos del orden de 80 ohm-m que pueden deberse a pequeños fragmentos de roca o relleno, o cuerpos andesíticos. La imagen de resistividades parece confirmar lo descrito para los dos perfiles anteriores. Puede observarse que los cuerpos de saturación parecen seguir la topografía de la zona. Puede notarse la acumulación de agua en el subsuelo en la posición $x = 40$ m y a una profundidad de 17 m. Este efecto se produce hacia el inicio del perfil, en la posición de un bajo en el nivel topográfico. En general, las zonas de saturación de agua debidas a escurrimiento en el subsuelo por lluvia se concentran hacia las pendientes bajas.

(A4) Calle Peñuñuri:

Este perfil es importante debido a que la línea pasa delante del predio en donde se encuentra el hundimiento objeto de estudio. En la imagen también se puede observar un subsuelo con una resistividad de 20 ohm-m. Los resultados muestran también zonas de alta saturación por agua con resistividades del orden de 5 ohm-m, que se van concentrando siguiendo la pendiente de esta calle, hacia el final de este perfil. Esto significaría que el agua se mueve en esa dirección. La casa marcada con el número 305 (electrodos 9 y 10), corresponde a una posición entre $x = 40$ m y $x = 45$ m, es donde se encuentra la cavidad o hundido. Se hace notar que la imagen eléctrica no muestra evidencia que pudiera asociarse a una cavidad en los alrededores de los electrodos 9 y 10 antes mencionados. Existe una pequeña anomalía resistiva que se encuentra hacia el principio del perfil $x = 27$ m, posee una resistividad del orden de 100 ohm-m y se encuentra a una profundidad de 2.5 m aproximadamente y que puede deberse a un cuerpo andesítico.

(A5) Callejón Zarco:

Es importante hacer notar que este perfil no sigue un arreglo recomendado para un levantamiento de tomografía, debido principalmente a la trayectoria semicircular de la calle en donde se enterraron los electrodos. El perfil comienza hacia el sur, en la Cerrada Observatorio y Callejón Zarco haciendo una curva que termina en la Calle Observatorio. Esta metodología asume que los electrodos deberán estar alineados sobre una línea recta, principio que en este caso no se cumple totalmente. Esto provoca que la distancia entre ellos sea variable, lo que conduce a una caída de potencial mayor que la que realmente debería de ser y como consecuencia incrementa los valores medidos de resistividad. Sin embargo, esto no significa que las posibles estructuras que se detecten no existan, sino que simplemente se ha alterado la resistividad verdadera.

La imagen eléctrica muestra también un subsuelo que responde a una resistividad de 20 ohm-m. Se pueden observar diferentes heterogeneidades que poseen resistividades del orden de 400 ohm-m a lo largo del perfil. Se observa una heterogeneidad que se puede asociar a material de relleno, probablemente de tipo andesítico al principio de la línea, muy cercanas a la superficie. Hacia la porción central de la imagen, entre la posición 25-55 m se observa también una heterogeneidad con una resistividad de 150 ohm-m y que es similar al material anteriormente descrito. El rasgo más interesante se observa hacia el final del perfil, en la posición 60-75 m y a una profundidad de 8 m a partir de la superficie y caracterizada por una resistividad de 450 ohm-m. La resistividad calculada es baja para el efecto esperado para una cavidad que se prevé vacía, por lo que este cuerpo puede asociarse a un cuerpo andesítico. Para una mejor certeza sobre el comportamiento del subsuelo se hizo una perforación exploratoria para verificar esta anomalía.

VI. GEOTECNIA.

VI.1 Levantamiento Topográfico

Se realizó un levantamiento con una Estación Total, marca LEICA, modelo TC-305 (figs. 9 y 10) en las calles que se relacionan con la zona del hundimiento (fig. 11) como son: Peñunuri, Porvenir, Zarco y Observatorio, trazándose una poligonal (fig. 12) en la que se señala el área afectada y la ubicación de los sondeos directos.



Fig. 9 y 10. Estación Total, marca Leica TC- 305 (izq.). Levantamiento Topográfico (der.).

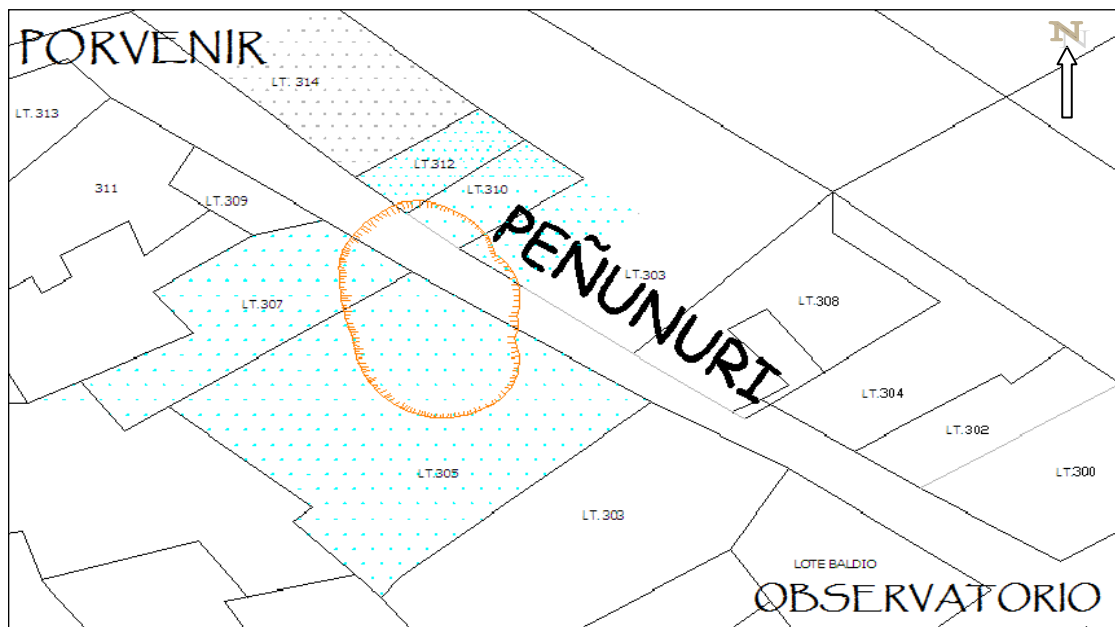


Fig. 11 Ubicación del hundimiento, mostrando la afectación de 5 predios.

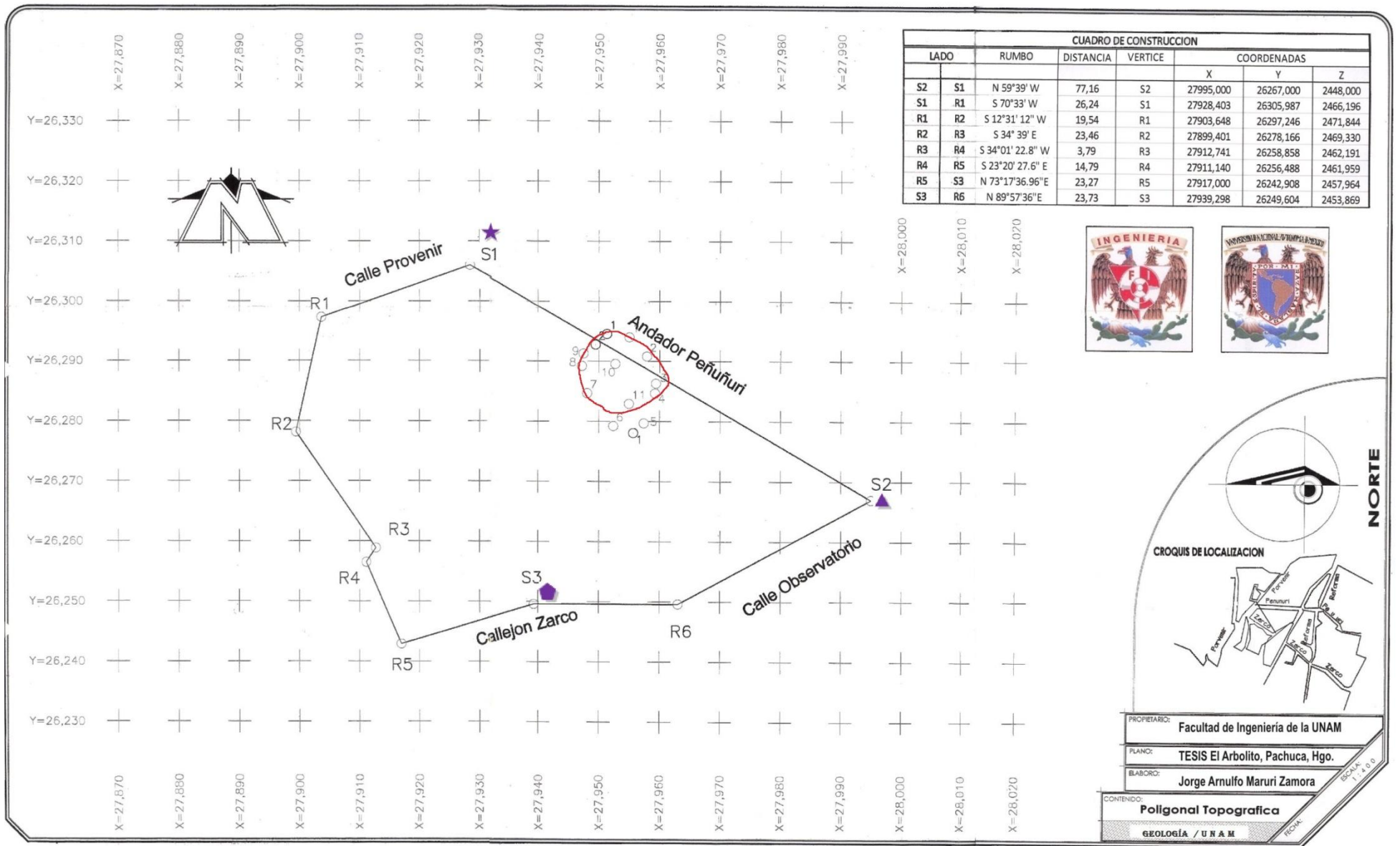


Fig. 12 Poligonal de la zona de estudio, señalando los Sondeos directos y zona siniestrada.

VI.2 Método de exploración directa

Además de la exploración directa en el que se observaron y analizaron las características *in situ* de suelos y rocas en el interior de la cavidad (figs. 13 y 14), complementados con los métodos de perforación directa en la que se obtuvieron muestras en el área siniestrada (ubicaciones determinadas mediante los análisis geológicos y prospección geofísica) nos permitieron determinar las condiciones estructurales y geotécnicas del sitio de estudio (figs. 25 y 26). Para los sondeos directos, se utilizaron muestreadores convencionales, que son utilizados en rocas semiduras a duras, como es el Barril Rígido.

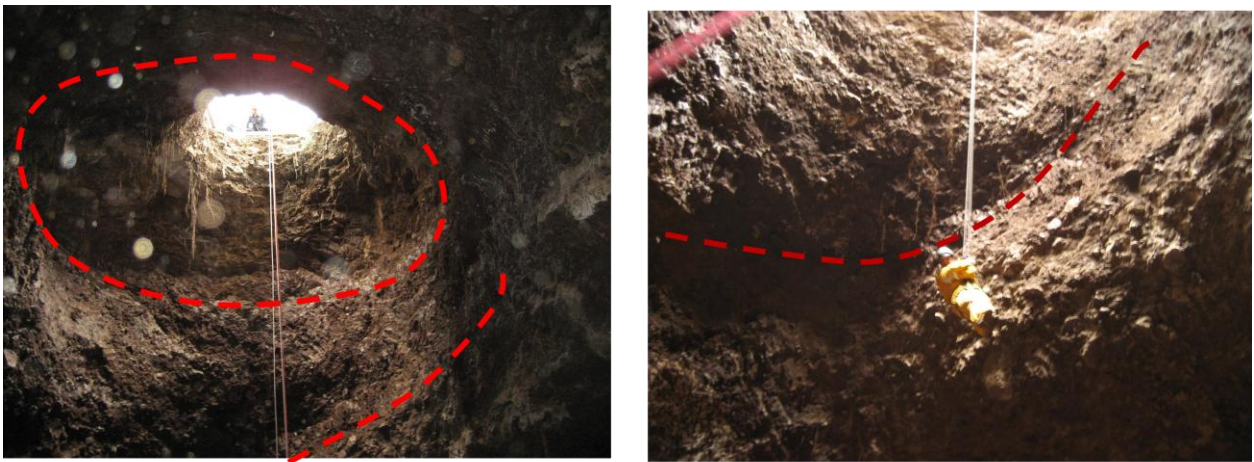


Fig.13 y 14 Horizontes de Material, dentro de la cavidad.

Como parte del estudio se programaron 4 barrenos de muestreo para correlacionar con el estudio de tomografía eléctrica. Se utilizó un equipo de perforación WINKIE GW-15 (fig. 15), con barril rígido y un diámetro de núcleo IAW (34.5 mm) (fig.16). Este se llevo a cabo en calles que rodean a la zona de estudio. Las profundidades de perforación oscilaron entre 13 y 15 m. Finalmente la profundidad total explorada en el Barrio El Arbolito fueron de 41.0 metros lineales. (Adicionalmente se perforaron 8.0 m considerándolos como de re-perforación en el sondeo 1)



Fig. 15 Perforación en la esquina de Peñuñuri y Observatorio (sondeo 2 ▲), en donde se puede apreciar hacia el SE de la zona siniestrada, las marcadas pendientes topográficas.



Fig.16 Recuperación de muestra de sondeo directo, el núcleo contiene un horizonte de Arcilla.

A continuación se exhiben las hojas de registro de las muestras recuperadas (figs.17 a 20):

PROYECTO: BARRIO EL ARBOLITO, PACHUCA DE SOTO, HIDALGO



BARRENO: UNO

LOCALIZACION: CALLE
PORVENIR

Profundidad	Long. Perf. (m)	Long. Recup. (m)	RQD %	Recup. %	Descripción
0.00-3.10	3.10	0.18	0	6	Material pétreo cementado con concreto asfáltico (chapopote) resultado de una pavimentación anterior, con una parte de alguna pieza de acero.
3.10-5.20	2.10	0.12	0	6	Fragmentos de grava, roca volcánica con cuarzo color verdoso, presencia de oxidación.
5.20-6.90	1.70	0.09	0	5	Continua el mismo material con grava, roca volcánica que tiene oxidación.
6.90-10.00	3.10	0.13	0	4	Material con fragmentos de roca volcánica Dacita-Andesita de color gris, con fragmentos de grava.
10.00-11.00	1.00	0.34	0	34	Roca Brechada con vetillas de cuarzo y con fragmentos de roca volcánica Dacita-Andesita.
11.00-12.00	1.00	0.5	0	50	Continua el mismo material con vetillas de cuarzo y roca volcánica.
12.00-13.00	1.00	0.25	0	25	Fragmentos del material anteriormente descrito (0.15 m) y continúa un material no consolidado de arena color rojizo.

COORDENADAS:

N 20°08'00'' W 98°43'57''

PERFORO: Perforaciones y Servicios PERGEO

RQD %= 0%, Calidad muy mala

R%= 4% a 50%, de muy mala a mala

Fig. 17

**PROYECTO: BARRIO EL ARBOLITO, PACHUCA DE SOTO,
HIDALGO**



LOCALIZACION: CALLE
PORVENIR

BARRENO: UNO Bis

Profundidad	Long. Perf. (m)	Long. Recup. (m)	RQD%	Recup. %	Descripción
0.00-2.00	2.00	0	0	0	
2.00-3.50	1.50	0.14	0	9	Fragmentos de rocas volcánicas Dacitas-Andesitas con cuarzo coloración gris a verde.
3.50-4.20	0.70	0.17	0	24	Fragmentos de roca volcánica, color verde con cuarzo Dacita-Andesita, presenta oxidación.
4.20-5.20	1.00	0.23	0	23	Continua el mismo materia de roca Dacita-Andesita. Presenta Oxidación.
5.20-7.80	2.60	0.35	0	14	Fragmentos de roca volcánica, color verde con cuarzo Dacita-Andesita color verde con material arcilloso.
7.80-8.00	0.20	0.14	0	70	Material arcilloso color rojizo, con fragmentos de roca volcánica, material mal consolidado.

PERFORO: Perforaciones y Servicios
PERGEO

COORDENADAS:

N 20°08'00'' W 98° 43'57''

RQD %= 0%, Calidad muy mala
R%= 9% a 70%, de muy mala a mala

Fig. 18

PROYECTO: BARRIO EL ARBOLITO, PACHUCA DE SOTO,
HIDALGO
 BARRENO: DOS



LOCALIZACION: CALLE PEÑUÑURI Y OBSERVATORIO

Profundidad	Long. Perf. (m)	Long. Recup. (m)	RQD%	Recup. %	Descripción
0.00-1.50	1.50	0.17	0	11	Parte del aplanado de la calle.
1.50-2.00	0.50	0.21	0	42	Fragmentos de rocas dacitas-andesitas con cuarzo y fragmentos de material brechado color café.
2.00-3.50	1.50	0.14	0	9	Continua el mismo material de roca volcánica Dacita-Andesita.
3.50-6.50	3.00	0.32	0	11	Material arenoso no consolidado.
6.50-8.00	1.50	0.17	0	11	Clastos del material volcánico con arenas.
8.00-10.00	2.00	0.08	0	4	Fragmentos de Dacitas.
10.00-11.00	1.00	0.10	0	10	Material volcánico con oxidación.
11.00-12.00	1.00	0.05	0	5	Material volcánico con cuarzo y presencia de oxidación.
12.00-13.00	1.00	0.08	0	8	Dacita con cuarzo y fragmentos muy alterados. Vetillas de cuarzo
13.00-14.00	1.00	0.08	0	8	Dacita con cuarzo muy alterado y presencia de cavidades de pirita.
14.00-15.00	1.00	0.15	0	15	Continúa el mismo material.

COORDENADAS:

N 20°08'00'' W 98° 43'55.3''

PERFORO: Perforaciones y Servicios PERGEO

RQD %= 0%, Calidad muy mala

Fig. 19

R%= 4% a 42%, de muy mala a mala

PROYECTO: BARRIO EL ARBOLITO, PACHUCA DE SOTO, HIDALGO



LOCALIZACION: Callejón EL ZARCO

BARRENO: TRES

Profundidad	Long. Perf. (m)	Long. Recup. (m)	RQD%	Recup. %	Descripción
0.00-3.00	3.00	0.27	0	9	Fragmentos de rocas volcánicas Dacitas-Andesitas con cuarzo argentífero.
3.00-6.00	3.00	0.38	0	13	Continúan fragmentos de rocas volcánicas dacitas con oxido y cavidades de pirita, con clastos de cuarzo.
6.00-9.00	3.00	0.37	0	12	Continúa el mismo material volcánico con oxidación y arenas.
9.00-12.00	3.00	1.15	0	38	Material arcillosos color café rojizo, presencia de material con fragmentos de roca volcánica con oxidación.
12.00-13.00	1.00	0.48	0	48	Continúa el mismo material volcánico Dacita-Andesita.

COORDENADAS:
N 20°07'59'' W 98°43'56.8''




PERFORO: Perforaciones y Servicios PERGEO

RQD %= 0%, Calidad muy mala

R%= 9% a 48%, de muy mala a mala

Fig. 20

VI.3 Análisis Geotécnico

Basados en el estudio geofísico se efectuaron tres muestreos exploratorios directos con el objetivo de corroborar las anomalías obtenidas por la tomografía eléctrica (fig.21). Así se perforaron el Sondeo 1  en la calle Porvenir con 13.00 m de profundidad; el Sondeo 2  en el callejón Peñuñuri y Observatorio con 15.00 m de profundidad y el Sondeo 3  en el callejón Zarco con 13.00 m de profundidad (Ver localización en la poligonal topográfica de la fig.12). La profundidad total explorada entonces en el Barrio El Arbolito fueron de 41.0 metros lineales. (Adicionalmente se perforaron 8.0 m considerándolos como de re-perforación en el sondeo 1)

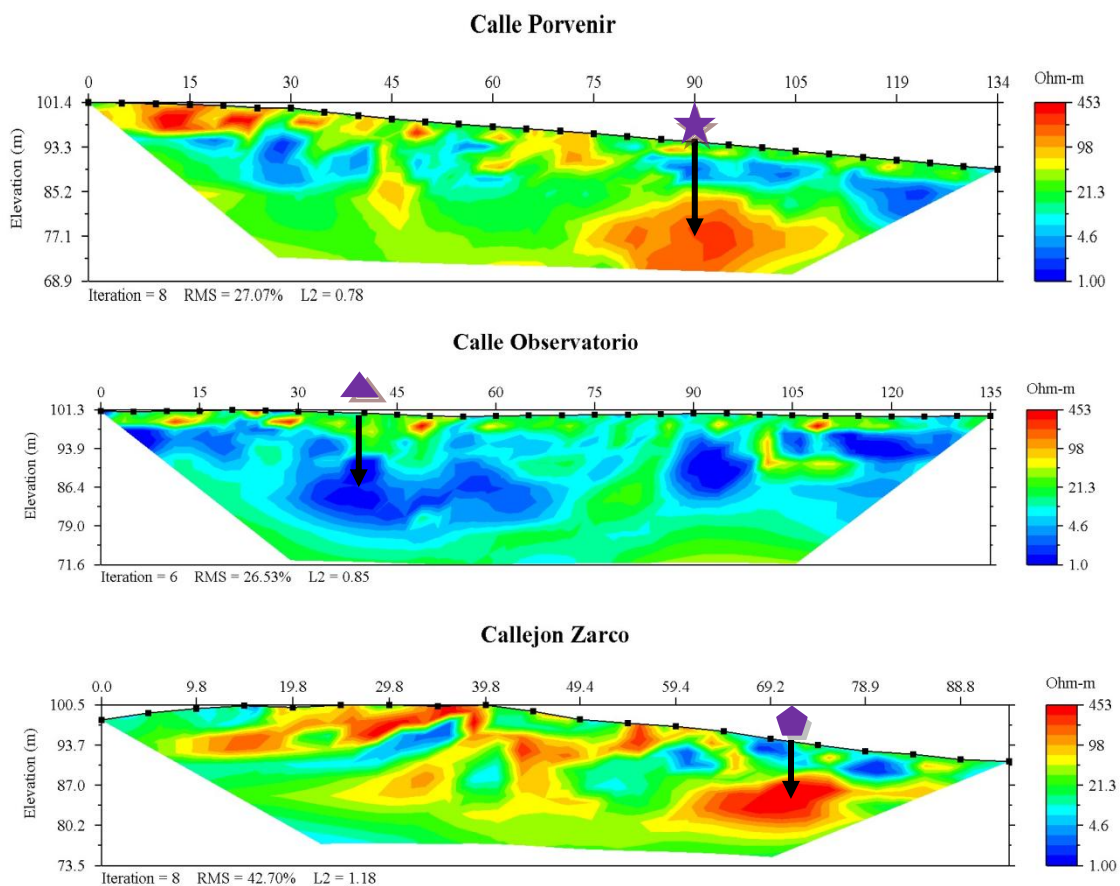


Fig. 21 Anomalías y perforaciones.

La empresa Perforaciones y Servicios-PERGEO, S.A. establecida en la ciudad de Pachuca de Soto, Hgo., fue quien realizó los sondeos exploratorios empleando para ello un equipo de perforación que consistió de una máquina Winkie GW-15, con barril rígido y muestreo continuo con diámetro de núcleo IAW (34.5 mm), determinando las características de los materiales que fueron atravesados y recuperados, utilizando cajas de plástico rígido para su almacenamiento.

A continuación se presenta la DESCRIPCION SIMPLIFICADA DE LOS BARRENOS

Sondeo 1 (fig. 22)



Ubicación GPS: N 20° 08' 00" W 98° 43' 00"

Localización: Calle Porvenir

RQD % = 0 % Calidad muy mala

R % = 4% a 50 % de muy mala a mala

Profundidad	Descripción
0 – 10.00 m	Material de terrero
10.00 – 12.30 m	Roca brechada fracturada
12.30 – 13.00 m	Arena rojiza



Fig. 22 Sondeo Uno, realizado cerca del cruce de Porvenir y Peñuñuri

Sondeo 2 (fig. 23) ▲

Ubicación GPS: N 20° 07' 00" W 98° 43' 54.9"

Localización: Calle Peñuñuri y Observatorio


RQD % = 0 % Calidad muy mala

R % = 4% a 42 % de muy mala a mala

Profundidad	Descripción
0 – 0.30 m	Pavimento
0.30 – 4.50 m	Material de terrero
4.50 – 6.50 m	Horizonte arenoso
6.50 – 15.00 m	Material de terrero



Fig.23 Sondeo Dos, localizado en el cruce de Peñuñuri y Observatorio.

Sondeo 3 (fig. 24) 

Ubicación GPS: N 20° 07' 59" W 98° 43' 56.8"

Localización: Calle Zarco III

RQD % = 0 % Calidad muy mala


R % = 9% a 48 % de muy mala a mala

Profundidad	Descripción
0 – 0.30 m	Pavimento
0.30 – 8.00 m	Material de terrero
8.00 – 11.00 m	Horizonte arenoso
11.00 – 13.00 m	Material de terrero



Fig. 24 Sondeo Tres, localizado en la calle de Zarco

Con la información que antecede, la Estratigrafía encontrada en el interior de la cavidad se describe de la siguiente manera:

<u>Espesor</u>		<u>Descripción</u>
2.0 m		Roca andesítica fracturada en lajas (And)
3.0 m		Arcilla castaño oscuro (Tbc)
3.0 m		Brecha volcánica castaño claro (Bv ₁)
5.0 m		Brecha volcánica castaño oscuro (Bv ₂)

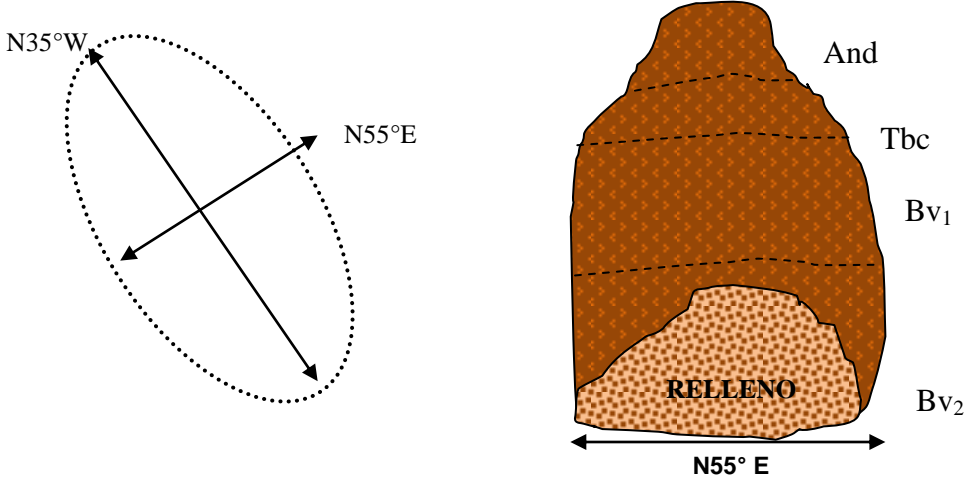


Fig. 25. Orientación de la elipse conformada por el hundimiento. Sección transversal de la cavidad con rumbo N55°E.

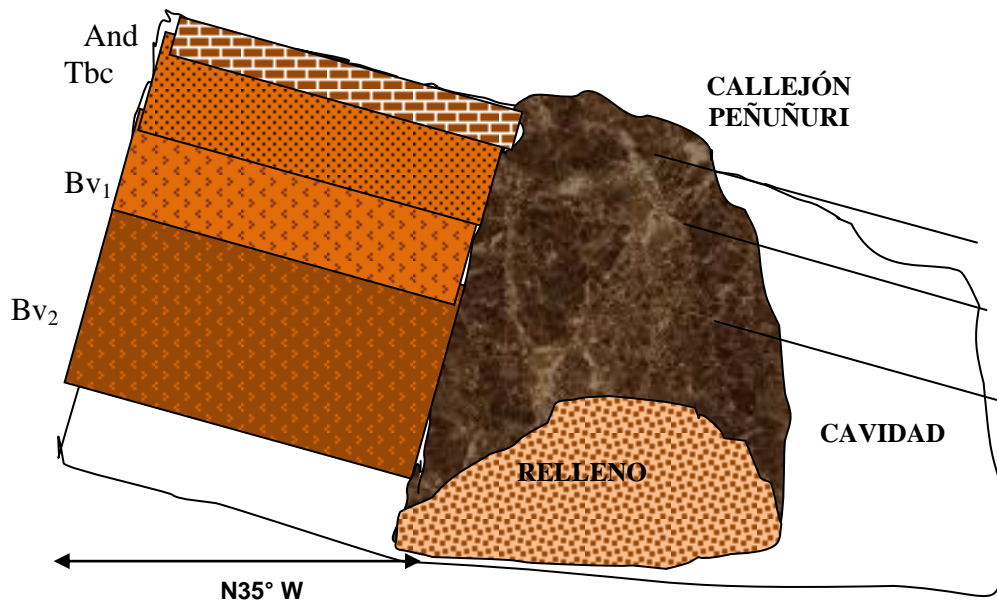


Fig. 26. Perfil del hundimiento indicando la inclinación de las capas, que coincide con la pendiente topográfica de la zona, hacia el SE.

Por tanto, con la información recabada previamente de la región, y auxiliados por el conjunto de estudios geotécnicos que se efectuaron para tal efecto; en las siguientes figuras se elaboran secciones, en las que se muestra el modelo de correlación estratigráfica de la zona siniestrada (figs. 27- 29), motivo de esta tesis:

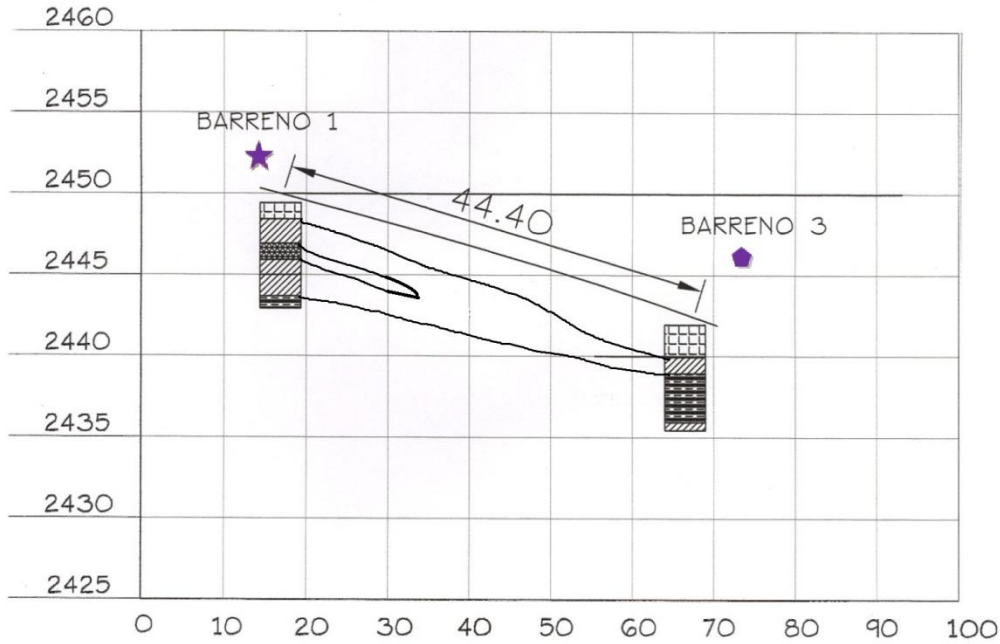
Fig. 27 Perfil que muestra la secuencia estratigráfica en la parte SW de la zona siniestrada, donde se encuentra principalmente material de terrero, arenas finas y brechas volcánicas; obsérvese la importante pendiente de la zona.

Fig. 28 Secuencia estratigráfica que se encuentra al SE de la zona colapsada, constituida principalmente por arenas no consolidadas, y fragmentos volcánicos andesíticos. El sondeo 2 se encuentra en la parte más baja del terreno en estudio.

Fig. 29 Sección que cruza el área colapsada, mostrando principalmente por arenas finas y arcillas, horizontes lajeados de material volcánico y brechas volcánicas de textura fina con fragmentos líticos angulosos de composición andesítica. La pendiente topográfica desciende hacia el SE del área de interés.



SECCION 1

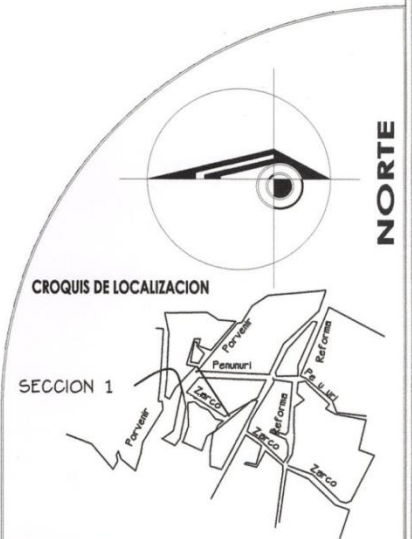


BARRENO 1-3
PORVENIR- ZARCO

SIMBOLOGIA

- MATERIAL DE PAVIMENTO
- ROCAS IGNEAS
- MATERIAL ARENA-ARCILLOSA
- MATERIAL HETEREOGENIO

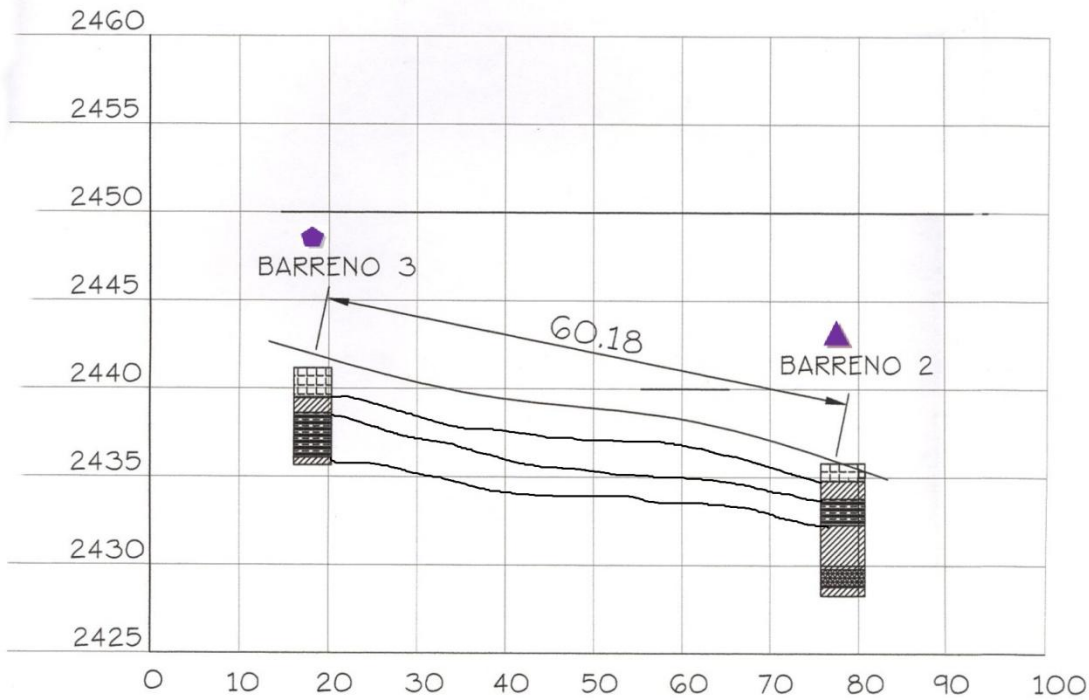
PENDIENTE 09 = 20%
RUMBO S 09 E



PROPIETARIO:	Facultad de Ing. de la UNAM
PLANO:	TESIS El Arbolito, Pachuca, Hgo.
ELABORO:	Jorge Arnulfo Maruri Zamora
CONTENIDO:	Barreno 1-3, Porvenir-Zarco
FECHA:	GEOLÓGICA / U N A M

ESCALA: 1:1,000

SECCION 2



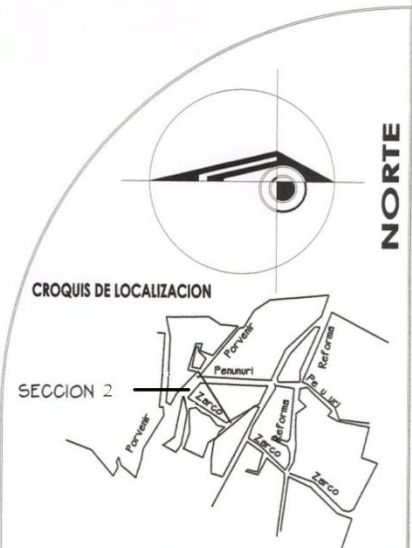
BARRENO 3-2
ZARCO - PEÑUÑURI



SIMBOLOGIA

- MATERIAL DE PAVIMENTO
- ROCAS IGNEAS
- MATERIAL ARENA-ARCILLOSA
- MATERIAL HETEROGENO

PENDIENTE 05.7 =12%
RUMBO N42 E



PROPIETARIO:
Facultad de Ingenieria de la UNAM

PLANO:
TESIS El Arbolito, Pachuca, Hgo.

ELABORO:
Jorge Arnulfo Maruri Zamora

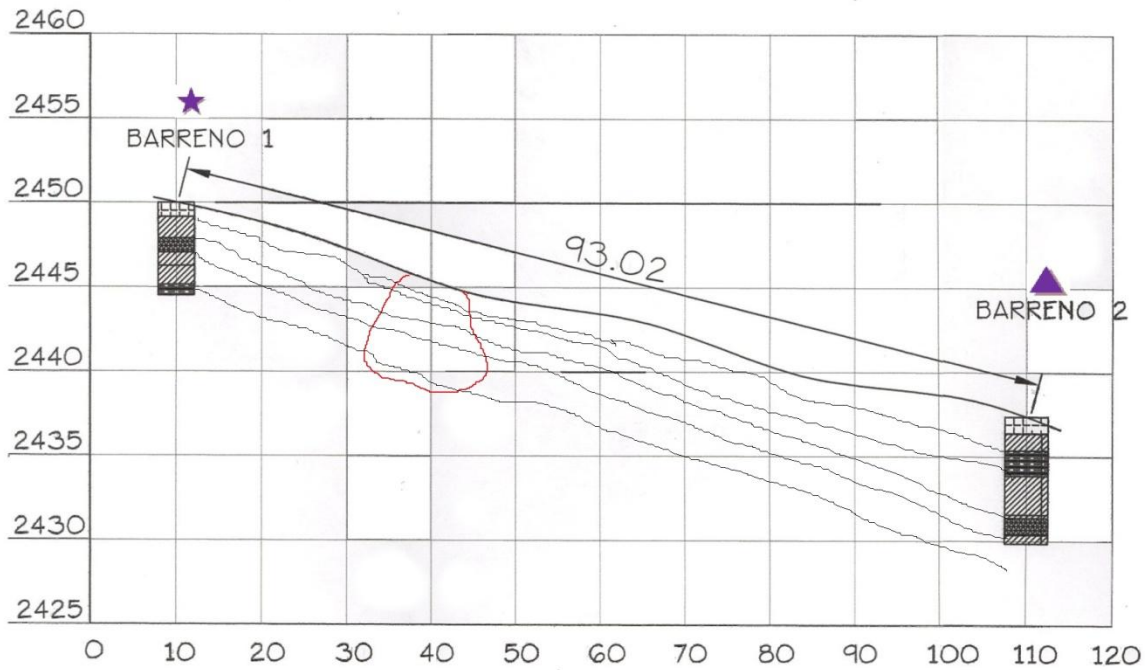
CONTENIDO:
Barreno 3-2, Zarco-Peñuñuri

GEOLOGIA / UNAM

ESCALA:
1:200

FECHA:

SECCION 3



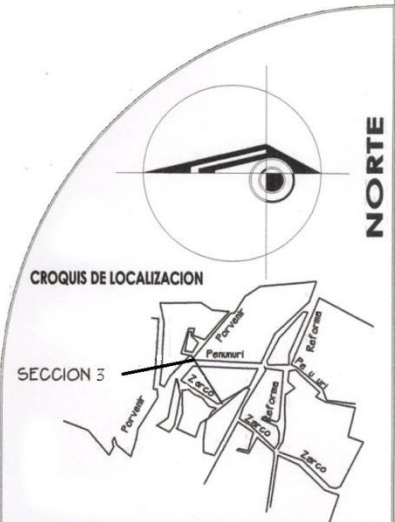
BARRENO 1-2
PORVENIR - PEÑUÑURI



SIMBOLOGIA

- MATERIAL DE PAVIMENTO
- ROCAS IGNEAS
- MATERIAL ARENA-ARCILLOSA
- MATERIAL HETEROGENEO

PENDIENTE 07.2 = 15%
RUMBO S 71 E



PROPIETARIO: Facultad de Ingeniería de la UNAM

PLANO: TESIS El Arbolito, Pachuca, Hgo.

ELABORO: Jorge Arnulfo Maruri Zamora

CONTENIDO: Barreno 1-2, Porvenir-Peñuñuri

GEOLÓGIA / U N A M

ESCALA: 1 : 1 0 0
FOCAL

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del análisis geológico-geotécnico, podemos concluir que la columna litológica de la zona de estudio es heterogénea (limos, arcillas, arenas y gravas) y es poco consistente. Además en la región han acontecido diferentes eventos geológicos como vulcanismo e intrusiones ígneas, estas últimas originando actividad hidrotermal que infirieron a la zona un gran fracturamiento y alteración de los materiales por influencia de los fluidos hidrotermales.

También se observa que los escurrimientos y las zonas saturadas tienden a correr hacia los sitios topográficamente bajos, alterando y deslavando los materiales finos.

Por otro lado, en la inspección de la zona colapsada se observaron restos de antiguos drenajes rotos, que pudieron haber contribuido al arrastre de los materiales finos y poco consistentes.

Consideradas en su conjunto, todas estas deducciones pueden haber desequilibrado la estabilidad del área, no solo por los aspectos físico-químicos que contrastan en un medio con materiales de baja consistencia litológica, sino también por las labores mineras y no documentadas, que puedan existir en la zona.

Se debe tomar en cuenta para las zonas urbanas con antecedentes de minería, un control de dónde se ubican las obras mineras, vetas, estructuras y litología; pues, obviamente continúa la alteración por temperatura y la percolación de aguas pluviales, lo que puede provocar derrumbes y posteriores hundimientos.

Para el relleno de cavidades se debe buscar un material de las mismas características físicas y químicas del material que lo rodea, para este caso se utilizará un relleno ligero de baja densidad y alta resistencia como es el tezontle, utilizando piroclásticos finos como matriz cementante.

PROCEDIMIENTO DE RELLENO

El proceso sugerido para el relleno de la cavidad provocada por el hundimiento en los predios del callejón Peñuñuri en el Barrio El Arbolito, Pachuca de Soto, Hidalgo, es el siguiente:

Los estudios geotécnicos realizados en la zona del hundimiento, indican que la oquedad a partir de su apertura tuvo un desarrollo combinado, tanto en sentido vertical (profundidad), como en sentido horizontal (lateral); apreciándose una cavidad con una geometría de elipsoide, en el que su eje mayor coincide sensiblemente con la pendiente del terreno.

Los materiales que constituyen la roca circundante fueron clasificados en la etapa exploratoria directa como un material de “terrero”, originado de los procesos de extracción que la minería llevo a cabo en esta parte de la ciudad de Pachuca. El “terrero” se considera la ganga de la explotación de los minerales económicamente aprovechables y que eran colocados por medio de acarreo en las laderas cercanas a las bocaminas o tiros de las minas subterráneas. Las características físicas del “terrero” se clasifica como materiales heterogéneos de forma individual; sin embargo, éste como conjunto presenta propiedades índice que fueron evaluadas para que una vez rellenada la cavidad se comporten lo más cercano a un solo material, el relleno y el material que constituye el piso y las paredes de la cavidad.

Otro factor para la selección de material de relleno fueron los resultados del estudio geofísico, que señala diversas anomalías eléctricas ubicadas pendiente abajo cerca del hundimiento. Se dieron dos interpretaciones para estas anomalías, una que fueran túneles de antiguas minas, y la segunda que fueran zonas de relleno antiguo. Cabe mencionar que los resultados de los levantamientos geológicos y geofísicos señalaron los sitios y las profundidades para realizar las perforaciones y corroborar o corregir estas interpretaciones.

Se recomendó utilizar un relleno de baja densidad (ligero) y de alta resistencia, considerándose como el más adecuado un material de origen ígneo extrusivo (escoria), material conocido como tezontle, este material ligero deberá ser combinado con otro material que actúe ocupando los espacios vacíos entre los fragmentos del tezontle con el objetivo de que su desempeño mecánico sea el más apropiado. Se considera que la función de matriz y cementante lo desempeñe un material ígneo extrusivo perteneciente a los piroclásticos finos (ceniza volcánica), conocidos técnicamente como tobas arcillosas y prácticamente como tepetate.

Entre las acciones que deberán realizarse previo al relleno de la cavidad están:

1. Demolición de las viviendas que resultaron afectadas y zonas de vialidad que están en riesgo de colapso.
2. Construir en el piso de la oquedad una loza ligera (poco espesor) de concreto armado con malla electro soldada que reciba y soporte al relleno.
3. Posteriormente, colocar el relleno ligero en capas hasta alcanzar el nivel de piso.

Metodología:

1. Confinar la zona de trabajo.

La protección de la zona de trabajo será con malla ciclónica galvanizada calibre N° 11 y abertura de 55 x 55 mm para cercas, colocada con polines de madera de 0.10 x 0.10 x 2.50 metros, a cada 3.00 m, para evitar algún accidente. Se realizará principalmente en las esquinas de Peñuñuri y Observatorio, así como en Peñuñuri y Porvenir, con la finalidad de dar seguridad a los transeúntes de la zona.

2. Demolición manual de las viviendas, bardas y concreto hidráulico que están sobre la cavidad.

Se deberá hacer el señalamiento necesario para mantener el aislamiento seguro del sitio donde se realizarán las demoliciones de las viviendas, bardas y concreto hidráulico que están sobre la oquedad.

3. Carga manual y acarreo en camión del producto de demolición.

Se deberá realizar la carga y acarreo del total de material en forma manual producto de la demolición, al primer kilómetro de volumen medido colocado.

4. Acarreo de material de demolición, en camión, en kilómetros subsecuentes en carretera.

5. Remoción y demolición a mano producto de caídos en el interior de la cavidad para renivelar el piso.

Remoción y demolición en forma manual, así como de los derrumbes internos. El material a demoler podrá ser desde material granular fino hasta bloques.

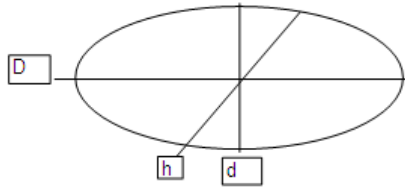
6. Loza de concreto.

Loza de concreto $r;n;= 200 \text{ Kg./cm}^2$ de 10 cm de espesor armado con malla electro soldada 6-6 10-10. Esto se realizará a lo ancho y largo de la oquedad.

7. Relleno.

Materiales de relleno:

- Toba arcillosa (tepetate) que permita su compactación al 80% proctor estándar, disgregada, libre de fragmentos, materia orgánica y basura.
- Escoria volcánica (tezontle) de diferente granulometría desde grava hasta bloques.



DIAMETRO MENOR = 12.19/2 r = 6.095
DIAMETRO MAYOR = 16.07/2 R = 8.035
ALTURA PROMEDIO A=11.5

$$V = [4(3.14 * h * R * r)]/3$$
$$V = [4(3.14 * 11.5 * 8.035 * 6.095)]/3$$
$$V = [4(1,769.33)]/3$$
$$V = 2,359.10 \text{ m}^3$$

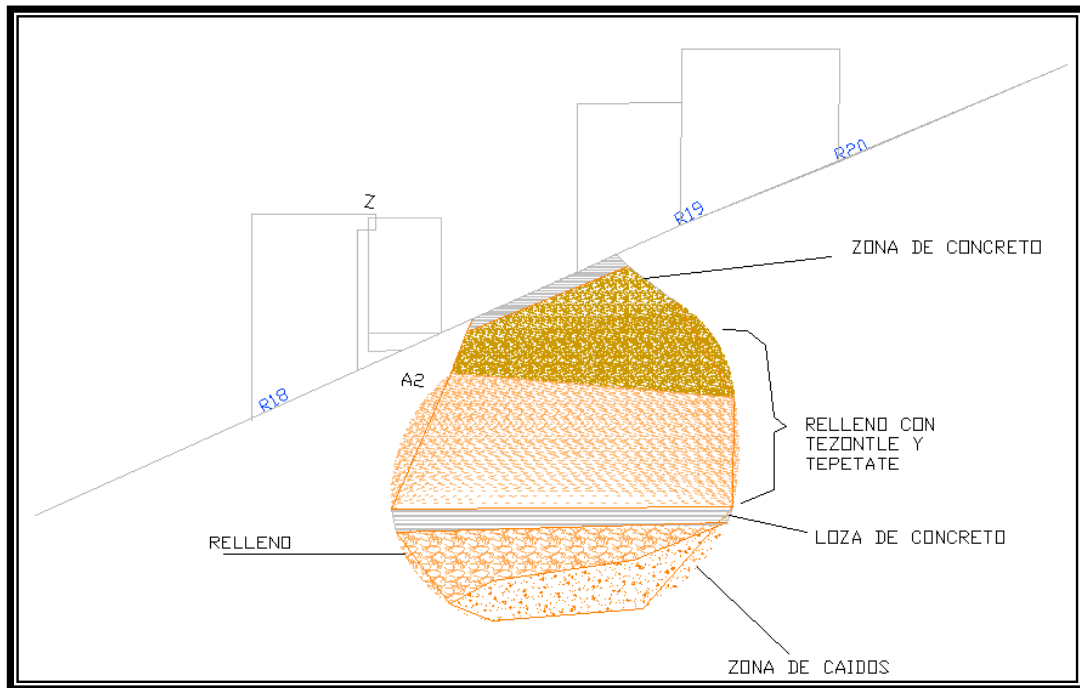


Fig. 22 Aspecto del relleno de la oquedad provocada por el hundimiento (pendiente hacia Observatorio [SE]).

8. Piso de concreto elaborado en obra para impermeabilizar el relleno.

9. Limpieza final de pisos.

La limpieza general de la obra en las zonas donde se almacenó y manejó el material para el relleno.

Nota importante:

Para todos los trabajos a ejecutar se debe considerar lo siguiente:

- Las condiciones climatológicas durante el tiempo propuesto de obra.
- Las condiciones físicas observadas en el recorrido interno a las áreas de trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- Azpeitia Caballero, 2007. Minerales de los Distritos Mineros Metálicos Zimapán, Pachuca-Real del Monte, Molango y su Aplicación Didáctica, Monografía del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del estado de Hidalgo, p. 5-31.
- Barker, R. D., 1992. A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface. *First Break*, **10**, 53-62.
- Carrillo Bravo, (1965). Estudio Geológico de una parte del anticlinorio de Huayacocotla, Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, p. 12(5-6), 1-73.
- CFE, Manual de diseño de obras civiles, Geotecnia B, 1980.
- Consejo de Recursos Minerales, Monografía Geológico-Minera del Estado de Hidalgo, 1992.
- Edwards, L. S., 1997. A modified pseudosection for resistivity and induced polarization. *Geophysics*, **42**, 1020-1036.
- Gaytán R., J. E., 1975, Exploration and development at La Negra mine, Maconí, Querétaro, México: Tucson, Arizona, Universidad de Arizona, tesis de maestría, 98p.
- Geyne, A.R., Fries, S., Segestrom, K., Black, R. F. y Wilson, J. F. 1963, Geology and Mineral Deposits of the Pachuca-Real del Monte district, State of Hidalgo, México. Consejo de Recursos Naturales no Renovables, D. F., México. Bol. 5E, 203 p.
- Gonzalez V., 2003. Ingeniería Geológica
- JICA, 1980, Reporte on geological survey of the Pachuca-Zimapán area, central México: Fotogeological interpretacion Geological Survey (Phase I). Metal Mining Agency of Japan-Consejo re Recursos Minerales, México, 109 p., 15 anexos, 4 mapas.
- Loke, M. H. and Barker, R. D., 1995, Least squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections: *Geophysics*, **60**, 1682-1690.
- Lugo-Hubp, J., 1989, Diccionario geomorfológico: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, 337 p.
- Ruiz, V. M. y González, H. S. Geología Aplicada a la Ingeniería Civil. Ed. Limusa, 2000.
- SGM (Servicio Geológico Mexicano y la Secretaria de Economía), 2011, Panorama Minero del Estado de Hidalgo. 65 p.

Simons, F.S. y Mapes-Vazquez, Eduardo, 1956. Geology and ore deposits of the Zimapan mining district, state of Hidalgo, Mexico: U.S. Geological Survey Professional Paper 284, 128p.

Yta. M., Moreno Tovar, R. Galván Chávez, J. y Esparza Contreras, R. 1999. Carta Metalogenética del Estado de Hidalgo. Consejo de Recursos Minerales y Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.