

# geotecnia 243

MARZO -  
MAYO 2017



ÓRGANO OFICIAL DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, A. C. WWW.SMIG.ORG.MX



**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MATERIALES EMPLEADOS  
COMO CELDAS DE DEFORMACIÓN EN PILOTES DE CONTROL**

ANÁLISIS DE FALLAS EN CIMENTACIONES PARA SILOS

PERSPECTIVA DE LA MECÁNICA DE SUELOS EN EL VALLE DE MÉXICO

DISEÑO | SUPERVISIÓN | CONSTRUCCIÓN GEOTÉCNICA | OBRA CIVIL



Sondeos exploratorios , Auditorio Nacional

**N**uestro propósito fundamental es ofrecer el soporte geotécnico necesario para erigir obras de ingeniería, tanto en el diseño como en la construcción de cimentaciones.

### DISEÑO

1. Cimentaciones superficiales y profundas.
2. Sistemas de estabilización para excavaciones y determinación de los procedimientos constructivos correspondientes.
3. Estructuras de contención.
4. Muelles.
5. Sistemas de bombeo.
6. Instrumentación para control y monitoreo durante la construcción y vida útil de las obras.
8. Pavimentos.
9. Supervisión geotécnica.



Excavación y anclaje de muro, del. Benito Juárez

### CONSTRUCCIÓN

1. Pilotes de fricción y/o punta.
2. Inclusiones.
3. Pilas.
4. Micropilotes.
5. Sistema de bombeo.
6. Muro Berlín.
7. Tablaestacas.
8. Muro Milán colado *in situ* y prefabricado.
9. Anclas y concreto lanzado.
10. Enderezado de edificios.
11. Recimentaciones.
12. Obra civil y edificación.



Muro Milán, Ecatepec



#### Mesa Directiva 2017-2018

##### Presidente

Carlos Roberto Torres Álvarez

##### Vicepresidente

Moisés Juárez Camarena

##### Secretario

Miguel Ángel Figueras Corte

##### Tesorero

Juan Luis Umaña Romero

##### Vocales

Francisco Alonso Flores López  
María Guadalupe Olín Montiel  
Héctor Valverde Reyes  
Carlos Omar Vargas Moreno

##### Gerente

Martha Patricia Rivera Santillanes

##### Delegaciones regionales

Michoacán  
Occidente  
Puebla  
Querétaro  
Tabasco  
Veracruz

##### Representaciones

Chiapas  
Ciudad Juárez  
Irapuato  
Mérida  
Monterrey  
Tijuana

Síguenos en



@smiggeotecnia



Sociedad Mexicana  
de Ingeniería Geotécnica



inggeotec

# Visión y compromiso

El pasado 26 de enero de 2017 iniciamos una nueva etapa al asumir la mesa directiva de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica para el periodo 2017-2018.

En primer lugar quiero poner de manifiesto nuestro agradecimiento sincero a las personas que desde la mesa directiva anterior aportaron su esfuerzo y trabajo desinteresado durante los últimos dos años en pro de nuestra sociedad. Sabemos que en su día a día no cejan en el empeño de contribuir con la SMIG, y por lo tanto estamos seguros de que podremos seguir contando con ellos.

Daremos prioridad al acercamiento con cada uno de los asociados. Nuestro principal objetivo será trabajar para atender satisfactoriamente todas sus necesidades, intereses y propuestas. Continuaremos con las políticas y acciones que han comprobado su eficiencia y nos proponemos actualizar algunos aspectos de estructura y funcionamiento de nuestra organización.

Establecimos las líneas de acción siguientes: *a)* la integración de los profesores de geotecnia de nuestro país y la elaboración de un padrón nacional; *b)* el establecimiento de los lineamientos y directrices para la edición de una revista indexada; *c)* la participación activa de las delegaciones regionales y las representaciones; *d)* mayor presencia internacional y creación de lazos de colaboración con las sociedades latinoamericanas, y por supuesto *e)* atención y mayores servicios a cada uno de nuestros asociados.

Este año es relevante, ya que se cumplen 60 años de la fundación de nuestra sociedad y debemos celebrarlo dignamente con una serie de actividades relacionadas con la práctica, la investigación y la docencia.

Para todo ello, tengo el gusto y la fortuna de colaborar con personas de experiencia y visión en esta mesa directiva. Todos ellos han mostrado su compromiso con esta nueva encomienda. Me acompañan en esta responsabilidad Moisés Juárez Camarena (vicepresidente), Miguel Ángel Figueras Corte (secretario), Juan Luis Umaña Romero (tesorero); María Guadalupe Olín Montiel, Francisco Alonso Flores López, Héctor Valverde Reyes y Carlos Omar Vargas Moreno (vocales).

Comenzamos esta etapa con ilusión y el compromiso de cumplir nuestra responsabilidad con la mayor eficiencia y el pleno convencimiento de que las aportaciones, apoyo y presencia de cada asociado de la SMIG son imprescindibles para alcanzar los objetivos que nos hemos propuesto.

Carlos Roberto Torres Álvarez  
Presidente



*Geotecnia*, año 6, núm. 243 marzo – mayo 2017, es una publicación trimestral editada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C. Valle de Bravo 19, colonia Vergel de Coyoacán, alcaldía Tlalpan, CP 14340, teléfono (55) 5677 3730 · [www.smig.org.mx](http://www.smig.org.mx). Editor responsable: Carlos Roberto Torres Álvarez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo núm. 04-2017-060819470900-102, otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. ISSN en trámite. Responsable de la última actualización de este número: Helios Comunicación, S.A. de C.V., Insurgentes Sur 4411, edificio 7, departamento 3, colonia Tlalcoligía, alcaldía Tlalpan, CP 14430, Ciudad de México. Fecha de última modificación: 28 de febrero de 2017.

Los artículos firmados son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente la opinión de la SMIG. Los textos publicados, no así los materiales gráficos, pueden reproducirse total o parcialmente siempre y cuando se cite la revista *Geotecnia* como fuente. Para todo asunto relacionado con la revista *Geotecnia*, dirigirse a [geotecnia@heliosmx.org](http://geotecnia@heliosmx.org).

## CONVOCATORIA

Además de comentarios y sugerencias de sus lectores sobre los contenidos, *Geotecnia* está abierta a las colaboraciones de los profesionales vinculados a la especialidad.

De igual forma se invita a presentar artículos que permitan inaugurar una nueva sección en la que se haga prospectiva o se aborden casos insólitos en el ejercicio de la especialidad.

Quien desee proponer trabajos debe comunicarse a través de [geotecnia@heliosmx.org](mailto:geotecnia@heliosmx.org) para ser informado de los requisitos para recibir materiales. Los textos serán puestos a consideración del Consejo Editorial para su eventual publicación.

# Contenido

## 3 Conversando con...

La universidad debe crear profesionales en función de una necesidad social

**Alberto Jaime Paredes**



## 7 Semblanza

Alfredo Marrón Vimbert, una vida dedicada a las presas

**Carlos Marrón Vázquez**

## 10 Semblanza

Vivencias con un ingeniero, jefe y amigo

**Rodrigo Murillo F.**



## 12 La geotecnia en la historia

Perspectiva de la mecánica de suelos en el Valle de México

**Francisco Zamora M.**

## 15 Tema de portada / Artículo técnico

Caracterización mecánica de materiales empleados como celdas de deformación en pilotes de control

**Norma Patricia López Acosta y Eduardo Martínez Hernández**



## 27 Artículo técnico

Sobre el diseño geotécnico de cimentaciones con pilotes de fricción

**Agustín Deméneghi Colina**

## 34 Artículo técnico

Análisis de fallas en cimentaciones para silos

**Claudia Reyes Martínez † y Gabriel Moreno Pecero**

## 40 Ámbito académico

El proceso enseñanza-aprendizaje. ¿Cómo mejorarlo?

**Germán López Rincón**

Reseñas

38 *Libros / Tesis*

39 Calendario



## SMIGnoticias

44 2ª Jornada de la Ingeniería con Geosintéticos

44 V Encuentro: El posgrado en la ingeniería civil

45 Mesa entre amigos "Recordando al ingeniero Enrique Santoyo Villa"

45 Informe de actividades 2015-2016 y comida de fin de año

46 Toma posesión la Mesa Directiva 2017-2018 de la SMIG

46 Bienvenidos nuevos socios

47 Se reúnen responsables de capítulos estudiantiles

47 Esquela

48 Curso corto sobre instrumentación geotécnica

48 Toma posesión la delegación Veracruz

49 Cultura

49 Cartelera

PORTADA: PILOTE DE CONTROL EN UN EDIFICIO DE LA CIUDAD DE MÉXICO CON CELDA DE DEFORMACIÓN DE MADERA DE CAOBILLA  
FOTO: NORMA PATRICIA LÓPEZ ACOSTA

# geotecnia

## Dirección general

Carlos Roberto Torres Álvarez

## Dirección ejecutiva

Natalia Parra Piedrahita

## Consejo editorial

Raúl Aguilar Becerril

Gabriel Auvinet Guichard

Mauricio Barrera Bucio

José Sergio Carmona Ruvalcaba

Jorge Efraín Castilla Camacho

Carlos Chávez Negrete

Miguel Ángel Figueras Corte

Héctor Augusto de la Fuente Utrilla

José Francisco González Valencia

Moisés Juárez Camarena

Albert Isaac Lagunas Torres

Germán López Rincón

Raúl López Roldán

Héctor Moreno Alfaro

Gabriel Moreno Pecero

Rodrigo Murillo Fernández

Alexandra Ossa López

Juan Paulín Aguirre

Margarita Puebla Cadena

Luis Bernardo Rodríguez

Juan Jacobo Schmitter

Guillermo Springall Cáram

Juan Luis Umaña Romero

Sergio Aurelio Zamora Castro

## Comercialización

Martha Patricia Rivera Santillanes

## Realización



HELIOS comunicación  
+52 (55) 55 13 17 25

## Dirección ejecutiva

Daniel N. Moser da Silva

## Dirección editorial

Alicia Martínez Bravo

## Coordinación editorial

José Manuel Salvador García

## Coordinación de contenidos

Teresa Martínez Bravo

## Contenidos

Ángeles González Guerra

## Diseño

Diego Meza Segura

Marco Antonio Cárdenas Méndez

## Dirección operativa

Alicia Martínez Bravo

## Administración y distribución

Nancy Díaz Rivera

**Alberto Jaime Paredes**

Doctor en Ingeniería civil con especialidad en Ingeniería geotécnica y Geotecnia ambiental y sísmica. Investigador titular del II UNAM. Fue gerente de Protección Ambiental de la CFE y subdirector general técnico de la Conagua. Miembro de las academias Mexicana de Ciencias y de Ingeniería. En 1988 recibió el premio Manuel González Flores de la SMIG a la Investigación en Geotecnia.



# La universidad debe crear profesionales en función de una necesidad social

La ingeniería civil y la ingeniería en general es diseño, el diseño de lo que resulta necesario construir; transformar la idea en acción, en un producto o un servicio determinado. Considero que los docentes de ingeniería deben inculcar este concepto en los estudiantes. A mí no me interesan en sí mismos el campo, el laboratorio, el programa de cómputo; me interesan en cuanto que son básicos y muy importantes para que yo pueda hacer diseño. Si el diseño no sirve, la ingeniería es inútil.

“Cuando entré en la Facultad de Ingeniería dejé todas mis otras actividades, porque quería prepararme muy bien como ingeniero civil; eso fue algo natural”, nos dice Alberto Jaime cuando le pedimos una primera reflexión sobre su vínculo con la ingeniería. A solicitud expresa, entra en detalles sobre las actividades que abandonó: “En la preparatoria era muy activo, participaba en varias asociaciones civiles de diversos tipos, incluso políticas; todas esas actividades las dejé

a partir del primer semestre en la Facultad de Ingeniería.”

A la pregunta de por qué ingeniería civil, nos dice: “La ingeniería siempre me llamó la atención. A mí me gustaba mucho armar y desarmar, me gustaba construir... Con un grupo de amigos de la cuadra montamos un laboratorio, hacíamos jabón y muchas otras cosas. A mí me gustaban las ciencias y la tecnología, y bueno, me atraía el desarrollo que se estaba teniendo en el país; no lo sabía de manera objetiva, pero lo vivía. En esos momentos estaban haciendo una gran cantidad de carreteras en México, estructuras, edificios, viviendas, hospitales y demás; estaban en la boca de todos, entonces yo creo que eso me influyó para decidirme, porque además tenía las aptitudes para la ingeniería, y también para medicina, por cierto.”

Pero no tuvo dudas al decidirse por ingeniería. Continúa: “Me interesaba la historia, la química, la medicina me atraía mucho, pero por ejemplo mi profesor de anatomía de la prepa no nos enseñaba la anatomía como algo vivo, sino como algo muerto; seguramente eso decantó mi preferencia.”

Después de varias décadas y de haber vivido experiencias también en la actividad profesional en el ámbito privado y en el público como



Jorge Orozco, Gabriel Auvinet, Raúl López Roldán, Raúl Vicente Orozco, Guillermo Springall, Raúl Flores Berrones, Daniel Reséndiz, Alberto Jaime y Jesús Alberro, en la otrora SMMS.

funcionario y autoridad, Alberto Jaime sigue en la UNAM. Le pedimos una primera reflexión sobre esta continuidad en la universidad.

“En la preparatoria los profesores nos motivaban a que estudiáramos en la UNAM, y en la Facultad de Ingeniería. Entonces en la universidad había maestros, doctores y profesionales muy distinguidos de toda la República mexicana. Venir aquí era para buscar a los mejores maestros, cosa que se ha perdido un poco. Tengo la impresión de que hoy no pocos estudiantes seleccionan la universidad más por las facilidades que les ofrezca para recibirse que por el nivel académico.

”Creo que se discutía más antes que ahora; se ha perdido un poco la discusión personal en los auditorios, porque se ha reducido la capacidad de crítica. La crítica, en el sentido estricto de la palabra, es desmenuzar algo, opinar sobre eso pero de manera informada. La crítica no es denostación, por supuesto que no; es expresar libremente tu opinión, que el otro exprese también libremente su opinión y que haya divergencias, pero también siempre va a haber convergencias.

”Cuando ingresé al Instituto de Ingeniería (II UNAM) hace más de 40 años, se estaban haciendo muchas cosas nuevas y recreando otras. El II UNAM prácticamente acababa de nacer, no había una masa crítica de investigadores ni investigadores jóvenes; se estaba creando esa masa crítica, y entonces se admitía más una colaboración entre varios departamentos.”

Consultado sobre el espíritu, la vocación del II UNAM y de esa universidad en general durante aquella época, Alberto Jaime recuerda: “Obviamente se ofrecía conocimiento universal, pero privaba el interés por hacer aportes en



Edmundo Moreno, Raúl J. Marsal, Arthur Casagrande y Alberto Jaime.



Raúl López Roldán, Óscar Alberto Vardé, Felipe Cansino López, Pedro Ortigosa; en el extremo derecho, Alberto Jaime con Alberto Porras.

En la preparatoria los profesores nos motivaban a que estudiáramos en la UNAM, y en la Facultad de Ingeniería. Entonces en la universidad había maestros, doctores y profesionales muy distinguidos de toda la República mexicana. Venir aquí era para buscar a los mejores maestros, cosa que se ha perdido un poco. Tengo la impresión de que hoy no pocos estudiantes seleccionan la universidad más por las facilidades que les ofrezca para recibirse que por el nivel académico.

el ámbito nacional; la publicación de artículos no era lo esencial.”

Le recordamos que hace algunos años conocimos sus trabajos sobre la necesidad de la adecuación de los planes de estudio en ingeniería civil y le pedimos una reflexión sobre este tema, siempre actual, relevante.

“Cuando ingresé a la Facultad de Ingeniería en 1968 se había reformado el plan de estudios. Antes de este plan, las materias principales eran estructuras e hidráulica, fundamentalmente. Sí se veía algo de mecánica de suelos, algo de construcción, pero lo relevante eran hidráulica y estructuras. En el nuevo se incluyeron las materias de planeación, mecánica de suelos, hidrología y otras. Por cierto, fue el ingeniero Fernando Hiriart el primer planeador nacional. Él empezó a formar y a agrupar a grandes planeadores; los principales de México tuvieron que ver algo con él.”

Con el tiempo han ganado espacio y consideración otras ramas y especialidades de la ingeniería civil. A ello se refiere Alberto Jaime: “Algunos distinguen hasta ocho ramas de la ingeniería civil, y se tienen que enseñar en cinco años; ahora, ¿por qué cinco años, no seis, no siete, no cuatro o no tres?, pues no lo sé, alguien dijo que eran cinco.

”Yo he propuesto que sean cuatro años en los cuales se dé información al profesionista. En la UNAM tenemos 200 días de trabajo al año; sin fatigar al estudiante ni al profesor podríamos trabajar al menos 50 días más disminuyendo el número excesivo de vacaciones, de asuetos. También podrían reducirse la cantidad de materias que no son imprescindibles, y que podrían abordarse de manera no ortodoxa pero obligatoria.”

En un contexto más básico, al preguntarle sobre los criterios generales que deben conside-

rarse para establecer o modificar los planes de estudios, nos dice: “El primero es tener presente que la universidad debe crear profesionales en función de una necesidad social que advierte. Estoy refiriéndome a los ingenieros, abogados, contadores, médicos, veterinarios, ingenieros en robótica, aeronáuticos, etc. Debemos hacer notar que hay profesionales cuya función tiene que ver con vidas y bienes, y por tanto deben ser sujetos de una regulación estricta y de una actualización frecuente. Hay otros de la mayor importancia para el país que no requieren la misma regulación. Por ejemplo, un filósofo es formado para que piense; ciertamente el filósofo está en esta Tierra para pensar, y para pensar en qué pensar; el ingeniero o el médico no están para pensar qué pensar, están aquí para pensar qué hacer, proponer cómo y hacerlo. Este tipo de profesiones tienen que concebirse en función de las necesidades –humanas, industriales, sociales, económicas, de las nuevas tecnologías–. Por eso se tienen que revisar constantemente, para con cierta periodicidad hacer ajustes en los programas de estudio que respondan a las necesidades del país, de la sociedad.”

Un fenómeno recurrente en ciertas universidades, sobre todo las públicas, es encerrarse en el mundo académico, perder contacto con la práctica profesional pública y privada. También sucede en la iniciativa privada, no tanto en el sector público, que aporta poco al desarrollo y a la formación de los nuevos profesionales. Alberto Jaime Paredes nos da su opinión al respecto.

“Sin denostar a nadie, opino que tenemos tradición de abarroteros desde la época prehispánica.” Ante nuestra evidente sorpresa, agrega: “¿Por qué, teniendo tanto litoral marítimo, ningún país de América Latina se ha distinguido en la navegación? Nunca nos interesó el mar, y ahora necesitamos desarrollar rápidamente nuestra infraestructura costera para sacar provecho de los productos y servicios que se dan en ese ámbito.

”Cuando se han planteado cambios a los planes de estudio se realizaron encuestas entre profesores y estudiantes para tener una referencia de lo que piensan al respecto. Algunos profesores querían que se reimpartieran materias que ya no se enseñan desde hace muchos años en las escuelas de ingeniería del mundo, como geometría descriptiva. Algunos estudiantes prefieren las de ciencias humanas y sociales, que consideran menos complicadas y les permiten mejorar promedios.”



Guillermo Gil Flores, Raúl López Calvillo, Óscar Vega Argüelles, Gilberto Borja, Alberto Jaime y Fernando Favela L.

En la UNAM tenemos 200 días de trabajo al año; sin fatigar al estudiante ni al profesor podríamos trabajar al menos 50 días más disminuyendo el número excesivo de vacaciones, de asuetos. También podrían reducirse la cantidad de materias que no son imprescindibles.

Sin embargo, Alberto Jaime opina que hay un tema que sí debería considerarse en los planes de estudio: el de la expresión, oral y escrita. “Se trata de un tema básico en el que se debería insistir desde la educación primaria; un tema en el cual hacen hincapié quienes contratan, tanto en el sector privado como público, a los jóvenes egresados, de quienes dicen que no saben expresarse correctamente, no saben presentar sus trabajos. También piden que sepan inglés, de preferencia, u otro idioma.”

No es lo único que debería incorporarse, según nuestro entrevistado. “Otro tema de la mayor importancia es el de recursos y necesidades de México, geografía económica y social, para que el estudiante sepa en qué medio se está desarrollando: la geografía económica y social de su país. El estudiante de ingeniería específicamente tiene que saber en dónde se está desarrollando.”

El tema nos lleva por fuerza a preguntar cuáles deberían considerarse los principales desafíos en relación con las necesidades futuras que habrán de atender las nuevas generaciones de ingenieros.

“En el caso de las ingenierías –apunta Alberto Jaime–, cada una de ellas cuenta con varias ramas principales. Enseñarlas y aprenderlas a profundidad en cinco años es imposible, lo único que podemos dar es información sustantiva para que las personas puedan tratar de elegir en cuál de esas ramas especializarse. Por eso digo que debemos disminuir los años, pero no la calidad ni la intensidad de la enseñanza. Con las maestrías el estudiante profundizará el conocimiento de las ramas que le interesen, y con el doctorado lo ahondará aun más.”

Hablando de profundizar, enterados de que además de especializarse en geotecnia Alberto Jaime investigó sobre aspectos muy específi-

cos del uso del subsuelo, le pedimos que nos comentara al respecto. “Abordé ese tema –responde– porque en realidad una de las especialidades a las que me dedico es la de protección ambiental; entonces, una forma de preservar el paisaje (que es parte del medio ambiente, y muy importante) es justamente que el espacio del subsuelo puede y debe emplearse para la instalación de vías de comunicación (metro) edificios e instalaciones (subestaciones eléctricas) y otros muchos servicios.”

A diferencia de muchos ingenieros que suelen concentrarse en la labor académica o en la actividad profesional, ya sea en el sector público o en el privado, Alberto Jaime ha incursionado en ambos campos. Sobre esto nos refiere: “Así ha sido mi trayectoria, porque –esto lo señalo cada vez que se presta la ocasión– la ingeniería civil y la ingeniería en general es diseño, el diseño de lo que resulta necesario construir; transformar la idea en acción, en un producto o un servicio determinado. Considero que los docentes de ingeniería deben inculcar este concepto en los estudiantes. A mí no me interesan en sí mismos la exploración de campo, el laboratorio, el programa de cómputo; me interesan en cuanto que son básicos y muy importantes para que yo pueda hacer diseño. Si el diseño no sirve, la ingeniería es inútil.”

Nos dice al plantearle la relación de la academia con la práctica profesional, la aplicación de la ingeniería en lo cotidiano: “En casi todas las especialidades que se abordan en el II UNAM existe una buena comunicación y sinergia con la actividad profesional que se aplica concretamente, tanto en el sector privado como en el público, aunque más en este último; con el sector privado se ha ido ganando, pero de repente se pierde, es una relación cíclica. Tanto desde un sector como desde el otro nos consultan, nos patrocinan investigación aplicada.”

Cerca del final de la conversación, al preguntarle si hay algún tema que no hubiéramos tratado y que quisiera abordar, nos plantea Alberto Jaime Paredes: “Considero que la investigación en geotecnia se encuentra en un *impasse*. Cuando mi generación comenzó la investigación en el II UNAM hace aproximadamente 45 años, muchas de las ramas de la ingeniería civil se estaban desarrollando, por ejemplo la ingeniería sísmica, la dinámica de suelos, el análisis de las grandes presas con computadoras, los enrocamientos, todo eso era prácticamente terreno fértil, nuevo, y estuvimos trabajando



Con Enrique Santoyo, Gabriel Auvinet, Jesús Alberro, Raúl J. Marsal y Sergio W. Covarrubias.

En casi todas las especialidades que se abordan en el II UNAM existe una buena comunicación y sinergia con la actividad profesional que se aplica concretamente, tanto en el sector privado como en el público, aunque más en este último; con el sector privado se ha ido ganando, pero de repente se pierde, es una relación cíclica. Tanto desde un sector como desde el otro nos consultan, nos patrocinan investigación aplicada.

muy intensamente en ello; la ingeniería mexicana hizo grandes contribuciones al mundo, pero en la actualidad estamos en un *impasse* no solamente en México sino en el ámbito global. Hemos hecho grandes avances en las herramientas de análisis y presentación de los resultados, planos, proyecciones isométricas, figuras llenas de colores llamativos, pero no mucho en la modelación de los suelos, y sobre todo en los equipos y ensayos de laboratorio para determinar las propiedades que definen el comportamiento de los suelos. La exploración y muestreo de suelos no difiere mucho de lo que se ha hecho en los últimos 80 años, excepto algunas mediciones novedosas de propiedades dinámicas que se desarrollaron porque hay equipos de cómputo y *software* especializado. Esto no debe preocuparnos pero sí ocuparnos; debemos estar alertas. Siempre pasa, hay épocas de gran productividad, de reflexión; estamos por empezar una de gran productividad en la ingeniería civil, porque tenemos muchas herramientas modernas. Yo creo que la robótica va a ser factor muy importante en la forma en que los ingenieros civiles diseñamos. Ya está demostrado que las tecnologías digitales han revolucionado a la ingeniería y a todas las disciplinas. Nos podemos comunicar con expertos en varios continentes en tiempo real para abordar y discutir un problema. Considero que en parte el estado de *impasse* en la investigación ahora es porque apenas estamos resolviendo el gran choque tecnológico que nos llegó. Tenemos que aprender a hacer un uso cada vez mayor y mejor de toda esa tecnología a nuestra disposición”

Apreciamos su opinión e información sobre el tema de este artículo. ✉ Escribanos a [geotecnia@heliosmx.org](mailto:geotecnia@heliosmx.org)

**Carlos Marrón Vázquez**

Ingeniero civil. Comenzó su carrera profesional en el diseño de puentes carreteros para la SCT. Posteriormente trabajó en ICA, primero en la construcción de obras civiles y luego en la administración corporativa.

# Alfredo Marrón Vimbert, una vida dedicada a las presas

A los 22 años de edad comenzó su vida profesional en el área de las obras hidráulicas y toda su carrera estaría orientada a estas construcciones en México y en el extranjero. Parte de esa rica experiencia quedaría plasmada en la obra *Presas de México*.

**A**lfredo Marrón Vimbert nació en la Ciudad de México el 21 de octubre de 1910. Fue el sexto de ocho hijos de Luis Marrón Velasco, también ingeniero civil con estudios en La Sorbona de París, y Eloísa Vimbert Cortázar.

Estudió la primaria en el Colegio Francés de Alvarado y en el Colegio Franco-Inglés de la Verónica. Sus estudios preparatorios los realizó en el Colegio de San Ildefonso de la Universidad Nacional de México, y al terminar ingresó a la Escuela Nacional de Ingeniería de la UNAM, ubicada en el Palacio de Minería; allí realizaría sus estudios profesionales de 1929 a 1933, periodo en el que se definió la autonomía de la universidad. Presentó su examen profesional en 1934.



Fue residente general en el PH de Malpaso, Chiapas.



Alfredo Marrón dirigió la construcción de la presa La Angostura en Bolivia.

Contrajo matrimonio en Cochabamba, Bolivia, con Rosario Vázquez Ochoa el 30 de octubre de 1941. De este matrimonio nació su único hijo, de quien tuvo dos nietos.

En 1932 inició su vida profesional, al ser comisionado por la Dirección General de Obras Hidráulicas de la Secretaría de Obras Públicas como supervisor en el mantenimiento de la prolongación sur del Gran Canal de Desagüe del Valle de México, desde San Lázaro hasta Río Churubusco, cargo que ocupó hasta 1933, con la finalización de sus estudios profesionales.

En 1934 ingresa a la Comisión Nacional de Irrigación (CNI), asignado a la construcción de la presa Taxhimay, en el Estado de México, donde trabaja como supervisor de la colocación de concreto en la pantalla impermeable de la presa de enrocamiento. Esta obra, aunque chica, fue la primera que la CNI construyó con técnicos mexicanos, ya que las anteriores se realizaron por contrato con empresas estadounidenses. Con los antecedentes de esta obra realiza su tesis profesional.

Una vez terminado el trabajo de esa presa, atendió pequeñas obras de irrigación, como el diseño de las estructuras hidráulicas necesarias para la operación de la primera etapa del Distrito de Riego 05 en Delicias, Chihuahua, y la supervisión y construcción del canal de Tacámbaro, Michoacán, para riego y posible aprovechamiento; incluyó aquí el diseño de las presas derivadoras en la toma principal y de otra intermedia, y en esta entidad supervisó la construcción de la presa Tarecuato y del túnel de derivación para aumentar el almacenamiento en la presa de Huaracha; inició también la localización de los canales de riego en terrenos aledaños a la población de Jiquilpan.

A solicitud del gobierno del estado de Oaxaca, la CNI le encomendó la construcción de una galería filtrante para riego de terrenos en el municipio de Díaz Ordaz.

Posteriormente, en San Luis Potosí, estuvo a cargo de la construcción de la presa Álvaro Obregón; aquí se llevó a cabo la primera cortina hecha de material impermeable arcilloso compactado, con el nuevo sistema de control establecido a partir de la década de 1930, la prueba Proctor, para saber si el material queda con la impermeabilidad requerida.

Finalizado dicho trabajo, lo asignaron como ayudante de superintendente en la presa El Palmito, actualmente Lázaro Cárdenas, en Durango; era ésta una obra grande, que contaba con la dirección de un superintendente estadounidense. Permaneció en ella hasta 1938.



Integrado a la Comisión Nacional de Irrigación, estuvo al frente de varios proyectos durante el sexenio cardenista.

En esa época, por disposición del general Lázaro Cárdenas, México envió apoyo técnico a Bolivia para iniciar proyectos y trabajos de irrigación. Acudieron a esta empresa él con sus compañeros Eligio Esquivel, Gerardo Cruickshank y Enrique Espinoza Vicente. En la ciudad de La Paz, Bolivia, quedó comisionado como jefe del Departamento de Construcción de la Dirección de Riegos, creada ex profeso dentro del Ministerio de Agricultura y Fomento. Al enfrentarse a la labor de campo, se encontró con falta de datos, por lo que prácticamente regresó a sus primeros años de formación a fin de hacer los estudios de topografía, hidrometría, instalación de estaciones de aforo, etc., para reunir los elementos que permitirían iniciar los proyectos. Se hizo cargo también

de dirigir la construcción por administración de la presa La Angostura, en el Departamento de Cochabamba, y de una pequeña presa en el altiplano boliviano.

Al terminar la asignación que le hizo el gobierno mexicano, el gobierno de Bolivia lo contrató como titular de la Dirección General de Riego en la ciudad de La Paz, por el periodo 1943-1948.

En este periodo se terminó e inauguró la presa La Angostura de Cochabamba, a la que se denominó “Represa México”; continuó con la construcción de la infraestructura de riego, para cubrir una superficie de 2,600 ha en su primera etapa. En ese lapso también inició y terminó la presa de Tacagua en Challapata, en el departamento de Oruro, con lo que se inició la infraestructura de riego.

Se hicieron estudios de proyectos alternativos para la utilización del río Desaguadero en el departamento de Oruro para riego de 15,000 ha, y del río Pilcomayo en el departamento de Tarija para el riego de 40,000 ha. Durante su estancia en ese país asesoró al gobierno en varios aspectos relacionados con la utilización del agua, ya fuera para energía eléctrica o para dotación a poblaciones. Al terminar el contrato, se dedicó a actividades particulares de 1949 a 1955:

- Estudios para la dotación de agua potable a la ciudad de Cochabamba y el aprovechamiento para la producción de energía eléctrica utilizando una caída de 700 m.
- Construcción de la red de alcantarillado de la población de Chulumani, en el departamento de La Paz.
- Construcción del ramal de la carretera Cochabamba-Santa Cruz para el acceso a la población de Cliza, departamento de Cochabamba, incluyendo el proyecto de infraestructura en una longitud de 7 km.
- Construcción de dos puentes en la ciudad de Cochabamba para comunicarla con las colonias establecidas en la margen derecha del río Rocha, ambos con una longitud de 60 m; además, por el mismo motivo, otro puente sobre el río Sulti.
- Proyecto y construcción del canal La Angostura-Ushpa-Ushpa para la producción de energía eléctrica e instalación de la planta de 2.4 MW.

Igualmente, durante este periodo el gobierno de la República de Bolivia utilizó sus servicios *ad honorem*.

Regresó a México en 1956 y se dedicó a actividades particulares relacionadas con su profesión, como la nueva red de drenaje en el Distrito de Riego 014 en Mexicali, Baja California, y el comienzo de la construcción de la presa Urepetiro sobre el río Tlazazalca, en el municipio de Zamora, Michoacán, hasta el año 1958.

A partir de 1959, la Secretaría de Recursos Hidráulicos lo contrató como gerente para obras de pequeña irrigación y agua potable en el Estado de México, atendiendo todos los asuntos técnicos relacionados con esas actividades.

La Comisión Federal de Electricidad lo solicitó para la construcción de la presa y planta hidroeléctrica El Infiernillo

(de 1960 a 1965), en el estado de Guerrero, cerca de los límites con Michoacán, denominada más tarde Presidente Adolfo López Mateos. Se trató de la planta hidroeléctrica de mayor capacidad instalada, con 680 MW, con una cortina de características excepcionales: materiales graduados con un corazón impermeable muy angosto y taludes exteriores de 1.85:1, no obstante su altura de 149 metros.

Después, durante cinco años fue residente general en la construcción de la planta hidroeléctrica de Malpaso, Chiapas, utilizando la obra de almacenamiento Raudales Nezahualcóyotl, terminada por la SRH en 1964. Esta planta fue la de mayor capacidad en su tiempo, con 760 MW.

Luego fue residente en la construcción de la obra civil para la ampliación de la planta termoeléctrica del Valle de México en Tepexpan, unidades 2 y 3, con capacidad de 150 MW cada una; intervino en la iniciación de los trabajos de la unidad 4, con una capacidad de 300 MW, durante dos años.

Como representante de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), Alfredo Marrón fue enviado en calidad de supervisor de la construcción de la obra civil a la planta hidroeléctrica Pisayambo, en la República de Ecuador, durante 1972 y 1973. Esta construcción fue financiada por el BID, en apoyo a las actividades del gobierno ecuatoriano para ampliar su capacidad en materia eléctrica; consistió en una presa de almacenamiento a 3,900 msnm y una caída de 400 m para la operación de la central hidroeléctrica de 24 MW en Pucará.

A solicitud del vocal ejecutivo de la Comisión del Río Papaloapan, se hizo cargo de los últimos estudios de iniciación de la presa Cerro de Oro, sobre el río Santo Domingo, en Oaxaca. Por problemas de carácter financiero no se pudo continuar esta obra; sin embargo, Marrón Vimbert fue designado ingeniero en jefe de esa comisión para la atención de las distintas actividades técnicas relacionadas con comunicaciones, sanidad y urbanismo.

Regresó a la CFE en 1976 para ponerse al frente de los estudios finales para la construcción de la presa hidroeléctrica Peñitas en su última etapa, sitio localizado 25 km aguas arriba de Huimanguillo, Tabasco, en el río Grijalva. Debido al ajuste de los programas de construcciones, se suspendió este proyecto.

Fue incorporado a la coordinación de la presa Chicoasén, donde permaneció de 1977 a 1978 como residente general, y posteriormente estuvo a cargo del abastecimiento de materiales de esta obra. Las características de este proyecto son bien conocidas por su magnitud. Incluyeron la construcción de una presa de materiales graduados con 268 m de altura y una planta hidroeléctrica para instalación de 2,400 MW, de los cuales sólo se hizo la instalación de 1,500 MW.

De 1979 a 1982 fue contratado por el Comité de Agua Potable y Alcantarillado de Cochabamba, Bolivia, para aumentar la dotación hidráulica y ampliar la red de distribución; esta tarea incluyó la construcción y equipamiento de cuatro pozos profundos. Por recomendación del BID se le asignó la supervisión de obras realizadas por contratistas

de la presa Escalerani y otra menor reguladora, donde se inicia la conducción a la ciudad; estos trabajos se realizaron a 4,100 msnm.

De regreso a México, de 1983 a 1986 formó parte del grupo de asesores del subsecretario de Infraestructura Hidráulica para atender asuntos vinculados con el desarrollo técnico de las obras, así como la solución de problemas relacionados con el cumplimiento de los contratos; se dio principal atención a la reiniciación de los trabajos de la presa Cerro de Oro, concluida e inaugurada en 1988 con el nombre de Presidente Miguel de la Madrid Hurtado. Se inició la redacción de las Normas de Construcción de Obras Públicas, según decreto del 8 de enero de 1982.



En los setenta dirigió los estudios de la presa Cerro de Oro, que se inauguró en 1988.

En el periodo 1987 a 1988 fue nombrado coordinador del Consultivo Técnico dependiente del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, donde realizó actividades relacionadas con la supervisión de estudios y proyectos, obras en construcción y obras en operación.

Con la reorganización institucional de la Comisión Nacional del Agua y la ampliación de sus actividades en el Consejo Consultivo, fue nombrado subcoordinador y subgerente en el área de Infraestructura Hidráulica y Electromecánica de 1989 al año 2000; en este lapso trabajó en pro de que el personal del Consultivo Técnico no sólo atendiera las obras por recomendaciones superiores, sino que realizara visitas sistemáticas de seguridad a las presas, principalmente las realizadas por las antiguas direcciones de Pequeña Irrigación y de Obras Hidráulicas para el Desarrollo Rural, que en su mayoría habían sido construidas sin supervisión. Visitó personalmente casi todas esas obras, en suma unas 200. También participó en la revisión y publicación de las memorias descriptivas de *Presas de México*, volúmenes I al VI hasta el año 1970, y posteriormente en la redacción y publicación de los volúmenes VII al XIV hasta el año 2000.

Alfredo Marrón Vimbert falleció en la Ciudad de México el 26 de enero de 2001, debido a un derrame cerebral masivo ❖

Fotografías proporcionadas por el autor.

Apreciamos su opinión e información sobre el tema de este artículo.  
✉ Escribanos a [geotecnia@heliosmx.org](mailto:geotecnia@heliosmx.org)

**Rodrigo Murillo F.**

Ingeniero civil con maestría en Mecánica de suelos. Fue director de Geotecnia y Formación de Lagos de 1973 a 1987 en la Comisión del Lago de Texcoco, y consultor en el IMTA de 1987 a 1995. Ha desempeñado diversos cargos en la Conagua; desde 1995 es subgerente de Seguridad de Presas de la Subdirección General Técnica. Ha sido profesor de Mecánica de suelos en la Facultad de Ingeniería de la UNAM y en su posgrado; en la FES Aragón de la UNAM es profesor desde 1974.

# Vivencias con un ingeniero, jefe y amigo

Cuando don Alfredo era asesor del subsecretario de Infraestructura Hidráulica de la SARH, le encomendaron la elaboración de normas técnicas modernas para la realización de las presas del sector; con ese propósito integró un grupo de trabajo conformado por ingenieros representativos de la dependencia con Amós Díaz Barriga, Julio Lozoya Corrales, Luis Aguilera y quien esto escribe, entre otros. En ese entonces lo conocí; posteriormente, cuando fue designado jefe del Consultivo Técnico en 1987, nos invitó a Julio Lozoya y a mí a colaborar con él. A partir de entonces lo traté hasta sus últimos días.

Hombre íntegro y generoso, siempre escuchaba con atención tanto las opiniones técnicas como las cotidianas. Compartía con nosotros sus recuerdos en la Escuela Nacional de Ingenieros, en el Palacio de Minería, donde lo primero que hacían muy temprano por la mañana era nadar en la alberca, asistir a misa en la capilla y luego iniciar las clases, en las cuales usaban algunos libros en francés. Compartía con ale-



En las obras de la presa Río Verde y su zona de riego en Oaxaca, con Jorge Camacho Gaxiola, residente de los trabajos. Marzo de 1988.



Visita a Huites, Sinaloa, en uno de los monolitos terminados de la sección de gravedad. Agosto de 1993.

gría su experiencia tanto en México como en Bolivia, donde era muy reconocido por su valía y experiencia, y sabíamos que lo recibían con mucho gusto cuando acudía a visitar a la familia de su querida esposa.

Al principio de su carrera fue colaborador de Fernando Hiriart en la presa Taxhimay; nació entonces un gran aprecio entre ambos y allí conoció también al ingeniero Jesús Pliego, quien fuera su ayudante y con quien se reencontró en el Consultivo Técnico. Muy gratas eran sus experiencias en la realización de presas; encontraba alternativas que no se habían propuesto o sugería emplear nuevos métodos o materiales. Como jefe, siempre imparcial y acertado en sus juicios, era un ejemplo y líder para todos los miembros del Consultivo Técnico y le encantaba asistir a las visitas de seguimiento de las grandes presas en construcción, como Chilatán, Zimapán o Huites, y aun aquellas menores que presentaban condiciones especiales.

Una de sus aficiones era visitar y conocer las iglesias y ermitas de los siglos XVI y XVII, a las que invariablemente



En la revisión de agrietamientos del Río de la Compañía, Estado de México, en julio de 1988. Aquí, con Vicente Casales y personal de la Comisión de Aguas del Valle de México.

les tomaba fotografías y las recorría. Gran parte de su pasión como profesional eran las hidroeléctricas, por sus vivencias en la construcción de éstas; tenía gratos recuerdos de su participación en las del sistema Grijalva y en las nuevas como la de Agua Prieta, en Guadalajara. Su pasión personal fue su maravillosa esposa, a quien llamaba siempre cuando estábamos fuera de la Ciudad de México para expresarle su cariño.

Sabía aprovechar las mejores cualidades de cada persona para bien del trabajo. Trató a todos siempre con respeto y amabilidad, sin ser condescendiente en los asuntos técnicos de las obras. Me otorgó una gran confianza en los aspectos de ingeniería, y en los últimos años fue patente nuestra amistad y cercanía, a pesar de la diferencia de edades, al otorgar a mi esposa e hijo mayor un trato familiar. Honesto en todos los aspectos, sabía reconocer sus errores y decir “me equivoqué”.

Fue un ingeniero respetado y querido en la Comisión Federal de Electricidad, en la SARH y la Comisión Nacional del Agua. En muchas obras, tanto en nuestro país como en Bolivia y Ecuador, dejó su huella. Como ingeniero, don Alfredo fue un gran realizador. Como persona, un ejemplo para todos

Fotografías proporcionadas por el autor.

Apreciamos su opinión e información sobre el tema de este artículo.  
Escribanos a [geotecnia@heliosmx.org](mailto:geotecnia@heliosmx.org)



## 25 AÑOS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN NOS AVALAN

### ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

Sistemas de anclaje - Sistemas de bombeo de ejector - Sistema muro Berlín

### CIMENTACIONES

Pilas - Pilotes - Micro-pilotes

### OBRAS CIVILES

Estudios de mecánica de suelos y rocas - Estudios Geofísicos - Laboratorios  
Estudios Geohidrológicos - Diseño Geotécnico - Control de calidad  
Diseño de pavimentos - Servicios integrales de Ingeniería



Construcción de pilas de 80, 100, 120 y 140 cm de diámetro a una profundidad de 30 m en la calle Amores 827, Col. Del Valle.



Construcción de muro Milán de 45 cm de espesor y una profundidad de 13.50 m Calle Dr. Arce #71, Col. Doctores.

**“Excelencia en ingeniería al servicio del hombre”**

#### CIUDAD DE MÉXICO / MEXICO CITY

Calle Sta Rosa, N° 11. (015) 5567 - 5516  
Col. Lindavista 07730, México D.F. (015) 5567 - 7528  
(015) 5567 - 8500

#### PLAYA DEL CARMEN, Q.ROO

Calle 26 Norte int. 7, Mz. 26, Col. Ejidal, (015) 5567 - 5516  
Playa del Carmen, Quintana Roo, México (019) 84 - 8732308  
(019) 84 - 2061081

GRUPO LAC MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA S.A. DE C.V.

[www.lacmecanicadesuelos.com.mx](http://www.lacmecanicadesuelos.com.mx)

Celular: 044 55 2888 - 0723 | [h.cuevas.2015@hotmail.com](mailto:h.cuevas.2015@hotmail.com) | [h.cuevas2015@lacmecanicadesuelos.com.mx](mailto:h.cuevas2015@lacmecanicadesuelos.com.mx) | [lac\\_mecanicadesuelos@yahoo.com.mx](mailto:lac_mecanicadesuelos@yahoo.com.mx)

# Perspectiva de la mecánica de suelos en el Valle de México

El artículo que se transcribe aquí forma parte de la *Memoria de la reunión conmemorativa "40 años de investigación y práctica en geotecnia. Los retos geotécnicos del futuro"*, encuentro realizado en las instalaciones del Cenapred de la Ciudad de México el 17 de mayo de 1996 con la participación del Instituto de Ingeniería de la UNAM y la empresa Solum del Grupo ICA.

La historia de la mecánica de suelos en el Valle de México está intensamente ligada al Laboratorio de Mecánica de Suelos de ICA, al Instituto de Ingeniería de la UNAM y a ICA Solum.

Debe enfatizarse que la mecánica de suelos ha sido sumamente importante para las actividades del ser humano desde el comienzo de la historia y, por consiguiente, también lo es para las de los habitantes del Valle de México.

En el valle, desde tiempos remotos se han empleado doctrinas relacionadas con la mecánica de suelos. Sería suficiente recordar a Nezahualcōyotl, el rey poeta de Texcoco, quien durante la época de Moctezuma Ilhuicamina, *el Flechador del Cielo*, tlatoani de Tenochtitlan, proyectó, organizó y dirigió la construcción de un dique que, dividiendo el lago que rodeaba la ciudad, contenía las aguas salobres del Lago de Texcoco y las separaba de las dulces cercanas a ella disminuyendo el peligro de las inundaciones que la asolaban.

Este muro, que conocieron los españoles de Cortés y lo llamaron albarradón o albarrada de los indios, probablemente tenía 16 km de largo y unos 6 metros de corona, pero las alturas que tuvo, tanto sobre el nivel del agua como la total, son desconocidas. Partía de Atzacolco en la parte norte de la primitiva Ciudad de México, en las cercanías de la hoy Villa de Guadalupe, y llegaba al sur, a lo que hoy es Iztapalapa. Consistía en un muro formado con piedras y arcilla, revestido a ambos lados con una hilera de empalizadas.<sup>1</sup> Con este dique el lago se dividió en dos: el de Texcoco y el que se llamó "de México".

Para evitar las inundaciones provenientes de Xochimilco y Chalco, los mexica construyeron además el dique de Cuicatláhuac, que dividía los dos lagos. Erigieron el borde de Mexicaltzingo, que partiendo del Cerro de la Estrella llegaba a la Calzada de Iztapalapa separando la laguna de México de las de Xochimilco y Chalco.

A estas obras magníficas de los aztecas precortesianos puede agregarse el acueducto de Chapultepec que, según un cronista de la época, consistía en "dos caños hechos de tierra muy pisada, tan fuerte como la piedra",<sup>2</sup> así como de otros acueductos prehispánicos de los cuales se tiene noticia.

Con respecto a las cimentaciones, desarrollaron el uso de estacones para cimentar el Templo Mayor y, aun cuando padecieron hundimientos diferenciales sumamente importantes, como lo ha demostrado Marcos Mazari,<sup>3</sup> continuaron construyendo en el mismo sitio, renivelando y plomeando la estructura totalmente cada 52 años, en el cambio de siglo azteca.

También son de mencionar los desplantes de las pirámides de Teotihuacan, bastante anterior a los aztecas, y tantas otras estructuras cimentadas utilizando técnicas que hoy llamamos de mecánica de suelos.

A esta relación de usos de la mecánica de suelos en diques, canales y cimentaciones se agrega el de pavimentos en la construcción de las calles que en Tenochtitlan tenían "la mitad de tierra, como enladrillados, y la otra mitad de agua".<sup>4</sup>

Para utilizar los diques como calzadas debió dárseles un tratamiento especial, como lo indica el uso de los tres diques que sirvieron como las calzadas principales de Iztapalapa (hacia la parte de la población así llamada), la de Tepeyac (rumbo a la Villa de Guadalupe) y la de Tlacopan (dirección Tacuba). Los diques estaban hechos de tierra y piedra. Bastante altos sobre el nivel del agua para, además de evitar las inundaciones, servir en todo tiempo de vía de comunicación, por lo que la corona debió de tener un tratamiento que la protegiera: un auténtico pavimento.

Recordando hechos más cercanos, cabe citar el gigantesco trabajo del Tajo de Nochistongo, donde Enrico Martínez, del 29 de noviembre de 1607 al 17 de septiembre de 1608, hizo corte a cielo abierto de 7,500 varas, con ancho de 13 en el fondo y un socavón de 7,670, más otras 780 varas de

tajo en la salida del socavón; en total realizó un conducto de 15,950 varas.<sup>5</sup>

De esta obra, Alejandro de Humboldt dice: “Una galería subterránea que sirve de canal de desagüe, acabada en menos de un año, de 6,600 metros de largo, con una sección transversal de 10.5 metros cuadrados, es una obra hidráulica que en nuestros días y aun en Europa llamaría la atención de los ingenieros.”<sup>6</sup> Debe recordarse que Humboldt llegó a México en marzo de 1803, y visitó las obras del canal de desagüe en enero de 1804. Es decir que 200 años después sólo se puede añadir que la “obra hidráulica” en el propio tajo fue en realidad una obra geotécnica, de mecánica de suelos.

Otras obras en que interviene la mecánica de suelos –mejor decir la de rocas– es la perforación de las minas que tanto se explotaron durante el tiempo de la dominación española.

La obra del Tajo de Nochistongo de los inicios del siglo XVII, a pesar de su grandiosidad y aun cuando la vio Humboldt en 1804, para fines del siglo XIX ya no funcionaba con eficiencia, por lo que en 1900, el 17 de marzo, Porfirio Díaz inauguró el actualmente llamado Viejo Túnel de Tequixquiac; los trabajos, naturalmente, se relacionan con la mecánica de suelos.

La lucha de los habitantes de la Ciudad de México por detener el agua y aprovecharla mediante obras de retención ha dado magníficos ejemplos del uso de la mecánica de suelos, por lo que es natural que el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la antigua Comisión Nacional de Irrigación fuera de los primeros que en México se establecieron formalmente.

Saturado el sistema de drenaje puesto en operación en 1900, se construyó un segundo túnel de Tequixquiac que se terminó en 1954. Este trabajo, naturalmente, también requirió la presencia de la geotecnia.

Con esta fecha casi se llega ya a los últimos 40 años de la geotecnia en México, y es de mencionar la huella que deja la creación en 1947 de ICA, Ingenieros Civiles Asociados, que inmediatamente después de su establecimiento contó con un laboratorio de mecánica de suelos, en el cual se realizaron muy buenos trabajos; entre ellos se pueden señalar:

a. Investigaciones conducidas en el laboratorio, como

- Los estudios y ensayos realizados para obtener muestras inalteradas de los estratos que constituyen el basamento de la ciudad.
- La obtención de las propiedades de resistencia de la arcilla y cómo se afectan al cambiar el contenido de agua.
- La determinación de los parámetros de consolidación del suelo de la Ciudad de México, usando tanto la gráfica del fenómeno en presentación semilogarítmica como la que utiliza en la escala de las abscisas la raíz cuadrada de los tiempos del ensaye.
- La variación horizontal del contenido de agua,  $w$ , de los materiales que constituyen el suelo de la que actualmente se llama Zona III.

b. Actividades de difusión, de las cuales sólo se mencionan las realizadas por el laboratorio de ICA, y no las efectuadas por otras partes del mismo grupo.

- Se ofrecieron múltiples conferencias por personajes de la materia, entre ellos el doctor Arthur Casagrande, quien puede considerarse uno de los padres de la mecánica de suelos.
- Con la información anterior, los ingenieros Raúl J. Marsal y Marcos Mazari produjeron *El subsuelo de la Ciudad de México*, la más completa y amplia exposición de las características, propiedades, problemas y dificultades que exhibe el subsuelo de la ciudad desde el punto de vista geotécnico.

El Grupo ICA ha realizado trabajos sobresalientes relativos a esta disciplina: cimentaciones de multitud de edificios importantes, fraccionamientos, puentes, presas, caminos, túneles y, entre muchas obras, el Sistema de Transporte Metropolitano, el metro, y el drenaje del valle, que cuando se ejecutó se llamó “la obra oculta”. Ambas obras se mencionan porque se realizan afectando el suelo de la ciudad, y en alguna ocasión se declararon como imposibles de ejecutar, pero el desarrollo de la geotecnia permitió realizarlas confirmando que para la determinación del ser humano aparentemente no hay imposibles.

El crecimiento acelerado de la Ciudad de México, del número de sus habitantes, necesidades y problemas, hicieron imperativo que para el llamado Valle de México se buscara una nueva salida (a las aguas negras y las pluviales), y en 1967 se aprobó la construcción de un túnel subterráneo, lo suficientemente abajo del piso de la ciudad para que sirviera la mayor cantidad de años posible a pesar de los hundimientos regionales que ésta sufre.

La así llamada obra oculta se inició en abril de 1967 y se inauguró el 9 de junio de 1975. Descarga en el Río del Salto y no en el Salado, donde lo hacen los llamados túneles Viejo y Nuevo de Tequixquiac, en la región de Nochistongo, sitio donde se perforó por vez primera la pétreo barrera que circunda la ciudad. Las tres salidas llegan al río Tula, el cual forma parte del río Moctezuma, engruesa al Pánuco y finalmente descarga en el Golfo, con lo que la cuenca de México dejó de ser endorreica.

La construcción del Drenaje Profundo es una muestra de cómo las condiciones del subsuelo de la gran ciudad han obligado a sus habitantes a desarrollar una enorme creatividad para resolver los problemas a que se enfrentan.

La obra oculta se inicia dentro de la Ciudad de México, es decir, en el “terreno más malo del mundo”, como lo nombró el Dr. L. Bjerrum, prácticamente en forma oficial, puesto que lo asentó durante una plática dada en esta metrópoli en 1969 con motivo de la Séptima Conferencia Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, cuando el ilustre geotécnico noruego relataba la plática-discusión amistosa que tuvo con nuestro ilustre geotécnico mexicano

Leonardo Zeevaert sobre los suelos de Oslo y de la Ciudad de México, en la que concluía que, al hablarle el Dr. Zeevaert sobre la filosofía de la arcilla de la Ciudad de México y afirmarle que ésta era más mala que la de Oslo, él, el Dr. Bjerrum, aceptó la afirmación, porque no sabía que ningún suelo de Oslo tuviera filosofía.

La obra oculta es de proporciones enormes. Al terminarse, en junio de 1975, tiene 68 km de túnel, diámetros de hasta 6.5 m y, en algunos puntos de la ciudad, como la Zona III, la más difícil, la lumbrera 10 del Interceptor Central se desplanta a 33.170 m.<sup>7</sup>

En este mismo terreno se han construido más de 100 kilómetros de túneles para hacer el transporte metropolitano, el metro, la red de transporte rápido que continúa en expansión y que fundamentalmente se trabaja en trincheras excavadas con el método del muro Milán, al cual se le han hecho modificaciones importantes.

¿Cómo fue posible realizar obras de tal magnitud en un terreno tan difícil? Por el desarrollo de la tecnología de mecánica de suelos, la geotecnia, la cual tuvo como inicio un modesto laboratorio, creado por el querido maestro de la Facultad de Ingeniería de la UNAM –de la cual llegó a ser director–, el maestro ingeniero José A. Cuevas. Aparentemente fue el primero establecido en la Ciudad de México, lo situó en las cercanías del Monumento a la Revolución y en este sitio se puede considerar que se inicia en México el estudio formal de la mecánica de suelos.

Se pone a consideración de ustedes la idea de hacer un museo en el antiguo laboratorio del maestro José A. Cuevas.

En este laboratorio se inició el Ing. Manuel González Flores, uno de los precursores de la mecánica de suelos, quien desarrolló el primer sistema de dispersión de energía en los pilotes que permite el control de cargas sobre ellos y evita que emerjan las cimentaciones piloteadas en el suelo de la Ciudad de México al hundirse ésta.

De la Escuela de Ingenieros Civiles de la UNAM nace otro de los grandes precursores, el doctor en Ciencias ingeniero Nabor Carrillo Flores, el primero que demostró que el asentamiento de la Ciudad de México se debía fundamentalmente a la extracción del agua de los mantos freáticos. Fue también quien propuso el proyecto de rehabilitación del Lago de Texcoco, que tan magníficos resultados ha tenido.

Otro importante precursor de la geotecnia lo es el doctor en Ciencias ingeniero Leonardo Zeevaert, quien como resultado de sus grandes experiencias ha escrito un libro que es un hito en la mecánica de suelos: *Foundation engineering for difficult subsoil constructions* (el famoso *Difficult Book*).

Miembros importantes de la Comisión Nacional de Irrigación, la que después se transformó en Secretaría de Recursos Hidráulicos, entre ellos los ingenieros Fernando Hiriart, Raúl Sandoval y Javier Barros Sierra, se unen a los que



formaban el grupo constructor llamado Industria de Cerámica Armada, entre ellos los ingenieros Bernardo Quintana y Fernando Espinosa, y forman el grupo de Ingenieros Civiles Asociados, ICA.

Entre los ingenieros de esta última asociación se encontraban Enrique Tamez y Francisco Zamora, quienes organizaron la constitución de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, cuya sede inicial se encontró en el Antiguo Palacio de Minería. El primer presidente de la nueva sociedad fue el doctor Leonardo Zeevaert.

El desarrollo de los trabajos de ingeniería civil relacionados con la geotecnia dio la oportunidad a ICA de ampliar sus laboratorios de mecánica de suelos de una forma extraordinaria. Con una visión muy amplia, Bernardo Quintana, Fernando Hiriart, Raúl Sandoval y Javier Barros Sierra propusieron la formación del Instituto de Ingeniería de la facultad, con el fin de realizar investigaciones sobre la ingeniería civil. El grupo ICA regaló su laboratorio de mecánica de suelos y con él se inició el instituto.

El desarrollo de los trabajos de geotecnia hizo que ICA decidiera formar una compañía dedicada fundamentalmente al uso y explotación de los conocimientos de mecánica de suelos, y así nació Solum.

Solum, que utilizando la geotecnia ha realizado cantidad de construcciones usando la electrólisis, multitud de cimentaciones y edificios importantes, fraccionamientos, puentes, presas, caminos, túneles y, entre otras muchas obras, el drenaje del valle –la obra oculta– y el sistema de transporte metropolitano, el metro.

Es Solum la que ha realizado gran cantidad de excavaciones, de piloteado y, en general, múltiples aplicaciones del suelo, y de la cual hoy celebramos sus 40 años de haber nacido ➡

#### Referencias

1. González Aparicio, Luis (1973). *Plano reconstructivo de la región de Tenochtitlan*. México: INAH.
2. Cervantes de Salazar, Francisco (1936). *Crónica de Nueva España*. Recopilado por Francisco del Paso y Troncoso, vol. III. México: Talleres Gráficos del Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnología (Papeles de Nueva España, tercera serie: Historia).
3. Mazari, M., R. J. Marsal y J. Alberro (1984). *Los asentamientos del Templo Mayor analizados por la mecánica de suelos*. México: Instituto de Ingeniería, UNAM.
4. *Relación de algunas cosas de la Nueva España y de la gran ciudad de Temestitan, hecha por un gentil hombre del señor Fernando Cortés* (1961). México: José Porrúa e Hijos.
5. *Memoria de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal*, T. II: 10. México: Departamento del Distrito Federal, Talleres Gráficos de la Nación.
6. Humboldt, Alejandro de (1947). *Ensayo político sobre el Reino de la Nueva España*. México: Robredo.
7. *Memoria de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal*, T. III: 113. México: Departamento del Distrito Federal, Talleres Gráficos de la Nación.

# Caracterización mecánica de materiales empleados como celdas de deformación en pilotes de control

En este artículo se presentan resultados preliminares de pruebas experimentales en cubos individuales de madera, en arreglos de cubos de madera y en cilindros poliméricos, con el objetivo de evaluar el comportamiento mecánico de estos materiales empleados como celdas de deformación en sistemas de pilotes de control en edificios de la Ciudad de México.

Los pilotes de control son un sistema de cimentación o recimentación empleado en estructuras que se localizan en suelos altamente compresibles. Este sistema permite a una estructura descender de acuerdo con el hundimiento regional o, en su caso, corregir asentamientos diferenciales. Lo anterior se logra a través de un componente denominado “celda de deformación”, constituida por un arreglo de cubos de madera tipo caobilla que absorbe los desplazamientos verticales de la estructura generados por el hundimiento. La heterogeneidad de la madera y la colocación arbitraria de cubos en los arreglos pueden ocasionar comportamientos distintos de los esperados y generar cambios en las cargas previstas en el diseño. Por tal motivo, se ha pretendido sustituir los arreglos de madera por materiales como el neopreno de dureza controlada o los cilindros poliméricos. En este artículo se estudia

el comportamiento mecánico de distintos arreglos de cubos de madera de caobilla y cilindros poliméricos mediante ensayos de laboratorio, y se realiza una comparación con algunas celdas de deformación empleadas actualmente en pilotes de control de edificios de la Ciudad de México. Para los arreglos de cubos se pone énfasis en la evaluación de la influencia de distintos factores (la masa, el estado húmedo y

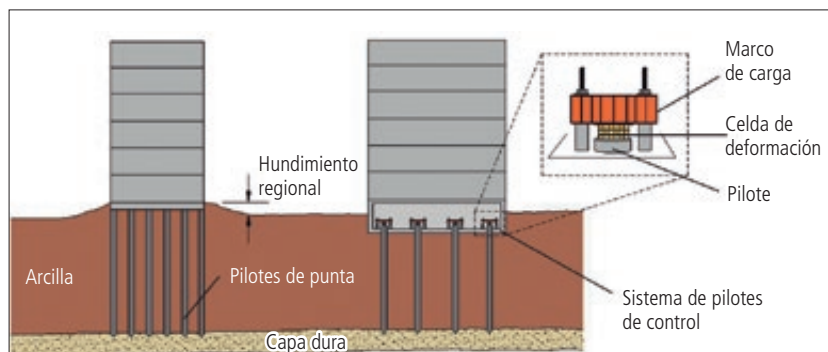


Figura 1. Solución al problema de hundimiento regional mediante el sistema de pilotes de control (modificado de Tamez, 1986).

la colocación de los cubos) sobre la carga de diseño de las celdas de deformación. Además, se investiga el efecto de las láminas galvanizadas en el comportamiento de los arreglos de cubos. Por otro lado, se evalúa el comportamiento mecánico de cilindros poliméricos en estados seco y húmedo. Al final, se presentan comentarios generales sobre las pruebas realizadas y se hacen recomendaciones respecto a los sistemas de pilotes de control.

## 1. INTRODUCCIÓN

**Consideraciones generales.** La Ciudad de México experimenta el fenómeno denominado “hundimiento regional”, ocasionado por el bombeo excesivo de agua del subsuelo y la alta compresibilidad de sus arcillas (Carrillo, 1948). Este fenómeno provoca distintos problemas en las construcciones; dos de los más importantes son:

- Emersión aparente. La cimentación se apoya en un estrato resistente (como la capa dura) mediante pilotes de punta, el suelo que circunda la estructura se hunde debido al hundimiento regional y la estructura parece emerger.
- Asentamientos diferenciales. La cimentación no está apoyada en un estrato firme, y experimenta hundimientos no uniformes debido a las características propias del suelo y de la edificación.

En 1948, González-Flores (1948) creó el sistema de pilotes de control que permite el descenso de las estructuras de acuerdo con el hundimiento regional (véase figura 1), con la finalidad de corregir tanto la emersión aparente como los asentamientos diferenciales. Los pilotes de control controlan *a)* carga y *b)* asentamientos. Actualmente se tiene conocimiento de que más de 600 edificios en la Ciudad de México emplean el sistema de pilotes de control; entre ellos destacan el Templo de las Capuchinas (localizado a un costado de la antigua Basílica de Guadalupe), el hotel Camino Real Aeropuerto (ubicado frente a la Terminal 1 del Aeropuerto Internacional Benito Juárez de la Ciudad de México), y el Centro Cultural Universitario Tlatelolco (Picoso, 2010). El sistema de pilotes de control se utiliza tanto en cimentaciones nuevas como en recimentaciones. El dispositivo está conformado por tres elementos fundamentales: el propio pilote (originalmente de punta, aunque recientemente se han utilizado de fricción), el marco de carga rígidamente unido a la losa de fondo del cajón de cimentación, y la celda de deformación constituida por un arreglo de cubos de madera de caobilla (véase figura 1).

El comportamiento adecuado de las celdas de deformación influye de forma significativa en el comportamiento de los pilotes de control. Por lo anterior, resulta importante el estudio de estos elementos; por una parte, de su comportamiento mecánico debido a la heterogeneidad de la madera, y por otra, de la estimación de sus cargas de diseño. En cuanto a estas últimas, su comportamiento se ha analizado en el pasado mediante pruebas de laboratorio de compre-

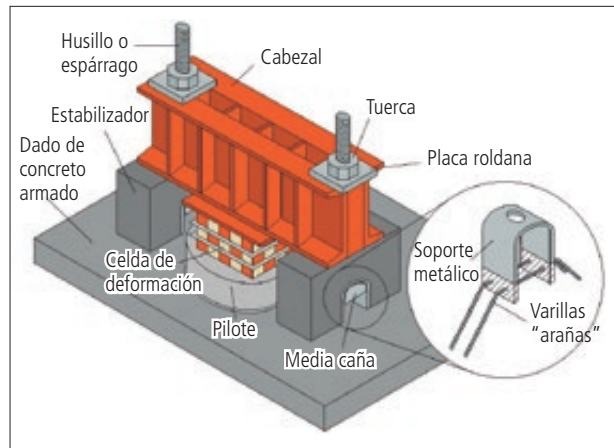


Figura 2. Sistema de pilotes de control tradicional (modificado de López-Acosta *et al.*, 2015).

sión simple en cubos individuales de madera de caobilla; sin embargo, su estudio no se ha extendido a arreglos de cubos. En investigaciones recientes se ha determinado que existen diferencias entre evaluar el comportamiento de cubos individuales y hacerlo con el de arreglos de cubos, que generan una sobreestimación o subestimación de la carga de diseño de las celdas de deformación y ocasionan que el funcionamiento del sistema no sea el esperado (Martínez-Hernández, 2017). Las cargas de diseño estimadas de forma correcta redundan en el buen funcionamiento del sistema: eficiente y con resultados satisfactorios. Recientemente se han efectuado una serie de pruebas para estudiar las celdas de deformación de los pilotes de control (López-Acosta *et al.*, 2015; López-Acosta *et al.*, 2016). En este artículo se evalúa, a partir de los resultados de pruebas de laboratorio, el comportamiento mecánico de dos materiales empleados como celdas de cimentación: cubos de madera y cilindros poliméricos.

**Estudios previos.** Salazar-Resines (1978) realizó pruebas de laboratorio en cubos de madera tipo caobilla a desplazamiento controlado (1 mm/min y 0.75 mm/min). Estas pruebas le permitieron concluir que para tener un funcionamien-

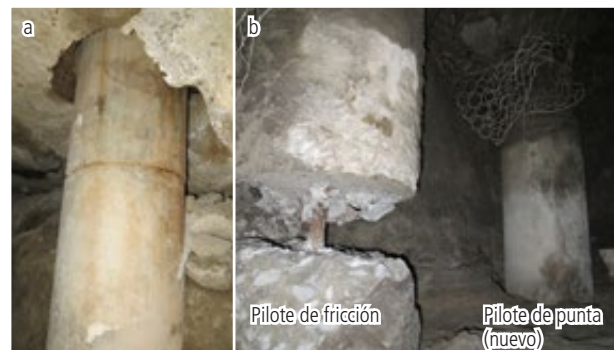


Figura 3. Pilotes *in situ*: *a)* de punta (segmentados en tramos de 1 m); *b)* existentes y nuevos (Martínez-Hernández, 2017).

to eficiente era necesario realizar un análisis estadístico de la madera y clasificar los arreglos de cubos de madera. Aguilar y Rojas (1990) realizaron ensayos en cubos individuales de madera tipo caoba elegidos al azar. Como resultado obtuvieron una resistencia media de 25 kN (2.5 t). Santoyo y Segovia (1995) presentaron resultados de ensayos en cubos individuales de madera tipo caobilla, en los cuales se obtuvo que, debido a la heterogeneidad de la madera, la resistencia de los cubos varía de 25 a 34 kN (2.5 a 3.4 t). Además determinaron que un cubo en estado húmedo pierde la habilidad de plastificarse.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE UN PILOTE DE CONTROL

El sistema consiste en pilotes que atraviesan libremente la losa de fondo de una cimentación y en cuya cabeza se apoya un marco de carga unido rígidamente a la losa de cimentación mediante anclas (Salazar-Resines, 1978). Entre la cabeza del pilote y el marco de carga se coloca una celda de deformación constituida por un arreglo de cubos de madera de caobilla de 5 cm de lado (Aguirre, 1981), acomodados en tres niveles (camas) y separados por láminas de acero galvanizado (véase figura 2).

**Pilote.** En sus inicios, para realizar la recimentación era necesario hincar nuevos pilotes de punta segmentados en tramos de 1 m (véase figura 3). Estos tramos están ligados mediante varillas empalmadas dentro de un cilindro hueco (Santoyo y Segovia, 1995). Con el transcurso de los años, el sistema de

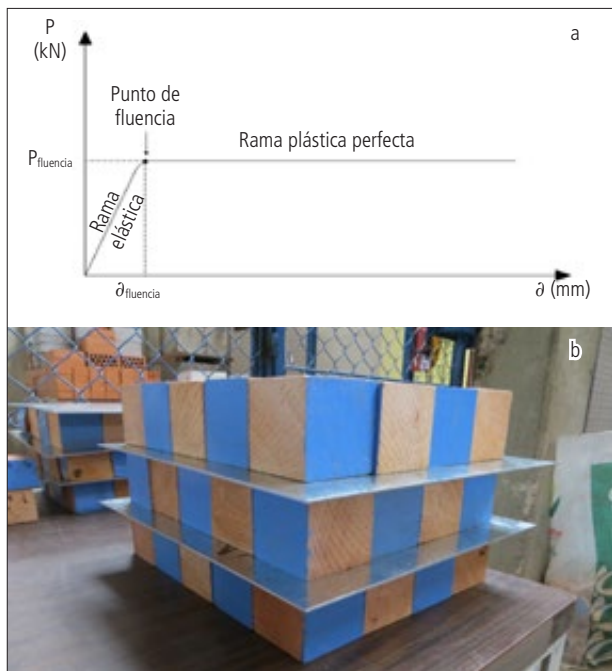


Figura 4. Comportamiento idealizado de una celda de deformación constituida por un arreglo de cubos de madera. a) Carga vs. desplazamiento vertical. b) Celda de deformación.



Figura 5. Pilotes de control *in situ*: a) celdas de deformación de madera; b) cilindros poliméricos (II-UNAM, 2016).

control no sólo se coloca en la cabeza de los nuevos pilotes de punta hincados, sino en los pilotes de punta ya existentes y se transforman en pilotes de control. Actualmente se tiene conocimiento de que el sistema de control también se ha instalado en pilotes de fricción. Ejemplos de esto son el Hospital Regional General Ignacio Zaragoza (dos torres de ocho y 10 niveles, respectivamente), la Unidad de Congresos del Centro Médico Nacional (cuerpo B de seis niveles más planta baja), algunos tanques de almacenamiento de hidrocarburos en las instalaciones de Aeropuertos y Servicios Auxiliares y el conjunto de edificios del Palacio de Justicia Federal en San Lázaro (Picoso, 2014).

**Marco de carga.** Este elemento está conformado por un cabezal de acero, en cuyos extremos se encuentran los husillos o espárragos que están anclados en los soportes metálicos ubicados en la parte inferior del sistema. Los soportes están embebidos y anclados estructuralmente en la losa fondo del cajón de cimentación mediante varillas denominadas “arañas”. El marco cuenta con dos estabilizadores de concreto en cada extremo, para tener estabilidad en condiciones sísmicas (véase figura 2).

**Celda de deformación.** Se considera como la parte primordial del sistema de control, puesto que este elemento absorbe los desplazamientos verticales de la estructura generados por el hundimiento regional y ayuda a controlar las cargas que se transmiten a los pilotes (véase figura 4). Las celdas

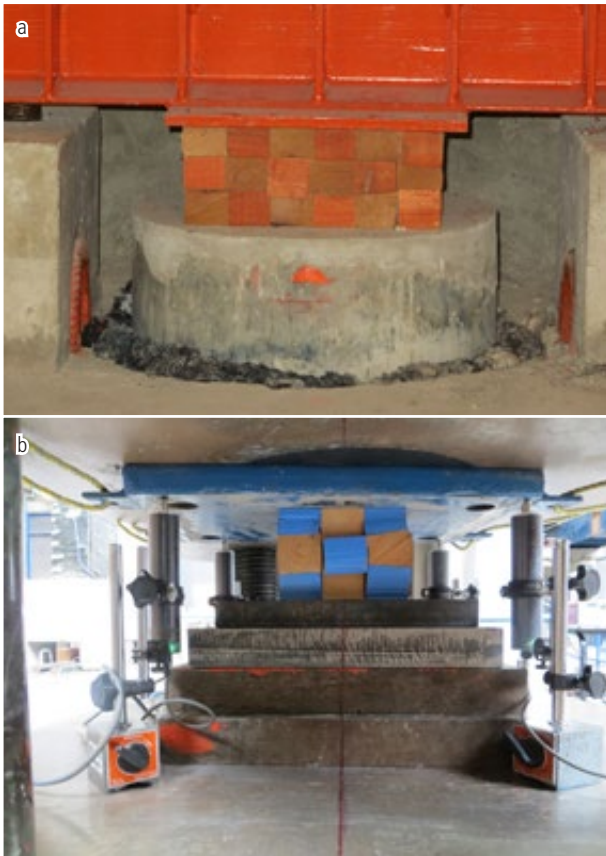


Figura 6. Celda de deformación sin láminas galvanizadas: a) *in situ*, b) en laboratorio.

de deformación están constituidas por un arreglo de tres niveles o camas de cubos de madera tipo caobilla, cada nivel separado por una lámina de acero galvanizado. El número de cubos de un solo nivel determina la carga de diseño de la celda de deformación, ya que dicho número, multiplicado por la resistencia promedio de un cubo, proporciona la resistencia de todo el arreglo (Martínez-Hernández, 2017). La idea original de González-Flores fue emplear un material elastoplástico perfecto (véase figura 4a) que tuviera como característica principal un factor de comportamiento plástico  $F_{cp}$  igual a la unidad, para garantizar que el pilote trabaje a carga constante una vez que la celda de deformación alcanza su punto de fluencia. Por esta razón, González-Flores propuso emplear cubos de caoba, debido a que presentaban un comportamiento similar pero no igual al elastoplástico perfecto. Posteriormente, debido a la escasez y en especial al costo de la caoba, se cambió su uso por cubos de madera de caobilla, debido a la similitud de sus propiedades mecánicas y al menor costo.

Con la finalidad de mejorar el comportamiento mecánico del sistema en su conjunto, y debido a la no uniformidad en la deformación de los cubos de madera, se ha buscado sustituir la madera por neopreno de dureza controlada (Segovia, 2001) o por cilindros poliméricos con capacidades nomina-

les de 490, 735 y 980 kN (50, 75 y 100 t) (López-Acosta *et al.*, 2016). Los resultados que se presentan y discuten en este artículo se enfocan en el estudio del comportamiento mecánico de las celdas de deformación constituidas por madera (que es el material que tienen en la actualidad la mayoría de los edificios con cimentaciones a base de pilotes de control en la Ciudad de México) (véase figura 5a); también se estudian cilindros poliméricos con capacidades nominales de 490 y 735 kN (50 y 75 t) (véase figura 5b). Se tiene conocimiento de que en algunos edificios también se ha implementado el tacón de neopreno de dureza controlada.

### 3. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL

Para que el sistema de control funcione de manera eficiente, es necesario darle un mantenimiento continuo y apropiado, de acuerdo con las siguientes actividades:

- Mantenimiento habitual: a) engrasar los husillos o espárragos, b) corregir problemas de corrosión de las partes de acero del sistema, c) bombear el agua infiltrada del nivel freático en las celdas de cimentación (para evitar el humedecimiento o saturación de los cubos de madera), d) reemplazar estoperos cuando se requiera, y e) cambiar estabilizadores de concreto cuando estén deteriorados.
- Reemplazo de cubos de madera: a) cambiar el arreglo de cubos de madera cuando éstos exhiban una disminución en su altura inicial de hasta aproximadamente 5 cm (para restaurar la capacidad de deformación de la celda y permitir la correcta transmisión de carga al pilote), b) colocar láminas de acero galvanizado que separen las camas de cubos (las láminas que se hayan deformado visiblemente deben reemplazarse), y c) precargar el pilote hasta la capacidad de carga nominal del arreglo (con esta precarga, el pilote contribuirá de inmediato al soporte del edificio sin que se presente una deformación no deseada).
- Revisión especial: con cierta periodicidad se debe revisar y, en su caso, reasignar las cargas de los pilotes, es decir, modificar el número de cubos de los arreglos en función de los requerimientos observados; disminuir cubos para corregir hundimientos diferenciales o permitir el descenso de la estructura conforme el hundimiento regional, o bien,

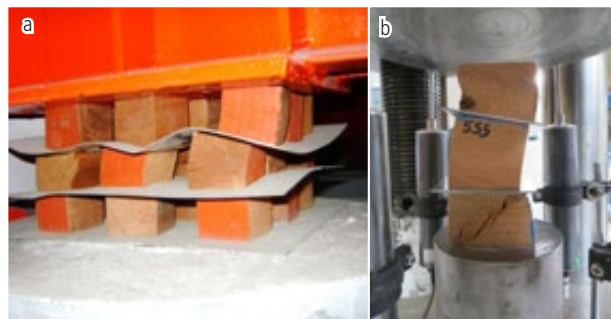


Figura 7. Arreglo de cubos con separación entre ellos: a) *in situ* (Santoyo y Alanís, 2013), b) en laboratorio.



Figura 8. Celda de deformación con cubos húmedos y láminas deformadas: a) *in situ*, b) en laboratorio.

agregar cubos para restringir el movimiento vertical de la estructura (incremento de carga, con base en una revisión estructural apropiada del marco del sistema y de la losa de fondo del cajón de cimentación).

- Seguimiento topográfico: dar un seguimiento topográfico periódico y después de eventos importantes (sismos) al comportamiento del edificio y de la cimentación donde se localicen los pilotes de control.

El mantenimiento debe estar a cargo de personal especializado y con experiencia en este tipo de dispositivos, y debe

apoyarse en un diseño específico geotécnico y estructural. Si el mantenimiento no se realiza adecuadamente, el sistema puede tener un funcionamiento deficiente. Desafortunadamente, el mal uso de los sistemas de control generalmente se debe a una incomprensión y desconocimiento del propio sistema, lo cual deriva en un mal mantenimiento. A continuación se presentan casos en los que no se ha dado un mantenimiento apropiado a estos dispositivos y se demeritan las bondades para las que fueron concebidos los sistemas de control.

**Arreglo de cubos sin láminas de acero galvanizado.** Algunos pilotes de control tienen arreglos como el que se muestra en la figura 6a. En rigor, el arreglo debe tener láminas de acero galvanizado entre los niveles de los cubos. Al no contar con ellas, el conjunto puede presentar una disminución en la carga de diseño y deformaciones en los cubos que pueden provocar su falla, como se puede apreciar en las pruebas experimentales realizadas como parte de este trabajo (ver resultados en el apartado 6).

**Arreglo con cubos espaciados.** Cuando existe una separación entre los cubos de madera (véase figura 7), el comportamiento mecánico que se presenta no es el de un arreglo, sino de cubos apilados. Esto implica que, sin importar donde se localicen los cubos con menor masa, éstos serán los primeros en deformarse, como se muestra en el apartado de resultados. Lo anterior puede provocar una falla en los cubos y, por tanto, una disminución considerable en la carga de fluencia (ver resultados en el apartado 6).

**Cubos húmedos con láminas deformadas.** En la figura 8 se distinguen dos aspectos importantes: a) la presencia de humedad en los cubos de madera, que puede generar una reducción de hasta 60% en la carga de diseño del arreglo (ver resultados en el apartado 6); b) las láminas separadoras ya deformadas (las cuales deben sustituirse por nuevas o también pueden martillarse para corregir sus deformaciones), que a su vez pueden generar una deformación en los cubos con mayor rapidez que la normal (ver resultados en el apartado 6).

Tabla 1. Principales mecanismos de control

Mecanismo	Referencia
Marco con cubos de madera	González-Flores, 1948; Salazar-Resines, 1978
Marco de carga con gatos de émbolo y válvula de alivio automática	A. Pilatowsky, citado por J.J. Correa, 1980
Tensores metálicos	P. González, 1957, citado por Aguilar, 1990
Casquillo metálico opresor con tope	Aguilar, 1960, citado por Aguilar, 1990
Marco de carga con gatos hidráulicos planos	W. Streu, 1963, citado por J.J. Correa, 1980; Aguilar, 1990
Arena confinada en una cápsula	J. Creixell y J. J. Correa C., 1975, citado por Aguilar, 1990
Disipador de energía	M. Aguirre, 1981; D. Reséndiz, 1976
Sistema mecánico de autocontrol	M. A. Jiménez, 1980
Cuña móvil	P. Girault, 1986, citado por Aguilar, 1990
Celda de fricción constante con anclas metálicas	E. Tamez, 1988, citado por Aguilar, 1990
Gatos hidráulicos comunicantes	F. Zamora Millán, citado por A. Rico A., 1991
Celda con dientes que permiten transmisión de tensiones	A. Rico A., 1991
Pilote funda	E. Santoyo, 1992, citado por Santoyo y Segovia, 1995

Modificado de Auvinet y Rodríguez, 1998.

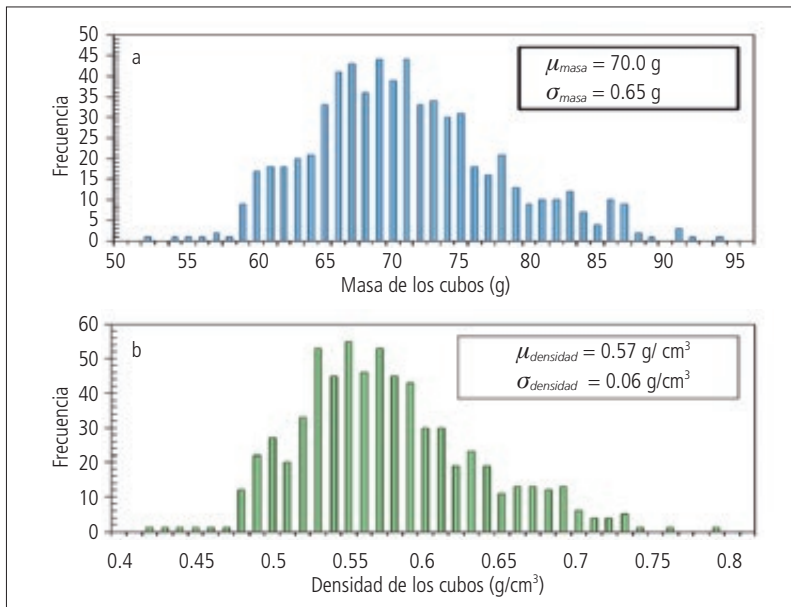


Figura 9. Histogramas de cubos tipo caobilla: a) masa, b) densidad.

#### 4. OTROS SISTEMAS DE CONTROL

Además del creado por González-Flores (1948), existen otros dispositivos de control. En la tabla 1 se presenta un compendio de los principales mecanismos de control para pilotes. En este trabajo se discute el caso de pilotes de control con celdas de deformación de: a) madera, y b) cilindros poliméricos. Pueden consultarse mayores detalles de otros dispositivos en Martínez-Hernández (2017).

#### 5. DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS REALIZADAS

A partir de un análisis estadístico de la masa y densidad de 665 cubos de madera de caobilla de 5 cm de lado, de una muestra de 1,500 cubos, se determinaron los histogramas de masa y densidad de la figura 9. Como resultado del análisis, se estimó la masa media de los cubos  $\mu_{masa} = 70$  g, con base en la cual los cubos se clasificaron en dos tipos: pesados (con masa mayor o igual a 70 g) y ligeros (con masa menor a 70 g). Asimismo, del análisis estadístico de la densidad de los cubos se obtuvo la densidad media  $\mu_{densidad} = 0.57$  g/cm<sup>3</sup>; el resultando fue que los cubos ligeros tienen una densidad menor a 0.57 g/cm<sup>3</sup>, y los cubos, tienen una densidad mayor o igual a 0.57 g/cm<sup>3</sup>.

Los resultados que se presentan aquí de las pruebas efectuadas se refieren a 251 cubos de madera tipo caobilla de los 665 cubos empleados en el análisis estadístico de la figura 9. En la tabla 2 se resumen las características de estas pruebas y el número de cubos empleados en cada una de ellas.

**Cubos individuales.** Se hicieron 20 pruebas en cubos individuales para conocer la relación que tiene la carga de fluencia con la masa de los cubos (véase figura 10). Inicialmente se ejecutaron 10 pruebas con fibras en posición horizontal, y posteriormente, cinco en posición vertical. El cambio de posición se realizó para conocer el comportamiento mecánico y el tipo de falla que presentan los cubos de madera. Asimismo se realizaron cinco pruebas en cubos en estado parcialmente saturado

con fibras en posición horizontal, debido a que en la práctica las celdas de deformación pueden estar en un ambiente húmedo o incluso inundado (por falta de mantenimiento).

En las pruebas posteriores a éstas (en cubos apilados y en arreglos de tres niveles de 3 x 3 cubos de madera), la posición de las fibras se mantuvo horizontal. Lo anterior debido a que en la práctica profesional es recomendable que las celdas de deformación se conformen por cubos con fibras en posición horizontal. En efecto, como se demuestra en el apartado 6, los cubos con fibras en posición horizontal presentan una falla dúctil que permite absorber mejor los desplazamientos verticales generados por el descenso de la estructura, lo que resulta más apropiado para este tipo de sistema de control, en lugar de las fallas frágiles que ocurren para cubos colocados con fibras en posición vertical.

**Cubos apilados.** Se ejecutaron cinco ensayos en tres cubos apilados con lámina galvanizada (véase figura 11). Estas pruebas se realizaron inicialmente con cubos pesados, posteriormente con cubos ligeros, y finalmente con una combinación de ellos. La finalidad fue observar los patrones de

Tabla 2. Especificaciones de las pruebas realizadas y número de cubos requeridos

Núm.	Ensayo	Lámina divisoria	Número de niveles	Número de cubos por nivel	Número de cubos por ensayo	Número de ensayos	Cubos requeridos
1	Cubo individual (fibras en posición vertical)	-	1	1	1	5	5
2	Cubo individual (fibras en posición horizontal)	-	1	1	1	10	10
3	Cubo individual húmedo	-	1	1	1	5	5
4	Tres cubos apilados	Sí	3	1	3	5	15
5	Arreglo de tres niveles de 3 x 3 cubos	Sí	3	9	27	5	135
6	Arreglo de tres niveles de 3 x 3 cubos	No	3	9	27	3	81
						Total	33
							251

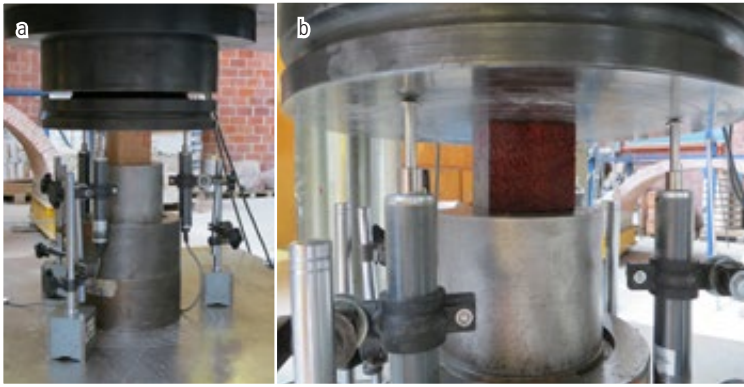


Figura 10. Prueba en un cubo individual: a) seco, b) húmedo.

deformación de los cubos con respecto a su masa, y analizar si los tres niveles de cubos podían alcanzar un decremento en su altura inicial de 8 a 9 cm de acuerdo con lo señalado por González-Flores (1960) y Aguirre (1991).

**Arreglos de tres niveles de 3 × 3 cubos de madera.** Se realizaron ocho ensayos en arreglos de 3 × 3 cubos de madera (véase figura 12), cinco con láminas galvanizadas entre los niveles de los cubos y tres sin ellas, con la finalidad de estudiar: a) el comportamiento mecánico de los cubos en conjunto con respecto a su masa, y b) la influencia que tienen las láminas galvanizadas en la carga de fluencia. Los arreglos se clasificaron en tres tipos: a) los conformados por cubos pesados, b) aquéllos constituidos por cubos ligeros, y c) los formados por una combinación de ellos. Todos los arreglos se ensayaron a una velocidad de carga de 20 kN/min (2 t/min).

**Cilindro polimérico.** Recientemente se ha propuesto un elemento deformable de resinas elastoméricas copolimerizadas (patente MX/E/2010/015050; Picoso, 2015) para emplearse en los sistemas de control. Estos cilindros poliméricos (véase figura 13) tienen capacidades nominales de: 490, 735 y 980 kN (50, 75 y 100 t). Los cilindros de 50 t equivalen

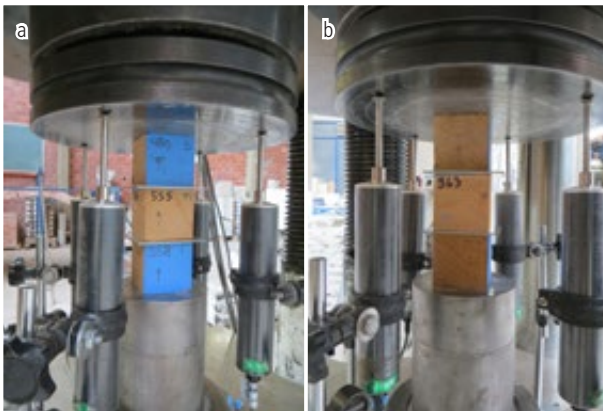


Figura 11. Prueba en cubos apilados en tres niveles y separados con lámina de acero: a) cubos pesados, b) cubos ligeros.

aproximadamente a un arreglo de tres niveles de 5 × 4 cubos de madera, los de 75 t a un arreglo de tres niveles de 6 × 5 cubos, y los de 100 t equivalen a un arreglo de tres niveles de 7 × 6 cubos de madera. Los cilindros son homogéneos, macizos (sin huecos) y tienen las mismas dimensiones (un diámetro medio de 26 cm, altura media de 15 cm, y una funda de caucho sintético de 2 mm de espesor). De una muestra de 12 cilindros poliméricos (cuatro de cada una de las tres capacidades nominales mencionadas) se determinaron las densidades medias del polímero siguientes: a) 0.67 g/cm<sup>3</sup> en los cilindros de 50 t, b) 0.74 g/cm<sup>3</sup> en los cilindros de 75 t, y c) 0.90 g/cm<sup>3</sup> en los cilindros de 100 t. La capacidad nominal de los cilindros es distinta debido a sus diferentes densidades medias. Estos nuevos elementos (véase figura 13) se analizaron mediante pruebas de compresión a carga controlada de 20 kN/min (2 t/min); particularmente se ensayaron cuatro cilindros de 75 t: tres en estado seco y uno en estado húmedo (para estudiar si el agua tiene influencia en su comportamiento mecánico). También se ensayaron cuatro cilindros de 50 t: tres en condición seca y uno en estado húmedo (López-Acosta *et al.*, 2016). Una serie de pruebas adicionales en otros cilindros poliméricos todavía se encuentra en proceso.

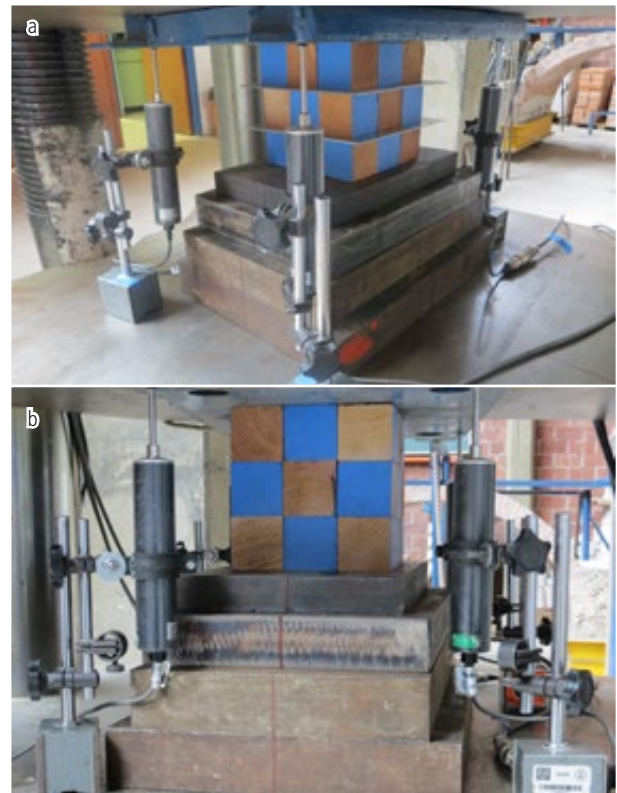


Figura 12. Arreglos de tres niveles de 3 × 3 cubos de madera: a) con lámina divisoria, b) sin lámina divisoria.

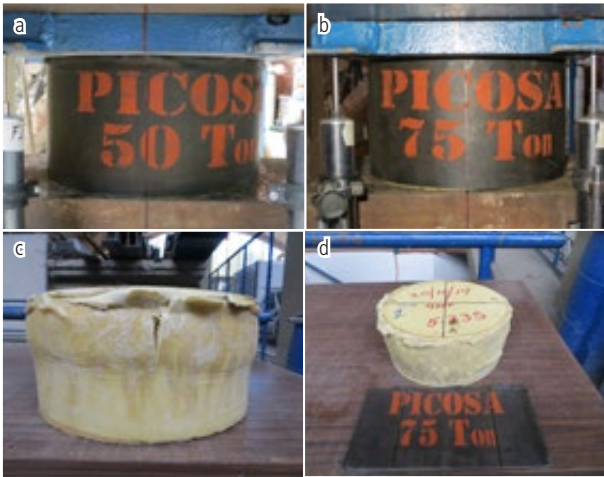


Figura 13. Cilindros poliméricos: a) cilindro de 50 t; b) cilindro de 75 t; c) cilindro ensayado sin funda; d) funda de caucho sintético y cilindro ensayado.

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

**Cubos individuales secos.** En la figura 14 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de cubos individuales secos para fibras tanto en posición horizontal como vertical. Se aprecia que los cubos con fibras en posición vertical presentan una carga de fluencia mayor que la de los cubos con fibras horizontales. La carga de fluencia máxima obtenida en cubos con fibras verticales fue de 143.17 kN (14.6 t) (para un cubo de 78.2 g) y la mínima resultó de 103.66 kN (10.6 t) (para un cubo de 65.2 g). Todos los cubos con fibras verticales presentan una carga máxima (pico) y después una carga residual, lo que genera en los cubos una falla frágil.

En la misma figura 14 se aprecia que el comportamiento mecánico que exhiben los cubos con fibras en posición horizontal es elástico-plástico, el cual ocasiona en los cubos una falla de tipo dúctil. La carga de fluencia máxima alcanzada fue de 46.58 kN (4.7 t) en un cubo con masa de 84.8 g, mientras que la mínima fue de 17.16 kN (1.7 t) en un cubo con una masa de 58.9 g. En ambos casos (fibras en posición horizontal o vertical) se distingue que la carga de fluencia de los cubos depende de su masa.

**Cubos individuales parcialmente saturados.** En la figura 15 se muestra el comportamiento mecánico de los cinco cubos ensayados en estado parcialmente saturado. Comparando la carga de fluencia de 30 kN (3 t) que se obtuvo en un cubo individual seco con masa de 74.3 g (véase figura 14) con la carga de fluencia de 10.5 kN (1.1 t) de la figura 15 que se obtuvo en un cubo parcialmente saturado (con un contenido de agua de 50%) y con una masa inicial de 74.2 g (65% menor que la obtenida en estado seco), se ratifica el hecho de que cubos expuestos a un ambiente húmedo presentan una reducción sustancial en su carga de fluencia. Por este motivo, resulta importante dar un mantenimiento continuo para evitar la humedad en los cubos de los arreglos, como en el caso expuesto más arriba en el apartado 3.

**Cubos apilados con láminas divisorias.** El comportamiento mecánico de los cubos apilados en tres niveles es similar al de los cubos individuales secos. Los que presentan mayor deformación vertical son aquellos con menor masa del conjunto. También se aprecia que colocar de esta forma los cubos (no contiguos en un arreglo de cubos) propicia una deformación no uniforme en ellos y puede provocar más rápido la falla de los cubos con menor masa en el arreglo (sean pesados o ligeros). Por ejemplo, en la figura 16a el arreglo está constituido por tres cubos pesados, de los cuales el cubo que falló fue el de menor masa. En la figura 16b el arreglo está formado por dos cubos pesados y uno ligero, de los cuales este último fue el que falló. El comportamiento mecánico obtenido en cubos apilados con láminas divisorias se muestra en la figura 17. En ella se observa que dos de ellos presentan una reducción brusca en la carga, la cual se atribuye a la falla en uno de sus cubos. Las cargas de fluencia resultantes oscilan entre 18 y 26 kN (1.8 y 2.6 t), y varían de acuerdo con la masa de los cubos. En los resultados también se observa que la carga de fluencia en los cubos apilados es menor que la obtenida en un cubo individual. Esto se debe a que la falla generada en algunos de los cubos apilados reduce de manera importante la carga de fluencia del conjunto. Por lo anterior, no es recomendable que los cubos en los arreglos de los sistemas de control se coloquen

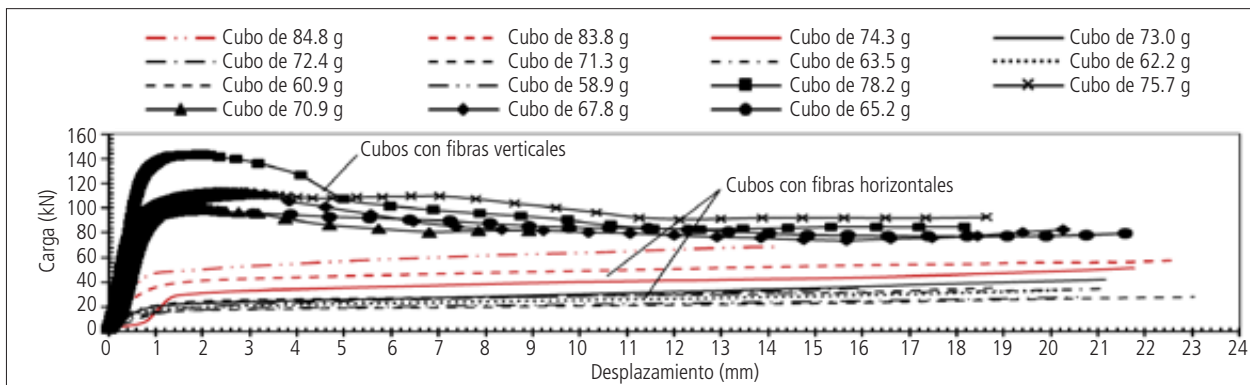


Figura 14. Comportamiento mecánico de cubos individuales secos con fibras horizontales y verticales.

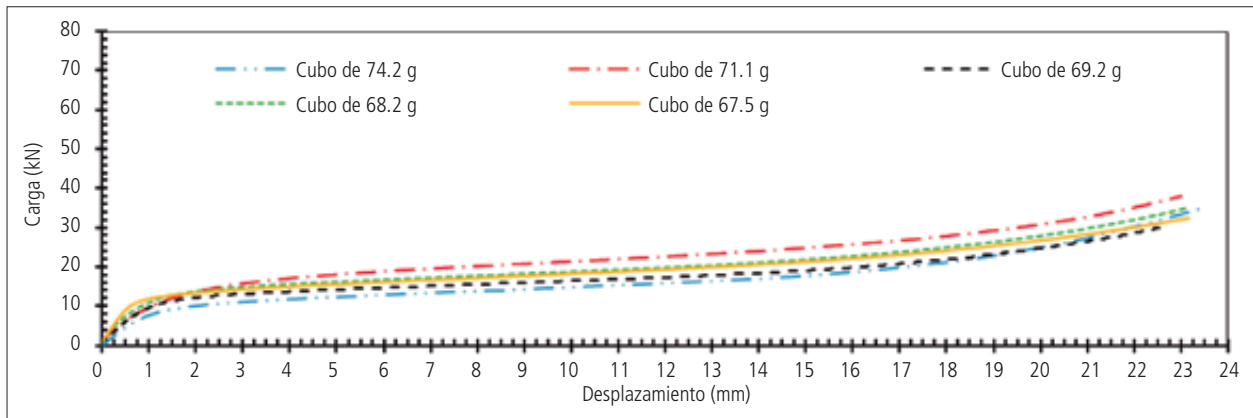


Figura 15. Comportamiento mecánico de cubos individuales parcialmente saturados.

separados (espaciados), tal como se señala en el apartado 3.

#### Arreglos de tres niveles de $3 \times 3$ cubos.

La deformación vertical generada en los arreglos de  $3 \times 3$  cubos exhibe claramente una mayor uniformidad en la deformación de los cubos cuando se colocan láminas galvanizadas divisorias en los arreglos (véase figura 18). Incluso se observa que los arreglos que no tienen láminas de acero galvanizado son más propensos a la falla de algunos de sus cubos. En cuanto al comportamiento mecánico que presentan los arreglos de  $3 \times 3$  cubos con láminas de acero galvanizado (véase figura 19a), se distingue el mismo patrón que se obtuvo en los cubos individuales, esto es, que el arreglo constituido por cubos pesados presenta una carga de fluencia mayor respecto a los arreglos con cubos ligeros y combinados. Las cargas de fluencia obtenidas fueron: 236 kN (24.1 t) en arreglos con cubos pesados, 170 kN (17.3 t) en arreglos con cubos ligeros, y 196 kN (20 t) en arreglos con cubos combinados. Los resultados obtenidos para los mismos arreglos pero sin láminas de acero galvanizado (figura 19b) muestran una reducción de 44 kN (4.5 t) en la carga de fluencia cuando el conjunto está compuesto por cubos pesados; cuando el arreglo lo constituyen cubos ligeros no se presenta ninguna reducción en la carga de fluencia, y cuando el arreglo es una combinación de cubos pesados y ligeros sin láminas galvanizadas, la carga de fluencia puede tener una reducción de 9 kN (0.9 t) con respecto a la de los arreglos que sí tienen láminas divisorias.

Con base en los resultados de la figura 19, se calculó el factor de comportamiento plástico ( $F_{cp}$ ) de los ar-

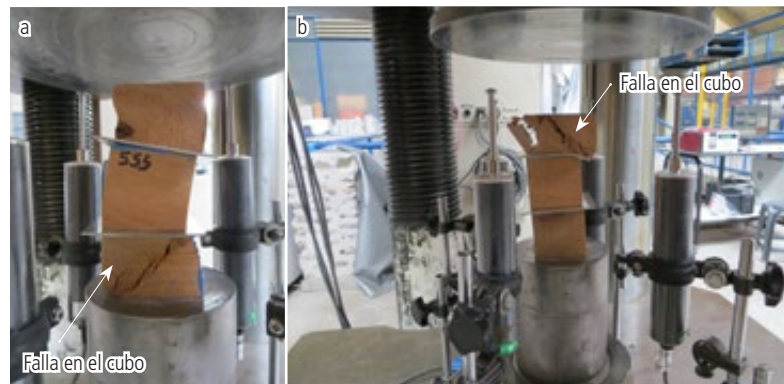


Figura 16. Arreglos de cubos apilados separados con láminas de acero: a) falla en la parte inferior, b) falla en la parte superior.

Nota: Las fallas que se observan corresponden a los cubos que tienen menor masa en el arreglo.

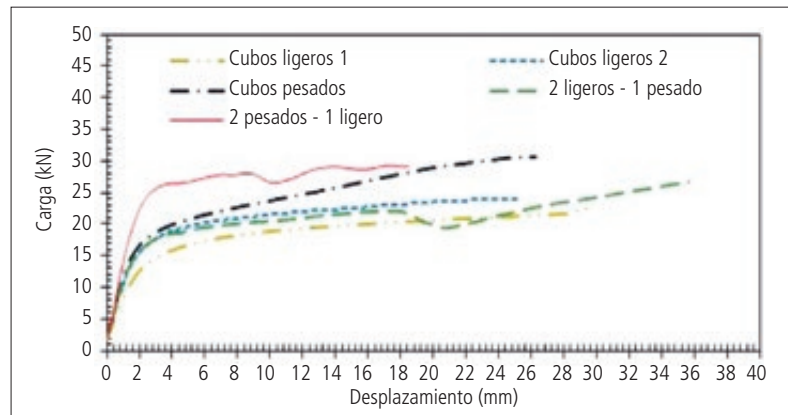


Figura 17. Comportamiento mecánico de cubos apilados con láminas divisorias.

reglos ensayados, dividiendo la carga al inicio de la respuesta plástica entre la carga máxima. Este factor permite conocer cuán parecido es el comportamiento del material empleado al comportamiento ideal elastoplástico que se requiere para el funcionamiento apropiado del sistema de control (mientras más cercano a 1, más apropiado resulta el material utilizado). En este caso se obtuvo un  $F_{cp\text{madera}} = 0.65$ .

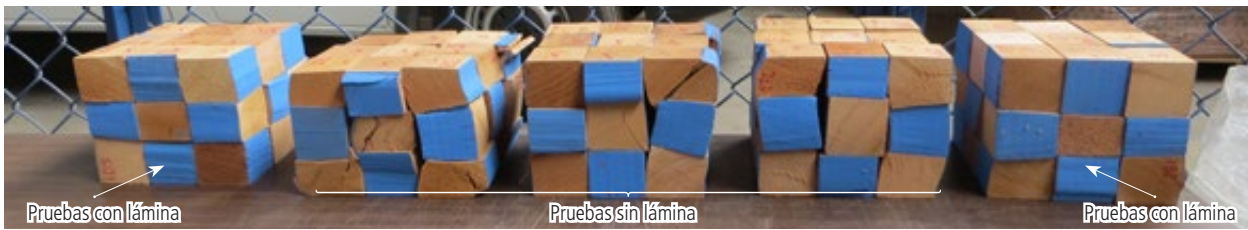


Figura 18. Deformación de arreglos de tres niveles de 3 x 3 cubos de madera.

Nota: Arreglos reconstituidos después de su ensayo.

**Cilindro polimérico.** Los resultados obtenidos en los cilindros de 735 kN (75 t) ensayados hasta este momento (figura 20) indican que dos de los cilindros (2 y 3) presentan cargas de fluencia de 647 y 556 kN (65.9 y 56.7 t) respectivamente, que son menores que su carga nominal, mientras que el cilindro 1 presenta una carga de fluencia de 732 kN (74.6 t), similar a la carga nominal. Con los resultados previos no es posible apreciar si la densidad del cilindro polimérico influye en la carga de fluencia obtenida, como se observó en el caso de la madera. Por otra parte, en la figura 20 se distingue que el cilindro húmedo exhibe una carga de fluencia menor que la carga nominal; la curva correspondiente muestra una tendencia ligeramente diferente a la de las demás curvas (en condición seca), incluso se presenta un cambio de pendiente (menor) a partir de 420 kN. Con lo anterior, parece que el agua influye en el comportamiento mecánico de los cilindros, como en el caso de la madera. A partir de los resultados obtenidos en la figura 20, se estimó el  $F_{cp}$  de los cilindros poliméricos con capacidad nominal de 75 t, el cual resultó  $F_{cp\text{polimero}} = 0.60$ , similar al obtenido en los arreglos de cubos de madera. Sin embargo, en los cilindros poliméricos no se distingue un comportamiento elastoplástico evidente como en la madera. En adición, con los resultados de los ensayos realizados hasta este momento:

- No es posible afirmar que los cilindros poliméricos se deforman más que la madera. Solamente se ha distinguido que exhiben una deformación más uniforme que los arreglos de cubos de madera (véase figura 21).
- Los cilindros poliméricos alcanzan un decremento máximo (respecto a su altura inicial) de aproximadamente 5 cm; sin embargo, no presentan un comportamiento elastoplástico evidente.

En la figura 22 (López-Acosta *et al.*, 2016) se muestran las gráficas esfuerzo-deformación obtenidas en los ensayos de cuatro cilindros poliméricos de 50 t de capacidad nominal, tres en condición seca y uno en estado húmedo. En la misma figura se incluye la gráfica esfuerzo-deformación obtenida para un arreglo de tres niveles de 5 x 4 cubos de madera de caobilla en estado seco (que se considera equivalente a los cilindros ensayados de 50 t). En la figura anterior se observa que el arreglo de tres niveles de 5 x 4 cubos de madera exhibe una carga de fluencia de 50.50 t, mientras que los cilindros poliméricos en estado seco presentan cargas de 67.65 t (ma-

terial polimérico 1), 39.51 t (material polimérico 2) y 50.71 t (material polimérico 3), es decir, cargas mayores y menores que su capacidad nominal. En cuanto al cilindro polimérico húmedo, éste exhibe una carga de fluencia de 31.44 t, esto es que, al igual que en la madera, parece que la humedad disminuye la carga de fluencia del material polimérico.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este artículo se presentaron resultados preliminares de pruebas experimentales en cubos individuales de madera, en arreglos de cubos de madera y en cilindros poliméricos, con el objetivo de evaluar el comportamiento mecánico de estos materiales empleados como celdas de deformación en sistemas de pilotes de control en edificios de la Ciudad de México. Los resultados de los ensayos han permitido discernir respecto a la forma más apropiada de colocar los

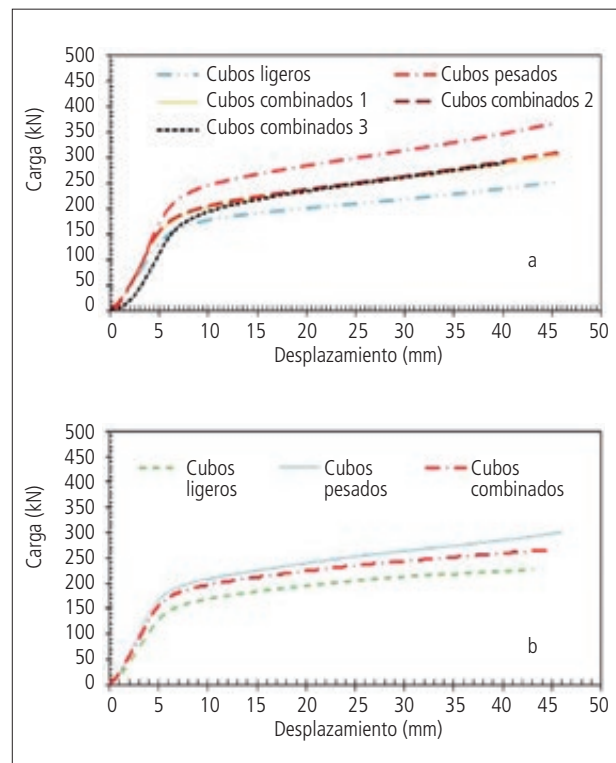


Figura 19. Comportamiento mecánico de arreglos de tres niveles de 3 x 3 cubos: a) con láminas de acero galvanizado, b) sin láminas de acero.

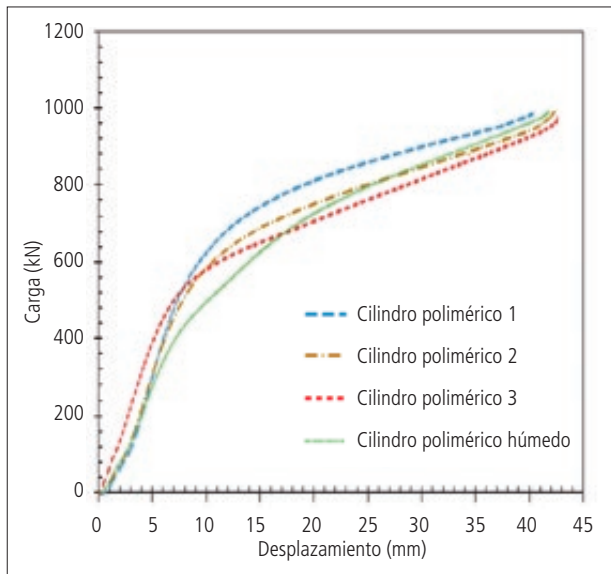


Figura 20. Comportamiento mecánico de cilindros poliméricos de 735 kN (75 t).

cubos de madera en los arreglos que conforman las celdas de deformación para que desempeñen un trabajo eficiente. Los resultados preliminares en los materiales ensayados indican que:

- Los cubos de madera deben colocarse con las fibras en posición horizontal. En efecto, los cubos con fibras horizontales presentan una falla dúctil que permite absorber mejor los desplazamientos verticales generados por el descenso de la estructura, lo que resulta más apropiado para este tipo de sistema de control, en lugar de las fallas frágiles que ocurren para cubos colocados con fibras en posición vertical.
- La masa de los cubos de madera influye en la carga de fluencia: a mayor masa, mayor carga de fluencia.
- La humedad en los cubos de madera puede reducir su carga de fluencia hasta en 60%, en comparación con la carga de fluencia de un cubo en estado seco. Las filtraciones de agua en los cajones de cimentación de los edificios pueden ocasionar la humedad o saturación de los cubos del sistema (como se mostró en figura 8a). Lo anterior debe evitarse dando un mantenimiento periódico al sistema de control.
- En la evaluación de cubos de madera apilados, los cubos de menor masa del conjunto son los primeros en experimentar deformación, independientemente del lugar donde se ubiquen, y pueden llegar a la falla antes de que el arreglo alcance una disminución máxima de su altura inicial de aproximadamente 5 cm (que se ha observado en los ensayos de arreglos de cubos). Por ello, se recomienda no dejar espacios entre los cubos de los arreglos que conforman las celdas de deformación (como el arreglo *in situ* presentado en la figura 7a).
- Las láminas galvanizadas colocadas entre las camas de los cubos ayudan a evitar la disminución de la carga de fluencia

del conjunto y propician una deformación más uniforme en los cubos, como se demostró en los arreglos ensayados de tres camas de  $3 \times 3$  cubos.

f. Con los resultados de los cilindros poliméricos ensayados hasta este momento:

- No es posible apreciar si la densidad del cilindro polimérico influye en la carga de fluencia obtenida, como se observó en el caso de la madera.
- Parece que el agua influye en el comportamiento mecánico de los cilindros, como ocurre con la madera.
- No es posible afirmar que los cilindros poliméricos se deforman más que la madera. Solamente se ha distinguido que exhiben una deformación más uniforme que los arreglos de cubos de madera (figura 21).
- Los cilindros poliméricos alcanzan una disminución máxima en su altura inicial de aproximadamente 5 cm; sin embargo, no presentan un comportamiento elasto-plástico evidente como la madera.
- Una serie de pruebas adicionales en otros cilindros poliméricos todavía se encuentra en proceso.

g. El factor de comportamiento plástico  $F_{cp}$  permite conocer cuán parecido es el comportamiento del material empleado al comportamiento ideal elasto-plástico que se requiere para el funcionamiento apropiado del sistema de control



Figura 21. Cilindro polimérico: a) deformado, b) comparación de cilindros antes y después del ensayo.

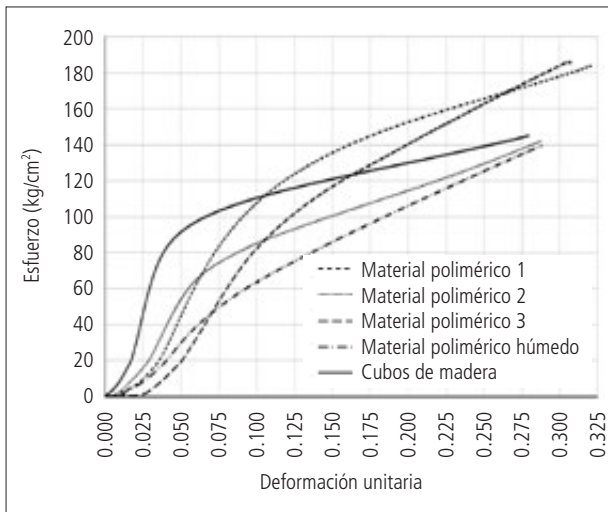



Figura 22. Gráficas esfuerzo-deformación de cilindros poliméricos con capacidad nominal de 50 t y de un arreglo de tres niveles de 5 x 4 cubos de madera de caobilla (López-Acosta et al., 2016).


(mientras más cercano a 1, más apropiado resulta el material empleado). En los materiales ensayados no se observó una diferencia importante entre los factores de comportamiento plástico de los arreglos de cubos y de los cilindros poliméricos de 75 t ( $F_{cp\text{madera}} = 0.65$  y  $F_{cp\text{polimero}} = 0.60$ , respectivamente). Los arreglos de cubos de madera de caobilla tienen un comportamiento elasto-plástico mejor definido, pudiendo emplearse tanto para proyectos de corrección de verticalidad como para mantenimiento. En los cilindros poliméricos no se distingue un comportamiento elasto-plástico evidente, y pueden ser más convenientes para proyectos de corrección de verticalidad.

Para que el sistema de pilotes de control funcione de manera eficiente, es necesario un mantenimiento continuo y apropiado, el cual debe estar a cargo de personal especializado y con experiencia en este tipo de dispositivos. Se ha observado que el mal uso de los sistemas de control generalmente se debe a una incomprensión y desconocimiento del propio sistema, lo cual deriva en un mal mantenimiento y demerita las bondades para las que fueron concebidos los sistemas de control.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa MC Cimentaciones y Estructuras, S. A. de C. V. por los cubos de madera de caobilla (utilizados en sus mantenimientos a sistemas de control de edificios) proporcionados para estudiar su comportamiento mecánico. Asimismo, a la empresa Pilotes de Control, S. A. (Picoso) por los cilindros poliméricos y por las visitas técnicas guiadas que ha brindado al personal del Instituto de Ingeniería UNAM al edificio donde los sistemas de control emplean cilindros poliméricos como celdas de deformación,

a los edificios donde los pilotes de fricción han sido habilitados con un sistema de control, y a los distintos edificios que tienen sistemas de control tradicionales 

Apreciamos su opinión e información sobre el tema de este artículo.  
 Escribanos a [geotecnia@heliosmx.org](mailto:geotecnia@heliosmx.org)

#### Referencias

- Aguilar, J. M., y E. Rojas (1990). Importantes mejoras en los dispositivos de control de pilotes. *Memoria de la XV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos*: 139-150. San Luis Potosí, México.
- Aguirre, M. (1981). Dispositivo para controlar hundimientos de estructuras piloteadas. Publicación número 439 del Instituto de Ingeniería, UNAM. México.
- Aguirre, M. (1991). Device for control of building settlement and for seismic protection. *Journal of Geotechnical Engineering* (12)117: 1848-1859.
- Auvinet, G., y J. F. Rodríguez (1998). Cimentaciones especiales. *Ingeniería Civil* 349: 7-18. México: Colegio de Ingenieros Civiles de México.
- Carrillo, N. (1948). Influence of artesian wells in the sinking of Mexico City. *Proceedings of the 2nd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Róterdam.
- Correa, J. J. (1980). Estado actual del conocimiento sobre pilotes de control. *Memoria de la Reunión Conjunta Consultores-Constructores Cimentaciones Profundas*: 42-48. México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
- González-Flores, M. (1948). Level control in buildings by means of adjustable piling. *Proceedings of the 2nd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering IV*:152. Róterdam.
- González-Flores, M. (1960). Enderezado de dos edificios: un metro en el caso más desfavorable. *Memorias del Primer Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cimentaciones* 1: 429-471. México. IIUNAM (2016). Visita técnica cortesía de Pilotes de Control, S. A. (Picoso).
- Jiménez, A. (1980). Pilotes de autocontrol. *Obras*. Agosto. México.
- López-Acosta, N. P., F. Peña, E. Martínez, L. Bejarano y G. Auvinet (2015). Pruebas de laboratorio en celdas de deformación de pilotes de control. *Gaceta del Instituto de Ingeniería de la UNAM* 112: 14-17.
- López-Acosta, N. P., E. Martínez, F. Peña y G. Auvinet (2016). Material polimérico como celdas de deformación de pilotes de control. *Gaceta del Instituto de Ingeniería de la UNAM* 118: 12-15.
- Martínez-Hernández, E. (2017). Estudio del comportamiento mecánico de materiales empleados como celdas de deformación en el sistema de pilotes de control. Tesis de maestría en Ingeniería. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería de la UNAM. En desarrollo.
- Pilotes de Control, S. A. de C. V., Picoso (2010). Cimentando a México desde 1951: 3-12. México.
- Picoso (2014). Comunicación personal.
- Picoso (2015). Comunicación personal.
- Reséndiz, D. (1976). Load-control devices for piles. Tercera Conferencia Nabor Carrillo: 147-151. México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
- Rico, A. (1991). Sistemas mecanizados para pilotes. Tesis profesional. México: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Salazar-Resines, J. (1978). *Control de las cargas en la cimentación y de los asentamientos de edificios mediante mecanismos en los pilotes*:1-13. México: UNAM/UAM.
- Santoyo, E., y R. Alanís (2013). *Monografías sobre los pilotes de control: utilidad, mantenimiento y desatinos*: 1-34. México: TGC.
- Santoyo, E., y J. A. Segovia (1995). *Recimentación y renovación de estructuras y monumentos*: 26. México: TGC.
- Segovia, J. A. (2001). *Manual de cimentaciones profundas*. Capítulo 6: *Recimentación de estructuras*: 247-261. México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C.
- Tamez, E. (1986). *Criterios para el diseño sísmico de cimentación sobre pilotes de control*: 27. México: TGC Geotecnia.

# Sobre el diseño geotécnico de cimentaciones con pilotes de fricción

Se presenta en este artículo un procedimiento para el diseño geotécnico de cimentaciones parcialmente compensadas con pilotes de fricción, que comprende la revisión de los estados límite de falla y de servicio del terreno de cimentación, con el propósito de esclarecer el comportamiento de cimentaciones de fricción que se han usado en la Ciudad de México. Se incluye además un ejemplo para ilustrar la aplicación del método.

## 1. INTRODUCCIÓN

En edificios de mediano tamaño se puede emplear como fundación una cimentación parcialmente compensada con pilotes de fricción. En esta clase de cimentación, una fracción del peso total del inmueble se transmite en el contacto losa-terreno de cimentación y la fracción restante se manda a los pilotes. Para que se produzca una presión de contacto entre losa y suelo se hace necesario que los pilotes de fricción trabajen a la falla, con un factor de seguridad igual a 1.

Por otra parte, para garantizar que los movimientos de la construcción no sean excesivos, se proporciona un pequeño incremento neto de carga al suelo de sustentación (en arcillas sensitivas se debe buscar que la presión vertical efectiva final no sobrepase el esfuerzo crítico del terreno). Este tipo de cimentación tiene la ventaja de que el incremento de esfuerzos en la losa se disipa con la profundidad, mientras que el incremento de esfuerzos ocasionado por los pilotes aumenta con la profundidad (se puede considerar que esta solución es una especie de “carrera de relevos”, que consiste en que cuando un esfuerzo disminuye, el otro aumenta). Con esto se logra mantener el incremento de esfuerzos en niveles que producen deformaciones tolerables del suelo de soporte. Además, en zonas sujetas a hundimiento regional, como los pilotes trabajan a la falla, la cimentación se asienta siguiendo dicho hundimiento regional.

Hasta aquí las bondades de una cimentación parcialmente compensada con pilotes de fricción. Sin embargo, cabe destacar que en zonas de mediana a alta sismicidad o sometidas a fuertes presiones de viento, el momento de volteo, producido por las fuerzas laterales debidas a estos fenómenos,

puede provocar una intensa concentración de carga en una porción de la cimentación y, en consecuencia, un elevado asentamiento o un fuerte desplome del edificio, e incluso, en un caso extremo, ocasionar una falla por capacidad de carga del suelo de sostenimiento.

En este artículo se presenta un procedimiento para llevar a cabo la revisión de la seguridad del terreno de cimentación, tanto para la primera combinación de acciones (cargas permanentes más cargas variables) como para la segunda combinación de acciones (cargas permanentes más cargas variables más cargas accidentales, estas últimas provocadas por sismo o viento). Se incluye además un ejemplo para ilustrar el uso del método.

## 2. CIMENTACIÓN PARCIALMENTE COMPENSADA CON PILOTES DE FRICCIÓN

En una cimentación parcialmente compensada con pilotes de fricción, una fracción del peso total del edificio se toma en el contacto losa-terreno de cimentación y la fracción restante se transmite a los pilotes de fricción. Para que la losa tome carga, los pilotes se deben diseñar a la falla, con factor de seguridad igual a 1. El calificativo de cimentación parcialmente compensada se debe a que en el contacto losa-suelo se da un pequeño incremento neto de carga adicional al terreno.

Sean

$$q_{max} = \frac{\Sigma Q_{max}}{A} = \text{peso unitario máximo} \quad (1)$$

$$q_a = \frac{\Sigma Q_a}{A} = \text{peso unitario instantáneo} \quad (2)$$

$$q_m = \frac{\Sigma Q_m}{A} = \text{peso unitario medio} \quad (3)$$

A = área de la cimentación

Por lo comentado antes, el peso unitario medio vale (véase figura 1):

$$q_m = q_{Lm} + q_p \quad (4)$$

donde:

$q_{Lm}$  = peso unitario medio que toma la losa de cimentación

$q_p$  = peso unitario medio que toman los pilotes de fricción

Definimos el incremento neto de carga en la losa,  $INP_L$ , de la siguiente forma:

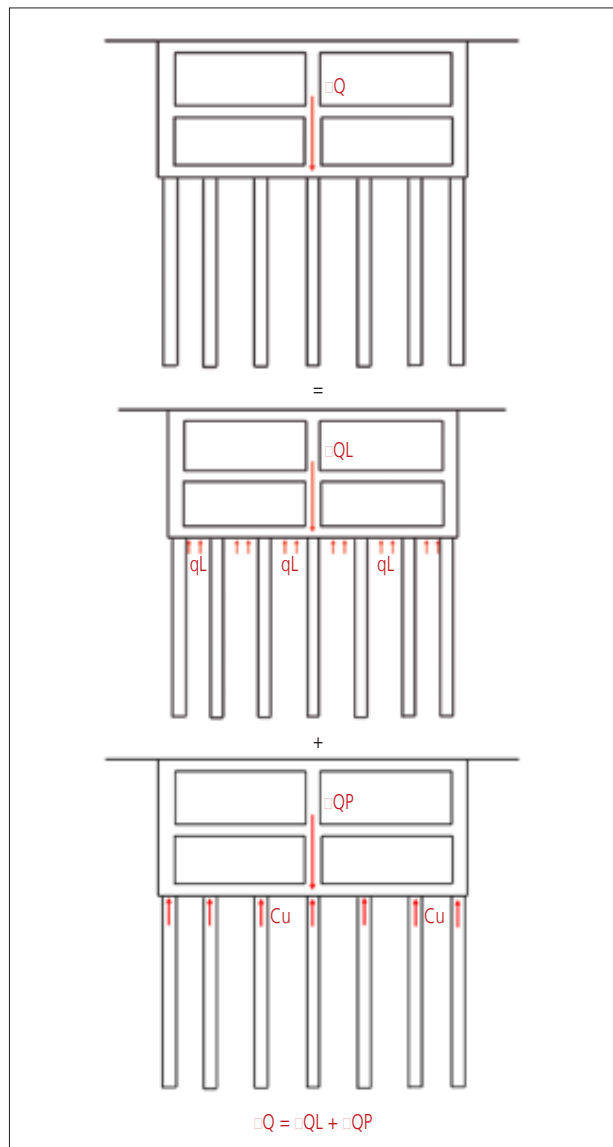


Figura 1. Cimentación parcialmente compensada con pilotes de fricción.

$$INP_L = q_{Lm} - \gamma D_f \quad (5)$$

donde:

$\gamma$  = peso volumétrico del suelo

$D_f$  = profundidad de desplante de la losa de cimentación

La carga que toman los pilotes de fricción se puede determinar de dos formas: si debido al proyecto arquitectónico del edificio se requiere un cierto número de sótanos, en este caso la profundidad  $D_f$  queda definida.

Se fija entonces un  $INP_L$  de pequeña magnitud y se despeja  $q_{Lm}$  de la ecuación (5). La carga que toman los pilotes se halla usando la ecuación (4). La segunda forma consiste en asignar un porcentaje de la carga a la losa y otro porcentaje a los pilotes. Con la ecuación (4) se encuentra  $q_{Lm}$ , y la profundidad de desplante con la ecuación (5), habiendo fijado previamente el incremento neto  $INP_L$ .

El número de pilotes se obtiene:

$$q_p = \frac{\Sigma Q_p}{A}, \Sigma Q_p = q_p A \quad (6)$$

$$n_T = \frac{\Sigma Q_p}{C_u} \quad (7)$$

donde:

$C_u$  = capacidad de carga última de un pilote

$n_T$  = número total de pilotes

Los pilotes se distribuyen de manera uniforme a lo largo y ancho de toda el área de cimentación (véase figura 2).

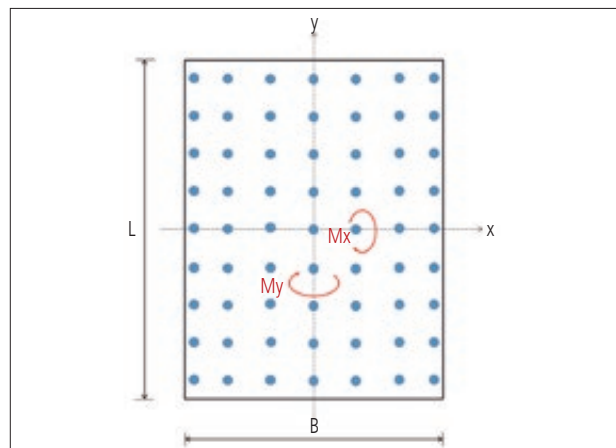


Figura 2. Sembrado de pilotes en la cimentación.

La seguridad del terreno de cimentación se debe revisar por estados límite de servicio y por estados límite de falla. En los primeros se calcula la expansión inmediata por la excavación, el asentamiento inmediato por la recuperación de la expansión, el asentamiento inmediato por el incremento neto de carga y el hundimiento a largo plazo debido al incremento neto de carga. Las magnitudes de estos movimientos deben ser menores a los valores permisibles establecidos por

las normas o por la experiencia del ingeniero geotecnista. La revisión de los estados límite de falla se lleva a cabo para la primera combinación de acciones (cargas permanentes más cargas variables) y para la segunda combinación de acciones (cargas permanentes más cargas variables más cargas accidentales). Como los pilotes están trabajando a la falla, para la primera combinación en la losa se debe cumplir:

$$q_{Lmaxult} \leq q_R \quad (8)$$

$$q_{Lmax} = q_{max} - q_P \quad (9)$$

$$q_{Lmaxult} = \frac{\sum Q_{Lmax} F_C}{A} \quad (10)$$

$q_R$  = capacidad de carga resistente del terreno en el contacto con la losa de cimentación

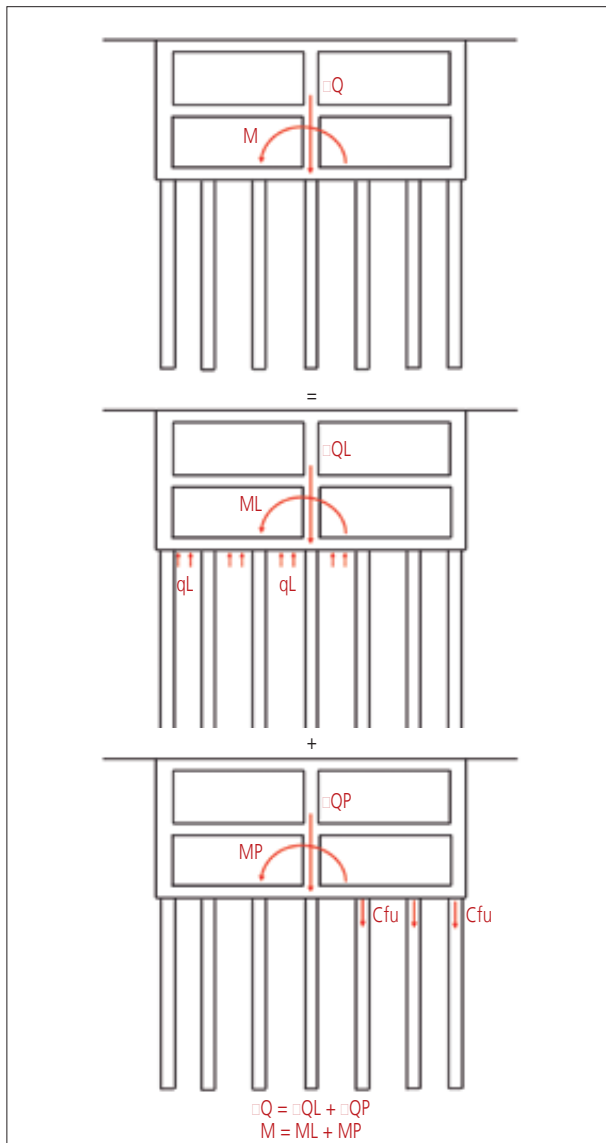


Figura 3. Cimentación sometida a carga vertical y momento.

Para la segunda combinación de acciones (véase figura 3):

$$q_{Lult} \leq q_R \quad (11)$$

$$q_{Lult} = \frac{\sum Q_{La} F_C}{A'} = \frac{\sum Q_{La} F_C}{B'L'} \quad (12)$$

$$B' = B - 2e_{Lx}$$

$$L' = L - 2e_{Ly} \quad (13)$$

$$e_{Lx} = \frac{M_{Ly}}{\sum Q_{La}}$$

$$e_{Ly} = \frac{M_{Lx}}{\sum Q_{La}} \quad (14)$$

$$\sum Q_{La} = \sum Q_a - \sum Q_P \quad (15)$$

Sean

$M_y$  = momento de volteo alrededor del eje y

$M_x$  = momento de volteo alrededor del eje x

$$M_{Ly} = M_y - M_{PyR} \geq 0$$

$$M_{Lx} = M_x - M_{PxR} \geq 0 \quad (16)$$

donde:

$M_{PyR}$  = momento resistente de los pilotes alrededor del eje y

$M_{PxR}$  = momento resistente de los pilotes alrededor del eje x

$M_{Ly}$  = momento alrededor del eje y que se transmite a la losa de cimentación

$M_{Lx}$  = momento alrededor del eje x que se transmite a la losa de cimentación

Como los pilotes están diseñados a la falla, ya no toman carga adicional de compresión, por lo que sólo contribuyen al momento resistente los pilotes que están sometidos a decremento de carga por el momento de volteo. Para el cálculo de los momentos resistentes de los pilotes, se puede suponer en forma aproximada que los ejes de giro pasan por el centro geométrico de la planta de la cimentación. Con esta hipótesis, las magnitudes de los momentos resistentes de los pilotes sólo se deben a la contribución de la mitad de éstos, y de ellos únicamente es significativa la resistencia de los elementos cercanos a la periferia de la cimentación.

Usando las ecuaciones (12) a (16) determinamos la presión última  $q_{Lult}$  sobre el terreno en el contacto con la losa.  $q_R$  es la capacidad de carga resistente del terreno en el contacto con la losa de cimentación. Es claro que para que garantizar la seguridad del terreno de cimentación para la segunda combinación de acciones se debe satisfacer la desigualdad 11.

Otro concepto que se debe revisar es que el giro permanente del inmueble sea menor que el giro permisible. El cálculo del giro permanente se puede llevar a cabo haciendo un análisis dinámico del comportamiento del terreno de cimentación, utilizando un método de solución numérica

(como elemento finito o diferencias finitas), y haciendo uso de un procedimiento que tome en cuenta el comportamiento elastoplástico del suelo (que podría ser la teoría del estado crítico). En forma alterna, se puede emplear un procedimiento simplificado para estimar el giro permanente, que consiste en el uso de la siguiente fórmula aproximada:

$$\theta_d = \frac{3(1-\nu) M_e}{8 G_e R^3} (\kappa_{ep} - 1) \quad (17)$$

donde:

$\theta_d$  = giro permanente de un cimiento

$M_e$  = momento elástico alrededor de un eje que pasa por el centro geométrico de la cimentación

$$\kappa_{ep} = \frac{G_e}{G_{ep}}$$

$G_e$  = módulo de rigidez elástico del terreno de cimentación

$G_{ep}$  = módulo de rigidez elastoplástico del terreno de cimentación

$R$  = radio de un círculo con un momento de inercia equivalente al momento de inercia de la cimentación

$\nu$  = relación de Poisson del terreno

El valor de  $\kappa_{ep}$  se puede obtener mediante pruebas dinámicas de compresión, con las cuales se obtienen las deformaciones elásticas y plásticas producidas por ciclos de esfuerzos sobre probetas de suelo (Zeevaert, 1973).

Por ejemplo, en la arcilla de la Ciudad de México,  $\kappa_{ep} \approx 1.22$ .

El giro permisible es (Normas de Cimentaciones):

$$\theta_{\text{permisible}} (\%) = \frac{100}{100 + 3h_c} \quad (18)$$

$h_c$  = altura de la construcción

### Ejemplo

Revisar la seguridad del terreno de cimentación de un edificio de 11 pisos, que tiene un cajón de cimentación desplazado a 6.2 m de profundidad, ubicado en la Zona del Lago de la Ciudad de México. El inmueble tiene 30 m de ancho por 60 m de largo, y transmite al suelo, a nivel de apoyo, ya considerando el peso del cajón, las siguientes cargas:

Peso unitario máximo = 150 kPa

Peso unitario instantáneo = 142.5 kPa

Peso unitario medio = 135 kPa

Considerar un peso volumétrico del terreno de 15 kN/m<sup>3</sup> entre la superficie y el nivel de desplante, y en la arcilla una cohesión no drenada  $c_u = 22$  kPa.

Utilizar como solución una cimentación parcialmente compensada con pilotes de fricción trabajando a la falla. Emplear para ello un pequeño incremento neto de carga en el contacto losa-terreno de cimentación de 20 kPa.

Solución

Las sumatorias de cargas al nivel de apoyo de la cimentación valen:

$$q_{max} = 150 \text{ kPa}, \Sigma Q_{max} = 270,000 \text{ kN}$$

$$q_a = 142.5 \text{ kPa}, \Sigma Q_a = 256,500 \text{ kN}$$

$$q_m = 135 \text{ kPa}, \Sigma Q_m = 243,000 \text{ kN}$$

El incremento neto de presión en la losa de cimentación es (ecuación 5):

$$INP_L = q_{Lm} - \gamma D_f$$

$$q_{Lm} = INP_L + \gamma D_f$$

$$q_{Lm} = 20 + 6.2 (15) = 113 \text{ kPa}$$

La sumatoria de cargas que transmitiremos en el contacto losa-suelo vale:

$$\Sigma Q_{Lm} = q_{Lm} BL$$

$$\Sigma Q_{Lm} = 113 (30)(60) = 113(1,800) = 203,400 \text{ kN}$$

Por lo tanto, lo que tienen que tomar los pilotes será (ecuación 4):

$$q_P = q_m - q_{Lm} = 135 - 113 = 22 \text{ kPa}$$

El número de pilotes lo obtenemos (ecuación 6):

$$\Sigma Q_P = q_P A = 22 (1,800) = 39,600 \text{ kN}$$

Proponemos pilotes de fricción de sección cuadrada de 40 cm de lado, con una longitud de 21 m. Su capacidad de carga última por fricción lateral se estima en 740 kN. El número total de pilotes se calcula  $N_T = 39,600/740 = 53.5$ . Se usarán 54 pilotes.  $\Sigma Q_P = 54(740) = 39,960$  kN. En este caso, los pilotes toman el 16% de la carga total, mientras que la losa toma el 84% restante.

Se supone que con esta solución se cumplen los requisitos para los estados límite de servicio. A continuación se revisan los estados límite de falla.

Primera combinación. Acciones permanentes más acciones variables

Se debe verificar (ecuación 8):

$$q_{Lmax_{ult}} \leq q_R$$

$$q_{Lmax} = q_{max} - q_P$$

(ecuación 9)

El nuevo valor de  $q_P$  es:

$$q_P = \frac{\Sigma Q_P}{BL} = \frac{39,960}{1,800} = 22.2 \text{ kPa}$$

$$q_{Lmax} = 150 - 22.2 = 127.8 \text{ kPa}$$

$$q_{Lmax_{ult}} = 127.8 (1.4) = 178.92 \text{ kPa}$$

La capacidad de carga resistente en el contacto losa-terreno se estima en  $q_R = 186.1$  kPa.

$$178.9 \text{ kPa} < 186.1 \text{ kPa}$$

Cumple

Segunda combinación. Acciones permanentes más acciones variables más acciones accidentales  
Se usan las ecuaciones 11 a 15.

$$q_{La,ult} \leq q_R$$

$$q_{La,ult} = \frac{\sum Q_{La} F_C}{B'L'}$$

$$B' = B - 2e_{Lx}$$

$$L' = L - 2e_{Ly}$$

$$e_{Lx} = \frac{M_{Ly}}{\sum Q_{La}}$$

$$e_{Ly} = \frac{M_{Lx}}{\sum Q_{La}}$$

El momento sísmico alrededor del eje  $y$  se estima en  $M_y = 1,000,350$  kN.m, y alrededor del eje  $x$ ,  $M_x = 300,105$  kN.m.

$$\sum Q_{La} = \sum Q_a - \sum Q_P = 256500 - 39969 = 216540 \text{ kN}$$

Se estiman las siguientes magnitudes de los momentos que resisten los pilotes:

$$M_{PyR} = 190,402 \text{ kN.m}$$

$$M_{PxR} = 300,154 \text{ kN.m}$$

Se observa que el momento resistente de los pilotes alrededor del eje  $y$  es 19% del momento total alrededor del eje  $y$ ; es decir, la contribución de estos elementos para tomar momento alrededor del eje  $y$  es poca, pues la losa en el contacto con el terreno soporta un momento de 81% del momento total de volteo.

En cambio, el momento resistente de los pilotes alrededor del eje  $x$ ,  $M_{PxR} = 300,154$  kN.m, es mayor que el momento de volteo alrededor del eje  $x$ ,  $M_x = 300,105$  kN.m, por lo que los pilotes toman todo este momento (ya no le llega momento alrededor del eje  $x$  a la losa); así:

$$M_{Ly} = M_y - M_{PyR} \geq 0$$

$$M_{Lx} = M_x - M_{PxR} \geq 0$$

$$M_{Ly} = 809,948 \text{ kN.m}$$

$$M_{Lx} = 0$$

$$e_{Lx} = \frac{809,948}{216,540} = 3.74 \text{ m}$$

$$e_{Ly} = 0$$

$$B' = 30 - 2(3.74) = 22.52 \text{ m}$$

$$L' = 60 \text{ m}$$

$$q_{La,ult} = \frac{216,540 (1.1)}{22.52 (60)} = 176.3 \text{ kPa}$$

La capacidad de carga resistente en el contacto losa-suelo se estima en  $q_R = 185$  kPa.

$$176.3 \text{ kPa} < 185 \text{ kPa}$$

Cumple

El giro permanente se halla en forma aproximada con la ecuación 17:

$$\theta_d = \frac{3(1-\nu)M_e}{8G_eR^3}(\alpha_{ep} - 1)$$

Se estima un momento elástico  $M_e = 2844277$  kN.m. Se midió un módulo de rigidez dinámico promedio de la arcilla de  $G_e = 3,300$  kPa,  $\alpha_{ep} \approx 1.22$ .

$$R = \sqrt[4]{\frac{4I}{\pi}}$$

$$I = \frac{60(30)^3}{12} = 135,000 \text{ m}^4$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{4(135,000)}{\pi}} = 20.36 \text{ m}$$

$$\theta_d = \frac{3(1-0.05)2,844,277}{8(3,300)(20.36)^3}(1.22 - 1) = 0.0042 = 0.42\%$$

El giro permisible vale (ecuación 18):

$$\theta_{permisible}(\%) = \frac{100}{100 + 3(39)} = 0.46\%$$

$$h_c = \text{altura de la construcción} = 39 \text{ m}$$

$$\theta_d = 0.42\% < \theta_{permisible} = 0.46\%$$

Cumple

Este ejemplo ilustra en forma clara que una cimentación parcialmente compensada con pilotes de fricción sí se puede usar en la práctica, pero sólo si su relación de esbeltez (cociente de la altura del edificio entre su ancho) es pequeña. En efecto, en este caso, con una relación de esbeltez baja de  $39/30 = 1.3$ , los requisitos de seguridad para la primera y segunda combinación de acciones, así como la magnitud del giro permanente, apenas se satisfacen.

Lo anterior explica por qué un elevado número de cimentaciones con pilotes de fricción tuvieron problemas de comportamiento durante el sismo de 1985 en la Ciudad de México. Así, en 16 edificios con pilotes de fricción que sufrieron fuertes asentamientos o desplomes en el sismo, la relación de esbeltez de los inmuebles variaba entre 1.6 y 3.0, el ancho entre 7.5 y 25 m, y el número de niveles entre 9 y 24 (Springall, 1987).

En relación con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias

para el Diseño y Construcción de Cimentaciones de 2004, el procedimiento que se presenta en este artículo corresponde al diseño geotécnico en términos de deformaciones, en el cual los pilotes se usan como complemento de un sistema de cimentación parcialmente compensada, con objeto de reducir los asentamientos de la edificación (inciso 3.5 de las normas, Cimentaciones con pilotes de fricción). Prácticamente se emplean todos los requisitos que se establecen en las normas, excepto que se toma en cuenta la contribución al momento de volteo de los pilotes sometidos al fenómeno de extracción. El motivo de esta propuesta es el siguiente: los pilotes están trabajando a la falla con un esfuerzo cortante cuyo sentido es de abajo arriba (suelo sobre pilote); el momento de volteo trata de extraer los pilotes en una porción de la cimentación y, al ocurrir un desplazamiento del pilote hacia arriba, el esfuerzo cortante cambia de sentido, siendo ahora de arriba abajo (suelo sobre pilote). El resultado es que se desarrolla una capacidad de carga por fricción lateral (resistencia a la extracción), que se puede calcular en forma aproximada como el producto de la adherencia entre pilote y suelo por el área del fuste. Quizá podría afectarse esta adherencia por un factor  $\alpha < 1$  para prever una posible reducción de ésta durante el sismo.

No tomar en cuenta el trabajo de los pilotes que tratan de ser extirpados por el momento de volteo constituye, obviamente, un criterio conservador.

En el ejemplo que presentamos en este artículo, si no se considera la contribución de los pilotes, la presión última sobre el terreno resulta de 201 kPa, mientras que la capacidad de carga resistente es de 185 kPa, lo que conduce a que no se cumpla el requisito de seguridad por capacidad de carga para la segunda combinación de acciones.

### 3. CONCLUSIONES

- En una cimentación parcialmente compensada con pilotes de fricción, una fracción del peso total del edificio se toma en el contacto losa-terreno de cimentación y la fracción restante se transmite a los pilotes de fricción. Para que la losa tome carga, los pilotes se deben diseñar a la falla, con factor de seguridad igual a 1. El calificativo de cimentación parcialmente compensada se debe a que, en el contacto losa-suelo, se da un pequeño incremento neto de carga adicional al terreno.
- La seguridad del terreno de cimentación se debe revisar por estados límite de servicio y por estados límite de falla. En los primeros se calcula la expansión inmediata por la excavación, el asentamiento inmediato por la recuperación de la expansión, el asentamiento inmediato por el incremento neto de carga y el hundimiento a largo plazo debido al incremento neto de carga. Las magnitudes de estos movimientos deben ser menores a los valores permisibles establecidos por las normas o por la experiencia del ingeniero geotecnista.

- En este artículo se presenta un procedimiento para revisar la seguridad de esta clase de cimentación para la primera combinación de acciones (cargas permanentes más cargas variables) y para la segunda combinación de acciones (cargas permanentes más cargas variables más cargas accidentales, estas últimas debidas a sismo o viento).
- Cuando se revisa la estabilidad para la segunda combinación de acciones, actúan sobre el edificio fuertes sollicitaciones laterales, lo que da lugar a momentos de volteo de gran magnitud sobre la cimentación del inmueble. Como los pilotes trabajan a la falla, entonces ya no pueden tomar el incremento de esfuerzo de compresión ocasionado por el momento de volteo. Así, sólo contribuyen al momento resistente los elementos sujetos a extracción, y de éstos participan de manera efectiva los que están cercanos a la periferia de la subestructura. Por esta razón, el mayor porcentaje del momento lo tiene que tomar la losa en el contacto con el terreno, lo que ocasiona una intensa concentración de carga en una porción de la cimentación. Si el terreno de soporte no tiene suficiente consistencia, ocurrirá un fuerte asentamiento o un elevado desplome del edificio, y en un caso extremo una falla por capacidad de carga del suelo de sostenimiento.
- En el ejemplo presentado en este artículo, un inmueble de 11 pisos con cimentación parcialmente compensada con pilotes de fricción ubicado en la Zona del Lago de la Ciudad de México, con relación de esbeltez de 1.3, apenas se cumplen los requisitos de seguridad para los estados límite de falla y de servicio, para la primera y segunda combinación de acciones. Por lo tanto, en forma preliminar, se puede decir que edificios con relaciones de esbeltez mayores que 1.3 pueden tener conductas inapropiadas de estabilidad. De esta forma, se explica por qué un elevado número de cimentaciones con pilotes de fricción tuvieron problemas de comportamiento durante el sismo de 1985 en la Ciudad de México. Así, en 16 edificios con pilotes de fricción en la Zona de Transición y la Zona del Lago que sufrieron fuertes asentamientos o desplomes durante la ocurrencia del sismo, la relación de esbeltez de los inmuebles fue mayor que 1.3; en estos edificios la relación de esbeltez variaba entre 1.6 y 3.0.
- Sería conveniente en las Normas de Cimentaciones considerar la contribución de los pilotes de fricción para tomar una fracción del momento de volteo, cuando éstos estén sometidos a fuerzas de extracción en cierta porción de la cimentación. Esta contribución podría ser importante en edificios de baja relación de esbeltez y amplias dimensiones en planta.
- También se puede agregar, en forma similar a como se procede en las Normas de Sismo, un criterio para el cálculo aproximado del giro permanente de un cimiento. En este caso se emplearía la siguiente expresión:

$$\theta_d = \frac{3(1-\nu)M_e}{8G_eR^3}(\alpha_{ep} - 1) \quad (17)$$

donde:

$\theta_d$  = giro permanente de un cimiento

$M_e$  = momento elástico alrededor de un eje que pasa por el centro geométrico de la cimentación, obtenido a través de un análisis de interacción dinámica suelo-estructura. O bien, en forma alterna, se puede calcular en forma aproximada como el producto de la fuerza sísmica elástica por su brazo de palanca; esta fuerza sísmica, ocasionada por la respuesta elástica del edificio, se estima en forma aproximada como:

$$S_e \cong c_e (\Sigma Q_d)$$

donde  $c_e$  es el coeficiente sísmico elástico, que vale aproximadamente  $c_e \approx 1.5 c$ , donde  $c$  es el coeficiente sísmico del espectro de diseño.

$$\kappa_{ep} = \frac{G_e}{G_{ep}}$$

$G_e$  = módulo de rigidez elástico del terreno de cimentación

$G_{ep}$  = módulo de rigidez elastoplástico del terreno de cimentación

$R$  = radio de un círculo con un momento de inercia equivalente al momento de inercia de la cimentación

$\nu$  = relación de Poisson del terreno

El valor de  $\kappa_{ep}$  se puede obtener mediante pruebas dinámicas de compresión, de donde resultan las deformaciones elásticas y plásticas producidas por ciclos de esfuerzos sobre probetas de suelo (Zeevaert, 1973). En la arcilla de la Ciudad de México,  $G_e \approx 3,300$  kPa,  $\kappa_{ep} \approx 1.22$ .

El giro permisible es (Normas de Cimentaciones):

$$\theta_{permisible}(\%) = \frac{100}{100 + 3h_c} \quad (18)$$

$h_c$  = altura de la construcción

Apreciamos su opinión e información sobre el tema de este artículo.

✉ Escríbanos a [geotecnia@heliosmx.org](mailto:geotecnia@heliosmx.org)

#### Referencias

- Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones (2004). Gobierno del Distrito Federal.
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2004). Gobierno del Distrito Federal.
- Springall, Guillermo (Ed.) (1987). *Memorias del Simposio sobre los Sismos de 1985: Casos de mecánica de suelos*. Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
- Zeevaert, L. (1973). *Foundation engineering for difficult subsoil conditions*. Nueva York: Van Nostrand Reinhold.
- Zeevaert, L. (1990). *Conceptos básicos en el diseño de cimentaciones compensadas sin y con pilotes de fricción*. México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.



# ADQUISICIÓN DE DATOS INALÁMBRICA

Para Instrumentos Geotécnicos

La "Serie DT" de adquirentes de datos de RST (nodos), que se muestra, puede acomodar el sistema RSTAR o el DT LINK inalámbrico.

- DT2011B**  
Adquirente de datos de canal único con cuerda vibrante
- DT2055B**  
Adquirente de datos con 5/10 canales de cuerda vibrante termistor
- DT2040**  
Adquirente de datos con 20/40 canales de cuerda vibrante termistor
- DTL201B y DTL202B**  
Adquirente de inclinación digital uniaxiales y biaxiales
- DT4205**  
Adquirente de datos con 5/10 canales de 4-20 mA

+ MÍNIMO COSTO POR CANAL + BATERÍA DE EXTRA LARGA DURACIÓN + TRANSMISIÓN DE LARGA DISTANCIA



### Colección Completamente Automática (Remotamente)

Un sistema RSTAR utiliza adquirentes de datos de la "Serie DT" (nodos) al nivel del sensor, desplegadas en una topología en estrella desde un hub RSTAR que consiste en un adquirente de datos RST flexDAQ.

Para MÁS INFORMACIÓN VIDEO: <http://www.rstinstruments.com/Wireless-Data-Collection.html>

CANADÁ: VENTAS + SERVICIO + FABRICACIÓN  
+1 604 540 1100 | [sales@rstinstruments.com](mailto:sales@rstinstruments.com)

VENTAS EN MÉXICO:  
(55) 8421 6756 | [mexico@rstinstruments.com](mailto:mexico@rstinstruments.com)

RST Instruments Ltd. se reserva el derecho de cambiar las especificaciones sin previo aviso. M802218



### Colección Semi-Automática (En Sitio)

DT LINK es una conexión inalámbrica en sitio a los adquirentes de datos de la "Serie DT" para una adquisición de datos muy rápida. Ideal para zonas de acceso difícil donde el registrador de datos está en la línea de visión.

LinkedIn [www.linkedin.com/company/rst-instruments-ltd](http://www.linkedin.com/company/rst-instruments-ltd)

YouTube [www.youtube.com/user/RSTgeotechnical](http://www.youtube.com/user/RSTgeotechnical)

[www.rstinstruments.com](http://www.rstinstruments.com)



**Claudia Reyes Martínez †**

**Gabriel Moreno Pecero**

Fue jefe de la oficina de Mecánica de Suelos de la ex Secretaría de Obras Públicas, actualmente SCT. Presidió la otrora Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, hoy SMIG. Es académico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

# Análisis de fallas en cimentaciones para silos

Se define una falla como la ocurrencia de comportamientos que ponen en peligro la estabilidad de una estructura o parte de ella, así como la ocurrencia de daños que impiden a la estructura desarrollar sus funciones de diseño.

Las fallas aparecen en todo tipo de estructuras y los silos no son la excepción; sin embargo, para ningún profesionalista es agradable describir equivocaciones o accidentes, tal vez porque durante muchos años se ha ido formando una de las peores acusaciones a nuestra profesión: “Los médicos entierran sus errores, los arquitectos los cubren de hiedra y los ingenieros escriben largos informes que jamás salen a la luz” (Feld, 1978).

La falla de un silo puede ser devastadora. Va desde la pérdida del contenedor y el material almacenado, el daño de estructuras vecinas hasta la pérdida de vidas humanas. Sin embargo, existen defectos o fallas que no son visibles inmediatamente y que varias veces no son aparentes hasta que la construcción se encuentra en uso, momento en el cual una reparación resulta más costosa.

Las causas más frecuentes de fallas en silos son:

- En cimientos, la concentración de altas cargas en superficies relativamente pequeñas.
- Gran esbeltez de las estructuras con influencia de fuerzas por viento y la aplicación de cargas asimétricas.

- Conocimiento dudoso de las presiones internas reales que aparecen en las paredes del silo durante el llenado y vaciado.

## ACCIONES QUE PUEDEN PRESENTARSE EN UN SILO

Los silos son estructuras de almacenamiento que pueden contener diversos tipos de materiales a granel, lo cual es un factor determinante para el análisis de las condiciones de trabajo de estas estructuras. Se encuentran sujetas a diversas condiciones de carga (estáticas y dinámicas), que tienen como resultado diferentes modos de falla.

En la tabla 1 se muestran los tipos de acciones a las que se encuentran sujetas estructuras como los silos, teniendo en cuenta que las acciones más importantes a considerar en el diseño de la cimentación de un silo son el peso propio de la estructura, el peso del material almacenado, la fuerza sísmica y la fuerza del viento.

Cabe mencionar que el proyecto de cimentaciones no es una ciencia exacta y que la misma teoría no es aplicable a todos los problemas que se puedan presentar, debido a la diversa naturaleza de los suelos, ya sea en diferentes lugares y aun en un mismo lugar, ya que el suelo es un material de propiedades inciertas y no uniformes.

## CASOS HISTÓRICOS DE FALLA EN CIMENTACIONES PARA SILOS

En la tabla 2 se muestran algunos casos históricos representativos de fallas en cimentaciones para silos; se describe brevemente el tipo de falla y las causas que llevaron a su ocurrencia.



Figura 1. Falla de silo metálico por problemas de flujo en carga y descarga.



Figura 2. Colapso de silo por fuerza sísmica.

- En los casos en que fue posible una reparación, los costos fueron excesivos.
- En casos de cimentaciones desplantadas en suelos arcillosos, la falla ocurre cuando las cargas son aplicadas rápidamente por primera vez.
- Uno de los errores cometidos fue no tomar en cuenta la excentricidad en la distribución de cargas del silo.
- Otro de los errores comunes no sólo en cimentaciones de silos es creer que una cimentación a base de pilotes es necesariamente segura.

### PRESENCIA DE LOS SILOS EN MÉXICO

Los silos tienen presencia en las plantas cementeras, plantas de proceso industrial e incluso en los puertos marítimos, donde se utilizan como auxiliares para el manejo de grandes



Figura 3. Falla en las paredes de un silo.



Figura 4. Explosión de un silo de concreto en Westwego, EUA.

Derivado del estudio de varios casos históricos de fallas en cimentaciones para silos se concluyó que:

- No existen fallas de una cimentación como unidad estructural.
- En la mayoría de los casos, la falla se debió a la falta de estudios de mecánica de suelos.

Tabla 1. Tipos de acciones que pueden presentarse en un silo

Permanentes	Variables	Accidentales
Peso propio Peso de material almacenado Equipo Otras	Cambios de uso Llenado y vaciado Vibraciones de maquinaria Otras	Sismo Viento Explosiones Otras

Tabla 2. Casos representativos de fallas en cimentaciones para silos

Silo	Falla	Causas
Silo de concreto armado para almacenamiento de cereales en Transcona, Canadá, 1913	Falla por cortante	Se alcanzó la resistencia límite de apoyo en una capa subyacente de arcilla plástica que condujo a una falla al corte
Silo de concreto armado en la ciudad de Portland, EUA	Asentamientos inmediatos al aplicar carga	Se hincaron un número mayor de pilotes creyendo que si la capacidad de soporte de algunos era deficiente, el agregado de un mayor número de ellos daría la capacidad de soporte requerida
Silo metálico multicelular para almacenamiento de cereales en la provincia de Lérida, España, 1970	Asentamientos inmediatos al aplicar carga	Este es un caso típico en el que no se tomó un coeficiente de seguridad suficiente, por lo que estuvo a punto de alcanzarse la resistencia límite de apoyo, producirse la rotura del terreno y por consiguiente el hundimiento de la instalación
Silo de concreto armado para almacenamiento de granos en Szolnok, Hungría	Asentamientos por colapso de suelo debido a saturación de éste	En la búsqueda por reducir los asentamientos se proyectó una losa de concreto sostenida por pilotes. Las vibraciones debidas al hincado, combinadas con el efecto del agua que fue expulsada, produjo el colapso de la arcilla
Silos torre con forma de bala en Red River Valley, Canadá	Falla por cortante	La construcción de los silos se hizo tan cerca que los bulbos de presión en el suelo se superpusieron, lo que provocó grandes tensiones y asentamientos en la cercanía de las cimentaciones

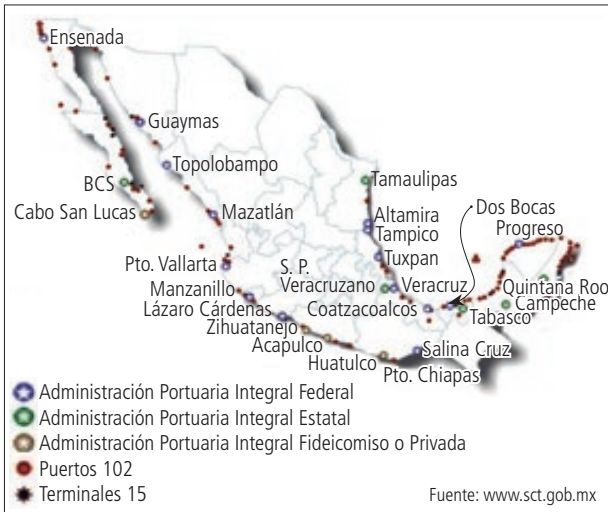


Figura 5. Puertos de México.

cantidades de materiales que se procesan para crear productos nuevos, así como para la comercialización de materias primas que se importan o exportan.

De acuerdo con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, los puertos más importantes del país son Ensenada, Guaymas, Topolobampo, Mazatlán, Puerto Vallarta, Manzanillo, Lázaro Cárdenas, Salina Cruz, Puerto Chiapas, Coatzacoalcos, Dos Bocas, Progreso, Veracruz, Tuxpan, Tampico y Altamira.

Algunos de los silos de capacidad importante se encuentran en los puertos de Guaymas, Lázaro Cárdenas y Chiapas. Sin embargo, puertos como Topolobampo, que realiza manejo de productos gráneles tanto agrícolas como mineros, expresan mediante su Plan Maestro de Desarrollo Portuario la necesidad de contar con instalaciones y silos de manejo especializado con la finalidad de incrementar su competitividad.

En nuestro país hay pocas empresas que se dedican a la construcción de silos (cuando son de concreto) o a su suministro (cuando se trata de silos metálicos), por lo cual puede



Figura 6. Granelera en Manzanillo.



Figura 7. Terminal de granel agrícola en Puerto Chiapas.



Figura 8. Instalación especializada en manejo de granel agrícola en Guaymas.



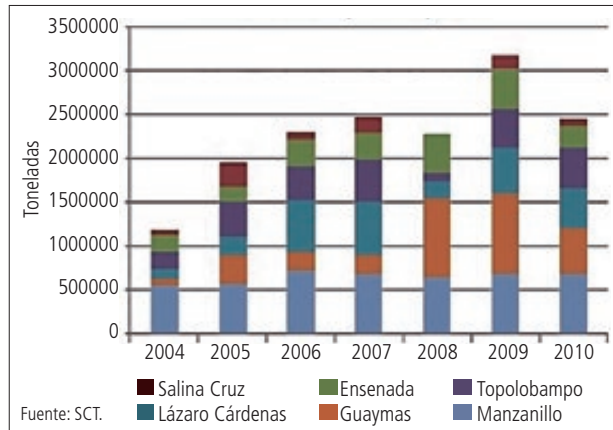
Figura 9. Terminal granelera en Lázaro Cárdenas.

vislumbrarse una oportunidad de desarrollo de la ingeniería civil en un campo laboral distinto de las diversas especialidades de la mecánica de suelos y la ingeniería estructural.

#### NORMATIVIDAD

Cabe mencionar que en nuestro país no existe una normatividad específica para estructuras como los silos. Sin embargo, se tienen algunos parámetros que se pueden utilizar para la revisión de su seguridad estructural, tales como las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal y el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, por lo que resalta la importante necesidad de elaborar normas

Gráfica 1. Composición del tráfico de granel agrícola



adecuadas para este tipo de estructuras. Con esta finalidad pueden utilizarse como referencia las normas ya existentes en países como Alemania, Estados Unidos y Canadá, que han ahondado en el tema y cuentan con normas que han sido puestas a prueba en la construcción de silos y sus cimentaciones y han creado un historial de casos de éxito y de falla ❖

Apreciamos su opinión e información sobre el tema de este artículo.

✉ Escribanos a [geotecnia@heliosmx.org](mailto:geotecnia@heliosmx.org)

#### Bibliografía

- Baracos, A. (1957). M. E. I. C. The foundation failure of the Transcona grain elevator. Ottawa: National Research Council. Canadá.
- Bozozuk, M. (1976). CBD-177 tower silo foundations. *Canadian Building Digest*. Ottawa: National Research Council. Canadá. Disponible en: [http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/cbd/cbd177\\_e.html](http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/cbd/cbd177_e.html)
- Budhu, Muni (2000). *Soil mechanics and foundations*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Comisión Federal de Electricidad, CFE (1981). Manual de diseño de obras civiles. Cap. B.2.4. Cimentaciones en suelos. México.
- Das, Braja M. (2001). *Principios de ingeniería de cimentaciones*. Internacional Thomson.

Dogangun, A., Z. Karaka, A. Durmus y H. Sezen (2009). Cause of damage and failures in silo structures. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 23 (2).

Feld, Jacob (1978). *Fallas técnicas en la construcción*. México: Limusa.

Fletcher, Gordon A. (1982). *Estudios de suelos y cimentaciones en la industria de la construcción*. México: Limusa.

Ibáñez Mora, Luis O. (2001). Solución para cimentaciones de chimeneas y obras de gran altura de la industria azucarera. *Centro Azúcar* 4.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (1990). *Recomendaciones para el diseño y construcción de silos de concreto: (ac1 313-77) y comentarios*. México: Limusa.

Juárez Badillo, Eulalio, y Alfonso Rico Rodríguez (2003). *Mecánica de suelos. 2. Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos*. México: Limusa.

Logeais, L. (1984). *Construcción: patología de las cimentaciones*. Madrid: Gustavo Gili.

Meli Piralla, Roberto (1991). *Diseño estructural*. México: Noriega.

Peck, Ralph B. (1988). *Ingeniería de cimentaciones*, 2ª ed. México: Limusa.

Ravenet, J. (1977). *Silos: teoría, investigación, construcción*. Madrid: Editores Técnicos Asociados.

Ravenet, J. (1978). *Silos: deformaciones, fallas, explosiones, prevención de accidentes*. Madrid: Editores Técnicos Asociados.

Reglamento de Construcciones del Distrito Federal RCDF-94 y sus Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones.

Reimbert, Marcel, y André Reimbert (1962). *Construcción de silos, teoría y práctica*. Madrid: Aguilar.

Sowers, George B. (1972). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México/Buenos Aires: Centro Regional de Ayuda Técnica.

Szechy, C. (1964). *Fallas en fundaciones*. Buenos Aires: Editora Tecniciencia.

Tschebotarioff, Gregory Porphyriewitch (1958). *Mecánica del suelo, cimientos y estructuras de tierra*. Madrid: Aguilar.

Williams, David Bernard (1996). Mantenimiento y funcionamiento de silos. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 113.

Zeevaert, Leonardo (1980). *Interacción suelo-estructura de cimentaciones superficiales y profundas, sujetas a cargas estáticas y sísmicas*. México: Limusa.

<http://manzanillo.mexicoexport.com/noticias/6544/primer-terminal-granel-agricola-puerto-chiapas>

[http://umanitoba.ca/libraries/archives/exhibits/agric\\_exper/agri-food/infoagfdcollage.html](http://umanitoba.ca/libraries/archives/exhibits/agric_exper/agri-food/infoagfdcollage.html)

<http://www.sct.gob.mx>



"Su concepto o necesidad nosotros lo hacemos realidad"

### Laboratorio de mecánica de suelos

FLOPAC cuenta con siete equipos triaxiales que nos permiten realizar ensayos tipo UU, CU y CD con señales periódicas senoidales (ensayos cíclicos) y monotónicas (ensayos estáticos) a carga y desplazamiento controlado.

Los equipos están instrumentados con celda de carga sumergible, sensor de desplazamiento axial, sensor de cambio de volumen y sensores de presión (confinamiento, contrapresión y presión de poro).

#### EJECUCIÓN DE ENSAYOS Y VENTA DE EQUIPO

María Hernández Zarco Núm 12, Col. Álamos, Del. Benito Juárez C.P. 03400, México, D.F.

[contacto@flopac.com.mx](mailto:contacto@flopac.com.mx)

Tels: 5519.0304 - 6284.2706

[www.flopac.com.mx](http://www.flopac.com.mx)



EQUIPOS TRIAXIALES



PROGRAMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL EQUIPO TRIAXIAL

## LIBROS

### FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS OF ROCK MECHANICS

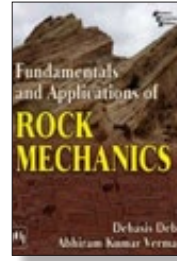
Debasis Deb y Abhiram K. Verma, PHI Learning, 2016

La materia de mecánica de rocas es de primer orden en las carreras de minería y de ingeniería geotécnica; durante las últimas décadas los conceptos y aplicaciones de la estabilidad y la seguridad de estructuras hechas a base de enrocamientos o construidas sobre macizos rocosos han evolucionado tremendamente.

En este libro se presentan los conceptos básicos de la mecánica de rocas para el diseño y análisis de estructuras y excavaciones con una gran variedad de aplicaciones. El texto incluye una combinación ideal de teoría, ejemplos

resueltos y aplicaciones, y hace énfasis en los principios del análisis de esfuerzos y deformaciones, relaciones entre volumen y peso, sistemas de clasificación de macizos rocosos, mediciones de esfuerzos en campo, esfuerzos alrededor de excavaciones subterráneas, diseño de pilares y soportes, hundimiento regional, estabilidad de taludes, criterios de falla de rocas y comportamiento de macizos rocosos fracturados. También se comentan los procedimientos de análisis numéricos y la interacción entre anclas para roca y el macizo rocoso.

Además de estudiantes universitarios y de posgrado en Ingeniería civil



(incluyendo la especialidad de Geotecnia), de minas y petrolera, el libro es útil para ingenieros en ejercicio e investigadores que desean familiarizarse con el estado actual del conocimiento sobre las técnicas de la mecánica de rocas y sus aplicaciones. En términos generales, este material tendrá beneficios para un aprendizaje elemental o avanzado; su tema principal es el análisis exhaustivo de las propiedades de la roca intacta, de los macizos rocosos y de las discontinuidades para determinar resistencia y deformabilidad. Se incluyen 120 ejemplos resueltos y más de 160 ejercicios, alrededor de 260 diagramas, más de 50 imágenes a color y 40 tablas. Se tratan aspectos como criterios de fluencia de la roca, procedimientos de análisis numéricos y comportamiento de rocas fracturadas.

## TESIS

### Análisis estocástico de estructuras térreas. Enfoque espectral

Tesis de **Alma Rosa Pineda Contreras** para obtener el grado de doctora en Ingeniería civil  
Facultad de Ingeniería, UNAM  
Asesor: Gabriel Auvinet Guichard

En esta tesis se propone una extensión del método del elemento finito estocástico espectral (MEFEE) en dos dimensiones para el caso de materiales elásticos lineales anisótropos con que se construyen estructuras térreas. Con esta técnica numérica se estudió la influencia de la variabilidad espacial de los parámetros de los materiales, representada mediante campos aleatorios, sobre los resultados de la evaluación del estado de desplazamientos y esfuerzos de la cortina de una presa de tierra construida por capas.

La extensión se desarrolló con base en las herramientas de la formulación matemática original de este método. Tal ampliación permite tratar la variabilidad espacial mediante campos aleatorios gaussianos y realizar investigaciones de la influencia de la incertidumbre sobre los parámetros elásticos lineales anisótropos (módulo de elasticidad y relación de Poisson) en forma aislada o conjunta. La extensión se

planteó para estados planos de esfuerzo y deformación. Consistió inicialmente en representar los elementos de la matriz de elasticidad en forma lineal a través de una expansión polinomial. Después, para derivar las ecuaciones de equilibrio estocásticas, los campos aleatorios de las propiedades del material a modelar se discretizaron con una expansión en serie de Karhunen-Loève con variables aleatorias expandidas en caos polinomial. El campo aleatorio de los desplazamientos nodales se presentó a través de una expansión en caos polinomial.

La ampliación del enfoque espectral desarrollada en este trabajo se validó con un sólido cúbico, en el que los resultados tuvieron buena concordancia con el método de Monte Carlo. La funcionalidad de la extensión del MEFEE para estructuras térreas se demostró con el análisis estocástico de la cortina de una presa de tierra, cuyos resultados permitieron conocer aspectos de la variabilidad espacial de las propiedades de los materiales que son relevantes para la evaluación del peligro de agrietamiento en este tipo de obras.

Finalmente, se hacen algunas recomendaciones para mejorar la modelación de la incertidumbre en presas de tierra y enrocamiento mediante esta técnica ❖

## 2017

- 12-15 **Geotechnical Frontiers 2017**  
Marzo  
Orlando, EUA  
[geosyntheticsconference.com](http://geosyntheticsconference.com)
- 13-16 **7th International Symposium in Geomechanics**  
Marzo  
Medellín, Colombia  
[www.isrm.net/fotos/editor2/NI36/7\\_simposio\\_internat\\_geomecanica.pdf](http://www.isrm.net/fotos/editor2/NI36/7_simposio_internat_geomecanica.pdf)
- 22 y 23 **Curso "Análisis de hincabilidad e integridad de cimentaciones profundas"**  
Marzo  
Ciudad de México  
[www.smig.org.mx](http://www.smig.org.mx)
- 27-30 **International Conference on Advances in Structural and Geotechnical Engineering 2017**  
Marzo  
Hurghada, Egipto  
[icasge.com](http://icasge.com)
- 3-6 **9th International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground**  
Abril  
São Paulo, Brasil  
[www.is-saopaulo.com](http://www.is-saopaulo.com)
- 27-29 **Third Bolivian International Conference on Deep Foundations**  
Abril  
Santa Cruz de la Sierra, Bolivia  
[www.cfpbolivia.com](http://www.cfpbolivia.com)

10-13 **4th ISRM Young Scholars' Symposium on Rock Mechanics y 5th International Conference on New Development in Rock Mechanics and Geotechnical Engineering**  
Mayo  
Seúl, República de Corea  
[www.ystrm2017.com](http://www.ystrm2017.com)

24-26 **JTC1 Workshop – Advances in Landslide Understanding**  
Mayo  
Barcelona, España  
[congress.cimne.com/jtc1/frontal/default.asp](http://congress.cimne.com/jtc1/frontal/default.asp)

27 y 28 **5º Coloquio de Jóvenes Geotecnistas y 2º Encuentro de Profesores en Geotecnia**  
Octubre  
Puebla, México  
[www.smig.org.mx](http://www.smig.org.mx)



## 2019

17-20 **XVI Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica**  
Noviembre  
Cancún, México  
[panamerican2019mexico.com](http://panamerican2019mexico.com)



SUMINISTROS TECNOLÓGICOS PARA LABORATORIO, S.A. DE C.V.

## EQUIPOS PARA PRUEBAS DE MATERIALES:

- Suelos
- Concreto
- Cemento
- Agregados
- Asfalto

Tel: (55) 6720 3445 al 49  
[ventas@sutek.com.mx](mailto:ventas@sutek.com.mx)  
[www.sutek.com.mx](http://www.sutek.com.mx)



## Germán López Rincón

Ingeniero civil con maestría en Mecánica de suelos. Fue jefe del Departamento de Ingeniería Civil y Estructural dentro de la Gerencia de Ingeniería de Proyectos en Fertimex. Participó en la definición del tipo de cimentación para las estructuras y equipos del complejo Lázaro Cárdenas. Supervisó personalmente los trabajos de reparación por sismo en dicha unidad. Actualmente es profesor de tiempo completo y jefe de la División de Ingenierías Civil y Geomática en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

# El proceso enseñanza-aprendizaje. ¿Cómo mejorarlo?

El objetivo de un buen profesor debe ser que los estudiantes aprendan a analizar, sintetizar y aplicar los conocimientos adquiridos, de tal manera que les permitan interpretar correctamente los fenómenos de la naturaleza y resolver los problemas que ese entendimiento les plantea.

Las estadísticas de acreditación de las asignaturas de las carreras de Ingeniería civil e Ingeniería geomática en la Facultad de Ingeniería de la UNAM muestran que únicamente 60% de los estudiantes que ingresan cada año acreditan el 100% de las materias del primer año de la carrera, y sólo entre 47 y 56% alcanzan la totalidad de los créditos en el tiempo reglamentario.

Ante este panorama, se hace pertinente una pregunta: ¿cómo aumentar la eficiencia terminal y la titulación de los estudiantes? No se trata de regalar calificaciones, sino de encontrar la forma de incrementar la eficiencia terminal sin menoscabo de la calidad del aprendizaje de los estudiantes, fin primordial que debe ocupar a la planta docente.

La respuesta a esta pregunta no es sencilla. Para encontrarla, antes es necesario plantearse otras cuestiones.

Buscando bibliografía sobre el tema, encontré un libro que —me pareció— contiene muchas de las respuestas dirigidas a un profesor comprometido con sus estudiantes para lograr que éstos adquieran un aprendizaje significativo.

El libro se titula *Lo que hacen los mejores profesores de universidad*, y fue escrito en 2004 por Ken Bain, profesor de la Universidad de Nueva York, quien junto con otros colegas

llevó a cabo una investigación para conocer qué hacen los mejores profesores de universidad para lograr que los estudiantes aprendan.

En lo que sigue trataré de resumir las ideas que más llamaron mi atención y me hicieron reflexionar sobre mi papel de profesor.

Bain plantea en su libro las siguientes preguntas:

1. ¿Qué es un proceso enseñanza-aprendizaje?
2. ¿Cómo preparan los profesores sus clases?
3. ¿Qué esperan de sus estudiantes?
4. ¿Cómo dirigen la clase?
5. ¿Cómo tratan a sus estudiantes?
6. ¿Cómo evalúan a sus estudiantes y a ellos mismos?

Más que intentar definir el concepto del proceso enseñanza-aprendizaje, se plantea un ejemplo. El profesor pretende enseñar a sus alumnos un tema de la asignatura que imparte. Si el estudiante entiende y asimila el tema, el proceso se cumple; si no, el proceso falla.

Las causas para determinar que un proceso falla pueden ser varias:

- a. No se expuso el tema con la claridad suficiente.
- b. El estudiante no tiene los conocimientos básicos para entender el tema.
- c. El profesor no conoce el tema con la debida profundidad y, por lo tanto, no es capaz de exponerlo con la claridad suficiente.
- d. El profesor no pudo despertar el interés por el tema en el estudiante.

Independientemente de la respuesta elegida, cualquiera de ellas lleva a otra pregunta: ¿qué hacen los mejores profesores para conseguir que el proceso enseñanza-aprendizaje se cumpla?

Algunos profesores piensan que no es importante si a los estudiantes les gustan o no las clases, siempre y cuando aprendan la materia. ¿Cuál puede ser el resultado de esta manera de pensar?: que los estudiantes lleguen a odiar la materia. Un punto de vista como éste puede causar un daño al estudiante.

El aprendizaje es un proceso complejo. Lo importante es el aprendizaje profundo; no solamente el aprender para pasar la materia, sino el aprender a conocer lo mucho que falta por aprender.

No se puede ser un buen profesor si no se conoce la materia extremadamente bien; se debe ser erudito en ella.

En una ocasión, cuando estudiaba para aprender inglés, mi profesor me dijo: “No puede hablarse bien un idioma si no se tiene un vocabulario amplio, por más que se conozcan las reglas gramaticales de ese idioma.”

No se trata de almacenar conocimientos, sino de construir el conocimiento propio. Los buenos profesores también tienen sus días malos, pero no culpan a los estudiantes de las dificultades a las que se enfrentan; se puede enseñar a los mejores estudiantes o a los más perezosos, el reto es lograr que estos últimos aprendan.

Es importante tener en cuenta que los mejores docentes no nacen: se hacen. Es posible aprender a ser buen docente; no se trata solamente de transmitir el conocimiento sino de estimular la construcción de éste.

Es un error hacer ver a los estudiantes como ignorantes; más bien deben plantearse preguntas para que ellos mismos encuentren la respuesta, retrocediendo al conocimiento que sirve de base a la respuesta correcta. Por supuesto que esta técnica puede llevar a la conclusión de que la falta de conocimiento está en los estudios previos, desde la secundaria hasta la preparatoria. Mi maestro, el doctor Leonardo Zeevaert, seguía en muchas ocasiones esta técnica.

El interés es crucial. Si un profesor no tiene interés, no intentará conciliar, explicar, modificar o integrar el conocimiento nuevo con el antiguo.

Hay que generar confianza en los estudiantes respecto al aprendizaje y tratar de evitar que solamente “aprendan” para aprobar la materia.

En general los estudiantes piensan que aprender no es más que un cotejo con los expertos; conseguir la respuesta correcta y memorizarla; una idea es correcta si se tiene la sensación de que es correcta. Saben las reglas del juego: le dan al profesor lo que quiere sin que les haya servido para saber cómo piensan, actúan o sienten.

### ¿CÓMO PREPARAN SUS CLASES?

Bain expone que, para preparar su clase, los buenos profesores se plantean una serie de preguntas. De éstas he elegido las que considero las más relevantes:

1. ¿Qué deberían ser capaces de hacer, intelectual, física o emocionalmente mis alumnos como resultado de su aprendizaje?



FOTO: UCHILE.CL

Ser un buen docente no se trata solamente de transmitir el conocimiento sino de estimular la construcción de éste.

2. ¿Cómo puedo ayudarlos a lograrlo?
3. ¿Cómo podemos, mis estudiantes y yo, entender mejor la naturaleza?
4. ¿Cómo puedo evaluar mis intentos de fomentar ese aprendizaje?
5. ¿Qué capacidades de razonamiento deben tener o desarrollar los estudiantes para responder a las preguntas que plantea la asignatura que imparto? Se espera algo más que la mera memorización de respuestas correctas.
6. ¿Cómo ayudar para que mis estudiantes *aprendan a aprender*, a examinar y valorar su propio aprendizaje y capacidad de razonamiento y a leer de forma más efectiva, analítica y vigorosa?
7. ¿Cómo averiguar lo que ya saben y lo que esperan del curso y cómo se podrán reconciliar las diferencias entre mis expectativas y las suyas? Es importante identificar las concepciones fundamentales que impidan a los estudiantes comprender ideas importantes.
8. ¿Puedo demostrar cómo aprendo yo mismo y cómo resuelvo problemas de la disciplina?
9. ¿Cómo averiguaré de qué manera están aprendiendo antes de calificarlos e independientemente de cualquier calificación que les dé?
10. ¿Cómo ayudaré a los estudiantes para que aprendan a calificar su propio trabajo con las reglas dadas el primer día de clase? Si los estudiantes no pueden aprender a juzgar la calidad de su propio trabajo, entonces no han aprendido. Se espera que los estudiantes comprendan su propio aprendizaje.

Ayudar y animar de la mejor forma a que las personas aprendan. La labor del profesor es generar la motivación de aprender utilizando las herramientas y conocimientos que los estudiantes poseen para construir sus propios procedimientos que les permitan resolver los problemas que se les plantean en la asignatura. El profesor debe dejar de ser un trasmisor de conocimientos para convertirse en un creador de ambientes de aprendizaje profundo.

### ¿QUÉ ESPERAN DE SUS ESTUDIANTES?

Es un estereotipo, por ejemplo, afirmar que las mujeres en general son inferiores en la capacidad de aprender matemáticas. Se dice que son iguales hasta cierto umbral, pero más allá se nota la diferencia. Esta es una idea equivocada. En contra de ella, los mejores profesores tienden a buscar y apreciar el valor individual de cada estudiante independientemente de su género.

Si establecen niveles de exigencia altos, los animan a alcanzarlos; promueven el estímulo intelectual y la curiosidad en lugar de la preocupación y la duda relacionadas con la obtención de una buena nota.

Establecen tareas individuales ajustadas a la capacidad real de cada estudiante y esperan más de los estudiantes con notas bajas; los estimulan para elevarlas.

El aprendizaje involucra tanto el desarrollo personal como el intelectual. Las personas pueden cambiar, y esos cambios constituyen un aprendizaje auténtico.

Los profesores más efectivos promueven el desarrollo intelectual y evitan preguntas como ésta: “¿Quién me cuenta lo que dice este artículo?”, en vez de preguntar: “¿Qué pueden concluir de la lectura del artículo?”.

Toman en cuenta el desarrollo personal de los estudiantes. Los tiempos del aula pertenecen al estudiante, no a los estudiantes. No se enseña a una clase, se enseña a un estudiante.

### ¿CÓMO DIRIGEN LA CLASE?

Los profesores calificados como excelentes plantean que es importante crear un entorno de aprendizaje adecuado y establecen algunos elementos que ayudan a crearlo.

- a. Hacen preguntas que intriguen a los estudiantes, que los hagan pensar.
- b. Los ayudan a comprender el significado de la pregunta. En muchas ocasiones es de gran ayuda plantear controversias con ideas opuestas de investigadores renombrados. En particular, el área de geotecnia tiene varios temas en los que la controversia se vuelve muy interesante.
- c. Comprometen a los estudiantes en alguna actividad de mayor alcance que la exigencia propia de la asignatura que se imparte; por ejemplo, piden investigar qué aplicación tiene el tema que se está tratando en la solución de problemas de la práctica.
- d. Ayudan a los estudiantes a contestar las preguntas poniendo ejemplos donde se muestra de manera implícita la respuesta.

Este entorno es difícil de crear. Sin embargo, los mejores profesores lo intentan: consiguen la atención y tratan de no perderla; comienzan con los estudiantes, en lugar de con la asignatura; buscan compromisos; ayudan a los estudiantes a aprender fuera de clase; atraen a los estudiantes al razonamiento de la disciplina; piensan en enseñar a comprender, aplicar, analizar, sintetizar y evaluar evidencias y

conclusiones; los mejores profesores crean experiencias de aprendizaje diversas.

Para lograr o intentar lograr lo anterior, se requiere buena oratoria, cualidad de la que algunos de nosotros carecemos; explicar algo de manera detallada aunque los estudiantes ya lo conozcan; dejar que hablen los estudiantes y no dar por sentado que el tema es sabido.

### ¿CÓMO TRATAN A SUS ESTUDIANTES?

El trato que se les da a los estudiantes influye en la forma en que responden; hacerlos parecer estúpidos no los ayuda, más bien los daña.

Es importante hacer que los estudiantes se comprometan y hacerles comprender que no es lo mismo sacar buenas calificaciones que aprender. Si los estudiantes no aprenden, el fracaso es del profesor.

La confianza es primordial; si un estudiante quiere aprender, no busca quién le resuelva un examen en casa. Pensar, si los estudiantes no aprenden, que no es que nos tocaron los peores estudiantes, sino que tenemos un reto mayor por resolver para lograr que su aprendizaje sea efectivo. Es una buena idea, aun cuando podemos saber más que nuestros estudiantes, estar conscientes de lo mucho que no sabíamos y de lo mucho que seguimos sin saber.

Es importante que nunca pongamos a los estudiantes en ridículo, ya que esto los puede afectar; es preferible, en vez de decirles que están equivocados, hacerles preguntas que los hagan pensar para que ellos mismos encuentren la respuesta.

### ¿CÓMO EVALÚAN A SUS ESTUDIANTES Y A ELLOS MISMOS?

Algunos profesores, desafortunadamente, preparan sus exámenes tratando de confundir a sus estudiantes y congratulándose de lograrlo; consideran que las evaluaciones son una manera de separar a los buenos de los malos estudiantes, sin darse cuenta de que los malos son un reflejo de la docencia que se ejerce.

El profesor debe preguntarse sobre qué tipo de desarrollo intelectual y personal quiere que sus estudiantes disfruten en su clase y qué evidencias podrá obtener sobre la naturaleza y el progreso de ese desarrollo.

Los buenos profesores son capaces de lograr que sus estudiantes se den cuenta de si podrán cumplir con los compromisos que entraña llevar la asignatura en la que se inscribieron. Es común escuchar decir que no tuvieron tiempo de hacer la tarea que se les dejó porque en otras asignaturas les dejaron también una buena cantidad de trabajo. Es importante que el profesor les haga notar que no se trata de tomar los cursos que les permite el plan de estudios, si a la hora de responder, materialmente no tienen tiempo. Les explica que si no entregan una tarea a tiempo no tendrán la oportunidad de recibir las observaciones que muy probablemente les servirán para las tareas siguientes. Vale la pena evaluar si descontar puntos por entregas tardías o aumentar

puntos por la participación en clase sirven de verdad para el aprendizaje del estudiante.

El buen profesor explora las ambiciones de sus estudiantes, sus enfoques y concepciones sobre el aprendizaje; sus formas de razonar, los modelos mentales que traen consigo; su temperamento, sus costumbres emocionales y hábitos personales. Conoce por su nombre a sus estudiantes y les pregunta de manera anónima qué esperan del curso que están iniciando.

Participan activamente en las academias de la asignatura que imparten y se retroalimentan de las experiencias de otros profesores para mejorar su docencia. Toman en cuenta las encuestas que les hacen a los estudiantes al final del curso, ya que pueden ayudar a mejorar la manera en que imparten su asignatura al corregir los errores que los estudiantes ven en su forma de enseñar.

El objetivo es que el proceso se base en el aprendizaje y no en el rendimiento. Es importante explicar el nivel de exigencia que se fija en el curso.

El objetivo primario es ayudar a los estudiantes a razonar sobre su propio pensamiento, de forma que puedan utilizar los estándares de la disciplina o profesión para reconocer las deficiencias y corregir sus razonamientos sobre la marcha.

No califican obedeciendo a la distribución normal. Si todos los estudiantes están para sacar 10, eso tendrán; si están para “no acreditado”, es lo que obtendrán. No se trata de saber qué va a venir en el examen, sino de demostrar que se ha aprendido; los exámenes deben formularse sobre esa base.

Consideran que los exámenes deben ser globales, es decir, que cada uno reemplaza al anterior, lo que significa que el examen final incluye todo el curso y representa todo lo aprendido. Esto puede hacer pensar que los estudiantes retrasen el aprendizaje hasta el final; sin embargo, lo que importa es enrolos en el curso cautivándolos con el aprendizaje que obtienen en cada clase.

Hay enfoques tradicionales para evaluar la docencia. El modelo basado en el rendimiento juzga a los instructores sobre si cumplen en el aula con alguno de los hábitos aceptados y con qué frecuencia: usan la tecnología más avanzada, generan discusiones en clase, llaman a los estudiantes por su nombre, escriben con claridad en el pizarrón, devuelven pronto los exámenes corregidos, utilizan los debates o los estudios de caso, explican con claridad en la clase. Aunque todo esto está bien, sigue manteniendo la atención en lo que hace el profesor en lugar de en lo que aprenden los estudiantes.

Lo fundamental es mantener un enfoque en el aprendizaje y habría que responder a las preguntas siguientes:

- ¿Vale la pena aprender la materia?
- ¿Están aprendiendo lo que se supone que enseña el curso?
- ¿Ayudo y animo a los estudiantes a aprender?
- ¿He causado algún daño a los estudiantes –quizá fomentando el aprendizaje estratégico de corto plazo, desatendiendo las necesidades de una población estudiantil

diversa– o he fallado a la hora de evaluar el aprendizaje de los estudiantes?

Para responder a esas preguntas, los mejores profesores se someten a un examen exhaustivo de sus objetos de aprendizaje, consultan con sus colegas en las academias de la asignatura y exponen estos objetos ante los demás para encontrar las fallas y corregir errores.

Las valoraciones que los estudiantes hacen de un profesor ¿reflejan realmente el desempeño de éste, u obedecen al capricho del estudiante?

Si un profesor obtiene de sus alumnos altas calificaciones, ¿es reflejo de lo que aprendieron los estudiantes o bien de lo que memorizaron bien?

Si obtiene calificaciones promedio, ¿se debe a que una parte del grupo lo calificó muy bien y otra parte muy mal?

Una calificación alta solamente es válida si el objetivo del aprendizaje se cumplió y, en términos generales, una calificación baja refleja una falla en la docencia/aprendizaje del profesor.

¿Qué debe tomarse en cuenta para evaluar la docencia de un profesor? La respuesta son varios aspectos, como:

- Las evaluaciones de los estudiantes
- La calidad de los trabajos o tareas desarrollados por los estudiantes
- El aprendizaje obtenido
- Si el profesor ha causado algún daño a los estudiantes
- Las observaciones que hacen los pares

Este último aspecto debe tomarse con cautela, ya que es común dar altas calificaciones a los profesores que enseñan igual que uno y bajas a los que no.

Lo interesante no es saber cuál método de aprendizaje se está usando, sino el hecho de que los estudiantes aprendan.

Después de repasar lo que los buenos profesores hacen, de acuerdo con la investigación realizada por el autor del libro, he llegado a la conclusión de que una buena parte de las preguntas que se plantean los buenos profesores sí me las he planteado cada vez que inicio un curso; sin embargo, también me doy cuenta de que, a pesar de los años que tengo de ser profesor, me falta mucho por mejorar para alcanzar el objetivo principal de la docencia: que los estudiantes aprendan a analizar, sintetizar y aplicar los conocimientos adquiridos, de tal manera que les permitan interpretar correctamente los fenómenos de la naturaleza y resolver los problemas que ese entendimiento les plantea ❖

Apreciamos su opinión e información sobre el tema de este artículo.  
✉ Escribanos a [geotecnia@heliosmx.org](mailto:geotecnia@heliosmx.org)

#### Bibliografía

- Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Contaduría y Administración, ANFECA (2016). Estrategias en el proceso de enseñanza-aprendizaje. LVII Asamblea Nacional de la ANFECA. Puebla.
- Bain, Ken (2007). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios*. Valencia: Universidad de Valencia.



## 2ª Jornada de la Ingeniería con Geosintéticos

La Jornada de la Ingeniería con Geosintéticos es organizada de manera conjunta por la SMIG y el capítulo mexicano de la Sociedad Internacional de Geosintéticos (IGS México). En esta segunda edición, que se llevó a cabo los días 28 y 29 de octubre de 2016, participó un centenar de personas entre profesionales de la geotecnia, constructores, representantes de dependencias gubernamentales y estudiantes. El programa internacional de conferencias técnicas contó con los mejores exponentes en el ámbito de las aplicaciones de los geosintéticos en las vías terrestres.

La jornada fue el marco para dar cabida al programa Embajadores de la IGS Internacional, que consiste en patrocinar la participación de un experto internacional; en esta ocasión fue Jorge Zornberg, profesor investigador en la Universidad de Texas en Austin y ex presidente de la IGS Internacional.

Raúl Aguilar Becerril, en su calidad de presidente de la mesa directiva 2015-

2016, y Guillermo López Mellado, secretario de IGS México, dirigieron sendos mensajes durante la ceremonia en la que Jesús Felipe Verdugo López, director general de Servicios Técnicos de la SCT y entonces presidente de la AMIVTAC, hizo la declaratoria inaugural.

Para iniciar el programa, Rafael Morales y Monroy hizo un recorrido histórico del uso de estos materiales en diversas obras. A continuación, Víctor Alberto Sotelo Cornejo, director de Estudios en la Dirección General de Servicios Técnicos, expuso la situación actual de la normativa SCT en materia de geosintéticos.

Para dar inicio a las conferencias técnicas, Richard Bathurst, profesor en la Universidad de Queens, ex presidente de la Sociedad Canadiense de Geotecnia, presidente del Instituto de Ingeniería de Canadá y editor de la revista *Geosynthetics International*, expuso el tema "Aplicaciones en muros de contención reforzados con geosintéticos" haciendo un recuento de la evolución de las metodologías de diseño

en muros mecánicamente estabilizados. En seguida, Ennio Palmeira, profesor de la Universidad de Brasilia, ganador del premio Terzaghi de la Asociación Brasileña de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica y del premio al mérito científico de la presidencia de Brasil, expuso el uso de geosintéticos como refuerzo en terraplenes construidos sobre suelos blandos.

George Koerner, director del Geosynthetic Institute y creador del programa de acreditación de laboratorios y pruebas de laboratorio en geosintéticos, dio un panorama general del uso de éstos en las vías terrestres.

Para finalizar, el embajador IGS, Jorge Zornberg, dirigió un mensaje a los asistentes en el que habló de los planes y la misión de esa sociedad en México; culminó con una conferencia sobre el uso de los geosintéticos como refuerzo de pavimentos y una invitación para que los ingenieros geotecnistas vean en esos materiales una solución para muchos problemas geotécnicos ➡

## V Encuentro: El posgrado en la ingeniería civil

Los días 1 y 2 de diciembre pasados se realizó en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco del IPN el "V Encuentro: El posgrado en ingeniería civil". Se presentaron las ponencias de alumnos de posgrado que fueron seleccionadas por el comité organizador de las áreas de Estructuras, Geotecnia, Hidráulica, Ingeniería Ambiental y Planeación Territorial. También hubo trabajos que se expusieron en formato de cartel.

Durante esta reunión se llevaron a cabo dos conferencias magistrales. David León Escobedo, presidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, presentó "Retos de la ingeniería civil donde el posgrado puede aportar soluciones", durante la cual compartió sus experiencias profesionales y comentó sobre la importancia de algunos temas particulares de la ingeniería sísmica en la sociedad.

Raúl Aguilar Becerril, presidente de la Mesa Directiva 2015-2016 de la SMIG, impartió la conferencia "Parámetros que controlan la respuesta sísmica del terreno", donde se refirió al origen de los sismos, la evaluación del peligro sísmico y la determinación de espectros de peligro uniforme, los efectos de sitio en la respuesta sísmica, espectros de diseño de campo libre y los efectos de la interacción suelo-estructura.

Durante el acto de clausura se entregaron los reconocimientos a las mejores ponencias y carteles. En Ingeniería Ambiental, Irving Rojas Rivera (artículo) y Juan Carlos Velazco Vite (cartel). En Estructuras, Ricardo A. González Méndez (artículo) y Miguel Ángel Jiménez Castillo (cartel). En Geotecnia, Gaudencio Durán Lucero (artículo) y Keendy Estrella Hernández Ortega (cartel). En Hidráulica, Daniel Sánchez Rivas (artículo) y Erick Mathen Muñoz (cartel). En Planeación Territorial, Zabdiel Borjas López (artículo) y Guadalupe Araceli Martínez Carmona (cartel) ➡


## Mesa entre amigos “Recordando al ingeniero Enrique Santoyo Villa”

El Instituto Nacional de Bellas Artes, a través de la Dirección de Arquitectura y Conservación del Patrimonio Artístico Inmueble, coordinó la organización de una mesa entre amigos para recordar a uno de los más notables especialistas de México: el ingeniero Enrique Santoyo Villa, cuyo trabajo destacó de manera significativa en acciones fundamentales para la preservación de inmuebles históricos, entre ellos la Catedral Metropolitana. Este evento fue realizado en la Sala Manuel M. Ponce del Palacio de Bellas Artes el 7 de diciembre de 2016.

En la sala se hicieron presentes familiares, amigos y colaboradores cercanos de la empresa TGC; en la mesa participaron sus colegas universitarios más cercanos, como Roberto Meli, Gabriel Yves Armand Auvinet y José Luis Sánchez Martínez; también estuvieron los arquitectos Xavier Cortés Rocha, Raúl Delgado y Dolores Martínez Orralde, directora de Arquitectura del INBA, quien organizó y moderó la mesa.

Martínez Orralde dijo que hablar de creatividad, amistad, gratitud, admiración, reconocimiento, formación y amistad es una manera de describir lo que representaba el ingeniero Santoyo para el INBA.

En la mesa se compartieron anécdotas y experiencias de trabajo y amistad con el ingeniero Santoyo Villa. Las obras en las que colaboró Santoyo conjuraron el probable colapso en la Catedral, señaló el director de Sitios y Monumentos del Patrimonio Cultural de la Secretaría de Cultura.

El momento más emotivo de la mesa fue el cierre, durante la intervención de Enrique Santoyo Reyes, hijo del ingeniero Santoyo. Habló del legado de su padre, de todo el trabajo de investigación especializada plasmado en varias publicaciones y lo que representa para los jóvenes, estudiantes de arquitectura, ingeniería y materias afines, así como de la necesidad de promoverla y continuar divulgando la experiencia aplicada y viva de su padre en las futuras generaciones 

## Informe de actividades 2015-2016 y comida de fin de año

La Mesa Directiva 2015-2016 de la SMIG presentó su informe de actividades ante los consejos Consultivo y de Honor el pasado 14 de diciembre de 2016, cuando también se realizó la comida de fin de año.

Raúl Aguilar Becerril, presidente de la Mesa Directiva, informó que durante 2016 se impartieron 21 cursos, cuatro conferencias-desayuno y un seminario en línea a cargo de Gabriel Auvinet; se presentaron libros y hubo más de 15 visitas a distintas universidades del país para acrecentar el vínculo con la academia nacional, además de actividades en conjunto con las delegaciones. Se dio a conocer que hasta el momento existen 698 socios activos e inactivos, de los cuales 88 son nuevos, 430 alumnos integrados en los 23 capítulos estudiantiles y 23 socios institucionales. Durante el bienio a su cargo se publicaron siete números de la revista

*Geotecnia*, del 235 al 242, con el que se cerró su gestión.

Se informó sobre la histórica aceptación de 26 artículos para el 19º Congreso Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica a celebrarse en septiembre de 2017 en Seúl, Corea del Sur.


Se revisó la celebración de la XXVIII Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica y la XIX Reunión Nacional de Profesores de Ingeniería Geotécnica del 23 al 26 de noviembre de 2016 en la ciudad de Mérida, Yucatán, a la que acudieron más de 600 personas entre ingenieros, estudiantes, expositores, invitados especiales y acompañantes. Se llevaron a cabo cuatro conferencias magistrales y tres eventos estudiantiles, y en la Expo Geotecnia se logró una cifra récord de 48 puestos, entre otras actividades.

Por último, se informó cómo quedó conformada la Mesa Directiva 2017-

2018, encabezada por Carlos Roberto Torres Álvarez.

Posteriormente, Guillermo Springall Cáram dirigió unas palabras a la mesa directiva saliente; reconoció el trabajo hecho durante los recientes dos años y el apoyo brindado por los consejos Consultivo y de Honor. También invitó a seguir trabajando en conjunto por el crecimiento y reconocimiento de la SMIG.

Carlos Roberto Torres Álvarez comparó con los asistentes algunas de sus ideas para los próximos años al frente de la SMIG y convocó a los consejos de Honor y Consultivo a participar activamente y proponer actividades con las que se enaltezca el desarrollo técnico y de investigación de la ingeniería geotécnica.

Ésta resultó una ocasión ideal para intercambiar ideas sobre diversas actividades para el año 2017, empezando por el 60 aniversario de la SMIG 

# Toma posesión la Mesa Directiva 2017-2018 de la SMIG

El pasado jueves 26 de enero de 2017 en el Salón Bernardo Quintana del Colegio de Ingenieros Civiles de México se llevó a cabo la toma de protesta de la Mesa Directiva 2017-2018 de la SMIG, en el marco de la Asamblea General de Asociados.

El acto estuvo precedido por la Conferencia Enrique Tamez González, dictada por Alberto Cuevas Rivas, cuyo título fue "Casos prácticos de ingeniería geotécnica urbana". Resulta importante destacar que estuvo presente el profesor Tamez.

Luego de la conferencia, Raúl Aguilar Becerril, presidente de la mesa directiva saliente, presentó el informe de actividades del bienio en que estuvo al frente de la sociedad. Concluido éste, se otorgó la palabra a José Francisco Fernández Romero, decano del Consejo Consultivo de la SMIG, para tomar protesta a los integrantes de la Mesa Directiva 2017-2018, que quedó conformada de la siguiente manera:

Presidente: Carlos Roberto Torres Álvarez

Vicepresidente: Moisés Juárez Camarena

Secretario: Miguel Ángel Figueras Corte

Tesorero: Juan Luis Umaña Romero

Vocales: María Guadalupe Olín Montiel, Francisco Alonso Flores López, Carlos Omar Vargas Moreno y Héctor Valverde Reyes



Por último, el nuevo presidente, Carlos Roberto Torres Álvarez, presentó su plan de trabajo en el que se incluyen varias actividades relacionadas con los comités técnicos, delegaciones regionales, capítulos estudiantiles y otras sociedades técnicas amigas. Subrayó la importancia de la participación de los agremiados para seguir acrecentando el conocimiento de la ingeniería geotécnica; también hizo hincapié en el 60 aniversario de nuestra sociedad ➔



## Bienvenidos nuevos socios

- Héctor Alcázar Sumano
- José Israel Arreola Sifuentes
- Serafín González Ramírez
- Juan Antonio Guzmán Ventura
- Cristina Pamela Hernández Arenas
- Rafael Hernández Ortiz
- Raúl Jiménez Olvera
- Selene Emireth Juárez Morales
- Jesús Abel Sánchez Aramburo
- Oswaldo Rodrigo Sánchez Drasso
- Damien Tamagnan

## Se reúnen responsables de capítulos estudiantiles

El pasado jueves 23 de febrero de 2017 se reunieron en las instalaciones del Colegio de Ingenieros Civiles de México los responsables de los capítulos estudiantiles ante la SMIG, Miguel Ángel Figueras Corte de la Mesa Directiva 2015-2016 y María Guadalupe Olín Montiel de la nueva directiva 2017-2018.

Entre los temas tratados destacan la actualización del padrón de integrantes de los 23 capítulos estudiantiles registrados, 19 de licenciatura y cuatro de posgrado; los compromisos pactados para la visita de algunas universidades como la de Villahermosa, Tabasco, San Juan

Bautista Tuxtepec, Oaxaca, y San Felipe del Progreso, Estado de México.

Otro de los temas que se trataron en esta reunión fue la credencialización de los estudiantes y la estrategia para motivar la integración de más instituciones educativas del país a la SMIG. Se abordó igualmente la organización del quinto Coloquio de Jóvenes Geotecnistas y el segundo Encuentro de Profesores, el máximo foro donde los estudiantes presentan sus propias investigaciones derivadas de sus trabajos de tesis de nivel licenciatura o posgrado, que se llevará a cabo los días 27 y 28 de octubre de 2017 ➡



La Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A. C. lamenta profundamente el fallecimiento del doctor **Carlos Cruickshank Villanueva** y se une a la pena que embarga a sus familiares y amigos.  
Descanse en paz

Diciembre 2016

+ (52)(55) 9150-1208 ,  
9150-1209, 9150-1210  
www.pilotec.com.mx  
pilotec@prodigy.net.mx



Cimentaciones Profundas

- Pilas
- Muros Milán
- Tablestacas
- Pruebas de carga estáticas y dinámicas
- Pilotes
- Anclas
- Pantallas
- Flexoimpermeables
- Sistemas de anclaje
- Pruebas de integridad
- Consultoría y diseño geotécnico



## Curso corto sobre instrumentación geotécnica

El jueves 23 y el viernes 24 de febrero del presente año se llevó a cabo el curso corto sobre instrumentación geotécnica en el Salón Bernardo Quintana del CICM; la inauguración estuvo a cargo del actual presidente de la SMIG, Carlos Roberto Torres Álvarez, quien dirigió un breve mensaje a los asistentes en el primer evento oficial de su gestión.



El jueves 23, Pierre Choquet, de la empresa RST Instruments, abordó el tema "Principios básicos de medición y tipos de instrumentos de medición"; Miguel Gallardo Contreras, de TGC, compartió su experiencia en la aplicación de monitoreo en la autopista Ensenada-Tijuana, y Manuel Moreno Hernández, de la CFE, se refirió a las experiencias en México para la medición de grandes asentamientos.

El día 24 de febrero nuevamente participó el doctor Choquet para hablar de la instrumentación geotécnica para el monitoreo de diversas estructuras, además de compartir el foro con otros especialistas como Manuel Mendoza López, del II UNAM, quien apuntó las bondades, usos y abusos de la instrumentación geotécnica. José Luis Rangel, de la UAM Azcapotzalco, habló de su participación en la instrumentación geotécnica para un terraplén de prueba de inclusiones rígidas; Fernando Barrón Tovar, de la CFE, contó sus experiencias en monitoreo de presas de jales, y René Contreras Galván, de TGC, habló de la instrumentación geotécnica para un terraplén de prueba con consolidación por vacío.

La asistencia superó a las 110 personas entre profesionales, académicos y estudiantes provenientes de diferentes partes del país y del extranjero ➡

## Delegaciones regionales

### Toma posesión la delegación Veracruz

En las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, el día 19 de enero se llevó a cabo la ceremonia en la que tomó posesión la Mesa Directiva 2017-2018 de la SMIG en el estado de Veracruz, encabezada por Sergio Aurelio Zamora Castro.

En ese marco, Moisés Juárez Camarena dictó la conferencia "Caracterización de suelos y zonificación geotécnica del Valle de México".



Al acto asistieron representantes de diversos grupos colegiados de la entidad: la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, el Colegio de Ingenieros

de Veracruz, la Asociación Mexicana de Ingenieros Navales y la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, así como líderes de los diversos capítulos estudiantiles ➡

# Cultura

## De la paz al olvido

Rafael Tovar y de Teresa, Taurus, 2015

Esta novela se centra en los últimos cinco años de la vida de Porfirio Díaz, desde la celebración del Centenario de la Independencia de México (15 de septiembre de 1910) hasta su muerte en París (2 de julio de 1915). Respalda-do en un buen ejercicio de documentación, el autor presenta un panorama político, económico y social del país que sirve para explicar cómo llegó Díaz a la presidencia y el carácter de su gobierno, su participación en la guerra contra Francia, sus alianzas políticas con los poderosos locales, además de detallar cómo era México en los prolegómenos del siglo XX, la forma en que entonces se ejercía el poder, las obras de infraestructura, la cercanía con Francia, etcétera.

Rafael Tovar y de Teresa se interna con mayor escrutinio en el comienzo de la Revolución, la figura de Madero y los acontecimientos que llevaron a Díaz al exilio; pasa finalmente a abordar la vida de éste en Europa, las personas que continuaron frecuentándolo y su opinión ante lo que sucedía en México.

En conjunto, *De la paz al olvido* es una reseña histórica de los tiempos anteriores y posteriores a la Revolución, a la vez que un retrato de un personaje en toda su dimensión humana ↔

**Rafael Tovar y de Teresa (México, 1954)**

Diplomático, abogado e historiador mexicano, además de crítico musical. Fue jefe de Relaciones Culturales de la Secretaría de Relaciones Exteriores y también embajador de México en Italia. Se desempeñó como presidente del Consejo Nacional para la Cultura y las Artes de 1992 a 2000, y en 2015 se convirtió en titular de la recién creada Secretaría de Cultura. Además de *De la paz al olvido*, ha publicado las novelas *Paraíso es tu memoria* (2009) y *El último brindis de don Porfirio* (2010).



# Cartelera

## Salvador Dalí: Sueños urbanos

A lo largo de un mes y medio, 20 esculturas de Salvador Dalí serán exhibidas en el Paseo de la Reforma como parte de la exposición "Salvador Dalí: Sueños urbanos".

Las obras surrealistas, propiedad de la Fundación Carlos Slim y que se exponen en el Museo Soumaya, podrán ser observadas a lo largo de dicha avenida, en las inmediaciones del Museo Nacional de Antropología.

Las esculturas fundidas en metal son parte de la producción artística de Salvador Dalí durante sus últimos años de vida, obras en las que abordó temas como el mundo paralelo a la realidad, el



tiempo, los sueños y la ciencia. Se trata de piezas en tonos bronce, dorado y gris, con los elementos propios del universo surrealista del aclamado español en su etapa de madurez: *El perfil del tiempo* (1984), *Cristo de San Juan de la Cruz* (1974), *Newton surrealista* (1984), *El caracol y el ángel* (1984) y *Venus jirafa* (1985), entre otras obras plásticas, son las piezas que el público podrá apreciar en este espacio abierto, de forma gratuita. Las obras pertenecen al acervo del Museo Soumaya ↔

Paseo de la Reforma, Ciudad de México, del 28 de febrero al 1 de abril.



# Building on Our Strengths

 **KELLER**  
keller.com

 **THINK SAFE**  
[info.mexico@keller-cimentaciones.com](mailto:info.mexico@keller-cimentaciones.com)