



GA CE TA

**DEL INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Modelado numérico
avanzado de arcillas
blandas estructuradas

Mitigación de deformaciones
inducidas por las grietas
del suelo de la Ciudad
de México

Evaluación del comportamiento
viscoelástico de mezclas
asfálticas mediante
un modelo micromecánico
autocoherente

Determinación de propiedades
térmicas de los suelos

Laboratorio de Modelado
Numérico Avanzado
e Instrumentación

Como hace dos años, este número de la Gaceta está dedicado a la Coordinación de Geotecnia, que en años recientes ha participado en una serie de proyectos emblemáticos para el país. Entre ellos, el del Nuevo Aeropuerto Internacional de México (NAIM), en el que el conocimiento y la experiencia de sus investigadores tuvieron una influencia decisiva en diversos aspectos de su diseño y construcción. La Coordinación también colaboró activamente tras los sismos de septiembre de 2017, apoyando en el reconocimiento de daños en la Ciudad de México. Diversos proyectos de investigación derivaron de la necesidad de resolver problemas geotécnicos ocasionados por los sismos en las cimentaciones, construcciones, pavimentos e instalaciones municipales en Alcaldías como Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco. Actualmente, esta Coordinación participa en el proyecto de la Refinería Dos Bocas en Paraíso, Tabasco, en el que se revisan, analizan y evalúan los estudios geotécnicos para el apoyo en la toma de decisiones de su diseño y construcción. Todos estos proyectos promueven la vinculación del Instituto de Ingeniería (IIUNAM) con los sectores público y privado.

En los últimos años la Coordinación se ha posicionado a la vanguardia en la realización de ensayos con sonda suspendida, un equipo único en el país que permite determinar propiedades dinámicas del suelo. Se han ejecutado innumerables de estos sondeos en proyectos de gran envergadura, incluyendo el NAIM y la Refinería Dos Bocas, entre otros.

En este número de la Gaceta se presentan cinco artículos que exponen algunos de los estudios que se están desarrollando actualmente en la Coordinación, ilustrando la diversidad de las líneas de investigación que cultivan sus miembros y resaltando su enfoque multidisciplinario y su amplia gama de aplicaciones e impacto en la sociedad. Se incluye un compendio de los capítulos de las Secciones B y C del Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE, escritos en su mayoría por los investigadores de Geotecnia; así como, las publicaciones más recientes de sus miembros en la Serie Investigación y Desarrollo del IIUNAM.

Se prevé que el personal académico de la Coordinación de Geotecnia seguirá influyendo en las grandes obras geotécnicas del país, en la difusión del conocimiento y en la formación de recursos humanos altamente especializados, para continuar contribuyendo en el desarrollo de la geotecnia y en el prestigio nacional e internacional del IIUNAM.

Norma Patricia López Acosta
Coordinadora de Geotecnia

UNAM

Rector
Dr. Enrique L. Graue Wiechers

Secretario General
Dr. Leonardo Lomelí Vanegas

Secretario Administrativo
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez

Secretario de Desarrollo Institucional
Dr. Alberto Ken Oyama Nakagawa

Secretario de Atención a la Comunidad Universitaria
Dr. César Iván Astudillo Reyes

Abogada General
Dra. Mónica González Contró

Coordinador de la Investigación Científica
Dr. William H. Lee Alardín

Director General de Comunicación Social
Mtro. Néstor Martínez Cristo

IIUNAM

Director
Dr. Luis A. Álvarez Icaza Longoria

Secretaría Académica
Dra. Rosa María Ramírez Zamora

Subdirector de Estructuras y Geotecnia
Dr. Efraín Ovando Shelley

Subdirector de Hidráulica y Ambiental
Dr. Moisés Berezowsky Verduzco

Subdirector de Electromecánica
Dr. Arturo Palacio Pérez

Subdirector de Unidades Académicas Foráneas
Dr. Germán Buitrón Méndez

Secretario Administrativo
Lic. Salvador Barba Echavarría

Secretario Técnico
Arq. Aurelio López Espíndola

Secretario de Telecomunicaciones e Informática
Ing. Marco Ambriz Maguey

Secretario Técnico de Vinculación
Lic. Luis Francisco Sañudo Chávez

GACETA DEL IIUNAM

Editor responsable
Lic. Verónica Benítez Escudero

Reportera
Lic. Verónica Benítez Escudero

Fotografías
Archivo Fotográfico del IIUNAM
Sandra Lozano Bolaños

Fotografía de portada
Sandra Lozano Bolaños

Diseño
Sandra Lozano Bolaños

Corrección de estilo
Gabriel Sánchez Domínguez

Impresión
Grupo Espinosa

Distribución
Guadalupe De Gante Ramírez

GACETA DEL IIUNAM

MODELADO NUMÉRICO AVANZADO DE ARCILLAS BLANDAS ESTRUCTURADAS

MIGUEL MÁNICA, ANTONIO GENS, EFRAÍN OVANDO, EDUARDO BOTERO Y JEAN VAUNAT

El comportamiento de las arcillas blandas depende, en buena medida, del tiempo donde los factores que lo determinan son la velocidad de carga, la relajación de esfuerzos, el envejecimiento y las deformaciones diferidas bajo carga constante (creep). Además, algunos materiales, como la arcilla de la Ciudad de México, exhiben una considerable estructuración permitiendo relaciones de vacíos mucho mayores a las del material reconstituido para un mismo nivel de esfuerzos. Sin embargo, bajo carga mecánica, dicha estructura se degrada progresivamente, así, la curva de compresibilidad del material tiende a converger a la curva de un suelo reconstituido (Figura 1). En este trabajo, se propone un marco de referencia para la modelación de arcillas blandas que, de forma natural, reproduce las características de estos materiales que ya se mencionaron.

Se parte de la teoría de la elastoplasticidad clásica, que es independiente del tiempo. El modelo base se define a través de sus componentes principales, i.e. la ley elástica, las funciones de fluencia y potencial plástico, así como la ley de endurecimiento. A manera de ejemplo, se parte aquí de un modelo Cam Clay Modificado (MCC), aunque pueden utilizarse otras componentes. En el caso del MCC, la superficie de fluencia toma la siguiente forma:

$$f = \left(\frac{J}{p f_d(\theta)} \right)^2 - \left(\frac{p_c}{p} - 1 \right) = 0 \quad (1)$$

donde J es la raíz cuadrada del segundo invariante del tensor de esfuerzos (componente desviador), p es el esfuerzo medio, $f_d(\theta)$ es una función que define la forma de la función en el plano desviador, y p_c es una variable de estado que controla el tamaño de la elipse, por tanto, actúa como un esfuerzo de preconsolidación isotrópico. Siguiendo a Gens y Nova (1993), el efecto de la estructuración puede incluirse en la Ecuación 1 reemplazando a p_c por p_{co} , definido como:

$$p_{co} = p_c(1 + b) \quad (2)$$

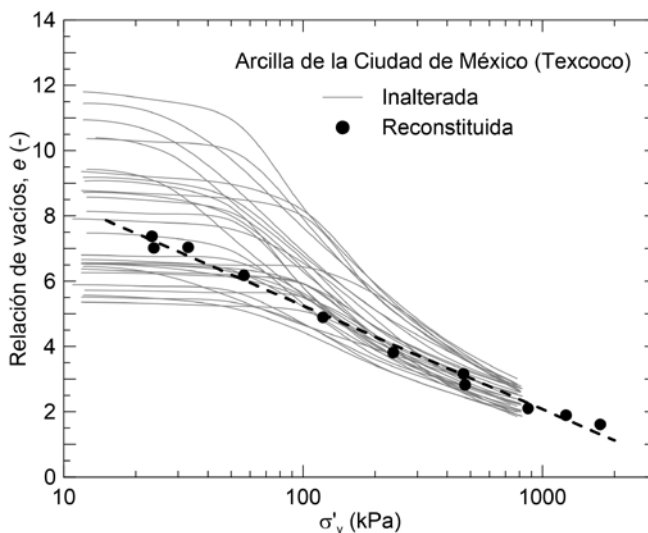


Figura 1. Pruebas de consolidación en arcilla de la Ciudad de México inalterada y reconstituida

donde b es una variable que determina el grado de estructuración. Esto resulta en la expansión de la superficie de fluencia, donde nuevos estados de esfuerzos son permitidos debido a la estructura del suelo. La nueva variable de historia p_{co} dependerá de dos efectos que compiten entre sí: uno relacionado al estado de la superficie de fluencia de un suelo desestructurado, y el otro relacionado con el grado de estructuración. La estructura se degrada ante carga mecánica, por tanto, la evolución de b dependerá de la acumulación de deformaciones plásticas.

El comportamiento en el tiempo se basa en la descomposición aditiva de la deformación de la Ecuación 3, conocida como *partición plasticidad-creep*, donde se consideran dos componentes inelásticas de deformación.

$$d\epsilon = d\epsilon^e + d\epsilon^{vp} + d\epsilon^c \quad (3)$$

donde ϵ , ϵ^e , ϵ^{vp} y ϵ^c son los tensores de deformaciones totales, elásticas, viscoplásticas y de creep respectivamente. La primera componente inelástica se caracteriza con la teoría del sobre esfuerzo de Perzyna (1966), resultando en:

$$d\epsilon^{vp} = \frac{\langle \Phi(f) \rangle}{\eta} \frac{\partial g}{\partial \sigma} dt \quad (4)$$

donde η es un parámetro de viscosidad, Φ es la función de sobre esfuerzo, g es la función de potencial plástico, σ es el

tensor de esfuerzos, y t es el tiempo. La Ecuación 4 resulta en una dependencia con la velocidad de carga, obteniendo el incremento de resistencia aparente que se observa en laboratorio al aumentar la velocidad de deformación. La segunda componente representa un mecanismo de creep, que considera la ocurrencia de deformaciones plásticas bajo carga constante. Éste se define como:

$$d\epsilon^c = \dot{\epsilon}^c dt \quad (5)$$

donde $\dot{\epsilon}^c$ es el tensor de velocidad de deformación de creep, cuya definición específica se determina en función de observaciones experimentales del material considerado. Aunque la Ecuación 3 define a las deformaciones por creep como una componente adicional, éstas no son independientes ya que se consideran efectos de endurecimiento acoplado. Lo anterior se incorpora definiendo la evolución de p_c como la suma de las deformaciones viscoplásticas y de creep:

$$dp_c = \frac{\partial p_c}{\partial \epsilon^{vp}} d\epsilon^{vp} + \frac{\partial p_c}{\partial \epsilon^c} d\epsilon^c \quad (6)$$

La Ecuación 6 permite incluir el efecto del envejecimiento de la arcilla, es decir, el incremento del esfuerzo de preconsolidación después de periodos prolongados bajo carga constante.

En las Figuras 2 y 3 se muestran algunos resultados seleccionados, de la simulación de pruebas oedométricas, usando un modelo constitutivo basado en las ideas presentadas aquí. En la Figura 2a se observa cómo todas las pruebas, sin importar su estado inicial, convergen a una única curva a grandes esfuerzos que corresponde con el comportamiento del suelo reconstituido (o intrínseco). En la Figura 2b se observa cómo se obtienen curvas de compresibilidad únicas dependiendo de la velocidad de deformación, comportamiento que se ajusta al concepto de las isotacas de Šuklje (1957). Finalmente, en la Figura 3 se observa el efecto de envejecimiento, donde se genera preconsolidación durante el incremento de carga de larga duración.

Independientemente de los componentes específicos empleados (i.e. el modelo elastoplástico base, la función de evolución de b , la función de sobreesfuerzo, o la ley de creep), la formulación resulta naturalmente en los comportamientos dependientes del tiempo mencionados. Además, toma en cuenta el efecto de la estructura inicial del suelo y su desestructuración debido a carga mecánica. Por tanto, este planteamiento innovador representa una potente herramienta para el desarrollo de modelos avanzados de comportamiento de arcillas blandas, como la arcilla de la Ciudad de México. |

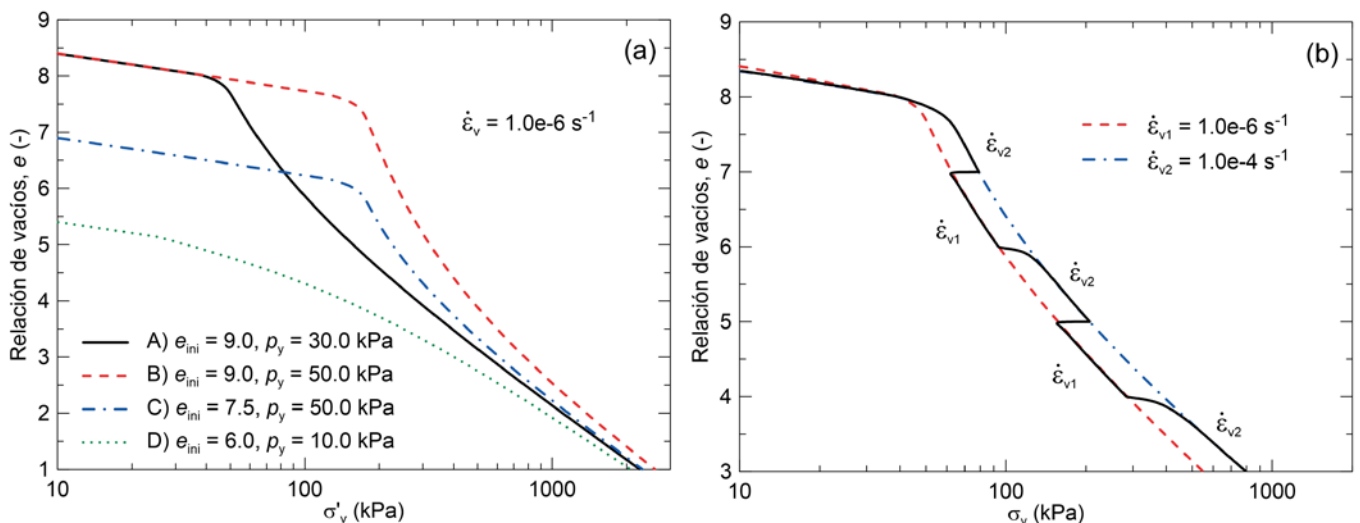
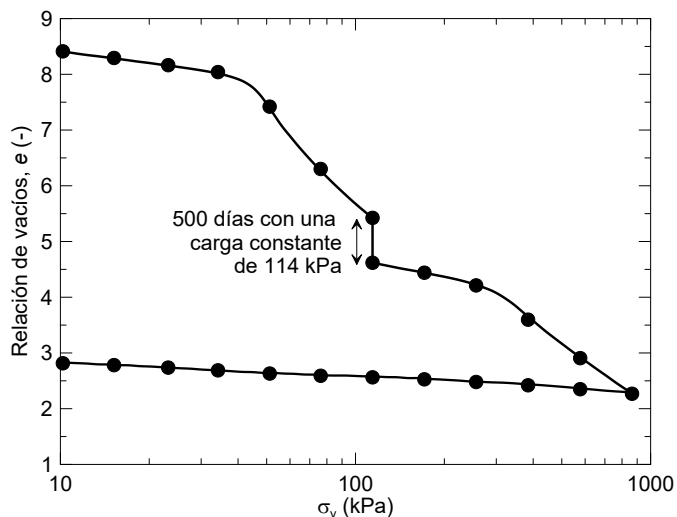


Figura 2. Resultados de la simulación de pruebas oedométricas con control de deformación (a) con diferentes esfuerzos de preconsolidación y relaciones de vacíos iniciales, y (b) a diferentes velocidades de deformación



Referencias

- Gens, A. y Nova, R. (1993). "Conceptual bases for a constitutive model for bonded soils and weak rocks". Proceedings of the international conference on hard soils-soft rocks, A. G. Anagnostopoulos, ed., Rotterdam: Balkema, Athens, 485-494.
- Perzyna, P. (1966). "Fundamental Problems in Viscoplasticity". Advances in Applied Mechanics, 9, 243-377.
- Šuklje, L. (1957). "The analysis of the consolidation process by the isotache method". 4th International conference on soil mechanics and foundation engineering; London, 200-206.

Figura 3. Resultados de la simulación de una prueba de consolidación con un incremento de carga de larga duración

MITIGACIÓN DE DEFORMACIONES INDUCIDAS POR LAS GRIETAS DEL SUELO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

GABRIEL AUVINET Y JESÚS SÁNCHEZ

Desde hace varios decenios, se han observado grietas en el suelo de la Ciudad de México, principalmente en Texcoco y en las alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Los elementos continuos ubicados en la superficie del terreno que están en contacto con las grietas, como el pavimento,

las edificaciones y la infraestructura hidráulica, presentan diversos tipos de daño.

Las grietas más destructivas presentan un escalón y son causadas por los asentamientos diferenciales asociados al hundimiento regional (Auvinet *et. al.*, 2017). El fenómeno de agrietamiento se agravó a raíz de los sismos de septiembre de 2017 y se han presentado algunos escalones que alcanzan hasta 1 m de altura. Para mitigar los daños, el Instituto de Ingeniería de la UNAM propuso sustituir superficialmente el terreno natural por material granular que no transmita tensiones (arena o grava sin finos). La solución (Auvinet *et. al.*, 2019) consiste en construir sobre la grieta un dentellón de arena llamado "Caja disipadora de deformaciones unitarias" (Fig. 1).

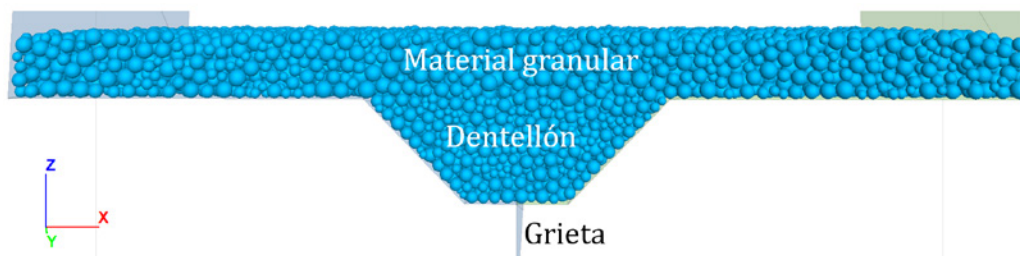


Figura 1. Modelo 3D de la Caja disipadora de deformaciones unitarias

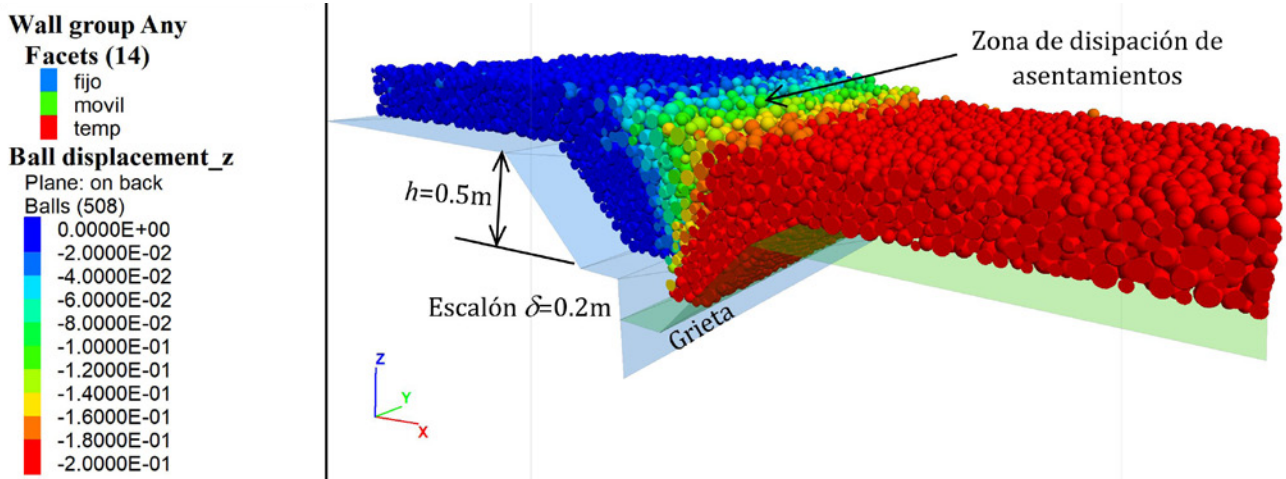


Figura 2. Desplazamientos verticales en una caja disipadora de profundidad $h=0.5$ m

El diseño de la caja disipadora se realiza con la ayuda de simulaciones numéricas. Se recurre al Método de Elementos Discretos (DEM) que representa la interacción mecánica entre un conjunto de partículas individuales (Cundall y Strack, 1979). El programa PFC (Itasca, 2016) permite reproducir los fenómenos físicos que ocurren en la caja disipadora.

Las simulaciones muestran que cuando se desarrolla un escalón en la grieta, se presentan desplazamientos relativos entre los granos de arena en una región cercana a la grieta. En la superficie del pavimento de una vialidad se genera una superficie inclinada, cuya pendiente depende principalmente de la profundidad h del dentellón (Fig. 2).

El concepto de caja disipadora puede también aplicarse a la mitigación de daños en la infraestructura hidráulica. La Fig. 3 presenta la simulación de los efectos de una grieta con escalón sobre un tubo de drenaje de 2.44 m de diámetro protegido con material granular. Se observa que el material no cohesivo distribuye los asentamientos a lo largo del tubo y que se mantiene el contacto tubo-terreno.

Las edificaciones pueden también protegerse en cierta medida insertando una caja disipadora en la cimentación. Los modelos DEM reproducen cualitativamente los mecanismos de fracturamiento de las viviendas de mampostería y ponen en evidencia el mejor comportamiento de estas

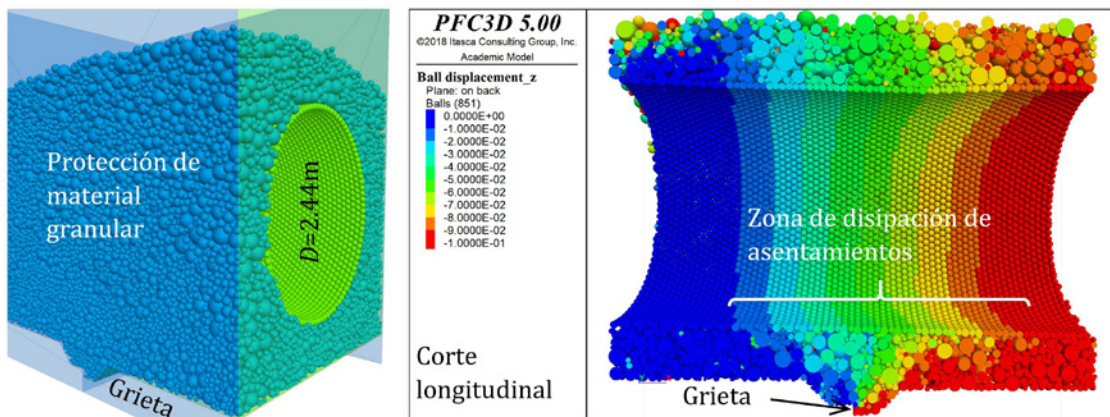


Fig. 3. Modelo DEM para analizar los efectos de las grietas sobre un tubo de drenaje protegido con material granular

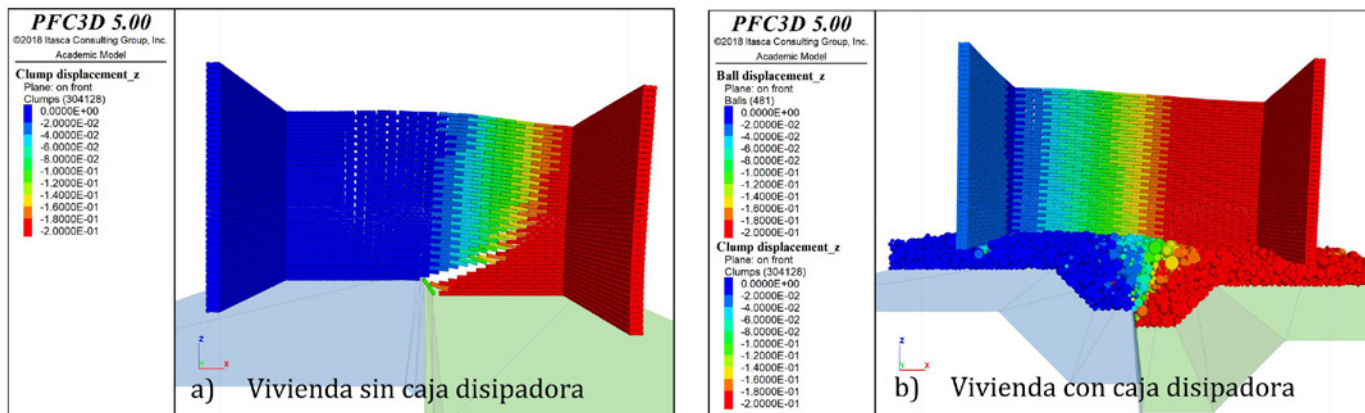


Fig. 4. Modelos DEM de viviendas de mampostería

edificaciones en presencia de la caja disipadora (Fig. 4). En este caso se recurre a un algoritmo especial para simular los ladrillos (Taghavi, 2011) en PFC.

El desarrollo de estos modelos ha sido de gran utilidad para emitir recomendaciones prácticas para el Comité de Grietas de la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México. Al mismo tiempo, ha permitido avanzar en el dominio del enfoque de medios discontinuos aplicado a la ingeniería geotécnica que se encuentra actualmente en pleno auge. |

Referencias

- Auvinet, G.; Méndez, E. y Juárez, M. (2017). "El subsuelo de la ciudad de México" (The Subsoil of Mexico City), Vol III, Instituto de Ingeniería, UNAM, Ciudad de México.
- Auvinet, G.; Sánchez J. y Pineda A. (2019). Mitigación de daños ocasionados por grietas en el suelo. Artículo sometido a: Ingeniería, Investigación y Tecnología. México.
- Cundall P. y Strack O. (1979). A discrete numerical model for granular assemblies. *Géotechnique*, 29, Núm. 1, pp. 47-65.
- Itasca Consulting Group Inc. (2016). Particle Flow Code. Minneapolis, USA.
- Taghavi R. (2011). Automatic clump generation based on mid-Surface, 2nd FLAC/DEM Symposium. Melbourne, Australia.



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO VISCOELÁSTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE UN MODELO MICROMECAÍNICO AUTOCOHERENTE

LAURA GONZÁLEZ MATURANA,
ALEXANDRA OSSA LÓPEZ

La micromecánica es una herramienta que permite predecir el comportamiento de diversas propiedades de materiales no homogéneos (combinación de dos o más materiales diferentes) llamados compuestos. A partir de las propiedades tanto de sus constituyentes individuales como del material resultante de la

interface, o sea, de la mezcla entre ellos, se pueden obtener las propiedades de este nuevo compuesto microescalando de manera adecuada las propiedades de cada componente.

Tal como se ilustra en la Figura 1, el concreto asfáltico es un material compuesto en estado compacto, cuya estructura de manera simple puede describirse como un material embebido en otro; el cemento asfáltico envuelve al agregado más fino, a su vez, estos dos rodean el agregado y a los vacíos llenos de aire.

Para modelar el comportamiento viscoelástico del concreto asfáltico existen diferentes métodos, uno de ellos es el modelo micromecánico autocoherente definido por Herve y Zaoui¹ (1993), el cual representa al material compuesto a través de un sistema de esferas de diferentes radios R_i , además, le asigna propiedades elásticas lineales al material compuesto, así como a cada uno de sus componentes.

La figura 2 ilustra la representación de un material compuesto en tres fases mediante el modelo de Herve y Zaoui. En esta figura se aprecia un material representado por la esfera

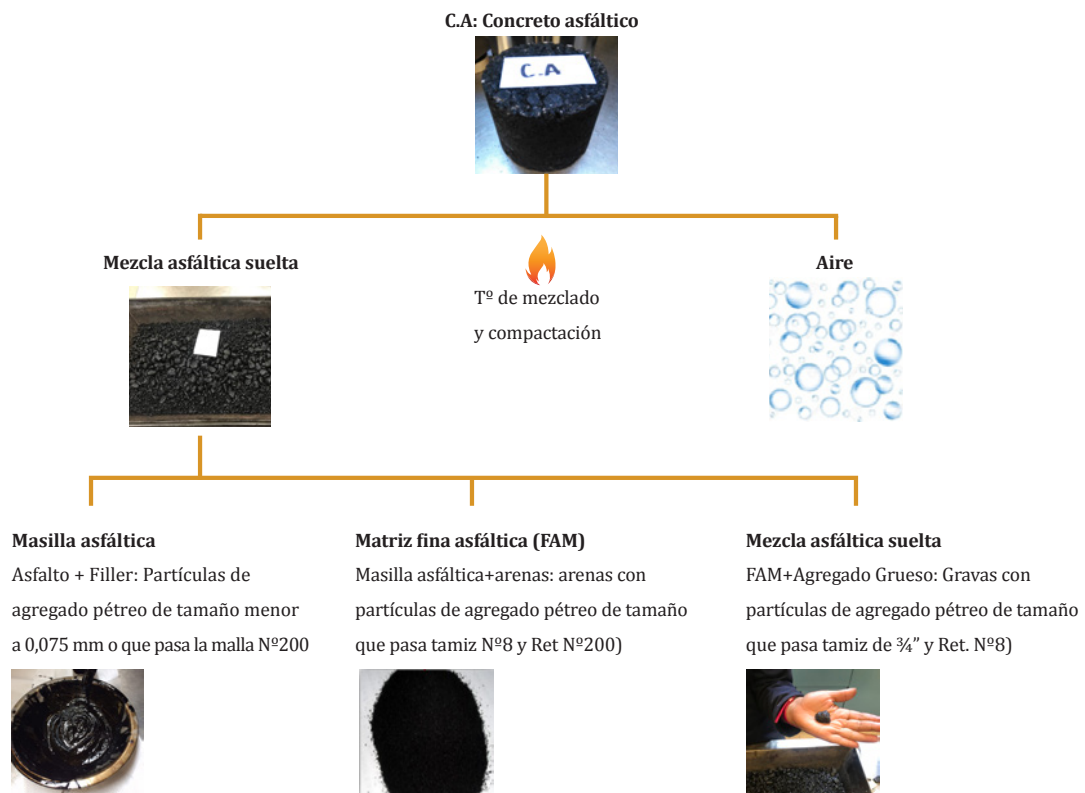


Figura 1. Composición del concreto asfáltico

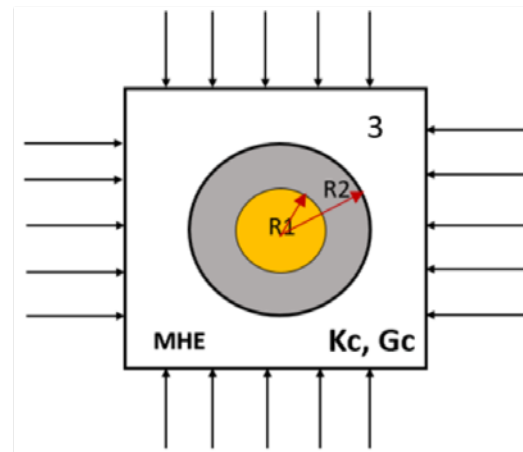
¹ Herve, E. y Zaoui, A. (1993). n-Layered inclusion-based micromechanical modeling. International Journal of Engineering Science. Vol. 31, No. 1, pp 1-10.

de radio R_1 (fase 1) embebido o incrustado en una matriz o material de radio R_2 (fase 2), que finalmente al mezclarse entre ellos generarán un material (fase 3) con propiedades equivalentes a sus constituyentes K_c y G_c .

En este proyecto de investigación doctoral se busca representar las propiedades del concreto asfáltico mediante un modelo auto coherente de cuatro pasos, cada uno de ellos con el esquema de tres fases como se ilustra en la Figura 3. Lo anterior, a fin de estudiar el comportamiento viscoelástico del material compuesto a través de las propiedades viscoelásticas de sus constituyentes mediante los parámetros de rigidez G^* en sus componentes elástica G' y viscosa G'' .

Cada paso del modelo será calibrado mediante pruebas experimentales, para ello, se realizarán pruebas reológicas en el reómetro de corte dinámico (DSR, por sus siglas en inglés) para determinar el módulo de corte complejo G^* , las componentes elástica y viscosa de los cementos asfálticos, las mezclas de asfalto y material fino que pasa el tamiz N°200 (masilla), así como de la mezcla de masilla y arena. Por otra parte, se realizarán pruebas de módulo dinámico en especímenes de concreto asfáltico a fin de conocer los parámetros viscoelásticos del material compuesto. Los resultados experimentales serán comparados con los obtenidos en cada paso del modelo.

Este procedimiento se aplicará a cuatro mezclas asfálticas elaboradas con cemento asfáltico convencional y modificados con polímeros SBS (Styrene Butadiene Styrene), EVA (Etil Vinil Acetato) y ácido polifosfórico, también se tendrá en cuenta la incidencia de la temperatura y la frecuencia de aplicación de carga.



Donde:

K_c : Módulo volumétrico del compuesto

G_c : Módulo de cortante del compuesto

Figura 2. Representación modelo micromecánico a 3 fases

Esta investigación se encuentra en una fase inicial, a la fecha, se han caracterizado reológicamente todos los cementos asfálticos. En las Figuras 4a a 4d se presentan las curvas de degradación de la rigidez (barrido de amplitud de deformaciones, BAD) del cemento asfáltico convencional PG 64-22 a diferentes temperaturas, mientras que en la Figura 4e se presentan los resultados de evaluación del módulo complejo a diferentes temperaturas y frecuencias de todos los cementos asfálticos (C. A.) a través de la curva maestra.

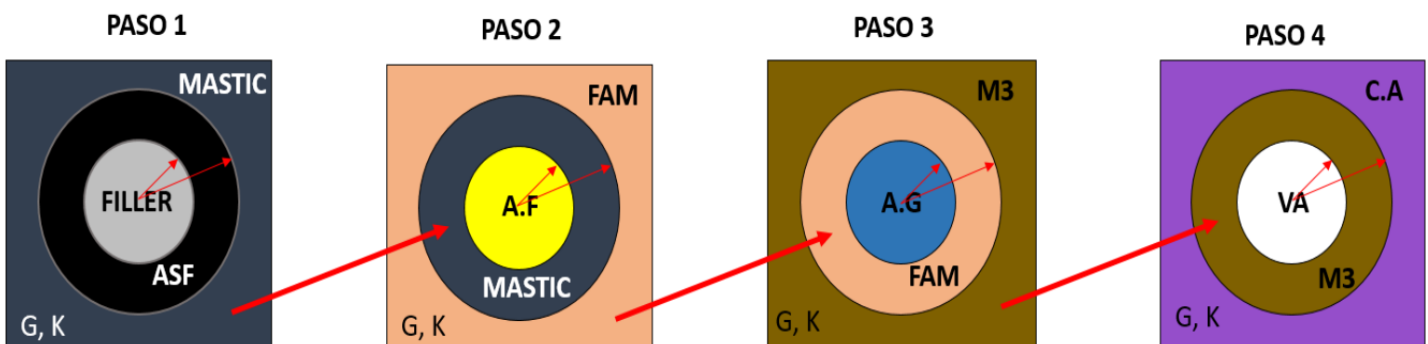
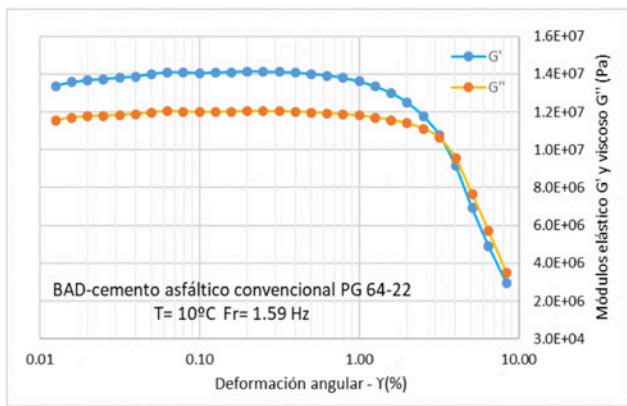
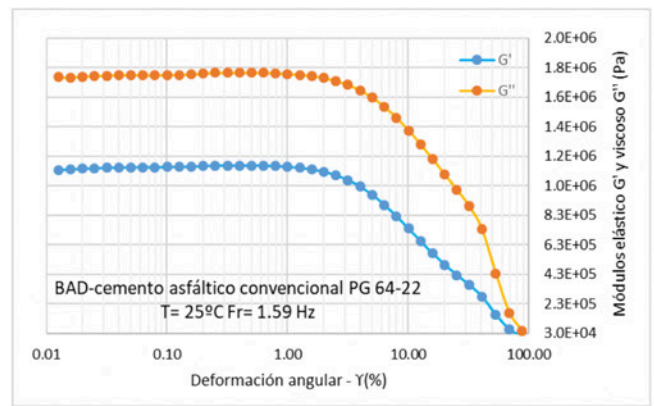


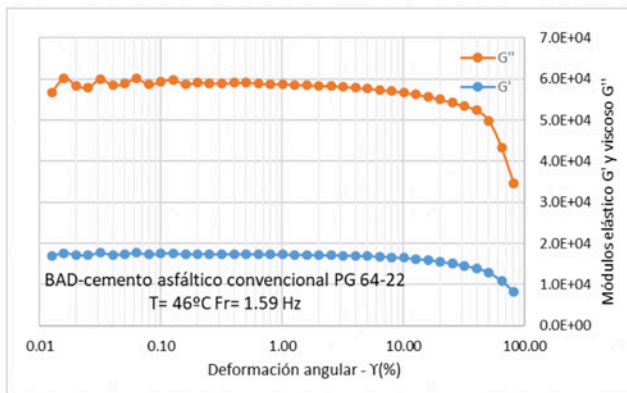
Figura 3. Representación esquemática del concreto asfáltico representado en modelo a tres fases en cuatro pasos



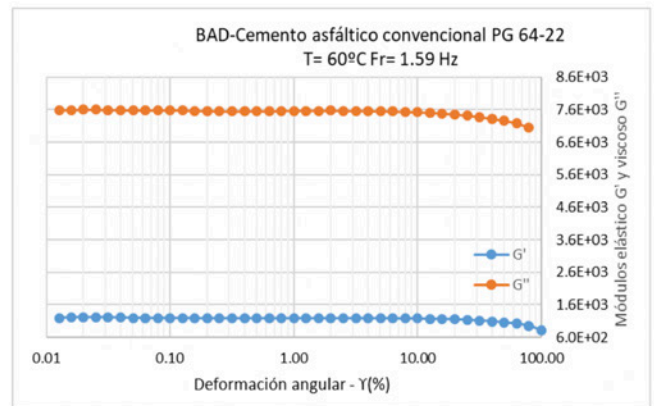
a)



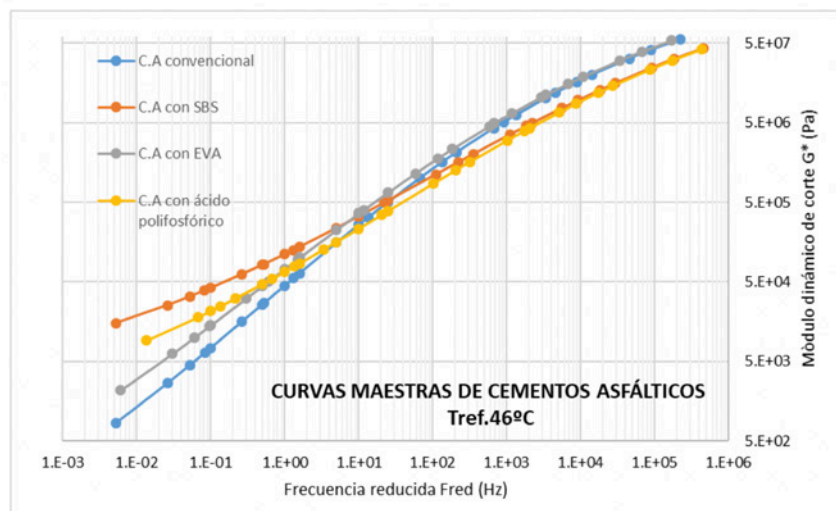
b)



c)



d)



e)

Figura 4. Caracterización reológica de los cementos asfálticos

DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS SUELOS

NORMA PATRICIA LÓPEZ ACOSTA,
 DIANA MARGARITA PORTILLO ARREGUÍN
 Y DAVID FRANCISCO BARBA GALDÁMEZ

Determinar las propiedades térmicas de los suelos es fundamental en diversas aplicaciones de la Ingeniería Geotécnica, como el diseño de estructuras termoactivas, el aislamiento de sistemas de transmisión subterráneos, el almacenamiento de desechos sólidos y radioactivos, así como la estabilización térmica de suelos (Farouki, 1986). Debido a su naturaleza polifásica, la transferencia de calor en los suelos es un fenómeno complejo que involucra múltiples procesos simultáneos. Sin embargo, la conducción es el mecanismo dominante en la mayoría de los casos. Ésta ocurre cuando el calor fluye a través de la interacción entre partículas debido a un gradiente térmico. La conducción se encuentra definida por la ecuación de Fourier-Biot (Brandl, 2006):

$$\rho c_s \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T + q_v \quad (1)$$

donde ρ es la densidad del material, c_s es la capacidad calorífica específica, T es la temperatura, t es el tiempo, λ es la conductividad térmica y q_v es la tasa de generación de energía por unidad de volumen. A la relación $(\lambda / \rho c_s)$ se le conoce como coeficiente de difusividad térmica (α), que es una medida de la velocidad de propagación del calor en el medio debido a cambios de temperatura.

Pese a su creciente importancia, a conocimiento de los autores, no se ha llevado a cabo una caracterización sistemática de las propiedades térmicas (λ , c_s , α) de los suelos mexicanos. Recientemente, en la Coordinación de Geotecnia se adquirió un equipo de laboratorio denominado "Aguja térmica" (Fig. 1a) para la determinación de las propiedades térmicas efectivas de diferentes materiales. El equipo consiste en dos sondas paralelas de acero inoxidable (de 30 mm de longitud y 1.3 mm de diámetro) con una separación de 6 mm entre ellas. La primera sonda contiene una resistencia que suministra energía al medio, mientras que la otra posee un termopar que mide los cambios de temperatura causados durante la transferencia de calor.

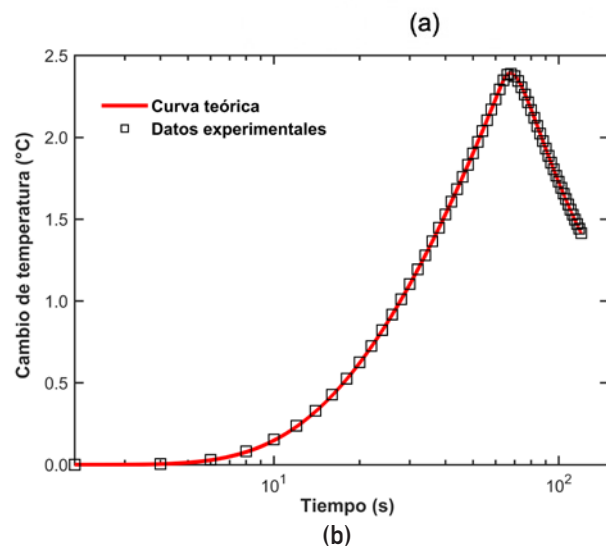
La determinación de los parámetros se efectúa a partir de la interpretación de los registros de cambio de temperatura ΔT contra tiempo. Para ello, se utiliza la solución teórica para el flujo de calor causado por una fuente de energía lineal e infinita, según la cual (Carslaw y Jaeger, 1959):

$$\Delta T = \begin{cases} -\frac{q}{4\pi\lambda} E_i\left(-\frac{r^2}{4\rho c_s t}\right), & 0 \leq t \leq t_0 \\ \frac{q}{4\pi\lambda} \left[-E_i\left(-\frac{r^2}{4\rho c_s t}\right) + E_i\left(-\frac{r^2}{4\rho c_s (t-t_0)}\right) \right], & t > t_0 \end{cases} \quad (2)$$

donde q es la tasa de transferencia de calor por unidad de longitud, r es la distancia radial, t_0 es el periodo en el que se suministra energía al medio y $E_i(\cdot)$ es la función integral exponencial. Así, los valores de λ y c_s se obtienen al ajustar los datos experimentales a la Ecuación 2 utilizando mínimos cuadrados no lineales (Fig. 1b).



Figura 1. (a) Equipo de la aguja térmica, y (b) curva de ajuste para una prueba de aguja térmica



Actualmente, este equipo se ha utilizado para caracterizar térmicamente en laboratorio e *in situ* los suelos de diferentes Estados de la República (Ciudad de México, Estado de México y Tabasco). A continuación, se describen algunos resultados obtenidos para muestras arcillosas en un sitio del Valle de México (para mayor información puede consultarse Portillo, 2019). Éstas provienen de un sondeo TX1 efectuado en el ex-Lago de Texcoco (Fig. 2). La estratigrafía del sitio está compuesta principalmente por formaciones arcillosas de origen lacustre de baja resistencia y alta compresibilidad denominadas Formación Arcillosa Superior (FAS) y Formación Arcillosa Inferior (FAI), separadas por un estrato de material limo arenoso denominado Capa Dura (CD) (Fig. 3).

En la Figura 3 se presenta el perfil de las propiedades térmicas (λ , c_s y α) obtenidas en las muestras del sondeo TX1 junto con algunas propiedades índice (contenido de agua w,

relación de vacíos e, y contenido de materia orgánica MO). Se observa que la conductividad térmica λ de las formaciones arcillosas varía entre 0.660 y 0.745 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, mientras que la capacidad calorífica específica c_s fluctúa entre 1160 y 3010 $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$. Los valores de conductividad térmica son inferiores a los valores reportados en la literatura para arcillas saturadas (Rawlings y Sykulski, 1999), lo cual, se atribuye a las altas relaciones de vacíos (3.8-11.8) características de las arcillas del Valle de México. De hecho, las conductividades obtenidas en TX1 son ligeramente superiores a la conductividad térmica del agua a 25°C (0.607 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$).

Debido a un desconocimiento generalizado de sus características y principios de funcionamiento, las estructuras termoactivas no se utilizan actualmente en México. La determinación de las propiedades térmicas de los suelos nacionales permitirá el diseño y la implementación de tales estructuras en nuestro país.

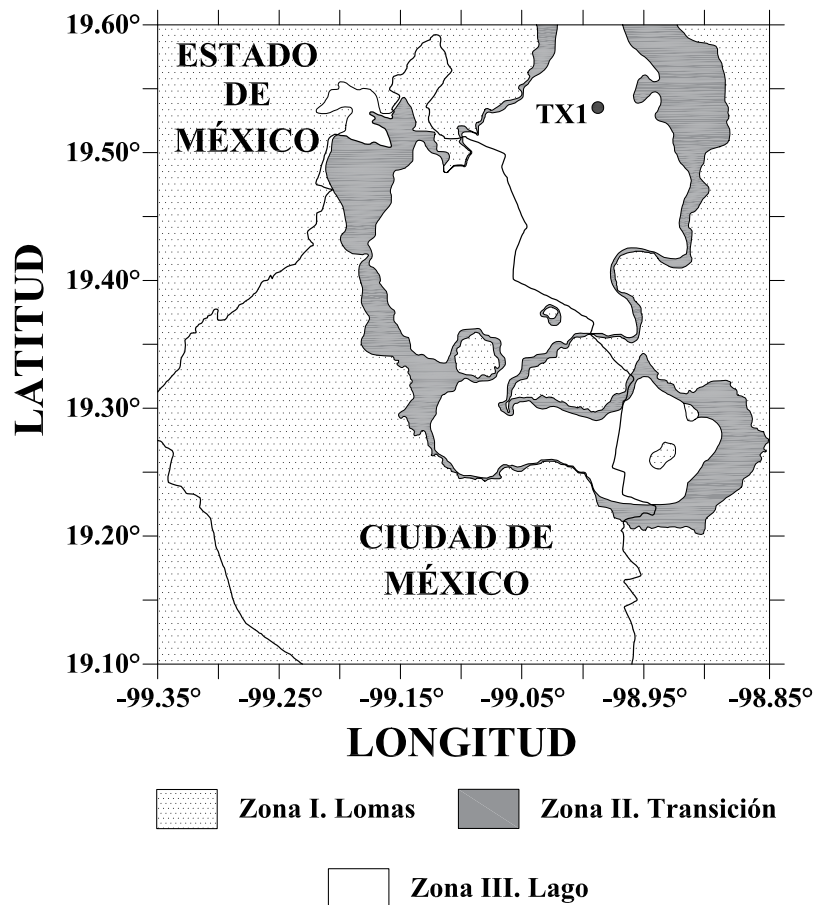


Figura 2. Ubicación del sondeo TX1

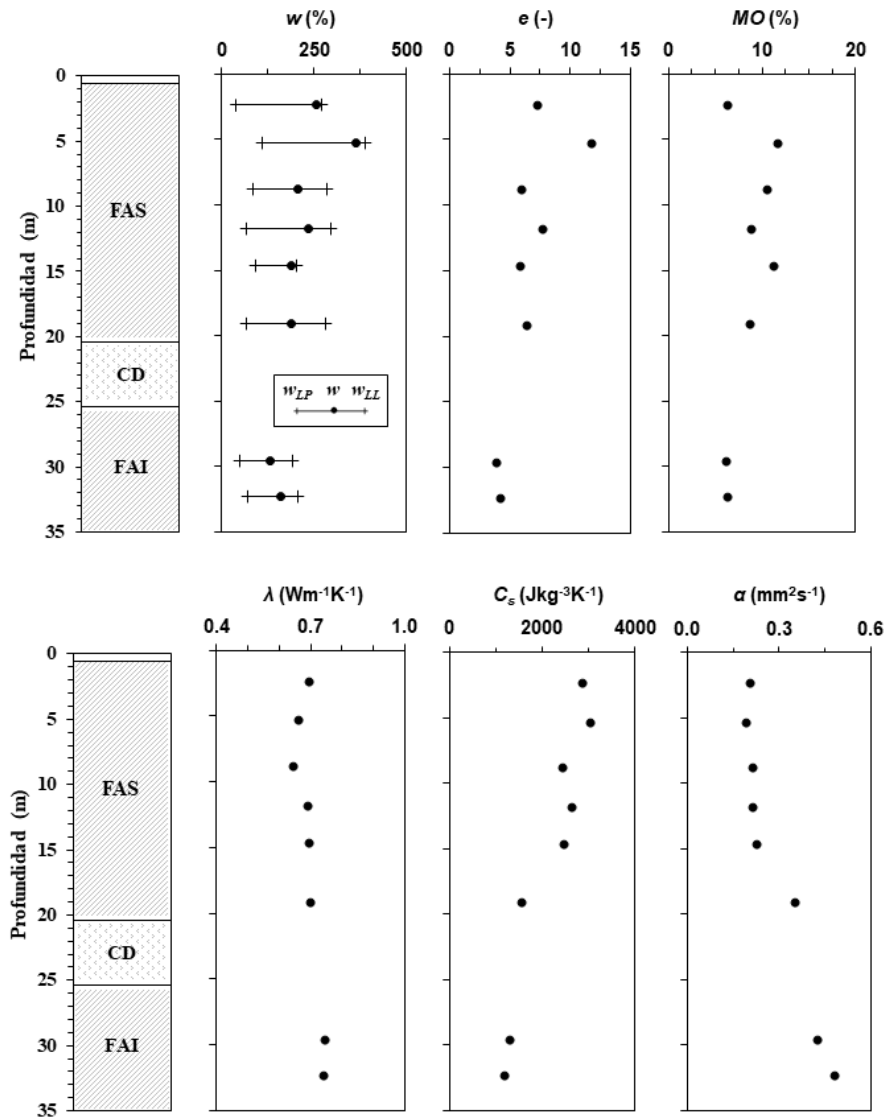


Figura 3. Perfil con propiedades índices y térmicas de muestras arcillosas del sondeo TX1 en el Valle de México (w_{LP} = límite plástico y w_{LL} = límite líquido).

Referencias

- Brandl, H. (2006). Energy foundations and other thermo-active ground structures. *Géotechnique*, 56(2), 81-122.
- Carslaw, H. S. y Jaeger, J. C. (1959). *Conduction of Heat in Solids*. Oxford: Clarendon Press.
- Farouki, O. T. (1981). *Thermal properties of soils*. CRREL Monograph 81-1. United States Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory.
- Portillo-Arreguín, D. M. (2019). *Determinación experimental de las propiedades térmicas del suelo del ex-Lago de Texcoco*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería de la UNAM.
- Rawlings, R. H. D. y Sykulski, J. R. (1999). Ground source heat pumps: A technology review. *Building Services Engineering Research and Technology*, 20, 119-129.

LABORATORIO DE MODELADO NUMÉRICO AVANZADO E INSTRUMENTACIÓN

JUAN MANUEL MAYORAL

El Laboratorio de Modelado Numérico Avanzado e Instrumentación, dirigido por el Dr. Juan Manuel Mayoral Villa, es parte de la Coordinación de Geotecnia, perteneciente a la Subdirección de Estructuras y Geotecnia, y tiene como objetivo principal el estudio integral de problemas de ingeniería geo-sísmica, a través de simulación numérica e instrumentación, y el desarrollo de nuevas herramientas numéricas, sensores, y dispositivos, para la caracterización de las variables clave del fenómeno de interacción suelo-cimentación-estructura. Busca incrementar la capacidad predictiva de modelos numéricos, que permitan proponer mejoras en el diseño de sistemas suelo-estructura sometidos a carga sostenida y sísmica, mejorando la resiliencia de infraestructura estratégica en zonas densamente pobladas, incluyendo puentes, obras subterráneas (i.e. túneles, lumbreras y excavaciones), pasos elevados, edificios, presas, líneas de metro, trenes urbanos, centros de transferencia

modal y aeropuertos. Asimismo, el grupo de trabajo colaborará constantemente con grupos de investigación e instituciones internacionales, tales como las Universidades de Surrey, la de California campus San Diego, USCD, la de Texas en Austin, la de California campus Davis, el Instituto Tecnológico de California y CALTEC, entre otros.

Misión y Visión

Generación de conocimiento de punta en ingeniería geo-sísmica a través del desarrollo de métodos avanzados de modelado numérico, dispositivos de medición, instrumentación de estructuras en escala real, y el desarrollo de prototipos experimentales, con el fin de mejorar la comprensión de problemas geo-sísmicos y con ello impactar en la ingeniería práctica mediante la optimización de diseños en zonas densamente pobladas, tales como la Ciudad de México.

Miembros

En este laboratorio laboran los maestros en Ingeniería Daniel de la Rosa, Roberto Rivas y Francisco Suarez Fino, y los ingenieros José Mauricio Alcaraz, Simón Tepalcapa, Fabián Flores,

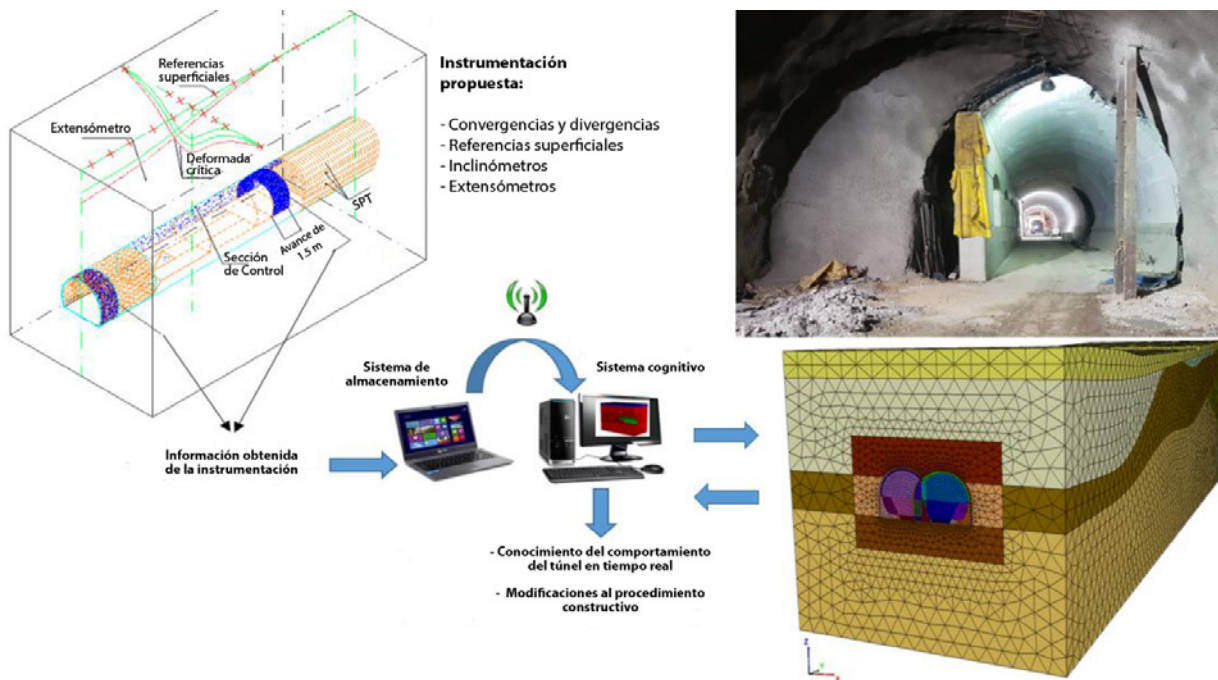


Figura 1. Sistema del control del proceso de excavación de túneles

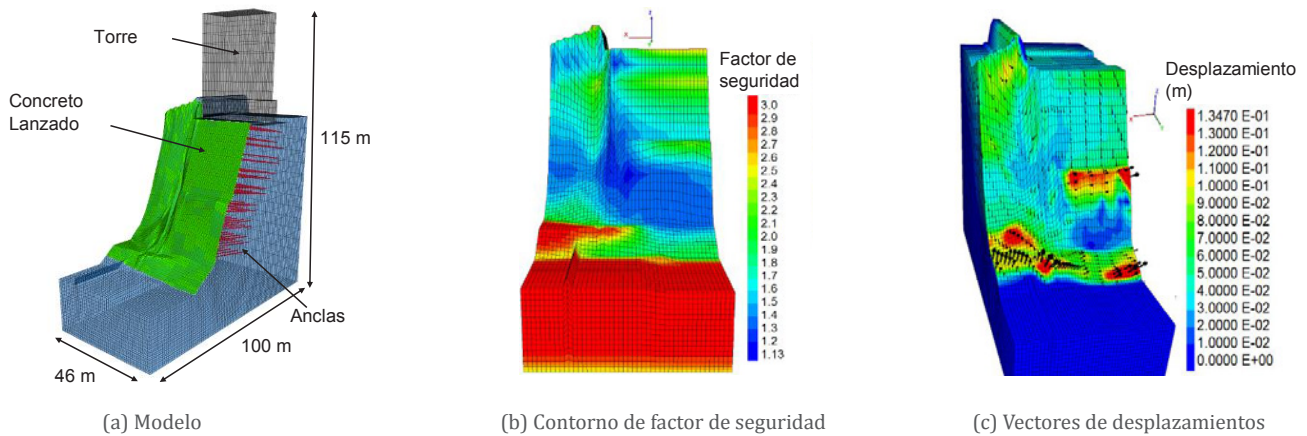


Figura 2. Modelado numérico de sistema edificio-talud

Mauricio Anaya, Mauricio Pérez, Alexis Jesús Aguilera bajo la dirección del doctor Juan Manuel Mayoral. Asimismo, se colaborará intensamente con el grupo de Instrumentación Sísmica del Instituto de Ingeniería de la UNAM, a través del Dr. Leonardo Ramírez, con los Doctores Marcos Mauricio Chávez, del grupo de Ingeniería Estructural, y Gerardo Suárez, del Instituto de Geofísica.

Líneas de Investigación

Algunas de las líneas de investigación actuales de este grupo son: 1) Comportamiento de lumbreras y túneles construidos en suelos rígidos ante carga sostenida y sísmica, 2) Efectos topográficos en la respuesta sísmica de edificios, 3) Sistemas suelo-estructura interdependientes localizados en zonas urbanas, 4) Respuesta sísmica de sistemas suelo-estructura en zonas de transición abrupta.

En el proyecto sobre el comportamiento de lumbreras y túneles construidos en suelos rígidos ante carga sostenida y

sísmica, se evalúa el comportamiento de las excavaciones (i.e. túneles, lumbreras, y estaciones de metro subterráneas) a corto y largo plazos, por medio de modelos numéricos tridimensionales e instrumentación para evaluar su desempeño ante cargas sostenida y sísmica (Figura 1).

En el proyecto sobre efectos topográficos en la respuesta sísmica de edificios (Figura 2), se lleva a cabo el estudio del comportamiento dinámico de estructuras desplantadas en la zona poniente de la Ciudad de México, donde es común encontrar taludes y lomeríos, mediante la evaluación del desempeño de sistemas edificio-talud para diferentes escenarios sísmicos considerando efectos de sitio, efectos topográficos, y de interacción suelo-estructura utilizando modelos numéricos tridimensionales, e instrumentación. Se estudia la respuesta sísmica de taludes teniendo en cuenta el efecto de interacción sísmica edificio-talud en la distribución de los factores de seguridad y deformaciones del terreno durante sismos extremos, así como el impacto del contenido de frecuencias en los daños esperados.

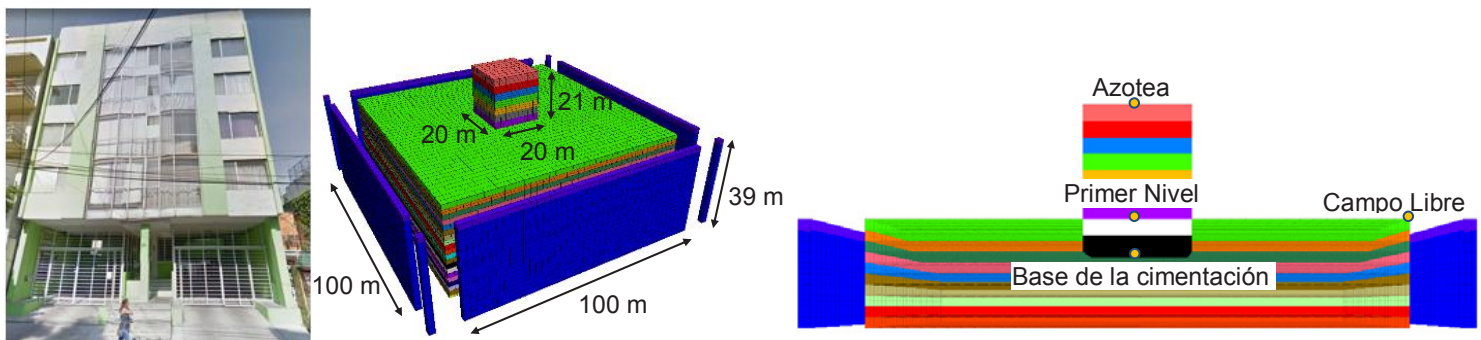


Figura 3. Modelo tridimensional de diferencias finitas de edificio tipo

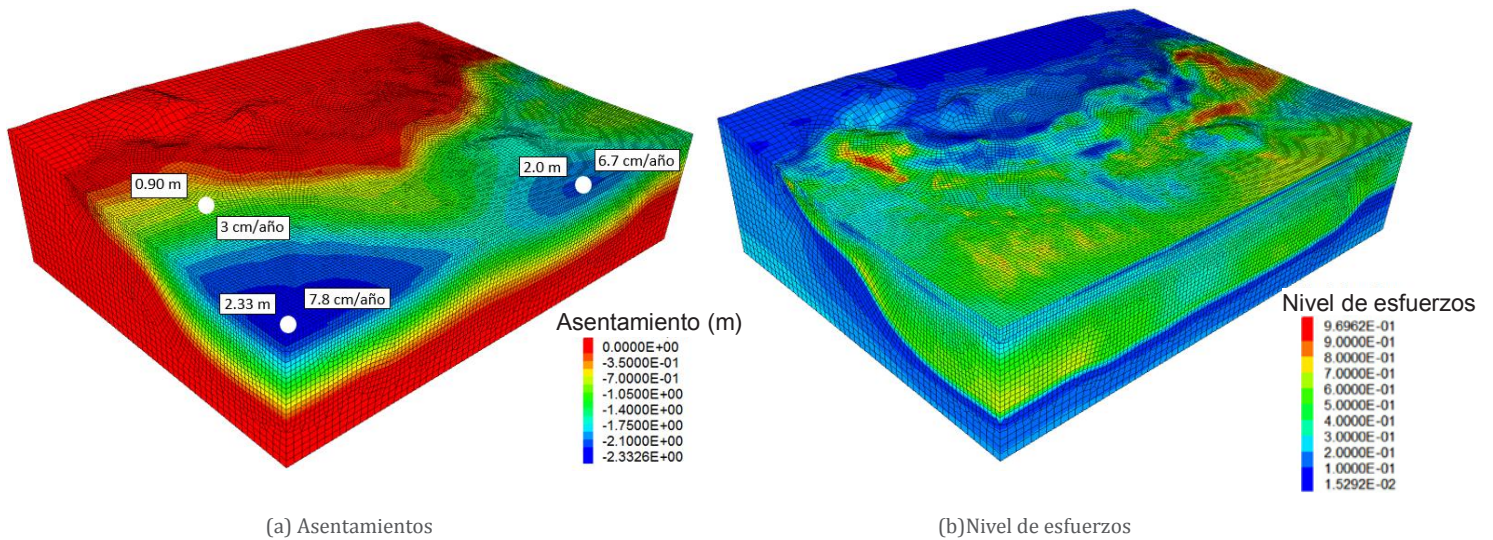


Figura 4. Modelo numérico de zona de transición abrupta

En el proyecto sistemas suelo-estructura interdependientes localizados en zonas urbanas (Figura 3) se está desarrollando una metodología para evaluar la resiliencia sísmica de edificios en ciudades densamente pobladas ubicadas en regiones de alta sismicidad, a corto, mediano y largo plazos, considerando las interdependencias entre obras superficiales y subterráneas. La investigación se está llevando a cabo teniendo en cuenta las zonas sísmogénicas que controlan el riesgo en la Ciudad de México. La respuesta sísmica de cada estructura instrumentada se caracteriza mediante modelos tridimensionales de diferencias finitas.

En el proyecto respuesta sísmica de sistemas suelo-estructura en regiones de transición abrupta (Figura 4), se lleva a

cabo un estudio en zonas de borde de cuenca mediante modelos tridimensionales de diferencias finitas e instrumentación. En los análisis se considera el cambio en la respuesta ante carga sostenida y dinámica, asociado al hundimiento regional, efectos de sitio, y efectos topográficos. Para definir el ambiente sísmico, se consideran eventos de subducción y normales ajustados a espectros de peligro uniforme para varios periodos de retorno. Se estudia el efecto de transición abrupta, en el cambio en las ondas sísmicas que arriban a la zona de lago adyacente, para diferentes zonas sísmogénicas, con el fin de definir parámetros claves de diseño de estructuras en estas áreas, en ciudades densamente pobladas. |

REDES SOCIALES DEL IIUNAM

-  <https://www.facebook.com/InstitutoIngenieriaUNAM>
-  <https://twitter.com/IIUNAM>
-  <https://www.youtube.com/user/IINGENUNAM>
-  <https://www.linkedin.com/company/instituto-de-ingenier-a-de-la-unam>
-  <https://www.instagram.com/iiunam>
-  <https://plus.google.com/102848256908461141106>

PARTICIPACIÓN DE LA COORDINACIÓN DE GEOTECNIA EN EL MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES DE LA CFE

La CFE publicó el Manual de Diseño de Obras Civiles (MDOC) por primera vez en 1969, y en un proceso de mejora continua produjo su versión revisada en 1983. En la nueva edición de 2018 se incorporan muy diversos avances tecnológicos a las versiones previas, así como la experiencia técnica acumulada por la ingeniería mexicana durante las últimas décadas; adicionalmente se presentan títulos nuevos. El manual provee lineamientos de diseño de una variedad de obras de ingeniería civil, exponiendo no sólo los conocimientos invariantes y los diseños convencionales, sino que recurre a los procedimientos basados en métodos computacionales, como rasgo distintivo de nuestro tiempo. Se divide en tres Secciones, A: Hidrotecnia, B: Geotecnia y C: Estructuras; a su vez, cada sección se subdivide en temas y capítulos; estos comprenden temas de geología, mecánica de suelos, mecánica de rocas, control de calidad y diseño de presas, túneles, lumbreras, cimentaciones y pavimentos. Se ha organizado en capítulos separados, con un formato que permite realizar consultas fáciles y dinámicas; así, cada capítulo consta de Recomendaciones, Comentarios y Ayudas de diseño con ejemplos.

Los capítulos de la Sección B fueron elaborados en su gran mayoría por personal académico de la Coordinación de Geotecnia, con la interacción estrecha de personal de la CFE; la coordinación técnica de estas actividades ha estado a cargo



Capítulos del Manual de Diseño de Obras Civiles (MDOC) de la CFE

del Dr. Manuel J. Mendoza L. Personal de la Coordinación ha concluido a la fecha 22 capítulos de la Sección B y uno incluido en la Sección C. De estos capítulos cuyos títulos se indican en la tabla anexa, se han publicado 19 en la plataforma Amazon, por encargo de CFE, y están disponibles tanto en su versión digital como impresa; con esta acción se está logrando una gran difusión a nivel mundial. Esta obra se ha consolidado como el manual de consulta en ingeniería civil más requerido no sólo en México, sino también en otros países de habla hispana. El MDOC constituye una referencia técnica obligada tanto para los ingenieros de la CFE, como para todos aquellos encargados de construir obras de infraestructura del sector público y privado. Asimismo, esta publicación está pensada para ser consultada y utilizada en las aulas por estudiantes de ingeniería.

Tabla 1. Capítulos de las Secciones B: Geotecnia y C: Estructuras del MDOC-CFE, escritos en su mayoría por personal académico de la Coordinación de Geotecnia

Capítulo/Título		Estatus
Tema 1. Geología		
B.1.1	Información geológica existente	P
B.1.2	Obtención y análisis de información geológica	P
B.1.3	Presentación de información geológica	P
B.1.4	Estudios de peligro sísmico	ND



<http://cort.as/-JsNo>

Tema 2. Mecánica de Suelos		
B.2.1	Clasificación y caracterización de los depósitos de suelos	P
B.2.2	Pruebas de laboratorio para determinar las propiedades de los suelos y enrocamientos	P
B.2.3	Pruebas de campo para determinar propiedades de los suelos y enrocamientos	P
B.2.4	Comportamiento de suelos parcialmente saturados y aplicaciones	P
B.2.5	Cimentaciones en suelos	P
B.2.6	Estructuras de retención	P
B.2.7	Estabilidad de taludes en suelos, excavaciones y laderas	P
B.2.8	Mejoramiento de suelos	P
B.2.9	Flujo de agua en suelos	P
Tema 3. Mecánica de Rocas		
B.3.1	Pruebas de laboratorio de mecánica de rocas	P
B.3.2	Pruebas de campo de mecánica de rocas	C
B.3.3	Caracterización de macizos rocosos	C
B.3.4	Cimentaciones en rocas	ND
B.3.5	Estabilidad y tratamientos de taludes rocosos	ND
B.3.6	Inyecciones en macizos rocosos	ND
B.3.7	Métodos de excavación en macizos rocosos	ND
B.3.8	Caracterización de geomateriales frontera	ND
Tema 4. Diseño de Presas		
B.4.1	Consideraciones generales de presas	ND
B.4.2	Presas de enrocamiento con núcleo de arcilla	C
B.4.3	Presas de enrocamiento con cara de concreto	P
B.4.4	Presas de enrocamiento con núcleo de asfalto	ND
B.4.5	Presas de jales	ND
B.4.6	Presas de <i>Hard Fill</i>	C
Tema 5. Túneles y Lumbreras		
B.5.1	Túneles y lumbreras en suelos	P
B.5.2	Túneles y lumbreras en rocas	ND
B.5.3	Cavernas para casa de máquinas	ND
Tema 6. Control de Calidad		
B.6.1	Control estadístico geotécnico de la construcción	P
B.6.2	Análisis de riesgo y confiabilidad geotécnica	P
Tema 7. Instrumentación		
B.7.1	Consideraciones generales de instrumentación geotécnica	ND
B.7.2	Instrumentación geotécnica	ND
B.7.3	Instrumentación estructural	ND
B.7.4	Evaluación de la seguridad geotécnica de las estructuras	ND
B.7.5	Rehabilitación geotécnica de las estructuras	ND
Tema 8. Aplicaciones Generales		
B.8.1	Criterios para la exploración y pruebas de campo y laboratorio en geotecnia	ND
B.8.2	Criterios para el empleo de métodos numéricos en la geotecnia	ND
C.5.5	Concreto asfáltico	P

P Publicado
C Concluido
ND No Disponible

PREMIO ALEJANDRINA 2019

El pasado 6 de junio en la ceremonia de la 35a Edición 2019 del Premio Alejandrina, el Dr. Germán Buitrón se hizo acreedor a la Mención, Honorífica por Trayectoria Científica y Académica y el Dr. Iván Moreno obtuvo el 2º lugar en la categoría Joven Talento en investigación. Este Premio tiene como objeto reconocer y fomentar el trabajo humanístico, científico y tecnológico de calidad, con relevancia y pertinencia para el Estado de Querétaro. El Acto estuvo Presidido por la Rectora de la UAQ Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca. |



RECONOCIMIENTO AL MÉRITO UNIVERSITARIO

Extendemos una calurosa felicitación al Dr. Gustavo Ayala Mián por haber recibido el Reconocimiento al Mérito Universitario, otorgado por sus 50 años de servicio como Profesor e Investigador en la Universidad Nacional Autónoma de México. |

CONSEJO ESTUDIANTIL CEMIE-OCÉANO

Erika Paola Garduño Ruiz, Kerberina Rendón Lara, Diana Javier Flores y Jorge Olmedo González son los integrantes del consejo estudiantil CEMIE-Océano, quienes tendrán como misión estimular el mejor desarrollo estudiantil, escuchar y promover soluciones a los problemas que aquejan a los estudiantes y becarios, exponer ante las autoridades correspondientes sus opiniones y recomendaciones relativas a los problemas que afectan al grupo, promover el trato cordial entre los distintos grupos de las líneas de investigación del CEMIE-Océano, así como representar oficialmente a los estudiantes y becarios del CEMIE-Océano, cuando se requiera.

Este comité inició sus funciones el 6 de diciembre de 2018 en presencia del Dr. Rodolfo Silva Casarín, presidente del CEMIE-Océano y en el marco de la Reunión 4º Etapa Mapa de Ruta Tecnológica.

Se tienen pensadas varias actividades para lograr la plena representación estudiantil ante los cuerpos directivos y administrativos del CEMIE-Océano, siempre velando por los intereses de los estudiantes y fomentando la comunicación entre estudiantes, miembros directivos y administrativos. |

LA ANES Y EL IIUNAM FIRMAN ACUERDO DE INTENCIÓN EN FAVOR DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

La Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) y el Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM) convocaron al Seminario sobre Fuentes Renovables de Energía, en el cual se llevó a cabo la firma del Acuerdo de Intención de colaboración entre ambas instituciones para fomentar el uso de las fuentes renovables de energía. Durante el evento, presidido por la Dra. Lourdes Angélica Quiñones Juárez, presidenta de la ANES, y por el Dr. José Luis Fernández Zayas, promotor de esta iniciativa, se expusieron los motivos que los impulsan para trabajar en pro de la sustentabilidad energética.

La Dra. Quiñones afirmó que la firma de este convenio es clave para continuar con las sinergias en el proceso de colaboración con las nuevas políticas públicas del país. Con esta firma, la ANES adquiere el compromiso de participar activamente en el desarrollo del sector energético en México con un enfoque equitativo, social y democrático. Agradezco –continuó Angélica Quiñones– la presencia del Dr. Alberto Montoya, subsecretario de

la SENER, y de las distinguidas personalidades que nos acompañan, pues con su apoyo, avanzaremos para que sea exitoso este proyecto.

La ANES y el IIUNAM estamos comprometidos a organizar actividades académicas, tecnológicas y prácticas que conduzcan a la mejor aplicación de las fuentes renovables de energía y a su crecimiento en el medio regional y nacional.

Por su parte, el Dr. José Luis Fernández Zayas comentó que “estamos comprometidos a apoyar al país y a las diferentes instituciones en ese tránsito hacia un futuro sostenible. El mundo de la academia tiene esa responsabilidad frente a otros actores como es el gobierno y la iniciativa privada”. Afirmó, que un punto importante para que se pueda llevar a cabo un desarrollo, es conocer quién es su interlocutor fuera del mundo académico, particularmente en el sector privado, esto es algo que debemos considerar para asegurar que el proyecto tenga trascendencia independientemente del origen de los fondos para su financiamiento, ya que éste nos permitirá apoyar en su formación a estudiantes de todos los niveles para que contribuyan a propiciar en ellos un mejor entendimiento de los aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales involucrados en el empleo de las fuentes renovables de energía. Con este acuerdo, se contará con el personal de ambas instituciones para la difusión y adopción de las fuentes renovables de energía.

Finalmente, el Dr. Fernández Zayas invitó a la Dra. Lourdes Angélica Quiñones a firmar el acuerdo con el que se comprometen a trabajar en favor de las energías renovables.



DESARROLLO DE CAPACIDADES NACIONALES PARA AUMENTAR LA RESILIENCIA SÍSMICA DE EDIFICIOS DE CONCRETO Y MAMPOSTERÍA CON UN ENFOQUE DE DISEÑO POR DESEMPEÑO

El Dr. Sergio Alcocer dio la bienvenida a la Primera Reunión del Comité Directivo de este proyecto que ha tenido buena acogida por parte de los Comités Técnicos Evaluadores. Afirmó que a raíz de los temblores de 2017, la sociedad mexicana tiene una enorme preocupación sobre la reconstrucción de la infraestructura en general, particularmente de los edificios. Desafortunadamente, nuestro país no cuenta con los elementos técnicos para hacer una evaluación y rehabilitación de los edificios con la celeridad que se requiere para atender las necesidades de carácter social. Debido a la urgencia e importancia del tema, se debe hacer un trabajo muy serio y formal en la elaboración de los productos que se han planteado en este proyecto, tales como normas, manuales, guías de evaluación post-sísmica y de evaluación estructural y de rehabilitación sísmica.

Dos características importantes del proyecto son el alcance que tiene y su enfoque multidisciplinario. Estamos seguros –continuó Alcocer Martínez de Castro– que necesitamos de la colaboración de colegas del ámbito de las ciencias sociales para entender la percepción y la valoración que la sociedad hace del riesgo de los sismos. Hemos incorporado también, la participación de otras áreas de conocimiento como es el caso del Instituto de Geografía de la UNAM, cuyas tecnologías novedosas son muy útiles en la evaluación de edificios, me refiero al uso de drones o vehículos no tripulados. Además, es un proyecto interinstitucional, ya que participan la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, la Universidad Autónoma de Chiapas, la Universidad de Colima y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, entidades federativas afectadas por sismos de gran magnitud, con personal académico altamente capacitado.

Alcocer señaló que quedó claro en el último temblor fuerte en México del 19 de septiembre, que la sociedad esperaba mejor comportamiento de los edificios. En aquellos casos donde el

daño no fue tanto como para demoler la estructura, pero sí suficiente para deshabitar el inmueble, la gente estaba muy molesta por la imposibilidad de regresar a sus viviendas. En este proyecto vamos a enfocar el desarrollo de la investigación siguiendo los conceptos de resiliencia y de diseño por desempeño. El primer concepto está enfocado a la mejora de las capacidades de las comunidades ante desastres naturales, en este caso, sismos; el segundo, enfocado a lograr un comportamiento adecuado y definido de las estructuras y de sus componentes no estructurales ante demandas sísmicas de distinta intensidad. En este esfuerzo se cuenta con un Consejo Asesor Externo, integrado por ingenieros estructurales destacados, representantes de instituciones gubernamentales y de los proveedores y fabricantes de materiales y equipos, de modo que el desarrollo del proyecto y sus resultados impacten de manera rápida y profunda la seguridad de las edificaciones en el país.

Este es el único proyecto aprobado por CONACYT a raíz de su convocatoria sobre desastres naturales en el tema de los sismos, por lo que estamos muy contentos y entusiasmados en hacer aportaciones importantes en este concepto –concluyó Sergio Alcocer–.



**SID 703. SAVING THE VALLEY
OF MEXICO FROM DISASTER:
THE NEED AND THE METHOD**
DANIEL RESÉNDIZ, GABRIEL AUVINET,
MOISÉS JUÁREZ, EDGAR MÉNDEZ
ENERO 2019

Muchas áreas urbanas donde los acuíferos subterráneos son la principal fuente de agua limpia están sujetas a la extracción del líquido a una tasa mayor que la recarga natural. Tal sobreexplotación del agua induce asentamientos del terreno y los consiguientes esfuerzos de tensión y grietas en la superficie del suelo, que dañan tanto edificios como infraestructura existente; el problema se agrava si algunos de los estratos afectados son muy compresibles, como los del Valle de México. Un proceso de ese tipo comenzó en la Ciudad de México poco después de que la tasa de crecimiento de la población aumentara de manera continua a principios del siglo XX. En una publicación anterior en español por tres de los presentes autores, fechada en mayo de 2017, se explicaron en detalle las relaciones causa-efecto del fenómeno observado y se hace una propuesta para abordar las consecuencias perjudiciales de la subsidencia. El hundimiento del terreno causado por la extracción de agua no es raro: en muchas otras áreas urbanas del mundo se producen procesos similares, y frecuentemente aparecen nuevos casos. Sin embargo, el problema de la Ciudad de México es sobresaliente porque el proceso de consolidación ha persistido durante prácticamente un siglo, por lo que el asentamiento acumulado ha alcanzado magnitudes impresionantes: de 10 a 14 m hasta ahora en extensas zonas urbanas que descansan sobre gruesos depósitos de suelo compresible de origen lacustre. Además, el proceso se ha extendido más allá de la ciudad: ahora abarca una gran parte del circundante Valle de México. Todo esto ha motivado el interés internacional. La presente publicación continúa y amplía la anterior con el propósito de explorar los fenómenos científicos y de ingeniería involucrados en el caso, incluidos los



efectos ambientales y la sostenibilidad del proceso. Después de una breve historia del hundimiento local y regional, este documento continúa con un estudio de la literatura internacional sobre el tema publicada entre la fecha de nuestro artículo anterior y estos días. Posteriormente, se discuten los resultados de los estudios revisados y su aplicabilidad al caso del Valle de México. La conclusión es que, dadas las grandes dimensiones del territorio afectado, la complejidad de su subsuelo compresible y el hundimiento extremadamente alto ocurrido, será necesaria una reducción drástica de la extracción de agua. Cualquier solución posible requerirá un enfoque diferente al implícito en el algoritmo de optimización en un solo paso, que es el aplicado en otros lugares para casos similares. Por tanto, el enfoque inevitable para resolver el problema del Valle de México debe comenzar por reconocer la necesidad de reducir progresivamente la extracción de agua hasta los límites de la recarga natural, mediante la reducción progresiva de la extracción excesiva de agua subterránea. Para avanzar hacia ese objetivo, son deseables las siguientes acciones: 1) preservar y estimular la recarga natural en los acuíferos regionales; 2) reducir las pérdidas en la red de tuberías de agua; 3) usar, para fines agrícolas, agua reciclada tratada adecuadamente, en lugar de agua limpia; 4) optimizar los usos del agua para fines domésticos e industriales, y 5) usar bloques predeterminados de agua importada para cubrir cualquier déficit de corto plazo de agua subterránea, en lugar de permitir incrementos inerciales de extracción local. El equilibrio antes mencionado entre la extracción de agua subterránea y la recarga natural es exactamente la condición general necesaria para minimizar el hundimiento. |

SID 702. ADAPTIVE REFINING METHOD FOR 2D TRIANGULAR-ELEMENT MESHES FOR FINITE ELEMENT ANALYSES

ARMANDO RAFAEL HERMOSILLO,
MIGUEL PEDRO ROMO, ROBERTO MAGAÑA,
JORGE CARRERA
MAYO 2018

Muchos problemas complejos a los que se enfrenta el ingeniero de diseño se analizan utilizando métodos numéricos como el método de elementos finitos, cuyos resultados proporcionan fundamentos para tomar decisiones clave con respecto al diseño de obras de ingeniería. Es ampliamente aceptado que los cálculos utilizando métodos de elementos finitos son generalmente confiables; sin embargo, muchos problemas pueden obstaculizar su calidad. Uno que mayormente influye en los resultados es la discretización adecuada de los problemas cuyos límites y condiciones internas pueden variar con el tiempo debido a distintas razones. Es por ello que se llevó a cabo una investigación exhaustiva encaminada a eliminar este inconveniente; para ello en este artículo se describen los principales hallazgos y avances al respecto. El logro fundamental de esta investigación fue el desarrollo de un innovador procedimiento geométrico para refinar automáticamente mallas de elementos triangulares en 2D. Se consideró de gran importancia incluir en el algoritmo herramientas numéricas *ad hoc* para evitar, primero, la formación de triángulos altamente distorsionados durante los análisis de elementos finitos y, segundo, para mejorar, si fuera necesario, las mallas proporcionadas por el usuario. Esta última característica da confianza a los ingenieros en el sentido de que la discretización del medio continuo sea correcta; y

la primera característica asegura al ingeniero de diseño que las decisiones que tome se basen en información confiable. El procedimiento adaptativo de refinamiento automático presentado en este trabajo es iterativo por naturaleza. A partir de una malla inicial definida por el usuario, el proceso de cálculo-refinamiento-cálculo se activa cuando cualquier elemento no cumple la condición o condiciones definidas como umbral (es decir, criterios de falla, altos esfuerzos octaédricos, tasas de esfuerzo y/o deformación, etc.). Este artículo presenta los fundamentos de este nuevo algoritmo, y algunos ejemplos 2D para mostrar su fidelidad en la reproducción de soluciones analíticas, así como su versatilidad para adaptar mallas dependiendo de las condiciones de frontera. |





PANAMERICANO 2019
Cancún Mx.



www.panamerican2019mexico.com
info@panamerican2019mexico.com

XVI CONGRESO PANAMERICANO DE MECÁNICA DE SUELOS E INGENIERÍA GEOTÉCNICA

17 - 20 NOVIEMBRE 2019

Sede
Hotel IBEROSTAR, Cancún Mx
Registro
www.ecodsa.com.mx/BookingPanamericano.html

Temas técnicos

Tema 1. Laboratorio y pruebas de campo
Tema 2. Modelado analítico y físico en geotecnia
Tema 3. Modelado numérico en geotecnia
Tema 4. Suelos no saturados
Tema 5. Suelos blandos
Tema 6. Cimentaciones y estructuras de retención
Tema 7. Excavaciones y túneles
Tema 8. Estructuras fuera de costa
Tema 9. Ingeniería del transporte en geotecnia
Tema 10. Peligros naturales

Tema 11. Presas de tierra y enrocamiento y de relaves (residuos mineros)
Tema 12. Dinámica de suelos e ingeniería sísmica
Tema 13. Mejoramiento de suelos
Tema 14. Sustentabilidad y geoambiente
Tema 15. Conservación de sitios históricos
Tema 16. Ingeniería forense
Tema 17. Mecánica de rocas
Tema 18. Educación
Tema 19. Geotecnia de la energía