

## Resumen

El fenómeno del hundimiento regional ha ocasionado en los últimos años la aparición de agrietamientos en diversas zonas de la ciudad de México, afectando y poniendo en riesgo a sus habitantes. En este trabajo se presenta una recopilación de los agrietamientos reportados en mapas, trabajos y artículos. De igual manera se evalúa el caso de un agrietamiento localizado en la delegación Tláhuac mediante registros de microtemores, encontrándose que estos son generados por la presencia de un derrame volcánico en profundidad proveniente de la sierra de Santa Catarina. Se modeló el efecto que ha tenido el hundimiento en los últimos 20 años. Con base en esta ecuación se actualizaron los registros que se tenían de ese año para generar con base en 1010 datos una nuevo mapa de periodos dominantes para las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo.

## Introducción.

### a. Antecedentes

El Área Metropolitana de la ciudad de México (AMCM) está ubicada dentro de la Cuenca de México. Esta cuenca de tipo endorreico, es una unidad hidrológica cerrada de aproximadamente 7000 km<sup>2</sup>; estuvo formada por cinco lagos someros, encadenados de norte a sur, siendo estos Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco. Los dos lagos del sur, Chalco y Xochimilco, y los dos del norte, Zumpango y Xaltocan, eran algo más elevados, por lo que sus aguas escurrían hacia el cuerpo de agua central más abajo, Texcoco, llevando consigo sedimento principalmente arcilloso, que fue acumulándose en la parte central por más de 700,000 años (Urrutia-Fucugauchi, 1995).

No fue sino hasta 1796 que con la construcción del canal de Guadalupe, que conectaba al río Tula con el lago de Texcoco, que las áreas lacustres de la cuenca comenzaron a achicarse rápidamente para posteriormente desaparecer, dando paso al subsuelo lodoso del fondo del lago. Posteriormente con el desarrollo industrial a finales del siglo XIX y principios del siglo XX que se vivió en la ciudad de México, comenzó un proceso de inmigración masiva desde el campo a la ciudad en busca de empleo en las nuevas fábricas. Como consecuencia de ello, la población pasó de 700,000 en el año de 1920 a 25 millones de habitantes, y a un 30% de la industria del país (INEGI-INE, 2000). Fue por ello que a mediados del siglo XIX se inició la explotación del acuífero, pero entre 1940 y 1960 esta actividad se incrementó en la zona centro de la ciudad de México, generando hundimientos anuales hasta de 50 centímetros (Hiriart y Marsal, 1969) que se reflejaron en daños a las obras de drenaje y construcciones, y la aparición de fracturas en la superficie del terreno. Ante esto, en 1968 las autoridades de la ciudad prohibieron la apertura de nuevos pozos, teniendo como resultado la muy notable disminución de los hundimientos.

La incesante demanda de agua, propició la apertura de nuevos y más profundos pozos en zonas periféricas y cercanas a la ciudad, particularmente hacia la zona de Ecatepec, Xochimilco y Chalco. La transferencia de los pozos a las zonas mencionadas, tuvo numerosos impactos negativos asociados al hundimiento y fracturamiento del terreno (Ovando y González, 1990; Lugo *et al.*, 1996; Zawadsky, 1996; Escobar, 2004; Aguilar *et al.*, 2006; entre otros) haciéndose aún más evidente este problema.

Existen diferentes enfoques al estudio del origen de las fracturas en el interior de la AMCM, las cuales se pueden clasificar de acuerdo con la disciplina y métodos utilizados: (1) geotécnico, (2) hidráulico, (3) geológico, e (4) hidrogeológico.

El aspecto más estudiado es, sin duda, el de tipo geotécnico, por su estrecha relación al comportamiento del suelo y obras civiles, donde ha tenido mayores implicaciones y costos. Desde el punto de vista geotécnico e hidráulico, Carrillo (1947), demuestra numéricamente que el hundimiento de la ciudad de México se debe a la extracción del agua subterránea e infiere que la formación de fracturas es un proceso asociado. Juárez-Badillo (1969) y Alberro y Hernández (1990)

sugieren el origen de las fracturas por la desecación de las arcillas en tiempo de secas, seguido por inundaciones en temporadas de lluvia, y desarrollan soluciones analíticas para demostrar dicho proceso. Por su parte, Hiriart y Marsal (1969), sugieren que el fracturamiento de los sedimentos de la ciudad de México puede ser el resultado de la subsidencia. Melgoza (1978), describe la evolución y agrietamiento asociado al intenso bombeo de agua subterránea. Juárez-Badillo y Figueroa-Vega (1984) desarrollaron las bases de la formación de fracturas debido a fuerzas de filtración en el acuífero. Figueroa-Vega (1987, 1989), propone mecanismos de generación de fracturas por la extracción de agua subterránea, los que analiza por medio de soluciones analíticas. Juárez-Luna *et al.* (2002) sugieren un modelo de fracturamiento para los sedimentos lacustres.

Desde el punto de vista geológico-geofísico, De Cserna *et al.* (1988) explican el fracturamiento por la presencia de estructuras regionales delimitadas por fallas en el subsuelo y actividad neotectónica. Trabajos geofísicos, como los de la Comisión Federal de Electricidad después de los sismos de 1985 (Benhumea y Vázquez, 1988), destacan la diferenciación del subsuelo hasta aproximadamente 500 m de profundidad en Chalco y Xochimilco, con lo que fue posible asociar cambios significativos entre las capas más superficiales y los eventos preexistentes al depósito de sedimentos lacustres, características hidrogeológicas y morfología de la roca basal. Entre los estudios geofísicos más recientes se tiene el de Krivochieva y Chouteau (2002) donde realizan estudios magneto-telúricos (MT) y electromagnéticos (TDEM) en la región de Santa Catarina con objeto de delimitar la geometría del acuífero y confirmar la continuidad de los flujos basálticos entre el volcán y la cuenca sedimentaria. Otros estudios geofísicos reportados por Rodríguez-Castillo (1987), Chouteau *et al.* (1994) y González-Morán (1992), Delgado-Rodríguez (1995), se han enfocado a definir estructuras en el subsuelo que pudieran estar asociadas a alguno de los mecanismos sugeridos por la litología, geotecnia e hidráulica.

## **b. Objetivos**

Los objetivos generales de esta tesis son:

1. Cuantificar y clasificar los agrietamientos.
2. Identificar los posibles lugares de crecimiento y aparición de grietas para la colonia Del Mar, Tláhuac, Distrito Federal, mediante registros de vibración ambiental (técnica de Nakamura).
3. Explicar la relación que tiene la presencia de agrietamientos dentro de la zona de Lago.
4. Elaborar un mapa de la localización de los agrietamientos existentes dentro de la Cuenca de México. Además, desarrollar una base de datos mediante de un Sistema de Información Geográfica (GIS) para agrietamientos y periodos dominantes.
5. Proponer una actualización del mapa de periodos dominantes para la ciudad de México.

## **c. Alcances**

Los alcances de este estudio son:

Aplicar el método de vibración ambiental o microtremores para evaluar zonas que presentan agrietamientos, así como proponerlo como una herramienta para predecir futuros casos de apariciones de grietas.

Dado que se ha observado que en algunas zonas de la Cuenca presenta variaciones de los periodos dominantes ocasionados al hundimiento regional, se elaboró un mapa actualizado de valores de periodo dominante del subsuelo para la ciudad de México, haciendo uso de registros de microtremores y datos de aceleración recientes, aplicando la técnica de Nakamura.

**d. Desarrollo de la tesis**

Esta tesis consta de una introducción y 5 capítulos, distribuidos de la siguiente manera:

La introducción toca los puntos a desarrollar, así como los objetivos y alcances a los que se llegó. En el capítulo 1 se describen de una manera sintetizada las características geológicas y geotécnicas de la zona de estudio. El capítulo 2 describe la metodología empleada para la adquisición y procesamiento de los datos.

En el capítulo 3 se menciona el estado del arte del fenómeno de agrietamiento. Además se describe el impacto actual de la presencia de grietas en la Cuenca de México, siendo estas generadas por el fenómeno del hundimiento regional. Por último se presenta el estudio de la colonia Del Mar, delegación Tláhuac, que presenta serios agrietamientos en buena parte de este sitio.

En el capítulo 4 se mencionan algunas observaciones acerca del vigente mapa de isoperiodos contenidas en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo. En el capítulo 5 se detalla el análisis de los resultados obtenidos en este estudio. Finalmente en el último capítulo se indican las conclusiones a las que se ha llegado al terminar este trabajo.