

EL IMPACTO AMBIENTAL EN EL SURPONIENTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO PROVOCADO POR LA EXPLOTACIÓN DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN EN MINAS SUBTERRÁNEAS

Luis Arturo Tapia Crespo
Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería
Alfredo Alanís Alcántara
Gobierno del Distrito Federal, Delegación Álvaro Obregón

INTRODUCCIÓN

A fines del siglo XIX en el surponiente de la Ciudad de México, donde queda incluida el área de la Delegación Política Álvaro Obregón motivo de este documento, se inicio la explotación de arena y grava que pertenecen geológicamente a la Formación Tarango (Bryan, 1948 y Arellano, 1953). Ésta se realizó cuando la región estaba en condiciones naturales, iniciándose con minas a cielo abierto donde los materiales afloraban en las barrancas, creando así grandes excavaciones. En ocasiones, a partir de éstas, la explotación seguía horizontes de las arenas pumíticas, dejando pequeños túneles o socavones de secciones reducidas. Por la fácil explotación y la gran demanda de este material, el número de minas aumentó, originándose extensos laberintos de túneles, que en la actualidad son causa de riesgo.

La explotación intensiva terminó en los setentas, al mismo tiempo, la mancha urbana cubría de manera caótica esta zona aprovechando que las minas a cielo abierto abandonadas y las barrancas de los ríos eran llenadas con desechos de construcción y basura. La mancha urbana cubrió áreas estables e inestables, estas últimas eran lomeríos con minas subterráneas, siendo el hundimiento y el colapso de construcciones sobre los túneles abandonados el riesgo mayor y más frecuente. El hombre también provocó otros impactos urbanos: deslizamientos, desastres en viviendas construidas en cauces de ríos o arroyos, las inundaciones por la obstrucción de las salidas naturales de escurrimientos de agua.

La Cuenca de México se sitúa entre las latitudes norte 19° 03' 53'' y 20° 14' 55'' y longitudes 98° 11' 53'' y 99° 30' 24'' oeste (Figura 1), es endorreica, elipsoidal, su eje mayor es de 110 Km en el sentido NE-SW y su el menor de 80 Km en sentido E-W. La Delegación Álvaro Obregón tiene 96 Km² y se localiza en el lado sur-occidental de la cuenca.

El área de estudio se encuentra en la Provincia Fisiográfica conocida como Faja Volcánica Transmexicana (Mooser, 1975) o como Eje Neovolcánico (Demant, 1978).

Las cordilleras que rodean a la Cuenca de México son: La Sierra Nevada hacia el sureste, en el sur la Sierra de Chichinautzin y del Ajusco; hacia el suroeste la Sierra de las Cruces, Monte Alto y Bajo; al norte las Sierras de Tepetzotlán y Pachuca, que continúa con la Sierra de Chiconautla y de Río Frío.



Figura 1. Ubicación de la Cuenca de México

La Delegación Álvaro Obregón se extiende desde la planicie de la Ciudad de México, a unos 2 240 m.s.n.m, en dirección al suroeste, hasta las cimas de la Sierra de Las Cruces. Su relieve se subdivide en tres unidades: las laderas montañosas, el pie de monte y la planicie lacustre. Por su topografía, se reconocen cuatro sectores geomorfológicos.

- 1) El sector SW presenta estructuras volcánicas erosionadas, que forman parte de la Sierra de las Cruces con elevaciones de más de 3100 m.
- 2) El sector mayor son lomeríos con orientación SW-NE, de interfluvios amplios y planos con una ligera pendiente hacia el SE, profundamente disecado por corrientes fluviales que han labrado barrancas que son asimétricas; en el NW con pendientes fuertes (Cordero, 1992); al SE con pendiente menor e incipientes terrazas de abrasión; con forma en “V”. La profundidad es de 50 m, el fondo es natural, plano y de talwegs estrechos.
- 3) El sector SE está constituido por el malpaís del campo volcánico del Xitle, que tiene un drenaje superficial incipiente pues los materiales son muy permeables.
- 4) En el límite oriental hay planicies aluviales y lacustres, caracterizada por abanicos aluviales y deltáicos.

El patrón de drenaje es subparalelo con orientación hacia el NE y asimétrico. La precipitación es de 1 300 a 700 mm al año. El drenaje natural del área se ha modificado por la construcción de presas de control de avenidas. El agua escurre por barrancas y arroyos, y la que se infiltra lo hace por el contacto entre el macizo rocoso de la Sierra de las Cruces y los materiales volcánicos de la Formación Tarango. Esa roca masiva presenta fracturas con una continuidad desde decenas a centenares de metros. El agua que se infiltra sigue estas discontinuidades así como los horizontes arenosos y los lahares.

GEOLOGÍA

La secuencia estratigráfica de la porción surponiente de la Cuenca de México abarca del Terciario al Cuaternario y su edad absoluta ha sido establecida gradualmente en los últimos años, aunque no en forma definitiva. A continuación se describe las rocas que conforman estas formaciones:

Terciario Plioceno Andesitas (Tpla). Consiste de rocas andesíticas y dacitas del Mioceno, formando el conjunto morfoestructural de la Sierra de las Cruces.

Terciario Plioceno-Cuaternario Epiclástico (TPI-Qvc). Alternancia de depósitos vulcano-sedimentarios, que van desde el Terciario Plioceno al Cuaternario, a los que Bryan (1948) y Arellano (1953) llamaron Formación Tarango, de unos 300 m de espesor e indicativo del fin del vulcanismo en la región.

Cuaternario Basalto (Qb). Basaltos y andesitas basálticas del volcán Xitle, intercalados con horizontes de tezontle¹, presentando estructuras primarias como tubos y chimeneas de explosión.

Cuaternario Aluvial (Qal). Depósitos de materiales fluviales de arenas y gravas de rocas andesíticas, dacíticas y fragmentos de piroclastos. La unidad está dispuesta conforme a cintas fluviales.

Cuaternario Lacustre (Qla). Acumulaciones lacustres arcillo-limosas con intercalaciones de material volcánico.

GEOLOGÍA HISTÓRICA Y TECTÓNICA

En el Cretácico Temprano (100 m.a.) en la región central de México existía un ambiente marino que formó rocas calcáreas, muestreadas en las perforaciones profundas realizadas en la Cuenca de México.

En el Cretácico Tardío (80 ma), los mares fueron invadidos por sedimentos de tipo continental de arenas y limos que al litificarse se convirtieron en una secuencia de areniscas líticas y limolitas.

Esta secuencia fue deformada hacia finales del Cretácico (65 m.a.), en una etapa tectónica de reorganización de las placas que interactuaban en el occidente y que produjeron las rocas volcánicas de arco insular ahora expuestas en los estados de Guerrero y Michoacán.

En el Terciario Temprano los antiguos medios marinos emergieron, desarrollándose acumulaciones de gravas y arenas provenientes de las rocas sedimentarias expuestas, formando rocas conglomeráticas. En algunos sitios, en el marco de ésta conformación continental se desarrollaron depósitos lacustres.

Las rocas andesíticas de la Sierra de las Cruces fueron dislocadas por fallas normales con rumbo sureste-noroeste, que originó una depresión donde se acumularon los productos de la denudación de la sierra como abanicos aluviales; a la vez se desarrollaba un vulcanismo explosivo en la cuenca, provocando que sus piroclásticos se intercalaran con los detritos, que se acumularon al pie de la Sierra de las Cruces. Los volúmenes de los productos volcánicos fueron de tal magnitud que generaron avalanchas, las cuales arrancaron y transportaron fragmentos de rocas del tamaño de los peñascos (lahares).

En el Plioceno (5 m.a), esta zona era un valle fluvial tributario de la gran Cuenca del Balsas.

Durante el Pleistoceno (1 m.a), la región experimentó, una tectónica distensiva que la dislocó con fallas normales de orientación E-W, al mismo tiempo ocurría el vulcanismo basáltico que conformó la Sierra de Chichinautzin, con conos cineríticos, volcanes escudo y derrames aislados.

LOS RIESGOS Y EL FENÓMENO DE MIGRACIÓN DE LAS MINAS

En la Ciudad de México, la Delegación Álvaro Obregón es la demarcación con mayor número de daños a casa y vías de comunicación. La razón es la explotación de minas subterráneas, influenciada por la litología, el agua infiltrada y los asentamientos urbanos indiscriminados. El tema de los riesgos es de actualidad porque los daños a personas o bienes van en aumento en el mundo.

El fenómeno de la migración es el resultado del desplazamiento del techo de la cavidad hacia la superficie del terreno, en forma de arco, por desintegración progresiva de la bóveda. Es importante en materiales deleznable, como las arenas limosas que conforman las minas acelerándose por infiltraciones y precolación en época de lluvias y fugas de agua potable o drenaje respectivamente.

GRADO DE ESTABILIDAD Y FACTORES DE FALLA

Para determinar el grado de estabilidad de una mina deben considerarse los siguientes elementos:

- a) Calidad del material en la que fue excavada la mina.
- b) Profundidad del techo de la caverna,
- c) Claros largos dentro de la caverna, serán áreas más propicias a migrar.
- d) La altura de la caverna a todo lo largo del desarrollo de la mina.
- e) El tipo de construcciones que hay sobre la caverna.
- f) La red de drenaje ya que, en ocasiones por fugas, existe filtración a las cavidades causando problemas.
- g) Tipo de vehículos que circulan por áreas afectadas.

Los factores de falla son:

1. Vibraciones provocadas por la actividad del tránsito de automóviles, obras en construcción y sismos.
2. Agua pluvial que se infiltra hasta el techo de la cavidad erosionándola, provoca su migración.

3. Fugas de agua. Drenajes rotos y fosas sépticas que descargan las aguas negras a las minas.
4. Cargas producidas por construcciones y vehículos.
5. Peso propio del material.

GEOTÉCNIA

Debido a la problemática en la Delegación Álvaro Obregón referente a la inestabilidad en el subsuelo por minas (túneles) que posteriormente fueron abandonadas y después absorbidas, estas áreas, por la mancha urbana, quedaron ocultos los accesos y su ubicación. Es necesario entonces conocer las características del subsuelo, por lo que el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal vigente (29 de Enero de 2004), describe en sus artículos 169, 170, 171 y el 172, los métodos y procedimientos, principalmente para localizar las minas abandonadas: Fotointerpretación; Reconocimiento superficial; Exploración de cavidades (Métodos semidirectos y Métodos indirectos-Geofísica) y Guías geológicas para tratar de detectar minas

MÉTODOS DE RELLENO Y POSIBLE USO DE LAS MINAS

Cada mina es diferente, ya que depende del material de explotación, de su configuración y características. Se inicia mediante un levantamiento topográfico. Todos los métodos son recomendados, ya que el objetivo es rellenar las cavidades, evitar su migración o su colapso que pudiera ocasionar desastres; éstos son:

- Relleno con Cascajo y Basura
- Relleno Manual
- Relleno Neumático
- Relleno Hidráulico
- Colapso del techo de la cavidad
- Refuerzo de cavidades con muros
- Relleno Mecánico-Manual

El Gobierno de la Ciudad de México ha rellenado las minas. Son trabajos costosos, entonces se han planteado alternativas de utilidad a los túneles y convertirlos en estacionamientos, tiendas, bodegas, etc; se podrían construir en función de su configuración, de sus condiciones geológicas y poder rehabilitarla. Habría un repunte en la industria y se crearían empleos. Con lo que la aparición de una cavidad, dejaría de ser desventaja para convertirse en oportunidad. Los trabajos de rehabilitación deben ser realizados por los propietarios con sus recursos y que el trabajo sea respaldado por personal técnico calificado.

CONCLUSIONES

1. Este trabajo expone los problemas que enfrenta la Delegación Álvaro Obregón, ubicada en el poniente de la Ciudad de México, debido a zonas de alto riesgo, en áreas que fueron minadas por el método de túneles.
2. La aportación de la geología al problema de las zonas minadas, es proponer los criterios para evaluar las condiciones de las antiguas minas (estabilidad, métodos de regeneración y el predecir los hundimientos).
3. Se demuestra la importancia de conocer el grado de riesgo de la cavidad, en especial el fenómeno de migración como resultado del desplazamiento de una cavidad hacia la superficie del terreno, en forma de arco, por desintegración progresiva de la bóveda que la cubre. Este fenómeno adquiere importancia en materiales deleznable, como las arenas limosas que conforman las cavidades, y se acelera esto por infiltraciones de lluvia, fugas de agua potable o del drenaje; por lo que es importante determinar el grado de estabilidad de una cavidad mediante la determinación de:

- a) La calidad del material en la que fue excavada la caverna, es decir, la litología de las paredes y el techo ya que con base en el tipo material va a depender la resistencia de las bóvedas y pilares.
 - b) La profundidad a partir de la superficie a la que se encuentra el techo de la caverna, ya que en teoría se dice que para que una cavidad sea estable el espesor del techo tiene que ser siete veces la altura del túnel.
 - c) Los claros de la caverna; los mayores serán áreas propicias a migrar, debido a que forman grandes salones.
 - d) La altura de la caverna en todo el desarrollo de la mina.
 - e) El tipo de construcciones que hay sobre la caverna y el tipo de material de las calles
 - f) La presencia y el tipo de drenaje ya que por fugas existe filtración a las cavidades causando problemas.
 - g) El tipo de vehículos que circulan por áreas afectadas.
4. Los factores que producen riesgos son:
- ❖ Vibraciones provocadas por la actividad sísmica y propias del entrono citadino.
 - ❖ Fugas de agua. Se infiltra hasta llegar al techo de la cavidad, provocando la migración de la cavidad.
 - ❖ Drenajes rotos y fosas sépticas que descargan las aguas negras a las minas.
 - ❖ Cargas producidas por construcciones y vehículos.
 - ❖ Peso propio del material.
6. La Delegación Álvaro Obregón ha regenerado en los últimos seis años 500 000 m³ de cavidades.
7. Se debe tener en cuenta que la responsabilidad de los problemas del subsuelo, es directamente del propietario ya que como se mencionó, el reglamento de construcciones señala que se deberán llevar a cabo estudios geológicos de detección de cavidades por seguridad propia de los habitantes, esto es como medida preventiva ya que generalmente lo que se lleva a cabo son medidas correctivas, como es el regenerar las minas que aparecen espontáneamente.

BIBLIOGRAFÍA.

- Arnal Simón Luis 1999, Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Editorial Trillas, México, D.F.
- Dávalos, Fernando, 1976, Antecedentes, Zonificación, in Springall Caram Guillermo, y Martínez Mier Jaime, eds., Cimentaciones en zonas minadas en la Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Simposio, México, D.F., p. 3-6.
- Springall Caram, Guillermo, 1976, Implicaciones de las minas subterráneas, in Springall Caram, Guillermo, y Martínez Mier, Jaime, eds., Cimentaciones en zonas minadas de la Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Simposio, México, D.F., 1976, p. 81-127.