

IGRGG-01

EL CONCEPTO DE SUELO SEGÚN EL GEÓLOGO Y EL INGENIERO CIVIL. CASO ESTUDIO: EL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE GUADALAJARA, JALISCO, MÉXICO

Pedro F. Zárate del Valle¹ y David Vargas del Río²

¹ Depto. de Química, CUCEI, Universidad de Guadalajara
E-mail: pzarate@ccip.udg.mx

² Laboratorio de Investigación, Posgrado en Ingeniería Civil,
Universidad de Guadalajara

Cuando el geólogo describe los rasgos geológicos de una región, el suelo (s.s.) es un rasgo superficial del terreno cartográficamente carente de importancia. Para fines geotécnicos, el geólogo define al "suelo" como todo material sin consolidar sobre el lecho rocoso. Esta definición geotécnica de "suelo" es aceptada por el ing. civil ya que cubre su expectativa de ser un material excavable estando además relacionado con la obra que puede hacer sobre él, con él o en él. Pero, ¿quién el verdadero especialista en suelos? Para la Pedología, el suelo (s.s.) es el arreglo de materia mineral y orgánica formado en la superficie terrestre a través del tiempo, por procesos de alteración y transporte, a partir de material geológico y biológico; esta definición incluye el punto de vista edafológico de ser el medio natural de crecimiento de la vida vegetal terrestre. El pedólogo describe al suelo (s.s.) subdividiéndolo en horizontes o capas (A y B) que reposan sobre la roca intemperizada (capa C) que finalmente reposa sobre la roca sana (R).

Estos conceptos diversos de "suelo" crean un ambiente de incomunicación y desinformación técnicas ya que cada especialista lo entiende a su modo. Esto es lo que sucede en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) ya que: 1) para el ing. civil la ZMG tiene un "suelo" que puede medir más de 50m de grosor; 2) para el edafólogo en la ZMG el suelo (s.s.) tiene un grosor menor que 0.50m; 3) para el geólogo, la regolita en la ZMG, incluido el suelo (s.s.), tiene un grosor máximo de 1m. ¿A qué se debe esta disparidad de grosores? A que El subsuelo de la ZMG casi en su totalidad, está constituido por una formación de origen volcánico denominada toba Tala, la cual es un derrame piroclástico afírico sin consolidar, compuesto principalmente por estratos irregulares y deleznales de pómez. Este rasgo de no estar consolidado hace que en una primera impresión, no se distinga el contacto vertical entre las rocas intemperizada y sana de la Toba Tala. Además, por ser una roca friable es fácilmente excavable y explotable. El ing. civil en el sitio de su obra, debe de tener plenamente identificado al suelo (s.s.) y sus horizontes básicos: A, B y C y diferenciarlos del lecho rocoso (R) sea éste duro o blando. También debe de considerar que en su tarea de construcción, generalmente mas que ver con el suelo (s.s.) tiene que considerar los rasgos geológicos del subsuelo del sitio (litología, hidrología, fracturas, etc.).

IGRGG-02

EXPLORACIÓN GEOLÓGICA EN EL P.H. BOCA DEL CERRO, TAB.

Cepeda Dávila Leovigildo

Departamento de Geología, CFE

E-mail: leovigildo.cepeda@cfe.gob.mx

Para aprovechar el caudal del Río Usumacinta la C.F.E. pretende construir una central hidroeléctrica y así contribuir a resolver los problemas de energía del sureste del país. Para ello ha realizado estudios de geología, geofísica, topografía, geohidrología, sismotectónica y geotecnia, acompañados de perforaciones con recuperación de núcleo y excavaciones, para determinar la factibilidad del proyecto. El embalse comprende un área de 11,80 km², limitada por la cota 46 m (NAME) desde 90 m aguas arriba del puente sobre el Usumacinta hasta la frontera con Guatemala. Quedará alojado en calizas puras de estratificación delgada a masiva (Formación Boca del Cerro del Cretácico Superior), así como en calizas dolomíticas, margas, cretas y calizas recristalizadas (Formación Tenosique del Terciario Inferior). Estas rocas fueron afectadas por esfuerzos compresivos, distensivos y desplazamientos laterales, que dieron origen a plegamientos anticlinales y sinclinales orientados WNW-ESE y fallas NW-SE y NE-SW. De las tres alternativas estudiadas en la última campaña se desecharon las denominadas I, II y Santa Margarita, por ubicarse en calizas puras muy permeables y cársicas y por estar afectadas por fallas importantes, mientras que la Alternativa III se consideró menos desfavorable por hallarse en calizas de carácter arcilloso, menos permeables. El macizo rocoso en la Alternativa III está afectado por los siguientes tipos de discontinuidades: 1º) La estratificación, que es la más frecuente, por lo general es delgada, con presencia de arcilla entre estratos y su inclinación es siempre hacia aguas abajo o al norte, con valores promedio de 40°, aunque en la margen izquierda llega a ser hasta subvertical, debido a plegamientos locales; 2º) cuatro fallas principales (F1 a F4), casi normales al cauce y espaciadas entre ellas unos 150, 100 y 200 m, respectivamente; 3º) dos sistemas preferenciales de fracturamiento para ambas márgenes (N77°W/ 49°NE y N24°E/ 85°SE); 4º) siete horizontes arcillosos en espesores variables, identificados en los socavones, y 5º) el contacto geológico entre las unidades A y B de la Formación Tenosique.

En el área de la cortina el espesor de acarreo varía entre 30 y 35 m; sólo el barreno 4C cortó un bloque de caliza de 1 m de diámetro. Por debajo del aluvión se determinó un espesor de 20 a 25 m de roca alterada, bajo la cual el macizo mejora su calidad. En el área del eje de la cortina y casa de máquinas se definieron cuatro zonas con características geomecánicas diferentes, que van de malas a regulares, con permeabilidades altas que disminuyen a profundidad. Por ello se efectuaron pruebas de inyección para obtener las características de diseño de las pantallas de impermeabilización, siendo la Unidad Tpt-B (margen izquierda) la que presenta el menor consumo de cemento con 1 113 kg/

m, en comparación con la margen derecha, que fue de 1 507 kg/m. Con este tratamiento la permeabilidad llegó a disminuir en algunos tramos de 30 Unidades Lugeon (muy permeable) a 3 U.L. (impermeable).

Para el cierre hidráulico se observó que la Formación Tenosique presenta capas de arcilla que, debido a su posición estructural (flanco NE del Anticlinal Boca del Cerro) actúan como una barrera semipermeable, encontrándose el contacto con la roca permeable (Formación Boca del Cerro) a la cota 65 m; existe además un segundo sello a la cota 50 m, representado por la Formación Tulijá del Mioceno, consistente en areniscas y areniscas calcáreas impermeables. El NAME se ubicará a la cota 46 m y se opina que el embalse será estanco casi en su totalidad; únicamente se prevén posibles filtraciones poco importantes en la margen izquierda de la Alternativa III, debido a que el nivel de aguas freáticas, reportado en los barrenos CH-4 y VI, se encuentra por debajo del NAME (24.19 y 34.97 msnm) de acuerdo con las lecturas tomadas el 24 de junio de 1993.

Aunque se tienen identificados diversos sitios para la apertura de bancos de materiales para la construcción de las obras, aún no se han cuantificado los de material impermeable y los materiales estudiados para enrocamiento no han resultado aceptables. Se sugiere localizar un banco en calizas de estratificación mediana a gruesa de la Formación Boca del Cerro lo más cercano al sitio.

IGRGG-03

**ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DEL
DESPLAZAMIENTO "ZAPOTITLÁN DE MÉNDEZ",
UBICADO EN LA SIERRA NORTE DEL ESTADO DE
PUEBLA**

Zoila Hernández Mena y Sergio Herrera Castañeda
Depto. Geología y Geotécnica, División de Ciencias de la Tierra,
Facultad de Ingeniería, UNAM
E-mail: zomena@correo.unam.mx

En los últimos años, la variedad de amenazas naturales tales como, sismos, erupciones volcánicas, inundaciones, fenómenos atmosféricos y deslizamientos han incrementado su presencia, ocasionando pérdidas en cultivos, viviendas, vías de comunicación y vidas humanas. En nuestro país, la situación climática, la ubicación tectónica y la vulnerabilidad de nuestro territorio, representan los principales factores desencadenantes. La ocurrencia de deslizamientos está sujeta al comportamiento de muchos factores, el agua es el que más comúnmente se asocia a la falla de los taludes. Durante el año de 1999 las intensas lluvias ocurridas en la Sierra Norte del estado de Puebla, como consecuencia de la Depresión tropical No. 11, ocasionaron una precipitación promedio anual muy por encima de las precipitaciones normales, la lluvia que cae en promedio en un año, cayó en solo tres días; presentado entre otras cosas fenómenos de inestabilidad. Uno de esos fenómenos es el deslizamiento denominado en este trabajo, Zapotitlán de Méndez, ocurrido en el Km 64 200 de la carretera estatal

Zacatlán-Zacapoaxtla, con un volumen movido de casi 5 millones de metros cúbicos en una longitud total de 1.3 Km, con pendientes superiores a los 45°, bajo formaciones de rocas sedimentarias e ígneas que van respectivamente desde el Jurásico hasta el Reciente. El deslizamiento es identificado como un deslizamiento de tipo "Mixto" o "Complejo", en donde, el movimiento de masa principal es efectuado por la combinación de dos o más mecanismos, una falla circular muy cerca de la base de la ladera y dos fallas planas que coinciden con dos discontinuidades importantes del macizo rocoso. La diferencia mecánica del terreno y el aumento histórico de las condiciones pluviales; fueron las principales causas del deslizamiento. El retro-análisis del evento se realizó mediante la reconstrucción fotogeológica de la zona y con la modelación del fenómeno en un software para fallas circulares, teniendo como fin específico, el incremento hidráulico que ocasionó la ruptura del terreno. El control del agua subterránea es el sistema más efectivo para la estabilización de este deslizamiento, una serie de drenes en las actuales caras de la ladera y en los flacos del deslizamiento (drenaje transversal), combinado con cunetas y contracunetas, mantienen en aparente equilibrio a la ladera.

IGRGG-04

**ESTUDIO DE ESTABILIDAD DE TALUDES ROCOSOS Y
ZONIFICACIÓN DE RIESGO GEOTÉCNICO EN EL
CERRO EL TENAYO**

Carlos Valerio V.¹ y García Palomo A.^{1,2}

¹ Servicio Geológico Metropolitano

E-mail: huaterio@yahoo.com

² Instituto de Geología, UNAM

El cerro El Tenayo es un domo volcánico de composición dacítica que forma parte de la Sierra de Guadalupe, localizado entre las coordenadas 99°11', 99°09'W y 19°31.5', 19°33'N, en el municipio de Tlalnepantla, Edo de México. Presenta forma elíptica con un eje mayor de aproximadamente 1.4 Km y un eje menor de 1 Km. El desnivel que presenta con respecto a la planicie lacustre es de 500 m.

Debido al intenso crecimiento urbano desarrollado a partir de los años setenta en toda la Sierra de Guadalupe y particularmente en el Cerro El Tenayo, se tiene como resultado que gran parte de las viviendas fueron construidas en zonas de laderas que presentan serios peligros geotécnicos. Este crecimiento irregular de la mancha urbana ha ocasionado grandes alteraciones e impactos en el medio físico, que se manifiestan en cortes de laderas, construcción de caminos y la sobrecarga de viviendas en zonas rocosas potencialmente inestables.

En el estudio se establece una metodología para evaluar la estabilidad de los taludes rocosos del cerro El Tenayo. Con base en técnicas de campo y gabinete se definieron los factores que influyen en la estabilidad de los macizos rocosos, como son: topografía, litología, comportamiento mecánico,

fracturamiento, sismicidad, clima, vegetación, grado de intemperismo y procesos antrópicos. Relacionando estas variables y con base en observaciones de campo se dividió el área de estudio en cuatro zonas que presentan riesgos geotécnicos definidos. Los principales mecanismos de falla que se detectaron son: deslizamiento, volteo, caída de rocas así como flujo de detritos.

Utilizando el programa de "Rock Fall" se modeló la trayectoria de los bloques, para los distintos mecanismos de falla, y se obtuvieron parámetros importantes como el alcance horizontal, la velocidad y la energía cinética, los cuales sirven para delimitar las zonas de alto, mediano y bajo riesgo así como para plantear y diseñar soluciones geotécnicas. Toda la información anterior se integró para realizar un mapa de riesgo geotécnico. Se estimaron las propiedades índice y mecánicas de la roca más importantes para realizar los análisis de estabilidad de los cuales se desprenden las soluciones geotécnicas. Finalmente se propone un plan de mitigación de riesgo para cada zona evaluada.

IGRGG-05

PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA SIERRA NORTE DE PUEBLA, SEPTIEMBRE-OCTUBRE DEL 1999

Capra L. y Lugo-Hubp J.
Instituto de Geografía, UNAM
E-mail: solari@servidor.unam.mx

A finales del mes de Septiembre y durante la primera semana de Octubre de 1999, la Sierra Norte de Puebla fue afectada por algunos miles de procesos de remoción en masa. La depresión tropical número 11 ocasionó lluvias abundantes, con picos máximos entre el 4 y 5 de octubre. Las ciudades de Teziutlán y de Zapotitlán de Méndez son probablemente los dos sitios que han sufridos mayores daños en cuanto a pérdidas humanas y daños a infraestructuras.

La ciudad de Teziutlán (Puebla), edificada sobre los productos piroclásticos de la Caldera de Los Humeros, ha sido afectada por numerosos procesos de remoción en masa tipo deslizamiento superficial del suelo, uno de los cuales fue responsable de la muerte de aproximadamente 150 personas. Con base en el estudio de detalle de las características geológicas y geomorfológicas del área afectada, se ha determinado que el mecanismo principal que dispara el movimiento de ladera es la formación de presiones positivas en los materiales volcánicos no-consolidados. En particular, la alternancia de suelos arcillosos con horizontes de caída de pómez/escorias determina la formación de discontinuidades hidráulicas a partir de las cuales se originan niveles freáticos que van saturando los sedimentos.

Por el contrario, los procesos observados en el poblado de Zapotitlán de Méndez son de dos tipos muy distintos: 1) deslizamientos superficiales de suelo volcánico que, debido al reducido espesor del suelo (< 1 m), fueron de magnitud inferior con respecto a los de Teziutlán y no provocaron daño alguno;

2) deslizamientos profundos de tipo rotacional en lutitas plegadas, el más grande de los cuales se transformó en un flujo de escombros de aproximadamente 7000 m³ que alcanzó una distancia de hasta 500 m hasta llegar al cauce del Río Zempoala. Esta lutitas están fuertemente plegadas, fracturadas y presentan un clivaje que aquí buza con 35° a favor de la pendiente. La formación de presiones positivas en las fracturas aunadas a la particular geometría de las capas de lutitas favorecieron la formación de este tipo de deslizamiento.

Los dos casos aquí analizados evidencian la importancia de determinar los factores hidrogeológicos que promueven la iniciación de procesos de ladera para poder prevenir y mitigar en un futuro un desastre natural como el del 1999.

IGRGG-06

LOS FLUJOS DETRÍTICOS DEL VOLCÁN EL CACIQUE EN ZITÁCUARO, MICH., MÉXICO

Arreygue-Rocha E. y Garduño-Monroy V.H.
Depto. de Geología y Mineralogía, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, UMSNH
E-mail: arrocha@zeus.umich.mx

El Complejo Volcánico de El Cacique se localiza en el sector sureste de la Ciudad de Zitácuaro. Se trata de una zona volcánica donde se han concentrado aparatos volcánicos tipo domo que dan a la región pendientes muy pronunciadas. En particular el Volcán El Cacique, domo más reciente, tiene pendientes de más de 30° en sus faldas, las cuales entran en contacto con planicies ocupadas por depósitos volcánicos retrabajados, donde las pendientes son menores y van de 10° a 20° en el terreno. Estos contrastes topográficos son muy importante debido a que el agua o cualquier producto en forma líquido-viscosa, podría ocasionar grandes daños en las salidas de cañadas y en las partes planas, provocando además alta erosión mecánica. También es importante resaltar que las dos cañadas más profundas del flanco Oeste de El Cacique son las que muestran mayor inclinación. ello debido a su composición litológica (lavas dacíticas), las cuales son porciones topográficas potenciales a deslizarse.

Los movimientos que se presentan y se pueden presentar en esta zona, son de tres tipos: Caída de bloques, Flujos de lodo y bloques (lahares) y Flujos de bloques, arena y lodo.

Los habitantes de la parte norte del volcán han sido testigos en los últimos 50 años de al menos cinco eventos de flujos detríticos los cuales han dejado pérdidas materiales y humanas. El último evento que se ha presentado fue el día 31 de mayo del 2000, donde parte de dos centros habitados se vieron envueltos en un gran flujo de bloques arena y lodo. Nuevamente las pérdidas fueron importantes pues afectó a más de 30 familias que viven sobre las cañadas de este volcán. Sus viviendas habían sido construidas sobre antiguos depósitos de flujos de detritos.

IGRGG-07

ESTUDIO GEOFÍSICO EN POZO SOMERO APLICADO A LA INGENIERÍA CIVILArturo Malagón Montalvo¹, Gabriel Martínez Ramírez² y Pablo Zamudio Zavala³¹ Instituto de Ingeniería Sísmica, Universidad de Guadalajara
E-mail: malagon_arturo@hotmail.com² Sandstorm-Gam. Ingeniería Geotécnica³ Posgrado en Ingeniería Civil, Universidad de Guadalajara

Los estudios geofísicos de pozos han adquirido gran importancia para la ingeniería ya que estos han proporcionado información importante para el diseño anti-sísmico de estructuras civiles. Este trabajo es parte de un estudio multidisciplinario en donde participaron áreas como Geología, Sismología de Terremotos, Geotecnia, Geofísica y Dinámica de Suelos, Estructuras, etc.

El objetivo de este estudio está relacionado con el cálculo de las velocidades de ondas de cizalla en diferentes tipos de materiales, dato fundamental para que los geotecnistas y estructuristas puedan conocer los valores reales de las constantes elásticas de los materiales "in situ", ya que es una herramienta fundamental en el diseño y reforzamiento de edificios para que soporten las fuerzas dinámicas ocasionadas por fuentes naturales (terremotos) o artificiales (vibraciones).

Se describe la técnica y método de los trabajos de exploración geofísica realizados en un sitio en el centro de la ciudad de Guadalajara para el reforzamiento de una estructura civil, usando la técnica de pozo (down-hole) en cuatro sondeos perforados a 15.5, 11.0, 11.40 y 12.20 metros de profundidad respectivamente, con el propósito de conocer los parámetros elásticos-dinámicos de los materiales del subsuelo en el sitio de estudio como son: La relación de Poisson, el módulo dinámico de Young y el módulo de rigidez o de corte. Se utilizó un sismógrafo de 12 canales marca Geometrics modelo ES-1225 versión 3.3. En el pozo S2 (15.5 m) se realizaron 14 lecturas, en el pozo S4 (11.0 m) se obtuvieron 8 lecturas, mientras que para los pozos S5 (11.40 m) y S7 (12.20 m) se efectuaron 10 lecturas en cada uno respectivamente. Esta técnica nos permite realizar mediciones de los tiempos de arribo de las ondas longitudinales y transversales a diferentes profundidades del subsuelo a partir del cual se obtuvieron las velocidades de propagación de onda P Y S para el sitio de estudio. Con los registros obtenidos del sismógrafo se efectuaron en gabinete las lecturas y correcciones de los tiempos de arribo en cada intervalo de medición y con esta información se obtuvieron las curvas tiempo-profundidad que permitieron obtener las velocidades sísmicas de los diversos materiales atravesados por los sondeos; con estas velocidades y utilizando los valores de pesos volumétricos obtenidos mediante la exploración directa y laboratorio, se calcularon los parámetros elásticos-dinámicos. En los cuatro sondeos en donde se realizaron pruebas

geofísicas se observó la presencia de tres comportamientos de las velocidades sísmicas diferentes a lo largo de cada barreno, esto debido a la presencia de la intercalación y acuíferos de materiales como arena limosa y limo con diferentes compacidad. Observándose una clara correspondencia de las velocidades de onda longitudinal y transversal con la tendencia de compacidad y resistencia obtenida en la prueba de penetración estándar. Para los tres primeros metros de profundidad se obtuvieron las velocidades más bajas a lo largo del pozo, tanto de onda longitudinal como transversal, las cuales pueden deberse a un retraso de la onda en el relleno circundante al brocal del barreno en la zona superficial, sin confinamiento y de baja compacidad, por lo que no representa un comportamiento natural del terreno y debe despreciarse. Por lo tanto se concluye que de acuerdo a los resultados obtenidos de la exploración directa (en pozos) e indirecta (geofísica) los estratos encontrados son homogéneos y presentan una buena concordancia entre sí, solo difieren un poco en cuanto a espesores y profundidad al estrato duro (roca), lo cual es congruente con las pendientes topográficas de la zona.

IGRGG-08

MICROSISMICIDAD DE LA PORCIÓN NORTE DE LA FOSA TEPIC-CHAPALA Y SU RELACIÓN CON LA TECTÓNICAMarco A. Delgado Vázquez, Oscar Jiménez S., Sixto Fernández Ramírez y Antonio Uribe Carvajal
Estudios de Ingeniería Civil, Sismotectónica, CFE
E-mail: auc18948@cfе.gov.mx

Mediante la instalación y operación de una red sismológica en forma continua desde el año de 1987 a la fecha, la Comisión Federal de Electricidad investiga el comportamiento en tiempo y espacio de la actividad sísmica en la cuenca del Río Santiago.

Así los estudios recientes de microsismicidad a lo largo del Río Santiago en proyectos Hidroeléctricos, han contribuido al conocimiento de las estructuras geológicas en la porción norte de la Fosa Tectónica Tepic-Chapala. Estos revelan que la corteza ha sido históricamente sometida a grandes esfuerzos de diferentes tipos, donde en la actualidad pequeños cambios pueden llegar a inducir sismos, como los ocurridos en el entorno de embalses al incrementarse la presión de poro por el llenado ó en épocas de lluvia.

La información obtenida en el periodo de 1993 a 1998, entre las coordenadas geográficas, 21.60° a 22.20° de latitud norte y 105.40° a 104.60° de longitud oeste, corresponde al registro de aproximadamente 1500 sismos de magnitud menor a 3.5°, 28 sismos con magnitud entre 3.6° a 4° y, únicamente, dos sismos con magnitud entre 4.1° a 5°. El 85% de estos epicentros se localizaron dentro de la Fosa Tectónica Tepic-Chapala.

Con los hipocentros de dichos sismos se elaboraron perfiles con orientaciones Norte-Sur, Este-Oeste y Noroeste-Sureste donde se muestra una distribución y un comportamiento distribución bien definido que puede ser correlacionado con el régimen tectónico que impera en la región, donde el patrón estructural predominante es NW-SE y NE-SW.

Con el propósito de comprobar el comportamiento y la distribución sísmica se elaboraron otros perfiles de una área mayor comprendida entre las coordenadas geográficas 103.50° a 106° de longitud oeste y 21° a 23° de latitud norte. Los cuales muestran algunas superficies delineadas por hipocentros, las cuales se profundizan hacia la costa, por lo que se pueden considerar como un límite litológico o un cambio en las propiedades del macizo rocoso. Así mismo, se observan bloques escalonados cuyos límites corresponden con orientaciones NW-SE y NE-SW, los cuales están basculados hacia el SW y SE. La presencia de este comportamiento estructural puede ser inferida similarmente desde las inmediaciones de la ciudad de Guadalajara hasta Tepic, para internarse en la costa pacífica.

IGRGG-09

SIMULACIÓN DE TEMBLORES DE DISEÑO PARA TERRENO FIRME EN LA CIUDAD DE PUEBLA

Posada Sánchez A.E.¹, González-Pomposo G.J.¹, Alcántara Nolasco L.² y Jiménez Barroso J.¹

¹ Facultad de Ingeniería, BUAP

E-mail: cs002313@hotmail.com

² Instituto de Ingeniería, UNAM

A raíz de los daños sufridos por las estructuras coloniales en la ciudad de Puebla como consecuencia del sismo de 15 de junio de 1999, se realizaron estudios sísmicos para modificar el reglamento de construcciones del municipio de Puebla. Debido a que no se contó con registros sísmicos de eventos locales para realizar tal modificación, fue necesaria la extrapolación de datos correspondientes a registros del Distrito Federal. Sin embargo, resulta importante considerar que las condiciones geotécnicas y geotectónicas de la ciudad de Puebla son muy distintas a las del Distrito Federal, ya que los eventos provenientes de la región sureste han afectado históricamente en menor escala al D.F. que a la ciudad de Puebla, mientras que para eventos generados en el suroeste ha sucedido lo contrario. Por lo anterior, se ha realizado una revisión de los registros acelerográficos obtenidos provenientes de distintas fuentes sísmicas en el sitio de Barranca Honda (estación BHPP), ubicado al norte de la ciudad y desplantado sobre derrames de andesitas subyacidas por tobas. Mediante el escalamiento de estos ocho eventos empleando como base el modelo de fuente omega cuadrada y omega cúbica, y basándose en los parámetros planteados por el estudio de riesgo sísmico realizado por el GREAN en 1999, se han simulado distintos temblores de diseño, de acuerdo a las posibles fuentes de generación de sismos que afectan a la

ciudad y de las que se cuenta con registros. El objetivo del trabajo es crear señales sísmicas de aceleración que correspondan a las condiciones del terreno a partir de las distintas fuentes sísmicas, y que tengan características adecuadas para emplearse en el diseño de estructuras en este tipo de terreno dentro de la ciudad. Para este estudio se emplearon ocho distintos registros: un evento local, tres eventos originados por fallamiento normal y cuatro más generados en la zona de subducción del Pacífico, dos de ellos procedentes de la costa sur-occidental y dos de la costa sur-oriental. Finalmente se realizó una comparación entre los resultados obtenidos con los datos de la Red de Acelerógrafos de la Ciudad de Puebla (RACP) y un evento generado para espectros de respuesta en roca correspondiente a un periodo de recurrencia de 150 años. Entre los resultados obtenidos se observa que los mayores riesgos para el terreno firme de la ciudad de Puebla corresponden a eventos generados por fallamiento normal ya que la concentración de altas aceleraciones en la región que corresponde a periodos entre 0.5 y 2.0 s puede afectar gravemente a estructuras del tipo colonial, que abundan en la ciudad de Puebla. Se observa también que los eventos de subducción que mayor daño pueden causar a la ciudad son los provenientes de la costa sureste del país, puesto que los eventos generados en la región del sur-oeste se ven atenuados notoriamente.

IGRGG-10

EL TERREMOTO DE AREQUIPA, PERÚ DEL 23 DE JUNIO DE 2001 (Mw=8.4): OBSERVACIONES SISMOLÓGICAS, ATENUACIÓN SÍSMICA Y EFECTOS DE SITIO EN LAS CIUDADES DE AREQUIPA, CAMANA, MOQUEGUA, ILO Y TACNA

Javier Lermo, Fernando Lázares y Julio Cuenca
Coordinación de Ingeniería Sismológica, Instituto de Ingeniería,
UNAM

E-mail: lermo@inti.iingen.unam.mx

Efectos locales de sitio son analizados en varias ciudades del Perú, a partir de datos de réplicas ($4.2 < M_s < 6.6$) del terremoto de Arequipa ($M_w = 8.2$, $M_s = 7.9$) de fallamiento inverso. El método de Nakamura y una variación del método estándar (Método promedio) fueron aplicados a los datos mencionados, registrados en las ciudades de Arequipa, Moquegua, Tacna, Ilo y Camaná. Amplificaciones relativas mayor a 10 veces fueron observadas en la mayoría de ellas. Sin embargo el rango de frecuencias en las cuales éstas ocurren, son las siguientes: en Arequipa a partir de 1 a 20 Hz; en Tacna a partir de 0.3 a 10 Hz; y en Moquegua, Ilo y Camaná a partir de 2 a 10 Hz. Los daños en las edificaciones responden a los efectos de sitio encontrados en las cinco ciudades. Además, utilizando la mayoría de los datos de las estaciones de referencia se pudo obtener la siguiente relación de atenuación: $\text{Log}(A_{\text{max}}) = 1.3 + 0.3M - \text{Log } R - 0.0031R$.

IGRGG-11

CURVA DE ATENUACIÓN LOCAL EN UNA ESTACION ACELEROGRÁFICA A PARTIR DE UN POZO DE SONDEO

González Pomposo G.J., Jiménez Barroso J., Posada Sánchez A.E., Reyes Santos L., De la Luz Santacruz R., Spinola Molina J. y García Rodríguez H.S.
 Facultad de Ingeniería, BUAP
 E-mail: yany_jm@yahoo.com

Este trabajo presenta el cálculo de la curva de atenuación empírica local, para distintas profundidades en la estación acelerográfica localizada en el Paseo Nicolás Bravo, que forma parte de la Red de Acelerógrafos de la Ciudad de Puebla. Esto se realizó por medio de los registros acelerográficos que se obtuvieron durante la perforación de un sondeo para obtención de muestras de suelo en dicha estación. La información analizada se obtuvo con dos acelerógrafos de alta (18 bits) y baja (12 bits) resolución instalados en el sitio. El estudio se realizó a distintas profundidades con el fin de detectar las diversas señales provocadas por la fuente dinámica controlada. La señal así recabada es una convolución de tres señales distintas: la fuente, la trayectoria y la respuesta del equipo. Al calcular los cocientes espectrales entre las distintas señales así obtenidas, eliminamos la fuente y la respuesta del equipo (factor común en ambas), obteniendo solo la relación de efectos de trayectorias. Lo anterior proporciona información sobre las características dinámicas de los diferentes estratos del suelo bajo la estación de manera directa (a partir de la perforación) y de registros acelerográficos. Las relaciones que se utilizaron son las H-V, para determinar el efecto que provoca una excitación vertical en las componentes horizontales, y las relaciones espectrales, para determinar la atenuación presentada con la profundidad ante una misma fuente. Durante la perforación se detectaron estratos de material rocoso tipo travertino, correspondientes a depósitos sulfurosos, en espesores de 1.50 a 4.00 m intercalados con estratos de material arcilloso y limoarenoso suelto. La profundidad de excavación fue de 60 m para lograr establecer las propiedades dinámicas de un estrato de suelo que pueda considerarse cercano al basamento. Este pozo será utilizado posteriormente para la instalación de sensores de aceleración a diferentes profundidades.

IGRGG-12

ESTUDIO GEOTÉCNICO PRELIMINAR DEL TRAMO 60+000 AL 61+000 DE LA CARRETERA FEDERAL NO. 85 MÉXICO-LAREDO, ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO

José Luis Jiménez Mendoza y Fernando Ramírez Chaves
 Facultad de Ingeniería, UNAM
 E-mail: jimendoza@mailbanamex.com

La ampliación de la carretera federal No. 85 México-Laredo, requirió de un nuevo trazo en el tramo Julian Villagran-Ixmiquilpan con la finalidad de evitar la fuerte pendiente que tiene la vía en el paraje Puerto de los Pastores.

El objetivo de este trabajo fue conocer la geología detallada del trazo carretero entre los cadenamientos 60+000 y 61+000, así como establecer las características geotécnicas de las rocas presentes para identificar los posibles problemas que se presentaran durante la construcción.

La columna estratigráfica local está constituida por calizas de la formación El Doctor del Cretácico Inferior, las cuales se encuentran cubiertas en discordancia angular por la secuencia vulcanoclástica de la formación Tarango del Plioceno Superior, ambas unidades son cubiertas por depósitos de talud y aluviales de edad reciente. Las rocas cretácicas forman un sinclinal orientado norte-sur con buzamiento al norte. Se identificaron dos sistemas de fracturamiento: el primero con una orientación N-S y NW-SE con echados variables, tanto al NE como al SW y se relaciona con los esfuerzos compresivos de la Orogenia Laramide; el segundo se relaciona con fallas normales distensivas con rumbos que varían de E-W a NW-SE con echados fuertes tanto al norte como al sur.

El análisis de los datos geológicos y geotécnicos indican que durante el corte del tramo carretero posiblemente se presenten los siguientes problemas: cuñas en el macizo rocoso con salida al corte, deslizamiento de capas de pequeño espesor y con fuerte echado en dirección al eje de la vía, oquedades en los taludes debido a la erosión diferencial de horizontes de arena volcánica no consolidada.

Para minimizar los problemas descritos se recomienda no sobre fracturar el macizo rocoso durante las voladuras.

IGRGG-13

ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA ALTERNATIVA VÍAL EN LA CIUDAD DE TAXCO DE ALARCÓN, GRO.

Javier Bustamante García¹, Alejandro Jaimes Fuentes¹, Víctor Gómez Blanco² y Joel Ramírez Espinosa¹

¹ Universidad Autónoma de Guerrero

E-mail: jaboroc@hotmail.com

² Ayuntamiento de Taxco

Debido a la creciente necesidad de contar con una vía que libere y agilice el flujo vehicular de la Carretera Federal No. 95 México-Acapulco dentro de la Ciudad de Taxco de Alarcón, se ha puesto en marcha por iniciativa de las autoridades municipales, el proyecto de construcción de un libramiento que circunda la zona urbana de esta ciudad y con ello beneficiar a un promedio de 80 000 habitantes que harán uso de la misma.

El estudio geológico realizado se enfocó en definir superficialmente las características físicas del macizo rocoso donde se emplazarán las obras del proyecto. La información obtenida muestra la distribución y relaciones de las distintas unidades litológicas que se encuentran aflorando en el área estudiada, mismas que son el resultado de los levantamientos de geología de campo a semidetalle y detalle a escalas 1: 5 000 y 1: 2 000 de una franja de 2.4 kilómetros cuadrados a

lo largo y ancho en el trazo proyectado. En este estudio se describen áreas de interés donde se identificaron zonas inestables determinadas a partir del análisis de las discontinuidades así como de la distribución de los trabajos mineros presentes y su relación con la obra. Se dan a conocer las recomendaciones para aquellas zonas susceptibles a remoción por métodos mecánicos o por el uso de explosivos. Dichos trabajos sirvieron de base para los trabajos de geofísica y mecánica de rocas aplicadas a la obra.

De acuerdo a los estudios geológicos, el trazo propuesto se consideró como factible. Actualmente se han concluido los trabajos de corte de la plantilla con tractor en una distancia de 2.9 kilómetros del tramo El Panteón-Cazallas, mientras que el embovedado de la Barranca "Lo de Tapia" y su respectiva plantilla se ha realizado casi en su totalidad. Se han implementado algunos métodos de estabilidad de taludes para los sitios considerados como inestables tomando como base las consideraciones derivadas de la propuesta inicial.

IGRGG-14

LOS DESLIZAMIENTOS EN MASA DEL ESCARPE LA PALOMA EN LA CIUDAD DE MORELIA, MICH., MÉXICO

Arregue-Rocha E., Garduño-Monroy V.H., Hernández-Madrigal V.M., Mora-Vences F. y Alditurriaga-González O.
 Depto. de Geología y Mineralogía, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, UMSNH
 E-mail: arrocha@zeus.umich.mx

En los últimos años la inestabilidad de taludes ha despertado el interés en los estudiosos de las Ciencias de la Tierra, ya que día con día este tipo de fenómenos están afectando más a las obras civiles y en muchos casos a los centros habitacionales que se encuentran localizados cerca de algún problema de esta índole.

La Ciudad de Morelia está ubicada en una zona donde se han reconocido varios tipos de peligros geológicos (inundaciones, inestabilidad de taludes, falla-creep-subsistencia, etc). Su mancha urbana ha ido invadiendo en los últimos 20 años zonas de riesgos que, hasta 1970, habían sido consideradas como reservas naturales.

Desde un punto de vista estructural el talud representa el flanco sur de un semigraben que se asienta en correspondencia a la falla normal del sistema Morelia-Acambay. La tipología de los movimientos presentes es variada y está ligada a las características litológicas y estructurales de los materiales, también las dimensiones de los fenómenos resultan extremadamente variables.

En los últimos 20 años las construcciones han llegado a la base del escarpe de la falla denominada La Paloma, ubicada al sur de la ciudad, caracterizada por un fuerte grado de inestabilidad. El escarpe La Paloma constituye uno de los principales elementos geomorfológicos de la ciudad,

extendiéndose en dirección E-W. Su altura máxima es de aproximadamente 200 m, pero su desnivel efectivo va más allá de los 250 m.

Fenómenos de deslizamiento rototraslacionales han sido identificados en diferentes puntos del escarpe como son el de Sedue, en El Campestre, y zona de Ocolusen, además se pueden observar otros pequeños fenómenos. Movimientos de caída y volcamiento de bloques afectan los materiales "consolidados" que se observan a lo largo del acantilado. Estos movimientos están asociados a la presencia de varios bloques, con volúmenes de diversos metros cúbicos, que por ahora se han detenido a la mitad del talud y que son susceptibles de nuevos movimientos. Tales bloques, vista la ausencia de obstáculos morfológicos en su trayectoria, pueden llegar al centro habitado localizado en la parte inferior del escarpe. Este último movimiento de bloque podría ser generado por un ligero sismo de carácter regional.

IGRGG-15

FRACTURAS Y FALLAS DEL TERRENO EN LA ZONA URBANA

Mata-Segura J.L., Torres-Hernández J.R. y Labarthe-Hernández G.
 Instituto de Geología, UASLP
 E-mail: jolumata@hotmail.com

En los últimos cinco años, en la zona urbana de la ciudad de San Luis Potosí, han estado ocurriendo rupturas y agrietamiento del terreno, lo que ha ocasionado rompimiento progresivo del pavimento de calles, sistema de agua potable y drenaje, rupturas y grietas menores de casas habitación y de algunos edificios públicos. Este fenómeno ocurre principalmente a lo largo de una línea con dirección N-S en su parte septentrional y N-NW en su parte meridional. Este rasgo (que denominaremos Falla Aeropuerto), se ha cartografiado por poco más de 5 kilómetros. Los rasgos generales de la falla son formación de grietas de tensión; depresiones y pliegues alargados de pisos de casas y en pavimentos de calles (los ejes de los pliegues y planos de ruptura son oblicuos respecto a la traza de la falla), y asentamientos diferenciales entre los bloques que divide la falla.

Las hipótesis planteadas para explicar el fenómeno fueron: a.- mala cimentación de las construcciones, b.- sobre explotación de los acuíferos profundos; c.- reactivación de fallas normales, d.- ambas cosas; e.- una falla lateral con bajas tasas de desplazamiento (<2 cm por año).

La hipótesis a queda eliminada por que la ruptura del piso de las casa y calles es un rasgo linear, y fuera de esa línea no hay perturbación notable. En cuanto a la hipótesis b, en la ciudad de San Luis Potosí, como en otras ciudades del centro de México, el crecimiento de la población ha sido acelerado en los últimos 20 años, por lo que se ha incrementado la perforación de pozos profundos para el abastecimiento de agua potable, generando con esto la sobre explotación de los

acuíferos. En ciudades como Celaya, Aguascalientes, Morelia y Querétaro, la extracción acelerada de agua ha ocasionado asentamientos del terreno y la formación de fallas en la zona urbana. En esos casos, los asentamientos siguen los patrones de fallas regionales que definen la estructura tectónica de los valles donde se asientan las zonas urbanas. En el caso de la ciudad de San Luis Potosí, existe cierta correlación entre la traza de la Falla Aeropuerto y una de las principales estructuras en el subsuelo, sugiriendo que pueden estar ligadas genéticamente.

La hipótesis c solo podría considerarse si el fenómeno se caracterizara por el asentamiento de uno de los bloques con respecto del otro, y si el patrón general de fracturas fuera paralelo o semiparalelo a la traza de falla, y los pliegues fueran monoclinales, con plano axial también paralelo a la falla pero en este caso son más bien oblicuos. Estos mismo argumentos pueden usarse para desechar la hipótesis d. En cuanto a la hipótesis e, las características de ruptura del terreno en la zona urbana que se mencionan al principio, sugieren un tipo de ruptura por fallamiento a rumbo más que por asentamiento de terreno, o por fallamiento normal.

En conclusión, las características del fenómeno antes señaladas, nos permiten favorecer la hipótesis e, sin que se pueda eliminar una participación importante de la opción b.

IGRGG-16

EL HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO EN EL PERÍODO 1995-2001 OBSERVADO CON GPS

Aristóteles Jaramillo y Osvaldo Sánchez
Instituto de Geofísica, UNAM
E-mail: osvaldo@ollin.igeofcu.unam.mx

Desde 1995, personal del Instituto de Geofísica de la UNAM ha estado realizando un monitoreo del desplazamiento vertical en una red de 16 puntos ubicados en la Ciudad de México y zonas aledañas, usando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con el método estático y post-proceso de los datos con el software del JPL-California Institute of Technology GIPSY-OASIS II.

Los hundimientos que observamos van desde cero en los puntos ubicados en la zona de lomas hasta casi 30 cm/año en el Aeropuerto Internacional Benito Juárez.

Con el objeto de analizar si el tipo de monumento geodésico que usamos podía influir en los resultados, calculamos los esfuerzos verticales y con ellos los asentamientos debidos al monumento y encontramos que éstos son del mismo orden que los errores implícitos en el método, con lo cual concluimos que los resultados no están afectados por el tipo de monumento.

De igual forma observamos que la mayoría de los hundimientos coinciden con lo que se esperaría, al menos cualitativamente, con la estratigrafía de la zona donde se ubica el punto de monitoreo.

Adicionalmente procesamos los datos con el software de Leica Ski-Pro y aunque éste usa una estrategia diferente a la de GIPSY, los resultados son los mismos. Esto es debido en gran parte a que los datos originales son en general de buena calidad.

IGRGG-17

SHEETING (DIACLASAS PLANAS) Y DESLIZAMIENTOS EN LA CD. DE GUANAJUATO

John A. Randall Roberts
Universidad de Guanajuato
E-mail: randall@redes.int.com.mx

Una serie de horizontes de fracturas planas, paralelos a los pendientes topográficos se presentan en las rocas duras pero rígidos, como las formaciones Conglomerado Rojo de Guanajuato y formación basáltica La Luz, en la Cd. De Guanajuato y sus alrededores, que representan un riesgo para la construcción. Ha habido unos casos de deslizamientos sobre ellas. Existen por lo menos dos horizontes (1) el primero a 2-7 mts. de profundidad, y (2) la segunda a 5-20 mts. de profundidad, ambas son fácilmente reconocidas en cortes de carreteras y por sondeos eléctricos verticales. La resistividad eléctrica de las fms. Conglomerado de Gto. y La Luz está en el rango de 200 a 500 ohm mts. mientras en las franjas de sheeting la resistividad baja a unos 25-75 ohm mts. haciendo dichas zonas Fáciles de reconocer en los SEV. Formaciones menos rígidas como las filitas de la fm. Esperanza y los volcánicos del Terciario no muestran el sheeting. Se propone que el origen de este tipo de diaclasamiento semi plano es típico de sheeting en otros lugares siendo debido a levantamiento tectónico rápido pero en pulsos durante el último millón de años. Sobre la Falla del Bajío y otras, el movimiento tectónico ha desplazado a los basaltos del Cerro del Cubilete casi un kilómetro en sentido vertical en un máximo de 1.5 millones de años, indicando un movimiento promedio de un mínimo de 0.7 mm al año, que sin duda ha sido en pulsos dando a menudo un levantamiento mayor.

IGRGG-18 CARTEL

UTILIZACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AL ANÁLISIS DE LAS FALLAS Y FRACTURAS DE LA CUENCA DE MÉXICO

Del Valle L.¹, Galván H.A.¹, Espinosa G.¹, Garrido A.¹⁻³, López C.¹ y García-Palomo A.¹⁻²
¹ Servicio Geológico Metropolitano
E-mail: apalomo@geologia.unam.mx
² Instituto de Geología, UNAM
³ Instituto de Geografía, UNAM

El Servicio Geológico Metropolitano (SEGEOMET) realiza estudios de tipo geológico, sísmico, geohidrológico, geotécnico y de peligros geológicos en la Cuenca de México, de los cuales se ha generado una gran cantidad de información por lo que surgió la necesidad de trabajar con Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Actualmente se está llevando a cabo el proyecto "Mapeo y análisis de las fallas y fracturas de la Cuenca México a escala 1:250 000". Este análisis se está realizando a tres niveles: imágenes de satélite, fotografías aéreas y trabajo de campo, de los cuales se obtienen datos como: localización, rumbo, echado, longitud, espaciamiento, relleno, edad y cinemática de cada una de las fallas y fracturas. Toda esta información que se obtiene se integra dentro de un Sistema de Información Geográfica que se actualiza constantemente de tal manera que toda esta información se puede manipular y analizar para los diferentes fines que se persiguen dentro del SEGEMET, por ejemplo el mapa estructural de la Cuenca de México, definición de las zonas de recarga, zonas susceptibles a deslizamiento y zonas sísmicas.

IGRGG-19 CARTEL

MECANISMOS DE ENDURECIMIENTO HIDRÁULICO PUZOLÁNICO DE LAS TOBAS PUMÍTICAS (JAL) DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA, JALISCO, MÉXICO

David Vargas del Río¹, Pedro F. Zárate del Valle² y Humberto Gutiérrez Pulido³

¹ Laboratorio de Investigación del Posgrado en Ingeniería Civil, CUCEI, Universidad de Guadalajara
E-mail: davideberto@hotmail.com

² Depto. de Química, CUCEI, Universidad de Guadalajara

³ Depto. de Matemáticas, CUCEI, Universidad de Guadalajara

Se llama puzolana a todo material que, finamente molido, al combinarse con cal y en presencia de agua otorga propiedades cementantes a un conglomerante no hidráulico como la cal. A la propiedad anterior se le conoce como actividad puzolánica (AP) la cual se basa en que la sílice (SiO_2) y la alúmina (Al_2O_3) (componentes de los materiales puzolánicos), cuando son finamente molidos y en presencia de humedad y a temperatura ambiente, son capaces de reaccionar químicamente con la cal (hidróxido de calcio: $\text{Ca}(\text{OH})_2$) para generar compuestos (tobermorita) con propiedades cementantes. La AP requiere que las uniones químicas de la sílice y la alúmina sean lábiles (zeolitas, vidrios volcánicos y materiales activados). Esta reacción es de tipo ácido-base entre los óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) y los álcalis (Na_2O y K_2O) de la puzolana y el hidróxido de calcio, siendo sus características: 1) la disminución gradual de la cantidad de hidróxido de calcio y 2) la formación de hidrosilicatos de calcio, hidroaluminatos de calcio e hidroaluminosilicatos de calcio, los cuales son similares a los productos de la hidratación del cemento Portland. Mineralógicamente durante la AP se forman principalmente tobermoritas pobremente cristalizadas (gel), las cuales son hidrosilicatos de calcio de composición $(\text{CaO})_x(\text{SiO}_2)_y(\text{H}_2\text{O})_z$ con una razón Ca/Si que va de 1.39 a 1.73 y con aspecto al microscopio electrónico que varía de laminillas irregulares a escamas, nódulos o fibras.

El subsuelo de la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG) está formado principalmente por la formación geológica denominada Toba Tala, la cual consiste de un material piroclástico tipo pumítico, compuesto en su mayor parte por vidrio volcánico y que localmente se conoce como jal. La AP utilizando el jal de La ZMG, se siguió a través del tiempo (7-90 días) con microscopía óptica, difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido, observándose que el gel de tobermorita se genera en la superficie de los granos de la puzolana, adquiriendo la forma de glóbulos amorfos que enlazan unas partículas con otras; estos glóbulos amorfos aumentan progresivamente en cantidad a través del tiempo, observándose también un incremento progresivo en la resistencia a la comprensión simple del material resultante. Los elementos críticos a controlar en la AP son: tamaño de partícula de la puzolana, relación agua/cementante, proporción de puzolana en la mezcla, tiempo de curado, temperatura y humedad circundantes (propiedades de curado), etc. Por tratarse de una investigación experimental y para optimizar las proporciones de los tres componentes considerados (puzolana, cal, cemento) se aplicó un diseño de mezclas simplex-lattice (3,3) aumentado X diseño factorial 3k.