

# geotecnia

SEPTIEMBRE -  
NOVIEMBRE 2020

# 257



ÓRGANO OFICIAL DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA, A. C. [WWW.SMIG.ORG.MX](http://WWW.SMIG.ORG.MX)



## **EVOLUCIÓN EN MÉXICO DE MUROS MILÁN EN 40 AÑOS**

PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS PARA LA EVALUACIÓN  
DE LA INTEGRIDAD DE PILAS DE CIMENTACIÓN

RECOMENDACIONES PARA PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN  
DE UN DEPÓSITO DE JALES

DIRIGIDO A: ARQUITECTOS, ACADÉMICOS, INVESTIGADORES  
INGENIEROS, ESTUDIANTES Y PÚBLICO EN GENERAL

ESTUDIANTES: \$450.00 MXN. • ACADÉMICOS: \$1,000.00 MXN.

SOCIOS (AMDROC, SMIE, SMIG, SMIS, CICM): \$1,500.00 MXN.

PÚBLICO EN GENERAL: \$2,000.00 MXN.

DRO Y C/SE CON EVALUACIÓN PARA HORAS DE ACTUALIZACIÓN: \$2,500.00 MXN.  
CON CREDENCIAL VIGENTE • IVA INCLUIDO

COSTOS

# MÉXICO A TRAVÉS DE LOS SISMOS

A MÁS DE 100 AÑOS DE MONITOREO Y REGLAMENTACIÓN

SISMOLOGÍA • MONITOREO SÍSMICO Y DE ESTRUCTURAS • INGENIERÍA SÍSMICA  
INGENIERÍA ESTRUCTURAL • INGENIERÍA GEOTÉCNICA • ARQUITECTURA  
NORMATIVIDAD • RESILIENCIA.

17-18-19 septiembre

CURSOS • MESAS REDONDAS • PANELES  
DE DISCUSIÓN • CONFERENCIAS  
• SPOTS EMPRESARIALES

ESTE EVENTO SERÁ TRANSMITIDO VIA STREAMING DESDE  
EL COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MÉXICO (CICM)

20 HORAS DE ACTUALIZACIÓN PARA DRO Y C/SE CDMX

INFORMACIÓN: [smis@smis.org.mx](mailto:smis@smis.org.mx)  
LIGA DE INSCRIPCIÓN Y PAGO EN LÍNEA:  
[https://smis.org.mx/19S\\_online.html](https://smis.org.mx/19S_online.html)



INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM

GEOFÍSICA  
UNAM

MÉXICO  
SSN

SE  
SECRETARÍA DE ECONOMÍA

SMIE  
Sociedad Mexicana de  
Ingeniería Estructural, A.C.

SMIG

SMIS

CICM



## Mesa Directiva 2019-2020

### Presidente

Moisés Juárez Camarena

### Vicepresidente

María Guadalupe Olín Montiel

### Secretario

Ricardo Enrique Ortiz Hermosillo

### Tesorero

Héctor Valverde Reyes

### Vocales

Héctor Augusto de la Fuente Utrilla

Renata Alejandra González Rodríguez

Sergio Martínez Galván

Félix Sosa Contreras

Gerson Vázquez Salas

### Gerente

Brenda Aguilar Silis

### Delegaciones regionales

Michoacán

Occidente

Puebla

Querétaro

Tabasco

Veracruz

### Representaciones

Chiapas

Ciudad Juárez

Irapuato

Mérida

Monterrey

Tijuana

Síguenos en



@smiggeotecnica



Sociedad Mexicana  
de Ingeniería Geotécnica



inggeotec

# Importancia de la geotecnia en la red carretera de México

La red carretera de la República mexicana es de prácticamente 320,000 km. Cada año se estima un aproximado de 3,800 millones de pasajeros circulando por las carreteras del país. Asimismo, se calcula que se moviliza anualmente más del 55% de la carga nacional por la red carretera, con un total aproximado de 1,000 millones de toneladas. Ante estos hechos, las carreteras de nuestro país son indispensables para la vida no sólo económica sino también social. La mayoría de las carreteras fueron construidas hace más de 40 años con técnicas, criterios y diseños muy diferentes de los actuales.

Por lo anterior, es posible tener una idea de lo importante y necesario que es el mantenimiento de las vías terrestres de nuestro país, con especial énfasis en la relevancia de los aspectos geotécnicos que invariablemente se presentan en los proyectos carreteros desde su origen, y muchos de los cuales no se tomaron en consideración durante su concepción o fase de construcción.

Algunas de las soluciones que ofrece la geotecnia aplicada a las vías terrestres –muchas utilizadas con éxito en un alto número de casos en las autopistas– son la estabilidad de taludes y laderas, mejoramiento de suelos, inyecciones al terreno, obras de estabilización como muros anclados y muros de retención, compactación de suelos, mejoramiento de terraplenes, asentamientos de rellenos y cimentaciones de puentes, entre muchas otras.

Todos los proyectos viales, ya sea para construcción o rehabilitación, pueden enfrentar alguna limitación geológica, y es éste uno de los problemas más significativos y frecuentes encontrados en algunas de las nuevas carreteras que se construyen en nuestro país, tales como la autopista Guadalajara-Puerto Vallarta, tramo Las Varas-Puerto Vallarta; la autopista Oaxaca-Puerto Escondido, en su tramo Barranca Larga-Ventanilla, y en su momento la autopista Durango-Mazatlán, por citar algunas.

El impacto de los retos presentes se puede mitigar haciendo un uso adecuado de la gran gama de herramientas geotécnicas perfectamente desarrolladas en la actualidad en México, desde métodos de exploración, pruebas de laboratorio y métodos de análisis geotécnicos hasta *softwares* especializados, además de la vasta experiencia con la que cuentan destacados ingenieros geotecnistas de nuestro gremio.

Involucrar la participación de un especialista en geotecnia y darle mayor atención al comportamiento geotécnico de los materiales con los cuales se construyen nuestras vías es primordial para garantizar una adecuada ejecución de los trabajos y la optimización de los costos de mantenimiento y de operación.

Gerson Vázquez Salas  
Vocal  
Mesa Directiva 2019-2020



*Geotecnia*, año 10, núm. 257, septiembre - noviembre 2020, 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., 8 de Septiembre 42-2, colonia Daniel Garza, alcaldía Miguel Hidalgo, CP 11830, Ciudad de México. Fecha de última modificación: 31 de agosto de 2020.

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](mailto:geotecnia@heliosmx.org).

## CONVOCATORIA

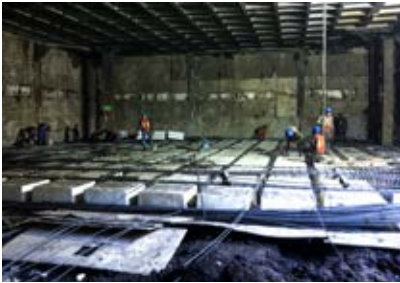
Además de comentarios y sugerencias de sus lectores sobre los contenidos, *Geotecnia* está abierta a las colaboraciones de los profesionales vinculados a la especialidad.

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 Normatividad**  
Subcomité revisor  
de las NTCDC

- 4 Conversando con...**  
Estructuristas y geotecnistas,  
un vínculo indispensable  
**Francisco García Jarque**



- 10 Semblanza**  
Daniel Ruiz Fernández, baluarte  
de la ingeniería mexicana

- 13 Semblanza**  
Dar a manos llenas.  
Enrique Tamez González  
**Raúl López Roldán**

- 18 Tema de portada /  
La geotecnia en la historia**  
Evolución en México de muros  
Milán en 40 años  
**José Antonio Ponce**



- 30 Artículo técnico**  
Pruebas no destructivas para  
la evaluación de la integridad  
de pilas de cimentación  
**Walter I. Paniagua**

- 37 Artículo técnico**  
Recomendaciones para  
proyecto y construcción  
de un depósito de jales  
**Raúl Vicente Orozco Santoyo**



- 43 Anecdótico**  
Un candidato de Tamez  
**Carlos Orozco y Orozco**

- 44 Anecdótico**  
*In memoriam.*  
Daniel Ruiz Fernández  
**Walter I. Paniagua**

- 17 Calendario**  
Reseñas

- 45 Tesis**

- 46 Libros**



## SMIGnoticias

- 47 Conferencias Geotécnicas**  
Bolivianas

- 48 Uso de tablaestacas**

- 48 Esquelas**

- 49 Cultura**

- 49 Cartelera**



PORTADA: MURO MILÁN PARA PLANTA DESALADORA  
EN ENSENADA, BCS.  
FOTO: JUAN CARLOS MORENO, PILOTEC.

# geotecnia

## Dirección general

Moisés Juárez Camarena

## Dirección ejecutiva

Natalia Parra Piedrahita

## Consejo editorial

J. Eleazar Arreygüe Rocha  
Gabriel Yves Armand Auvinet Guichard  
José Trinidad Briseño Rodríguez  
Jorge Efraín Castilla Camacho  
José Francisco González Valencia  
Germán López Rincón  
Raúl López Roldán  
Aquiles Jorge Morales González  
Héctor Moreno Alfaro  
Gabriel Moreno Pecero  
Rodrigo Murillo Fernández  
María Guadalupe Olín Montiel  
Ricardo Enrique Ortiz Hermsillo  
José Antonio Palacios Guevara  
Walter I. Paniagua Zavala  
Margarita Puebla Cadena  
Luis Bernardo Rodríguez González  
Margarita Rodríguez Trinidad  
Juan Jacobo Schmitter  
Guillermo Springall Cáram  
Carlos Roberto Torres  
Ángel Trejo Moedano  
Héctor Valverde Reyes

## Comercialización

Brenda Aguilar Silis

## Realización



HELIOS comunicación  
+52 (55) 29 76 12 22

## Dirección ejecutiva

Daniel N. Moser da Silva

## Dirección editorial

Alicia Martínez Bravo

## Edición

José Manuel Salvador García

## Coordinación de contenidos

Teresa Martínez Bravo

## Contenidos

Angeles González Guerra

## Diseño

Diego Meza Segura

## Dirección operativa

Alicia Martínez Bravo

## Administración y distribución

Nancy Díaz Rivera

# Subcomité revisor de las NTCDC

Con la aceptación del Comité Asesor en Seguridad Estructural (CASE) del Gobierno de la Ciudad de México, el pasado 9 de junio del año en curso quedó integrado el Subcomité de Cimentaciones, cuya misión principal será complementar, revisar y actualizar las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTCDCC, Gobierno de la CDMX, 2017) del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF).

Coordinado por Gabriel Auvinet Guichard con Moisés Juárez Camarena como secretario, el citado subcomité incluye además a los siguientes especialistas en el tema: Héctor R. Aguilar Becerril, Alberto Cuevas Rivas, Francisco García Jarque, Luis García Ramos, Manuel J. Mendoza López, Walter I. Paniagua Zavala, José L. Rangel Núñez, Daniel Reséndiz Núñez, Juan M. Rodríguez García, Luis B. Rodríguez González, Juan J. Schmitter Martín del Campo, Carlos Tapia Castro, y Raúl Verduzco Murillo, en total 15, de los cuales cinco son académicos, uno constructor y nueve consultores. La mayor parte de los miembros del subcomité son geotecnistas, pero se ha considerado muy necesaria la participación de dos estructuristas. Los objetivos y actividades principales de este subcomité son los siguientes;

- Fomentar la aplicación y el cumplimiento de las NTCDC, ya que constituyen la norma jurídica que deben cumplir diseñadores geotecnistas y constructores.
- Lograr una amplia difusión de las NTCDC y de las NTC en general en la comunidad de especialistas en las ingenierías geotécnica, estructural y sísmica.
- Agregar comentarios a las NTCDC vigentes para facilitar su interpretación y aplicación.
- Desarrollar ayudas de diseño y ejemplos de aplicación de las NTCDC basados en casos reales que constituyan una guía y faciliten el entendimiento, uso y cumplimiento de las NTCDC.
- Revisar y proponer modificaciones a las NTCDC a fin de que, en el futuro, sigan propiciando la construcción segura de cimentaciones en edificaciones de la Ciudad de México. Para alcanzar esta meta, se buscará identificar y subsanar aspectos prescritos por las NTCDC, para los que actualmente no se incluyen procedimientos idóneos o no se definen límites aceptables.

- Mejorar la compatibilidad entre las NTCDC y otras NTC en aspectos relativos al diseño estructural de cimentaciones y de diseño por sismo, entre otros.
- Superar las dificultades que se han encontrado para implementar el enfoque de revisión de la seguridad basado en factores de carga y de reducción de la resistencia y en el respeto tanto de los posibles estados límite de falla como de los estados límite de servicio.
- Buscar soluciones a las dificultades que impone la adopción, cada vez más frecuente, de herramientas numéricas como el método del elemento finito.
- Unificar criterios para la realización de análisis de interacción suelo-estructura entre los profesionales de las ingenierías geotécnica, estructural y sísmica.
- Promover la presentación de una memoria de diseño explícita y verificable en los estudios geotécnicos.
- Reemplazar o redefinir diversos conceptos que actualmente generan confusiones, como módulo de reacción, capacidad de carga, presión límite del suelo, etc., tomando en cuenta para ello la activa participación de profesionales tanto del campo de la ingeniería geotécnica como de la ingeniería estructural.
- Impulsar la integración del ingeniero geotecnista al equipo de proyecto desde la concepción arquitectónica, el diseño final y durante la construcción.
- Lograr instituir en el mediano plazo la figura de un responsable en seguridad geotécnica.

Por lo anterior, la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A. C. (SMIG) ha considerado necesario difundir, a través de su revista Geotecnia, algunos aspectos importantes sobre los temas anteriormente indicados mediante notas informativas, a fin de contribuir a motivar la aplicación de las NTCDC en la práctica geotécnica.

Será bienvenida cualquier aportación, comentario o recomendación sobre el particular al correo [MJuarezC@iingen.unam.mx](mailto:MJuarezC@iingen.unam.mx) ✉

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



### Francisco García Jarque

Ingeniero civil. Desde 1968 se desempeña en el ámbito privado al frente de múltiples proyectos de edificios habitacionales, oficinas, hospitales, centros comerciales y naves industriales, así como en excavaciones profundas. Premio de Ingeniería a la práctica profesional 2010.

# Estructuristas y geotecnistas, un vínculo indispensable

Es muy importante el trabajo en equipo entre geotecnistas y estructuristas: los estructuristas analizamos la estructura, definimos las cargas, conocemos la incidencia de fuerzas que se transmiten al suelo; allí es donde nos interesa interactuar con la ingeniería geotécnica. Sería conveniente que las Normas Técnicas Complementarias para Diseño de Cimentaciones también incluyesen la interacción con la ingeniería estructural, porque, a fin de cuentas, la ingeniería estructural diseña la zapata, la contratrabe, la losa, el pilote y la pila, los muros de contención, pero apoyándose en los estudios de los ingenieros en geotecnia.

**F**rancisco García Jarque es integrante de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS), de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (SMIE), de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica (SMIG) y del Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM).

En su caso, estudiar ingeniería civil nació de una relación personal y familiar que tuvo con su hermano mayor, quien también fue ingeniero civil, egresado de la Escuela Nacional de Ingenieros en aquella época. “Yo pretendía ser médico, pero Juan me empezó a enseñar algunas cosas interesantes de la ingeniería civil –nos dice–; esta es una de las razones por las cuales en 1961 tomé la decisión de estudiar ingeniería civil, y tuve la inmensa dicha de ingresar a la Facultad de Ingeniería de la UNAM. El rector, el director y los maestros eran excepcionales en aquella etapa de la UNAM, y a mí me beneficiaron significativamente.

Francisco García Jarque tuvo una muy buena relación con su hermano mayor; invariablemente, cuando él iba a visitar sus obras lo invitaba. “Me fui familiarizando con lo que él hacía en proyectos de presas y de puentes. De hecho, mi primer trabajo fue en la Dirección General de Puentes de la Secretaría de Obras Públicas colaborando, en pequeña escala, con su gran director, el ingeniero Gustavo del Río San Vicente.



Hace 50 años, así eran los procesos constructivos que se implementaban utilizando tablaestaca de madera. Proceso de excavación con troquelamiento de un edificio en la calle Zamora 141 (1970).

La decisión de especializarse en estructuras surgió porque tenían un conocido que se dedicaba a proyectos de estructuras, “un ingeniero muy brillante”, José Incera. “Estuve fuera de México



Pilotes de control que se utilizaban en las décadas de 1960 y 1970. A la fecha, la estructura ha tenido un comportamiento adecuado y los pilotes de control siguen recibiendo el mantenimiento correcto.

durante prácticamente todo 1967; después de acabar mi carrera viví en Europa, y cuando regresé le pedí a mi hermano que me sugiriera en qué especializarme; fuimos a ver al ingeniero Incera y sus comentarios me impulsaron a dedicarme a las estructuras. Mi primer sueldo fue de 15 pesos la hora, y quizá era mucho.”

En 1968 consideró necesario mejorar su preparación académica y decidió estudiar una maestría en estructuras. En ese tiempo trabajaba con el ingeniero Incera, y mientras estudiaba la maestría comenzó a llamarle la atención la geotecnia por influencia de un maestro de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, Francisco Vaca Hinojosa.

“El ingeniero Vaca Hinojosa nos canalizaba hacia los aspectos geotécnicos; es una de las razones por las cuales, cuando yo me involucré en el trabajo con Incera, veía con un poco más de profundidad los aspectos de las cimentaciones que él me encomendaba, poniendo especial énfasis en la simetría de las cargas que se inducían al suelo.

”Mis primeros trabajos como profesional a finales de la década de 1960, con el ingeniero Incera, eran en diseño de cimentaciones y estructuras. Él era muy cuidadoso con las cimentaciones, vivíamos una época en que se utilizaban muchos criterios, de cimentaciones parcialmente compensadas, o cimentación parcialmente compensada con pilotes de fricción, o cimentaciones parcialmente compensadas con pilotes de control. Incera tenía muy buena relación con el inventor de los pilotes de control, don Manuel González Flores. En los sesenta y setenta las cimentaciones de edificios altos se resolvían con pilotes de control para que los hundimientos regionales pudiesen ser absorbidos, e Incera diseñaba muchos edificios con cimentaciones parcialmente compensadas y pilotes de control. Enfatizaba mucho el hecho de

La decisión de especializarse en estructuras surgió porque tenían un conocido que se dedicaba a proyectos de estructuras, José Incera. Estuve fuera de México durante prácticamente todo 1967; después de acabar mi carrera viví en Europa, y cuando regresé le pedí a mi hermano que me sugiriera en qué especializarme; fuimos a ver al ingeniero Incera y sus comentarios me impulsaron a dedicarme a las estructuras. Mi primer sueldo fue de 15 pesos la hora, y quizá era mucho.

las condiciones de simetría adecuadas que debían tener las cimentaciones.”

A diferencia de una actitud bastante extendida de tratar por separado las estructuras de las cimentaciones como especialidades diversas, García Jarque prefiere abordarlas integralmente. Enfatiza que es vital la integración de ambas ramas de la ingeniería civil.

“Si bien es cierto que son dos ramas diferentes de la ingeniería, la geotécnica y la estructural deben estar muy relacionadas en los proyectos, en los procesos constructivos y en la elección de las estructuras; por ningún motivo puede haber un divorcio entre estas ramas de la ingeniería civil, es importantísima la relación que tiene que haber entre ambas.

”Hoy se están utilizando muchas cimentaciones profundas; se resuelven con pilas, porque las cargas en las estructuras se han incrementado. La tendencia a tener cimentaciones con excavaciones importantes, de nueve o diez niveles de profundidad, hace fundamental la interacción con la ingeniería geotécnica para la estabilización de taludes, el proceso constructivo y el tipo de cimiento profundo que se implemente. Hemos tenido que involucrarnos con grandes excavaciones a 10, 20 y 35 m estabilizando los taludes en un principio con tablestaca de madera, después de concreto y actualmente con muros, denominados Milán; asimismo, de acuerdo con la zona geotécnica, las anclas han sido la solución implementada.”

Acerca del suelo del Valle de México hay mucha información, recursos y estudios respecto de cómo manejar las estructuras y las cimentaciones, así que le preguntamos a nuestro entrevistado qué juzga más destacado de lo que se aplica, y pedimos su opinión y experiencia sobre la relación suelo-estructura en otras regiones del país.

“El Valle de México ofrece condiciones muy particulares. Don Leonardo Zeevaert tuvo una relación cercana con los creadores de la mecánica de



Detalle de la zona donde se le proporciona precarga a los troqueles para lograr un comportamiento adecuado.

suelos, como el profesor Terzaghi. Zeevaert decía que Terzaghi le mencionaba que la Ciudad de México era “el paraíso de la mecánica de suelos”, porque uno se encontraba con mil problemas diferentes. El doctor Zeevaert ponía especial énfasis en la importancia de los procesos de cimentaciones profundas en el Valle de México; como maestro, exigía que los jóvenes que estudiábamos con él nos preocupáramos mucho por el estudio adecuado de esas condiciones del suelo de la Ciudad de México, que eran muy críticas y difíciles.

”También hemos tenido experiencias, por ejemplo, en la Península de Yucatán, donde hemos diseñado edificios. Allí nos enfrentamos a problemas de la disolución del *sascaab*, donde hay cavernas. También hemos diseñado edificios en Monterrey, donde las condiciones del suelo son, evidentemente, más favorables.”

Le pedimos a Francisco García Jarque que, con base en su experiencia y conocimientos, compartiera sus principales recomendaciones para el diseño y construcción de estructuras en el Valle de México.

“Contamos con mejores y mayores conocimientos de las condiciones de excitación sísmica que se tienen. La Ciudad de México experimentó un cambio radical después del sismo de 1985. Mis primeras experiencias, trabajando profesionalmente, se presentaron en un sismo que se conoció como “el sismo de la Ibero”, porque derrumbó la sede de la Universidad Iberoamericana; sucedió en la Ciudad de México el 14 de marzo de 1979, y empezó a darnos ideas de cuáles eran las condiciones de excitación sísmica que se tenían, pero evidentemente el sismo de 1985 es el que nos abrió un panorama importantísimo de las excitaciones sísmicas y cambió radicalmente los criterios de diseño de estructuras.

”Hemos puesto mucho énfasis en el trabajo conjunto con los ingenieros geotécnicos, en la simetría de cargas y en la simetría de las condiciones de la cimentación y de los cimientos profundos.”

Retomamos el pasado y le pedimos a García Jarque que recordara algunas anécdotas a lo largo de su trayectoria profesional.

“Mi primera experiencia importante –nos cuenta– fue cuando colaboraba con el ingeniero Incera. Le habían solicitado que hiciera un proyecto del Hospital de Ginec Obstetricia 5, del Seguro Social, ubicado en el Viaducto Miguel Alemán y Francisco del Paso y Troncoso; fue un estudio de mecánica de suelos muy bien realizado. Si no mal recuerdo, la empresa que

La tendencia a tener cimentaciones con excavaciones importantes, de nueve o diez niveles de profundidad, hace fundamental la interacción con la ingeniería geotécnica para la estabilización de taludes, el proceso constructivo y el tipo de cimiento profundo que se implemente. Hemos tenido que involucrarnos con grandes excavaciones a 10, 20 y 35 m estabilizando los taludes en un principio contablestaca de madera, después de concreto y actualmente con muros, denominados Milán.

se involucró en ello fue Solum, que contaba con profesionales de primer nivel: estaba el ingeniero Juan Rodríguez, el profesor Enrique Tamez, el profesor Juan Jacobo Schmitter.

”El Hospital de Ginec Obstetricia 5 era un edificio muy largo, tenía 80 metros de largo y 35 de ancho. En el estudio geotécnico se había pensado que se podía resolver con lo que el equipo de Solum llamaba “sustitución parcial”; el ingeniero Incera, mi jefe, insistía mucho en que se utilizaran pilotes y le dijeron que no, que no era necesario, que estaba ya bien estudiada la condición correspondiente a la sustitución parcial, porque la excavación tenía 6 metros de profundidad y se podía compensar prácticamente el peso total de la estructura, pero cuando se comenzó a construir el edificio empezó a experimentar movimientos; entonces el ingeniero Incera insistió en que era conveniente utilizar pilotes de fricción, que finalmente se colocaron.”

García Jarque nos comenta que fue su “primera experiencia donde la estructura pedía que se le resolvieran aspectos inherentes a la cimentación”. Por otra parte, existía un problema importante en ese predio, porque la empresa Solum quería hacer pruebas de pilotes; entonces, “en la parte poniente del predio colocó algunos para hacer pruebas de carga, y evidentemente generaron condiciones de excentricidad para el comportamiento de esa cimentación.”

Otra experiencia que Francisco García Jarque nos relata se refiere al proyecto del IMSS en Puebla. “Fue un proyecto de un conjunto; eran varios cuerpos, el principal era la torre de hos-



Detalle de las condiciones del anclaje, el muro de contención y el sistema de piso como elemento de troquelamiento.

## “Una maravillosa explicación”

**D**espués del sismo de 2017, la empresa de Francisco García Jarque fue invitada a participar en el dictamen estructural de un proceso de recimentación para restituir la verticalidad de un edificio en las calles de Durango y Frontera, en la colonia Roma de la CDMX. A raíz de ello –cuenta nuestro interlocutor–, “los propietarios del edificio vinieron a nuestra oficina acompañados por Guillermo Springall, destacado y reconocido ingeniero en geotecnia.

”Estuvimos platicando sobre la restitución de la verticalidad con pilotes de control. En el diálogo surgió la historia de las características del edificio, que ya conocíamos desde años anteriores; tenía propiedades dinámicas que lo ponían en condiciones muy desfavorables frente a un sismo: le quitaron niveles, fue reestructurado y rigidizado después del sismo de 1985 por un ingeniero muy brillante, Enrique del Valle Calderón, pero –continúa García Jarque– perdió la verticalidad hacia el norte, quizá porque se construyó un edificio destinado a estacionamiento, y fue resuelto con una cimentación parcialmente compensada que desplazó hacia el norte el centro de gravedad de cargas que se inducía al suelo. Entonces, con esa premisa nos pidieron que estudiáramos las características de la estructura. Así lo hicimos, y se tomó la determinación de colocar pilotes de control para que el edificio volviese a estar en condiciones óptimas desde el punto de vista de la verticalidad.”

Durante la explicación de García Jarque a los visitantes, la hermana de uno de los propietarios le preguntó a Santiago García Álvarez, hijo de nuestro entrevistado, si podía filmar la explicación. “Yo nunca supe que me estaban filmando, mi hijo le dijo que sí y la chava filmó, luego le pasó el video a un pariente y se hizo viral... no sé por qué la gente pierde el tiempo de esa manera” –cierra García Jarque sin abandonar su agudo sentido del humor.



El ingeniero García Jarque explica con apoyo de una mesa vibradora el comportamiento de los edificios durante un terremoto.

La maqueta que utilizó en el video la denominan mesita vibradora. “El modelo lo creó hace 50 años el doctor Leonardo Zeevaert para referirse didácticamente a los aspectos dinámicos; a mí me lo enseñó Enrique del Valle hace mucho tiempo, y la que utilicé en el video la hizo mi hijo Francisco; la tengo aquí en mi oficina.”

El video, de poco más de un minuto de duración –¡que sólo en Facebook lleva más de siete millones de visitas!– aparece en diversas fuentes; se encuentra fácilmente buscando *La maravillosa explicación de un ingeniero sobre el comportamiento de los edificios en un terremoto*.

pitalización que tenía cimientos profundos con pilas, y los otros cuerpos estaban resueltos con sustitución parcial. Allí el aspecto geotécnico también fue importante, porque al diseñarlo con esas dos diferencias, los edificios empezaron a experimentar diversas condiciones de movimientos, que se ajustaron después durante la vida útil del edificio. El edificio desplantado con pilas no experimentó movimientos, pero el de consulta externa, el de cirugías, el edificio de urgencias y la casa de máquinas empezaron a tener movimientos diferentes, y era complejo tratar de que hubiese condiciones adecuadas en la compatibilidad de los hundimientos habiendo escalones y rampas.”

Se ha planteado la necesidad, incluso en algunos casos la obligatoriedad, de instrumentar los edificios para poder obtener información valiosa que permita en el futuro mejorar las condiciones de las estructuras. Le pedimos a nuestro interlocutor su opinión al respecto.

“Hace 35 años –apunta–, dos años antes del sismo de 1985, diseñé un edificio, que actualmente habito, resuelto con cimentación parcialmente compensada con pilotes de fricción. Ese edificio lo hemos instrumentado, tanto topográfica como dinámicamente, para poder observar cuáles son sus condiciones de respuesta a las excitaciones sísmicas. Nos ha abierto un panorama favorable

para conocer las condiciones reales que se presentaban en la estructura al día de hoy.”

En este punto, García Jarque comparte un hecho que califica de significativo: “Cuando el edificio se construyó, hace más de 35 años, se hacían en México las primeras mediciones de periodos del suelo y las estructuras; nos ayudó muchísimo el ingeniero Jorge Prince Alfaro, quien determinó los periodos del suelo y los periodos de la estructura; pero en esa zona ha habido un proceso de consolidación, evidentemente el suelo ha cambiado su periodo y se ha acercado al periodo de la estructura. La estructura en el sismo de 2017 respondió de manera significativa a la excitación sísmica, por la semejanza entre los periodos del suelo y los de la estructura.

”Como estaba instrumentado, nos percatamos de eso y lo que se hizo fue rigidizar el edificio, separarlo de los periodos del suelo, para que en la próxima excitación sísmica el edificio no responda de una manera desfavorable. En la zona donde se ubica el edificio se han presentado las aceleraciones más fuertes registradas en la Ciudad de México, en las proximidades de la estación acelerográfica de Culhuacán, muy cerca del Cerro de la Estrella. En una reciente reunión con colegas geotecnistas, uno de ellos, el ingeniero Raúl Aguilar, mencionó esas condiciones de excitación en el sitio, que son las más fuertes que se han registrado en la historia del Valle de México: llega a tener aceleraciones de 220 gals.”

Se trató de un fenómeno nuevo, resultado del sismo de septiembre de 2017, y la experiencia con este edificio instrumentado refuerza la convicción de García Jarque: “La instrumentación nos ha permitido certificar cuáles son los defectos que se han presentado en la estructura; la instrumentación es muy importante, ojalá todas las personas que construyen edificios entendiesen su importancia y se animasen a instrumentar los edificios.”

Respecto a que las autoridades obliguen a instrumentar determinadas estructuras, como edificios, nuestro entrevistado opina: “Creo que va a ser conveniente, prudente, adecuado, que, a través de la condición reglamentaria, no todos los edificios, no la casita de la esquina, pero sí edificios con cierta dimensión, principalmente en las zonas compresibles del Valle de México, sean instrumentados. El costo de la instrumentación, comparado con el costo del edificio, es bajo, y puede dar resultados muy favorables para detectar el comportamiento de las estructuras, tanto por cargas gravitacionales, con el tiempo, como por fuerzas horizontales generadas por los sismos. Yo



Proceso en el que se lograron dos niveles de subexcavación para permitir la trabajabilidad del equipo.

La Ciudad de México experimentó un cambio radical después del sismo de 1985. Mis primeras experiencias, trabajando profesionalmente, se presentaron en un sismo que se conoció como “el sismo de la lbero”, porque derrumbó la sede de la Universidad Iberoamericana; se presentó en la Ciudad de México el 14 de marzo de 1979, y empezó a darnos ideas de cuáles eran las condiciones de excitación sísmica que se tenían, pero evidentemente el sismo de 1985 es el que nos abrió un panorama importantísimo.

creo que la instrumentación debería, en muchos casos, ser obligada, para que se conozca mejor el comportamiento de los edificios.”

Para proceder a la revisión de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones y de Estructuras en la Ciudad de México, se está convocando a los geotecnistas. Francisco García Jarque, que participa en esta tarea, opina al respecto: “Pienso que es muy importante que los geotecnistas también tengan una responsabilidad. He sido y soy partidario de que los geotecnistas se integren como corresponsables en ingeniería geotécnica, así como hay corresponsables en seguridad estructural.”

Vino a la memoria de nuestro entrevistado un incidente en el que estuvo envuelto: “Me involucré hace muchos años en el proceso de construcción de un centro comercial, en la salida de la carretera a Toluca; ahí se hizo un corte muy importante en uno de los taludes, y el responsable era yo... y el talud falló. Afortunadamente fue un sábado en la madrugada y no hubo muertos, pero se cayeron más de 3,500 metros cúbicos. Me lo imputaban a mí, yo era el corresponsable en seguridad estructural. ¿Qué pasó? Este fue un problema de tipo geotécnico; la empresa que estaba construyendo el talud y lo estaba anclando hizo el estudio, y se percató de que en la parte superior se había roto un drenaje, y que la presencia de agua en la parte superior del talud generó su falla. Me querían involucrar a mí como corresponsable en seguridad estructural de la falla del talud, lo cual no era lógico; por eso es importante que los ingenieros en geotecnia también se informen y tengan su corresponsabilidad en excavaciones

profundas, en estabilidad de taludes, en procesos constructivos. Es esencial que la ingeniería geotécnica, fundamentalmente en México, tenga trascendencia; es indispensable la presencia de un corresponsable en geotecnia.”

Insiste García Jarque en la importancia del trabajo en equipo entre geotecnistas y estructuristas: “Los estructuristas analizamos la estructura, definimos las cargas, conocemos la incidencia de fuerzas que se transmiten al suelo; allí es donde nos interesa interactuar con la ingeniería geotécnica. Creo que sería conveniente que las Normas Técnicas Complementarias para Diseño de Cimentaciones –que, por cierto, están siendo muy bien estudiadas por personas que conocen a fondo de ingeniería geotécnica– también incluyesen la interacción con la ingeniería estructural, porque, a fin de cuentas, la ingeniería estructural es la que diseña la zapata, la contratrabe, la losa, el pilote y la pila, los muros de contención, etc., pero apoyándose en los estudios de los ingenieros en geotecnia.”

Lo consultamos sobre su experiencia personal en la vinculación con ingenieros especializados en geotecnia. “Evidentemente –nos dice–, como todo en las relaciones humanas, puede o no haber empatía entre los profesionales; cuando me proponen una solución con la cual no estoy de acuerdo, pues tiendo a discutirla, a comentarla y a darle mis argumentos al ingeniero geotecnista. Me he enfrentado con ingenieros en geotecnia con los cuales no tengo empatía, y ello dificulta la comunicación. Hay ingenieros con los que uno

Cuando me proponen una solución con la cual no estoy de acuerdo, pues tiendo a discutirla, a comentarla y a darle mis argumentos al ingeniero geotecnista. Me he enfrentado con ingenieros en geotecnia con los cuales no tengo empatía, y ello dificulta la comunicación. Hay ingenieros con los que uno tiene muy buena relación, y eso propicia una mejor solución a los problemas de las características que se utilizan en el diseño de las cimentaciones: condición humana.

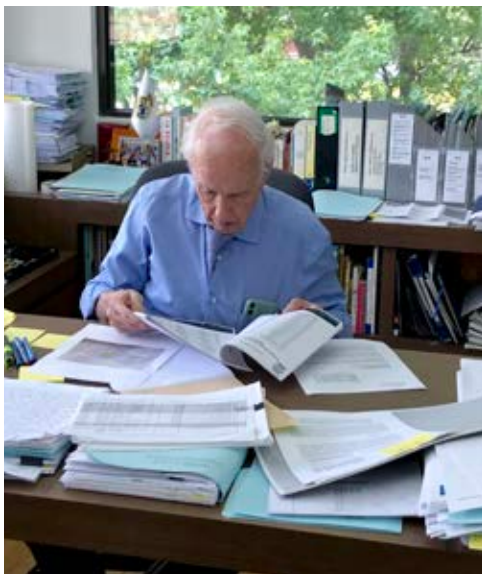
tiene muy buena relación, y eso propicia una mejor solución a los problemas de las características que se utilizan en el diseño de las cimentaciones: condición humana.”

Al margen de las cuestiones de empatía, quisimos saber si en lo estrictamente ingenieril ha tenido divergencias con colegas geotecnistas, y esto nos respondió: “Sí ha habido divergencias. Hace muchos años implementaban en México –nosotros caímos en esta solución– cimentaciones parcialmente compensadas con pilotes que se llamaban “de punta penetrante”. Al interactuar con el ingeniero en geotecnia que había diseñado esa cimentación de pilotes de punta penetrante, yo le decía que no estaba de acuerdo con esa solución, y él me decía: ‘Pues sí funciona, porque de esta manera la punta ayuda a incrementar la capacidad del pilote y garantiza que el edificio no emerja; pero yo decía que las condiciones del suelo no eran las adecuadas para tener estos pilotes de punta penetrante, y resultó que los pilotes, en tres o cuatro estructuras que diseñamos en aquella época, nunca penetraron, así que el edificio emergía. A pesar de que tenía yo muy buena relación con el ingeniero en geotecnia que proponía ese tipo de soluciones, no comulgaba con sus opiniones, al grado de que en una ocasión le dije: ‘Mira, si vas a hacerme esta propuesta, yo no diseño la estructura, porque ya no me interesa, después de las experiencias que he tenido de la emersión de los edificios; ya no me interesa diseñar cimentaciones con pilotes de punta penetrante’. Hasta la fecha tengo buena relación personal con ese ingeniero.

El diálogo se cerró con su reflexión sobre el vínculo entre estructuristas y geotecnistas: “Pienso que no debe haber duda alguna de que estas dos ramas de la ingeniería civil deben trabajar estrechamente, correlacionarse desde el inicio del proyecto; es muy importante para que las propuestas sean adecuadas y congruentes con los tipos de suelos a los cuales nos enfrentamos. El ingeniero en estructuras tiene la obligación de involucrarse de la forma más profunda posible en las condiciones que proponga el ingeniero en geotecnia, y analizar, discutir, comentar, no nada más implementar las soluciones que le pueda dar el informe geotécnico. Ambos especialistas deben inmiscuirse en equipo en los procesos constructivos, en los procesos de diseño, para beneficio de la calidad de la infraestructura.” ❖

Entrevista de Daniel N. Moser

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



Francisco García Jarque en sus oficinas de la Ciudad de México.

# Daniel Ruiz Fernández, baluarte de la ingeniería mexicana

Daniel Ruiz Fernández formó parte del distinguido grupo de ingenieros mexicanos que trazaron el camino del gremio de nuestro país. Sus experiencias, trabajo, ideas, valores y su gran compromiso con México dan cuenta de ello.

**N**acido en Madrid en 1927, Daniel Ruiz Fernández tuvo que salir de España junto con su familia por el estallido de la guerra civil; cruzaron la frontera con Francia a pie y viajaron en 1940 a República Dominicana, país que los recibió junto con otros cuatro mil refugiados españoles. A finales de diciembre de 1940 arribaron a Veracruz, y en enero de 1941 a la Ciudad de México, donde se establecieron definitivamente.

En 1945, a los 18 años de edad, Daniel Ruiz ingresó a la Escuela Nacional de Ingenieros en el Palacio de Minería, donde terminó la carrera en cuatro años. Relata que tuvo magníficos maestros, entre los que destacan Javier Barros Sierra, Nápoles Gándara, Antonio Coria, Alberto J. Flores y Nabor Carrillo, con quien cursó la materia optativa de Mecánica de suelos.

## SU FORMACIÓN PRÁCTICA

Antes de terminar la carrera (1948) recibió una invitación del fundador de Ingenieros Civiles Asociados (ICA), Bernardo Quintana Arrijoja, para incorporarse a la empresa, y muy pronto se fue haciendo cargo de mayores responsabilidades. A un año de haber ingresado estuvo al frente de su primera obra, que fue el tema de su tesis (1949): un estacionamiento de varios pisos en la esquina de Gante y 16 de Septiembre, proyecto del arquitecto José Villagrán realizado a

base de un sistema constructivo innovador, gracias al cual el edificio ha resistido grandes sismos y hoy se encuentra intacto.

Posteriormente participó en la construcción del Rastro de la ciudad y del mercado de La Merced, obras solicitadas por Gilberto Valenzuela como responsable del Departamento de Obras Públicas durante la regencia de Ernesto P. Uruchurtu (1952-1966).

En 1948 se inició la construcción de Ciudad Universitaria; allí, Ruiz Fernández fue residente del primer edificio, la Torre de Ciencias –hoy Torre II de Humanidades–, que tuvo un significado muy especial para él. Gracias a que la obra fue entregada en tiempo récord, el gobierno accedió a la construcción por parte de ICA de los edificios del primer cuadro de CU aplicando sistemas innovadores en ingeniería y arquitectura vanguardista, con la participación de grandes artistas como Diego Rivera, Juan O’Gorman y Francisco Eppens para crear un conjunto único. Por todo ello se otorgó en junio de 2007 la declaratoria de Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO. Forman parte de este primer cuadro las facultades de Ingeniería, Odontología, Veterinaria y una parte del Estadio Universitario, inaugurado en 1952 y que fue sede de los Juegos Olímpicos de 1968.



Daniel Ruiz Fernández en sus oficinas de CAPFCE, mayo de 1981.

En 1953 se funda ECSA, filial de ICA especializada en el diseño estructural de los proyectos de la empresa. En ese momento Daniel Ruiz se convierte en mano derecha de Javier Barros Sierra, quien al poco tiempo tuvo que abandonar ICA por haber sido nombrado miembro de la Junta de Gobierno de la UNAM; siendo él también docente en la Facultad de Ingeniería, invita a Daniel Ruiz a impartir las materias de Estabilidad y Diseño estructural. Como académico de esta materia en la Facultad de Ingeniería durante 23 años, tuvo alumnos a los que califica de brillantes, como Daniel Reséndiz, Carlos Isunza, Víctor Cachoua, Carlos Slim y Bernardo Quintana Isaac, entre muchos



Enfrentó desafíos constructivos de gran envergadura junto con un equipo de profesionistas de primera.

otros de varias generaciones, y comentaba: “He sido siempre fanático de la UNAM”.

### EL SERVICIO PÚBLICO

Junto con Emilio Rosenblueth, Roger Díaz de Cossío y Alberto J. Flores, entre otros, fundó en 1962 la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. Siguió trabajando en ECSA hasta 1965, año en que ingresó al servicio público convocado por Gilberto Valenzuela, titular de la Secretaría de Obras Públicas en el gobierno de Gustavo Díaz Ordaz.

Se aproximaban los Juegos Olímpicos y las tareas de construcción se multiplicaban: el Velódromo, la Alberca, el Palacio de los Deportes, la Villa Olímpica, la Pista de Canotaje, la ampliación del Anillo Periférico... todo en dos años. Para ello convocaron a grupos de arquitectos para concursar por cada obra, con un jurado integrado por Mario Pani, José Villagrán y Enrique del Moral.

En semejante empresa tuvo grandes retos que fueron “escuela” de gran valía para él. Una constante en su carrera fue realizar siempre obras con un toque de investigación; “escarbar el porqué de las cosas”, decía. Enfrentó desafíos constructivos de gran envergadura junto con un equipo de profesionistas de primera, que realizaron un modelo para la estructura de la cubierta del Palacio de los Deportes a base de pruebas en un túnel de viento para ver su comportamiento y así establecer un diseño estructural seguro, además de contemplar hundimientos diferenciales a futuro del palacio.

Ante los Juegos Olímpicos se presentó la urgencia de realizar obras aeroportuarias para el aforo internacional. Con Gilberto Valenzuela a la cabeza del equipo se llevó a cabo la construcción de 19 instalaciones aeroportuarias para establecer una red de rutas aéreas que permitirían el desarrollo de las comunicaciones, el turismo y los negocios del país.

### SU PASO POR EL II UNAM

Pablo González Casanova, rector de la UNAM, nombró coordinador de Ciencias a Roger Díaz de Cossío, que estaba como director del Instituto de Ingeniería, y él propuso a Daniel Ruiz Fernández ante la Junta de Gobierno para estar al frente de este instituto: “Me [lo] pidieron Hiriart, Rosenblueth, Mar-

sal”. Durante cuatro años (1970-1974) tuvo que empeñarse a fondo en estructurar y ordenar el instituto; la cuestión administrativa fue una tarea enorme. Gracias a su experiencia en la administración pública, logró que el Instituto de Ingeniería pusiera al servicio de las dependencias gubernamentales sus capacidades de investigación para hacer frente a los proyectos públicos; Luis Enrique Bracamontes estaba a cargo de Obras Públicas, Leandro Rovirosa en Recursos Hidráulicos, Manuel Moreno Torres en la CFE y Antonio Dovalí en Pemex.

Se estructuró el Instituto de Ingeniería realizando investigaciones por proyecto. Se construyeron diversas instalaciones complementarias como la pista de pruebas para el diseño de pavimentos, la mesa vibradora, la cámara triaxial para pruebas de enrocamiento, el túnel de viento y otras que enriquecieron el aspecto experimental de los estudios del II UNAM.

Se estableció una administración más institucional y se lograron relaciones más sólidas con los sectores de la sociedad, principalmente el público, para apoyar en la solución de los problemas nacionales de ingeniería.

Al terminar su periodo, a petición del rector Guillermo Soberón se dedicó a fortalecer la recién creada Dirección de Planeación en la propia UNAM (1974-1977) y se crearon las cinco Escuelas Nacionales de Estudios Profesionales (ENEP), cada una para atender a 20 mil estudiantes.

### UNA ACTIVIDAD INCESANTE

Fue nombrado director general del Comité Administrador del Programa Federal de Construcción de Escuelas (CAPFCE) en 1978, y permaneció en este cargo hasta 1987. En su gestión se construyeron más de 66 mil planteles de educación básica, las edificaciones del recién creado Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica (Conalep) y los edificios y centros de cómputo que la SEP instaló en todos los estados de la República mexicana.

Más tarde fue secretario de Obras del Departamento del Distrito Federal durante dos periodos de gobierno (1988-1998); allí tuvo a su cargo la infraestructura de la ciudad más grande del país, y entre las obras bajo su responsabilidad destacan el proyecto de las líneas 8, A y B del Sistema de Transporte Colectivo Metro, el Drenaje Profundo, el Gran Canal, el Acueducto Perimetral, así como hospitales, escuelas, via-



Ruiz Fernández participó en la construcción del primer cuadro de Ciudad Universitaria y del Estadio Universitario.

lidades, puentes, plantas de tratamiento, rellenos sanitarios y estaciones de transferencia de basura, entre muchas otras.

Fue director general adjunto en la Comisión Nacional del Agua en 1999, y de 2000 a 2019 participó en la empresa Ingeniería de Proyecto y Supervisión, donde al lado de su hijo Roberto trabajó con el ingeniero y ex alumno suyo Carlos Slim en los proyectos de ingeniería civil de Grupo Carso. Así intervino en obras como el Centro Citibanamex, el edificio de la Secretaría de Relaciones Exteriores, la Plaza Carso, el Museo Soumaya y Centros de Transferencia Modal, entre otros proyectos de edificación, vivienda, turismo, infraestructura e industria. Decía: “He tenido la suerte de trabajar siempre en proyectos urgentes”.

Siempre reconoció y agradeció a todo el gremio de ingenieros, arquitectos y muchos otros profesionistas el haber colaborado con él y haberle apoyado en todo momento, en cualquier proyecto que se presentara, con grandes retos y responsabilidades que cumplir. No importaba él, siempre estuvo ahí a tiempo. Para él, todas las obras eran prioridad.

En 2019, durante la última entrevista que concedió, le preguntaron si estaba satisfecho de lo que había logrado como ingeniero, y contestó: “Satisfecho no. Decorosamente satisfecho”.

Recibió el Premio Nacional de Ingeniería Civil (2003), una de las mayores distinciones del gremio.

Fue miembro fundador de la Fundación Javier Barros Sierra dedicada a realizar estudios de prospección sísmica.

Fundó el Centro de Investigación y Registro Sísmico (Cires), donde desarrolló el Sistema de Alerta Sísmica para la Ciudad de México a través de la instrumentación de acelerógrafos en la costa del Pacífico, fundamentalmente en los estados de Guerrero, Michoacán, Oaxaca y Jalisco.

Fue miembro fundador de la Academia de Música del Palacio de Minería, impulsado por su gran conocimiento, afinidad y cariño hacia la música.

## EL ARTE, LOS AMIGOS Y LA FAMILIA

Además de tener conocimientos profundos de diversos campos de la ingeniería (estructuras, hidráulica, sísmica, geotecnia y ambiental), desde muy joven desarrolló en familia el gusto por las artes. Su hermano mayor, Roberto, filósofo y escritor; Virgilio, pintor; Ovidio, ingeniero mecánico y músico.

Solía ir los domingos por la tarde a escuchar música clásica a casa de Javier Barros Sierra, un gran melómano, comparando versiones interpretativas de distintos directores de orquesta, pianistas y cantantes. Sus compositores preferidos fueron Bach, Haendel, Beethoven, Chaikovski, Mussorgsky y Ravel; sus directores, Furtwängler, Karajan, Solti, Maazel y Mata; sus pianistas, Frederich Gulda y Murray Perahya; sus cantantes, Cecilia Bartoli, Joan Sutherland, Plácido Domingo y Luciano Pavarotti, entre muchos.

Alternaba algunas otras tardes de fines de semana para escuchar grabaciones de cante flamenco, afición heredada de su padre; vibraba y se entusiasmaba con las interpretaciones



Con su familia en París.

de Juanito Valderrama, José Menese y Antonio Mairena, y gozaba también del género de la zarzuela y la música folclórica mexicana.

Siempre le gustaron los autos, las carreras; desde las competencias de las Panamericanas hasta la Fórmula 1. Como había construido la Magdalena Mixhuca, conseguía boletos para estar en los *pits* durante la primera temporada (estando cerca de Jim Clark, Graham Hill, Jack Brabham, John Surtees y los hermanos Rodríguez).

Fue muy bueno para el dominó. Durante un buen tiempo se reunía una noche por semana con sus amigos Francisco de Pablo, Francisco Noreña, Francisco Montellano y Urrusti, y en algunas ocasiones en casa de Bernardo Quintana Arrijoa. También le gustaba practicar el billar de carambola a tres bandas.

Disfrutó realizando viajes con su esposa Ana María y sus cuatro hijos, Roberto, Ana María, Irene y Alicia, por México y España; planeaba itinerarios de viaje y hacía recorridos en coche por diferentes países de Europa. Visitaba todos los museos posibles para admirar las grandes obras pictóricas y escultóricas con calma y tranquilidad. Disfrutó de la familia siempre, sentados en restaurantes y plazas, conversando, comiendo helados y él fumando su inseparable y aromático puro, alternado con un buen chinchón.

## PALABRAS FINALES

Daniel Ruiz Fernández logró el equilibrio en su vida dedicando muchas horas al trabajo y otras tantas compartiendo con su mujer, sus hijos, nietos y biznietos cariño y compañía, con una gran salud hasta sus últimos días. Nos dejó el 17 de mayo de 2020 a los 93 años de edad.

Pilar de la familia, dejó el legado de predicar con el ejemplo y de “actuar con cabeza, generosidad, rectitud, constancia, compromiso y lealtad pero, sobre todo, humildad” ❖

Elaborado por Helios Comunicación con información de Ana María y Roberto Ruiz Vilá; Sol Levin, *Rumbo y carácter. Directores e investigadores eméritos del Instituto de Ingeniería*, México, 2017; Daniel N. Moser, “Más de 64 años en la ingeniería”, *Geotecnia* 232, México, SMIG, 2014.

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

# Dar a manos llenas

## Enrique Tamez González

Mexicano y maestro ejemplar, con una simpatía y bonhomía singular. Transmitió con generosidad sus conocimientos; formó a mucha gente importante y capaz. Ejemplo de liderazgo, sobre todo hay que resaltar su sabiduría y enaltecer su nobleza humana y profesional.

La mañana del 11 de junio me llamó Adrián para darme la fatal noticia del fallecimiento de su padre, el profesor Enrique Tamez González. De golpe se me vinieron uno y mil recuerdos; era como si estuviera viendo las hermosas figuras de un caleidoscopio.

El pasado 28 de febrero fue nuestra última visita a su casa de Explanada; me hizo favor de acompañarme Luis Vieitez Uteza. Estuvimos un par de horas con ellos, amables como es su costumbre; él bien aliñado, impecable como siempre a sus casi 95 años; su esposa, acompañándolo con alegría y entereza al igual que en toda clase de circunstancias que les tocó compartir. Desde luego, están las vivencias agradables y felices, como los reconocimientos, viajes, logros familiares, hijos y nietos. Tampoco han faltado, desafortunadamente, las enfermedades, la pérdida de familiares y amigos. Yolanda le dio siempre su apoyo y comprensión, siempre sabia, discreta y alegre.

Recuerdo su cara, sus manifestaciones de aprecio y cariño y viene a mi memoria la descripción que hace Luis Vieitez en el libro *Ingeniero a profundidad*, publicado por la SMIG en 2015 con motivo de los 90 años de Enrique Tamez:

“Porte distinguido, frente amplia que da cabida a un gran cerebro, coronada por un cabello ondulado y ahora de color plateado lustroso. Nariz recta y sobresaliente. Tez blanca, algo rubicunda. Y ojos claros —azules, de hecho— cuya mirada como águila es capaz de otear y, sin vacilación, discernir con toda certeza. De sonrisa fácil y a la vez enigmática. No afecto a los aspavientos ni a los cam-

bios de humor: el suyo es, por lo común, afable y ecuánime, a veces irónico. Estatura media, complexión entre delgada y fuerte. Sus manos, de huesos no excesivamente largos y recios, acompasan casi siempre su expresión oral. A la manera de un emotivo director de orquesta, elige con esmero sus partituras y les imprime vibrante coloratura a medida que incorpora a sus solistas y a todo su ensamble, con quienes ha ensayado incontables veces en aras de la perfección. Posee un espíritu renacentista y una imaginación a lo Julio Verne, y además abarca cualquier tema con su conversación informada, amena y simpática.”

Al terminar la visita, nos despedimos igual que siempre, con un apretón de manos y un fuerte y cariñoso abrazo, sin pensar que esa sería la última vez que nos veríamos. Esta es la imagen que quiero conservar de por vida de nuestro querido profesor.

Igualmente recuerdo que, con motivo de sus 80 años, la SMMS, ahora SMIG, editó un libro con más de 30 testimonios, vivencias, anécdotas sobre el profesor de alumnos, amigos, académicos, investigadores y grandes ingenieros. De ello recuerdo con gusto que a quien le pidiéramos su colaboración, la respuesta era siempre positiva y llena de elogios; pero lo más extraordinario es que todos convergían en un vértice: su sencillez, su calidad humana. Su claridad conceptual y los efectos de ella, perceptibles de inmediato. Su envidiable facilidad de explicar y enseñar. Constituyó una gran escuela y una oportunidad única para ingenieros principiantes. Ecuánime. Hombre cortés, tolerante, de gran cultura, ingeniero constructor audaz y profesor distinguido. Ejemplo de liderazgo y, sobre todo, hay que resaltar su sabiduría y enaltecer su nobleza humana y profesional.

Mexicano y maestro ejemplar, con una simpatía y bonhomía singular. Transmitió con generosidad sus conocimientos; formó a mucha gente importante y capaz. La más valiosa de las enseñanzas que me regaló fue la capacidad de una férrea disciplina desarrollada para enfrentar los buenos y malos ratos de la vida. Su espíritu innovador y la agudeza para detectar



Enrique Tamez constituyó una gran escuela y una oportunidad única para ingenieros principiantes.

los méritos y fallas de distintas soluciones, así como la curiosidad para estudiar y evaluar nuevas técnicas.

Estas experiencias y recuerdos no son raros ni excepcionales, pues sé de otros, muchos otros, que podrían contar mil y una anécdotas o revivir muchos recuerdos en los que los factores comunes son la calidad humana, intelectual y técnica del profesor. Un gran tesoro que ha aportado el maestro Tamez es la promoción de la enseñanza y la investigación de la mecánica de suelos. Hablar del profesor Enrique Tamez González resultaría fácil si sólo lo tuviera que resumir en dos palabras: diría que es un hombre bueno y es un hombre sabio.

A la lectura de los testimonios fue que decidimos titular el libro *Enrique Tamez González. Ejemplo a seguir*.

Enrique Tamez fue siempre un entusiasta colaborador de la SMMS desde su fundación en 1957. Perteneció a la mesa directiva fundadora y formó parte del Comité Organizador del I Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cimentaciones, celebrado en la Ciudad de México en 1959.

Diez años después, en 1969, se llevó a cabo también en la CDMX el VII Congreso Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, en cuya presidencia el profesor Tamez sustituyó al Dr. Nabor Carrillo Flores, quien lamentablemente murió en 1967. Tamez fue presidente de la SMMS en el periodo 1973-1974 y conferencista Nabor Carrillo en 1992. La Mesa Directiva 2003-2004 acordó distinguir al profesor instituyendo la conferencia que lleva su nombre y acuñó una moneda conmemorativa.

La SMIG promueve un homenaje para enero de 2021 en el marco del cambio de la mesa directiva de nuestra sociedad, en la que conforme a los estatutos se dicta la Conferencia Enrique Tamez González.

Lo que sigue son algunos fragmentos del libro conmemorativo publicado por la SMIG en 2015.

#### INGENIERO A PROFUNDIDAD

**Del prólogo de Luis Vieitez Utesa.** Enrique Tamez ha logrado, como pocos, cumplir con la tarea de poner esta ciencia “infusa, difusa y confusa”, como la califican muchos quizá por envidia, al alcance de los estudiantes, de los especialistas y de los ingenieros de la práctica profesional, con las expresiones más elegantes y fácilmente comprensibles que se puedan dar. Léanse, si no, la Undécima Conferencia Nabor Carrillo, “Hundimientos diferenciales de edificios coloniales en el Centro Histórico de la Ciudad de México”, o el libro *Diseño geotécnico de túneles*, que contiene su tesis de ingreso a la Academia Mexicana de Ingeniería.

**Del prólogo de Óscar M. González Cuevas.** Sus clases de Mecánica de suelos en la licenciatura de Ingeniería civil de la UNAM, y de Mecánica de suelos aplicada en la División de Estudios de Posgrado, marcaron la vida profesional de muchos ingenieros que ahora son personajes destacados en la ingeniería mexicana. Prácticamente todos coinciden en que estas clases amenas, interesantes, de alto nivel



En noviembre de 1970 se entregaron a la Ciudad de México las tres primeras líneas del Sistema de Transporte Colectivo Metro.

académico, definieron su vocación y su posterior ejercicio profesional.

El 18 de noviembre de 1975, la Junta designó al ingeniero Tamez para ocupar este puesto [la Rectoría de la Universidad Autónoma Metropolitana] por un periodo de cuatro años (en la UAM no hay reelección para ningún cargo de órgano personal académico).

Al llegar a la rectoría de la unidad, el profesor Tamez gozaba de respeto y reconocimiento de toda la comunidad de la Unidad Azcapotzalco. Esto ayudó a restablecer el clima de concordia que se había alterado con motivo de la renuncia del arquitecto Ramírez Vázquez; con su liderazgo, la Unidad Azcapotzalco continuó su proceso de consolidación académica. Durante su gestión se terminaron de elaborar los planes de estudio de todas las carreras, se avanzó en la construcción de las instalaciones físicas de la unidad y en el equipamiento de los laboratorios y se iniciaron acciones de vinculación con empresas de la zona.

La universidad le reconoció los servicios prestados, así como sus méritos académicos y profesionales, en el año 1995, otorgándole su máxima distinción: el grado de doctor *honoris causa*. Según la reglamentación, este grado se puede conferir por acuerdo del Colegio Académico a quienes se hayan distinguido por sus contribuciones al desarrollo de las ciencias, de las artes o de las humanidades. El profesor Enrique Tamez fue una de las primeras personas en recibirlo.

#### ESPECIALISTA EN IRRIGACIÓN

En la Escuela Nacional de Agricultura (Chapingo), Tamez eligió la especialidad de Irrigación, cuyo objetivo era el diseño de presas y canales de riego ligadas a la agricultura. Las instalaciones incluían dormitorios, comedor, caballerizas y campos deportivos, todo lo necesario para mantenerse ocupado más allá del estudio. La planta académica estaba integrada por magníficos profesores. Tamez recuerda especialmente a dos: Manuel López Aguado, su profesor de Matemáticas

que se había formado como ingeniero electromecánico y era profesor de asignatura en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), y su profesor de Física, Efrén Fierro Camargo.

Recuerda que Chapingo poseía un excelente laboratorio de hidráulica así como laboratorios de física y química; eran muy importantes la geología y la mineralogía en relación con el origen de los suelos y su constitución desde el punto de vista químico, físico y biológico. En el marco de la ingeniería civil había cursos de Hidráulica y de Estructuras, fundamentalmente aunados a los temas de las propiedades del concreto: diseños de estructuras de concreto y acero, diseños de presas y canales.

### FORMACIÓN ACADÉMICA

A principios de 1951, recibió la noticia de que su solicitud de beca para estudiar en el extranjero había sido aprobada. La beca cubría dos años, pero en un año y medio Tamez había cumplido con todos los créditos en la Universidad de Michigan. Con un semestre becado por delante, le escribió al profesor Arthur Casagrande pidiéndole ser admitido como su ayudante en su laboratorio de Harvard. Sabía que Casagrande guardaba una relación amistosa con Nabor Carrillo y Raúl J. Marsal, quienes habían sido sus estudiantes; además, Marsal estaba involucrado en un programa de investigación de las propiedades de las arcillas del Valle de México, y Casagrande quería estar al pendiente de todo ello.

La buena relación que Tamez estableció con Nabor Carrillo fue facilitada por el carácter accesible de éste y por tratarse de un grupo reducido, y a la postre fue la mejor tarjeta de presentación con Casagrande. Tamez fue admitido como estudiante especial; las clases apenas comenzaban cuando llegó a Harvard.

Casagrande le entregó tres cuadernillos de unas cien páginas cada uno. Eran publicaciones de Raúl J. Marsal: siete años y medio de investigaciones sobre las arcillas, los hundimientos regionales y varios casos reales de cimentaciones en México. El propósito era que presentara una exposición verbal para él y un pequeño grupo de sus colaboradores y estudiantes. Le llevó mes y medio estudiar, analizar y preparar una exposición de esos trabajos y fue su primer contacto con las investigaciones realizadas en el Laboratorio ICA.

De esta experiencia, Tamez aprendió mucho: un estudiante que empezaba a hacerse de conocimientos se veía de pronto en poder de un auténtico tesoro de información sobre el problema del suelo en el Valle de México explicado, dimensionado e interpretado por Raúl J. Marsal, con la participación teórica de Nabor Carrillo, y por si fuera poco los podía discutir con Arthur Casagrande.

### FUNCIONARIO, PROFESOR Y EJECUTIVO

Marsal era asesor de la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), pero también ingeniero de ICA especializado en suelos; en otras palabras, el laboratorio de ICA eran sus

oficinas, pero desde allí atendía los problemas de Recursos Hidráulicos. De esta manera comenzaron para Enrique Tamez poco más de 10 años en la SRH junto a Marsal.

Este periodo fue el punto de partida para el ingreso de Tamez en el área de cimentaciones de ICA, que se dio por una circunstancia particular: en 1956 se estableció el Instituto de Ingeniería, al frente del cual quedó Fernando Hiriart Balderama; éste a su vez invitó a Raúl Marsal a proseguir allí sus programas de investigación en torno al subsuelo del Valle de México. Bernardo Quintana Arriola donó al instituto buena parte del equipo del Laboratorio ICA. El nuevo órgano de investigación de la UNAM ayudó a que en el año 1959 la Escuela de Ingeniería obtuviera el rango de facultad.

Como consecuencia de esta reestructuración surge, también en 1956, la empresa Solum como parte de ICA pero que debía funcionar de manera autosuficiente desde el punto de vista financiero. El primer gerente fue Enrique Tamez, y uno de los objetivos de la nueva empresa era formar ingenieros en la práctica profesional. Era un laboratorio para consulta y asesoría fundamentalmente en problemas de cimentaciones, aunque había otros relacionados con obras marítimas, presas y edificaciones en el Distrito Federal. En buena medida, Solum se convirtió en un semillero de ingenieros geotecnistas que desarrollaron su actividad profesional en el ámbito de la construcción. Tamez estaba encargado del área de consultoría, que crecía en demanda pues cada vez ICA hacía más obras de cimentación.

Después de ese periodo, se presentaron otras dos obras de la mayor importancia: por un lado, las tres primeras líneas del metro de la Ciudad de México, con 42 km de longitud, en pleno centro de la ciudad y en condiciones complejas del subsuelo. Por el otro, la terminación de una infraestructura que ya había sido iniciada pero que presentaba un avance lento, por lo que las autoridades decidieron que se debía acelerar su conclusión. Se trataba de un colector de aguas, el primero en su tipo: el Túnel Emisor del Sistema de Drenaje Profundo. Habían sido construidos algunas lumbreras y pocos kilómetros de túnel; faltaban kilómetros más.

La gerencia de Solum y la participación en ambas obras significó una cierta independencia: aunque la comunicación y consulta profesionales con Marsal continuaron, en adelante



Al llegar a la rectoría, el profesor Tamez gozaba de respeto y reconocimiento de toda la comunidad de la Unidad Azcapotzalco.



Con su esposa, Yolanda.

ya no se trataba del ayudante o secretario, sino del ingeniero Enrique Tamez González.

### OBRAS PARA LA POSTERIDAD

Se inició la construcción del metro en la Calzada Ignacio Zaragoza con el sistema tradicional de excavaciones a cielo abierto con el auxilio de la electrólisis proporcionada por Solum. Para la zona centro de la ciudad, por primera vez se utilizó en México un procedimiento constructivo que se empleó en el metro de la ciudad de Milán.

Las pruebas de construcción del primer muro Milán se hicieron cerca de un sitio en la colonia Agrícola Oriental que ocupaba Solum para sus laboratorios y talleres. El método inicialmente fue puesto en duda por el respectivo Comité Decisor. Esta duda, a veces incluso expresada como la imposibilidad de construir los túneles necesarios para un transporte subterráneo en la Ciudad de México, se sustentaba en las características problemáticas de las arcillas del subsuelo. Con una baja capacidad de carga, estas arcillas son sumamente blandas y tienen una compresibilidad muy variable, lo que puede fracturar e incluso colapsar las estructuras.

Una vez concluido el experimento, el comité fue invitado al sitio. Asistió Bernardo Quintana acompañado por los otros gerentes de las empresas que integraban el Grupo ICA. Enrique Tamez se encargó de explicar el experimento y sus resultados. Cuando terminó, la reflexión de los decisores motivó un silencio, dada la trascendencia del momento. La exposición de Tamez en aquella ocasión ha sido calificada como magistral.

Por fin Bernardo Quintana rompió el silencio: “Este es el procedimiento. Enrique, vente conmigo para que diseñes la construcción del metro con este sistema.”

En noviembre de 1970, se entregaron a la Ciudad de México las tres primeras líneas del Sistema de Transporte Colectivo Metro, con 42 kilómetros de vías, 36 estaciones, talleres de mantenimiento y puesto central de control construidos en tan sólo 40 meses.

Por su parte, la construcción del Drenaje Profundo de la Ciudad de México –en la que también participó Enrique Tamez como asesor técnico de la empresa TUSA– no estuvo exenta de retos y problemas. Los obstáculos que se presenta-

ron fueron básicamente de dos tipos: por un lado, inestabilidad del frente, que se manifestaba en caídos de muy diferente magnitud, desde pequeños desprendimientos de rocas de la clave hasta grandes flujos de lodo que invadieron 200 m de túnel; por otro lado, infiltración de agua freática, cuyo gasto podía variar desde 1 l/s hasta 1,600 l/s en una lumbrera, con 170 m de carga.

Tamez colaboró desde la etapa de planeación encontrando la correlación entre los mapas geológicos de Federico Mooser y la realidad del subsuelo conocido por los túneles ya abiertos, así como dando solución a los dos grandes problemas comentados; se llegó incluso a cambiar el trazo del túnel en el tramo del valle de Tepoztlán. La obra finalmente fue concluida de conformidad con el programa establecido por las autoridades en 1976.

### ENSEÑANDO HASTA EL FINAL

Apreciado por sus conocimientos y su experiencia, Tamez siempre fue llamado a participar en los grandes proyectos de la Ciudad de México, dada su bonhomía, sencillez y su deseo de ser útil, para comentar y exponer sus puntos de vista de cada uno de los problemas que debían ser resueltos para llevar a buen puerto los proyectos.

Tal es el caso de la Catedral Metropolitana de la Ciudad de México, que presentaba hundimientos acumulados prácticamente desde que se terminó su construcción. El hundimiento acumulado había llegado ya a 2.5 metros. Se diseñó el proceso de corrección geométrica, se enderezó cuanto fue posible, se tomaron medidas para evitar que los edificios reanudaran sus tendencias de hundimiento, y se modificaron las propiedades del subsuelo para lograr que los hundimientos fueran más uniformes y no se perdieran los avances logrados.

Otros ejemplos son su asesoría en la Torre Mayor, en el Túnel Emisor Oriente y en la línea 12 del metro de la CDMX.

En sus últimos años fue invitado por las autoridades de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para dar asesoría en la solución de las cimentaciones del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, el cual se ubicó en el vaso del Lago de Texcoco.

Todo esto fue reconocido por el gobierno de la ciudad al otorgarle el Premio a la Ingeniería el 1° de julio de 2016.

### PALABRAS FINALES

Enrique Tamez vivió plenamente. Nos dio a manos llenas; nos enriqueció con su ejemplo y enseñanzas; formó un sinnúmero de profesionales; compartió generosamente sus conocimientos y experiencias, siempre comprometido con estudiar y analizar la mejor solución en cada uno de los proyectos y trabajando en equipo. Hizo realidad grandes ideas.

Enrique Tamez González fue un hombre bueno y un hombre sabio ❖

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

## 2020

17-19 **México a través de los sismos**  
Septiembre Ciudad de México  
[www.smig.org.mx](http://www.smig.org.mx)

7-8 **Curso-taller Evaluación de peligro sísmico, efectos de sitio y espectros de diseño sísmico**  
Octubre Ciudad de México  
[www.smig.org.mx](http://www.smig.org.mx)

11-13 **CouFrac2020. International Conference on Coupled Processes in Fractured Geological Media: Observation, Modeling, and Application**  
Noviembre Seúl, Corea  
[www.coufrac2020.org](http://www.coufrac2020.org)

## 2021

16-19 **XXX Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica XXI Reunión Nacional de Profesores de Ingeniería Geotécnica**  
Marzo



Fechas importantes:  
Recepción de artículos técnicos:  
30 de octubre de 2020  
Aceptación de artículos técnicos:  
2 al 30 de noviembre de 2020  
Aceptación de artículos para  
presentación oral en línea  
o presentación de cartel en línea:  
1 al 18 de diciembre de 2020  
En línea  
[www.smig.org.mx](http://www.smig.org.mx)

27-30 **XX Congreso Brasileño de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica IX Simposio Brasileño de Mecánica de Rocas IX Simposio Brasileño de Jóvenes Ingenieros Geotécnicos**  
Abril Campinas, Brasil  
[cobramseg2020.com.br](http://cobramseg2020.com.br)

21-25 **EUROCK 2021 - Mechanics and Rock Engineering from Theory to Practica - The 2021 ISRM International Symposium**  
Junio Turín, Italia  
[eurock2021.com](http://eurock2021.com)

19-21 **6th GeoChina International Conference**  
Julio NanChang, China  
[geochina2021.geoconf.org](http://geochina2021.geoconf.org)

9-11 **5th International Workshop on Rock Mechanics and Engineering Geology in Volcanic Fields - An ISRM Specialized Conference**  
Septiembre Fukuoka, Japón  
[ec-convention.com/rmegv2021/](http://ec-convention.com/rmegv2021/)

12-17 **20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering**  
Septiembre Sídney, Australia  
[www.icsmge2021.org](http://www.icsmge2021.org)

## 2022

15-18 **LARMS 2022 – IX Latin American Congress on Rock Mechanics, Rock Testing and Site Characterization - An ISRM Regional Symposium**  
Mayo Asunción, Paraguay  
[www.isrm.net/conferencias/detalhes.php?id=5144&show=conf](http://www.isrm.net/conferencias/detalhes.php?id=5144&show=conf)

13-17 **Eurock 2022 - Rock and Fracture Mechanics in Rock Engineering and Mining - An ISRM Regional Symposium**  
Junio Helsinki, Finlandia  
[www.isrm.net/conferencias/detalhes.php?id=5247&show=conf](http://www.isrm.net/conferencias/detalhes.php?id=5247&show=conf)

## 2023

9-14 **15th ISRM International Congress in Rock Mechanics**  
Octubre Salzburgo, Austria  
[www.isrm.net/conferencias/detalhes.php?id=5250&show=conf](http://www.isrm.net/conferencias/detalhes.php?id=5250&show=conf)

# Evolución en México de muros Milán en 40 años

José Antonio Ponce

En esta presentación se propone una definición del concepto de muros Milán; nos remontamos un poco a la historia del nacimiento de este interesante ingenio constructivo, así como su nacimiento en México al construir los cajones del metro subterráneo en el difícil subsuelo de la ciudad capital. A partir de esta invaluable experiencia, se describe la evolución de los métodos constructivos, gracias al desarrollo de máquinas cada vez más potentes y precisas por la evolución de los motores y sistemas hidráulicos.

Se presentan algunos ejemplos y casos de aplicaciones especiales que ilustran la evolución de los métodos constructivos, los cuales al final arrojan como resultado una mejor calidad.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Definición conceptual de muros

Los muros Milán, también conocidos como pantallas o muros ademe, son “paredes” de concreto reforzado construidas en zanjas preexcavadas en el suelo y estabilizadas con un fluido que reúne ciertas características de viscosidad y una densidad mayor que la del agua. Su propósito es formar estructuras de contención de empujes laterales de tierras y al mismo tiempo barreras impermeables, para efectuar excavaciones profundas en condiciones seguras y cómodas, sin presencia de agua que cause dificultades en los trabajos.

### 1.2. Antecedentes históricos

El nacimiento de los muros Milán se asocia con el aprovechamiento de las propiedades de los lodos bentoníticos que ya se venían utilizando en la industria petrolera. En el año 1938 se utilizaron los lodos para estabilizar zanjas en suelos aluviales para el metro de Milán, de allí el nombre de los muros.

Durante los años cincuenta existió un intenso programa de construcción en Europa para reconstruir las ciudades que fueron destruidas por la guerra, y en varias ciudades se emplearon en la reconstrucción.

En la segunda mitad de la década de 1960 se construye el conjunto World Trade Center en Nueva York, obra en la que la firma italiana Impresa Costruzioni Opere Specializzate (ICOS)



Figura 1. Muros Milán en el WTC, años sesenta.

construye los muros de protección para las excavaciones de este importante proyecto, con la técnica de los muros Milán, ya que en el subsuelo del WTC se encontraron hasta 36” (11 m) de cimentaciones antiguas, pilotes, drenajes y túneles.

El suelo natural que subyace a los rellenos e instalaciones antiguas está formado por limos arenosos a los que subyacen boleos (formación Manhattan), y finalmente el manto rocoso con cuarzo y mica.



Figura 2. Muros Milán, metro línea 2.

En la misma década, un grupo de ingenieros de Solum del Grupo ICA, encabezados por el ingeniero Enrique Tamez, realizaron los primeros muros experimentales en los patios de esta empresa en la colonia Agrícola Oriental. Su aplicación industrial lo fueron las líneas 1 y 2 del “imposible” metro de la Ciudad de México, promovido por Bernardo Quintana Arrijo, presidente fundador del Grupo ICA.

## 2. IDEAS DE DISEÑO

Una forma de diseñar los muros como estructuras de contención de empuje horizontal del suelo es con los criterios y desarrollos de Terzaghi y Peck para fuerzas horizontales redistribuidos de acuerdo con las mediciones de carga sobre los puntales de troquelamiento en excavaciones abiertas. Para arcillas se aplica la distribución de carga mostrada en la figura 3.

Para arenas se considera el diagrama de distribución de esfuerzos de la figura 4.

En ambos esquemas, los símbolos y literales representan lo siguiente:

$H$  = Profundidad de la excavación

$\gamma$  = Peso volumétrico del suelo

$qu$  = Resistencia al corte no drenada de la arcilla

$pA$  = Máxima intensidad de la carga horizontal definida por:

por:

$$0.8\gamma H \left[ pA \frac{\cos\delta}{1/2\gamma H^2} \right]$$

$$pA \frac{\cos\delta}{1/2\gamma H^2} = \text{Coeficiente de presión activa}$$

Los espesores de los muros y su armado de refuerzo toman en consideración los puntos de apoyo del apuntalamiento durante la etapa de excavación de la obra, así como los de las losas de fondo y de cubierta en el cajón del metro, o de los sótanos en el caso de edificios.

El espesor del muro y su armado de acero se define por los esfuerzos de flexión entre los puntos de apoyo (líneas de puntales y losas de entrepiso).

Para la construcción del muro Milán propiamente dicho, se analiza la estabilidad de la zanja excavada y estabilizada con el fluido ligeramente más denso que el agua y con propiedades de viscosidad que contribuyen a la estabilización.

Tratándose de los lodos bentoníticos como fluidos estabilizadores, éstos tienen la propiedad de formar una costra

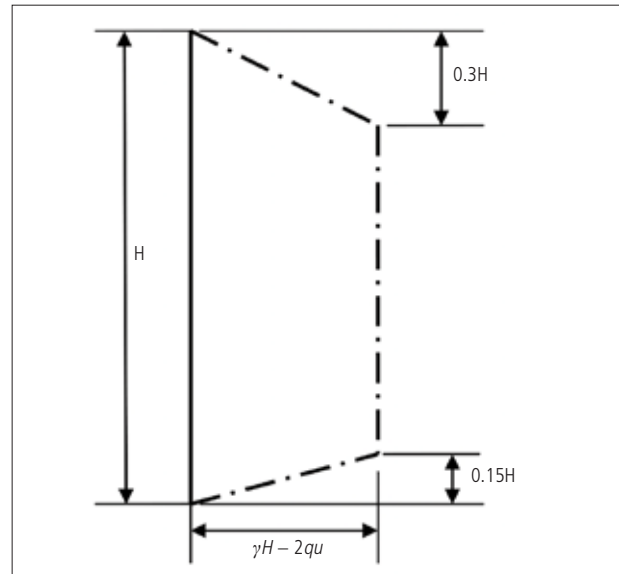


Figura 3. Distribución de esfuerzos en arcillas.

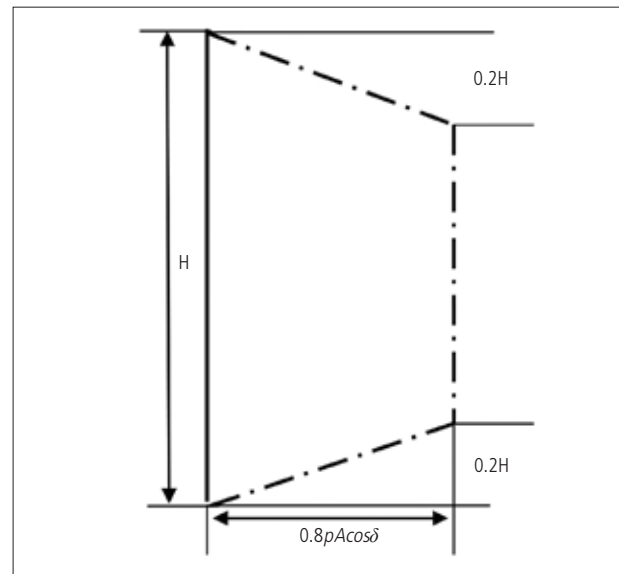


Figura 4. Distribución de esfuerzos en arenas.

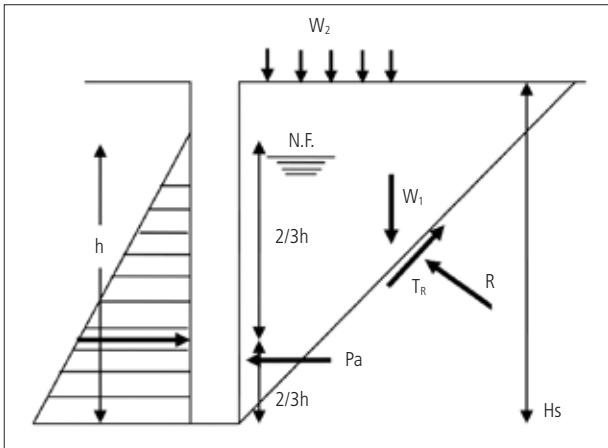


Figura 5. Estabilidad de la zanja

llamada *cake* en las paredes de la excavación, producto del agua que se filtra a las formaciones del subsuelo y que deja una concentración de lodo en estado de gel que forma la película antes mencionada a manera de un ademe.

La acción estabilizadora de los lodos se deriva de la presión hidrostática que generan en las paredes de las zanjas, la cual se opone al desarrollo de la falla del suelo; una forma práctica de revisar la estabilidad es por medio de la definición de un prisma inestable que representa el colapso de la zanja.

- $W_1$  = Peso de la cuña de falla
- $W_2$  = Sobrecargas
- $Pa$  = Empuje hidrostático del agua
- $T_R$  = Resistencia a lo largo de la superficie de falla
- $W$  = Peso actuante;  $W_1 + W_2$
- $R$  = Resultante  $T_R$ ,  $Pa$  y  $W$

En el caso de suelos cohesivos, la superficie de falla se define a 45°; el factor de seguridad se evalúa por la relación de la cohesión total de la superficie de falla, para mantener el prisma en equilibrio:

Fuerzas actuantes:

$$W = W_2 + 1/2 \gamma Hs$$

Presión del fluido estabilizador.

$$Pa = 1/2 \gamma f h_2$$

Fuerza resistente:

$$CR = cuHs \sqrt{2}$$

Fuerza resistente movilizada:

$$Ta = \frac{Cu}{FS} Hs \sqrt{2}$$

donde:

$Hs$  = Espesor del suelo

- $\gamma$  = Peso volumétrico del suelo
- $\gamma f$  = Peso volumétrico del fluido
- $Cu$  = Cohesión en condición no drenada
- $FS$  = Factor de seguridad

$$FS = \frac{2CuHs}{W - Pa}$$

$$FS = \frac{2CuHs}{Hs(\gamma s - \gamma f)}$$

Los lodos bentoníticos hasta hoy han sido la mejor solución para estabilizar las zanjas; el análisis numérico se lleva a cabo a partir de la comparación entre la presión hidrostática actuante en la pared de la zanja y hacia el interior de ésta, y la presión resistente generada por la columna de lodo bentonítico que se coloca en el interior de la zanja.

### 3. PROCESO CONSTRUCTIVO

#### 3.1. Equipos de excavación

A través del tiempo, y paralelamente con el avance de la ingeniería mecánica, los equipos de excavación y construcción de muros Milán ha evolucionado partiendo de la necesidad de excavar las zanjas con su geometría rectangular alargada; las máquinas más elementales consisten en cucharones de almeja equipados con dientes para cortar el terreno.

Las primeras almejas para muros de que se tienen noticias eran accionadas por cables y poleas; se suspendían de estructuras tubulares.

Con la aparición de las grúas sobre orugas equipadas con plumas de celosía se desarrollan diversos sistemas de acoplamiento de las almejas para excavar las zanjas.



Figura 6. Primeras almejas para muros Milán.

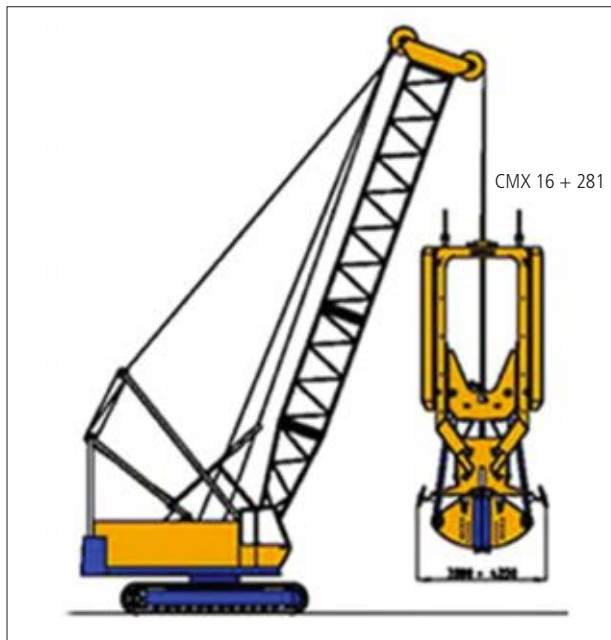


Figura 7. Almeja de cables.

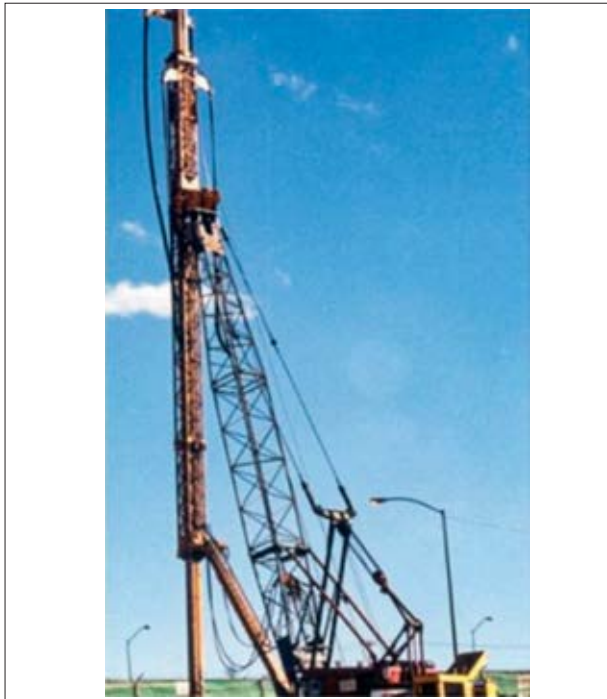


Figura 8. Kelly monolítico.

En un inicio, las almejas fueron de accionamiento mecánico; así existen varios tipos y marcas en el mercado, entre las que destacan las almejas Modelco, Keller y CM, con pesos de 6 a 28 toneladas. Este tipo de almejas se caracterizan por tener una estructura alta por encima de las valvas de corte; esta estructura, además de agregar peso para facilitar el corte del suelo, son la guía que obliga a que la excavación se efectúe verticalmente.

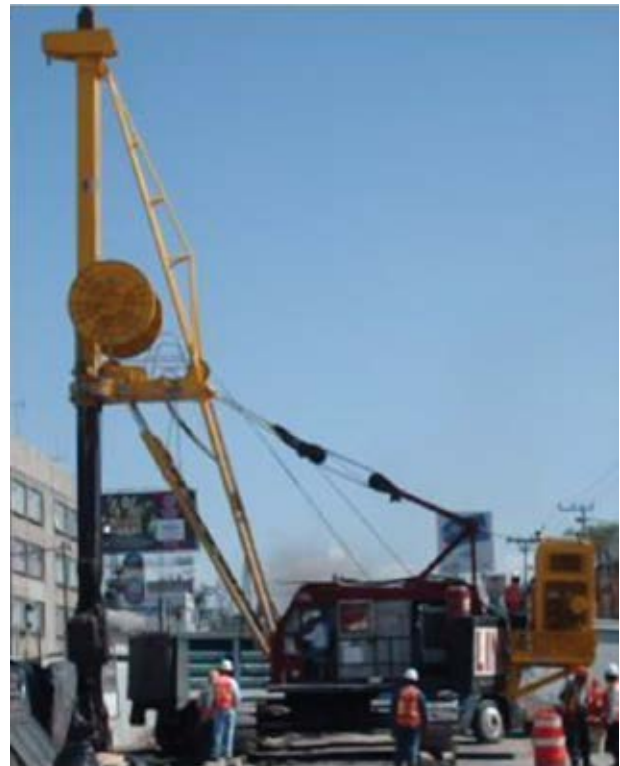


Figura 9. Equipo guiado con kelly telescópico.

Los equipos de excavación con accionamiento hidráulico surgen en los años setenta; los primeros que llegaron a México fueron equipos Soilmec; la principal mejora consistió en tener un *kelly* deslizante que permitía un control muy preciso de la verticalidad; efectuaban excavaciones de muros en esquinas a 90°, muros “T” y muros “+”. Por las alturas que alcanzaban los *kellys*, estos equipos estaban limitados a profundidades de excavación de 25 a 30 m.

Conforme la demanda de profundidad de muros creció, la firma Casagrande desarrolló los equipos hidráulicos guiados con *kelly* telescópico formado por tres o cuatro secciones capaces de alcanzar hasta 50 m de profundidad.

Las ciudades crecen, y con ello la necesidad edificios más altos para los que se requiere ir más profundo en su cimentación; por otro lado, esas mismas ciudades necesitan sistemas de drenaje profundo que sólo pueden ser construidos por medio de túneles, los cuales requieren a su vez pozos de acceso (lumbreras) a profundidades que superan los 50 m y llegan hasta 120 m.

Las necesidades anteriores favorecieron el desarrollo de equipos hidráulicos semiguidados o libres que combinan la técnica de los cuerpos alargados de los equipos de cable con el accionamiento hidráulico de las quijadas accionados con mangueras que conducen el fluido hasta las profundidades necesarias y son controladas por medio de carretes enrolladores, sincronizados con el ascenso y descenso de la almeja.

De este tipo de máquinas existen marcas tales como TEC, Soilmec y BAUER, que ofrecen en general buen compor-



Figura 10. Equipo semiautornado.

tamiento y eficiencia, con algunas diferencias derivadas del accionamiento de las valvas con un cilindro principal o dos independientes, uno por cada valva; sistema de giro del cuerpo de la almeja por medio de cremallera; sistema de celosía que permite una menor flotación al sumergirse en el lodo bentonítico.

Para excavaciones en suelos muy duros o rocas suaves se desarrollaron las hidrofresas, que consisten en dos tambores rotatorios equipados con dientes de distintos tipos o con roles cortadores revestidos de tungsteno; su función es cortar el suelo o roca por medio de la rotación; la extracción de los recortes se efectúa por medio del flujo del lodo bentonítico impulsado por una bomba sumergible que viene integrada a la hidrofresa.

### 3.2. Lodos estabilizadores

Considerando la geometría rectangular de las zanjas y la presencia de aguas freáticas, se requiere llenarla de un fluido que contrarreste el empuje lateral del suelo y el agua.

Los lodos formados a base de mezclar agua con polvo de rocas sedimentarias de origen arcilloso constituyen el elemento estabilizador más utilizado para las zanjas de los muros Milán.

El origen de las bentonitas en México son bancos localizados en la sierra del poniente en la región de Durango, en donde existen dos plantas procesadoras del mineral, el cual es explotado a cielo abierto.

Existen dos tipos de bentonita: la sódica y la cálcica; de éstas, la que se utiliza en la elaboración de los lodos bentoníticos es la bentonita sódica.

A partir de la mezcla de agua y bentonita, los lodos deben reunir las siguientes características, que han propiciado el comportamiento más estable de las excavaciones y la mejor calidad de los colados de concreto de los muros:

Densidad: 1.03 a 1.07 gr/cm<sup>3</sup>

Viscosidad en cono Marsh, de 36 a 55 segundos

pH, 8 a 11

Contenido de arena, 3 a 5%

La forma de preparar los lodos ha evolucionado, partiendo del más sencillo constituido por un cono sobre el que se vierte la bentonita en sacos y ésta es mezclada por el paso a alta velocidad de un chorro de agua generado por una reducción de diámetros (Venturi), generalmente de 4" a 2"; el lodo así preparado se almacena en tanques destinados a asegurar la hidratación del lodo.

Actualmente existen plantas de mezclado automáticas, las cuales son de alta producción, destinadas a aquellos proyectos que demandan consumos por encima de los 200 m<sup>3</sup> por

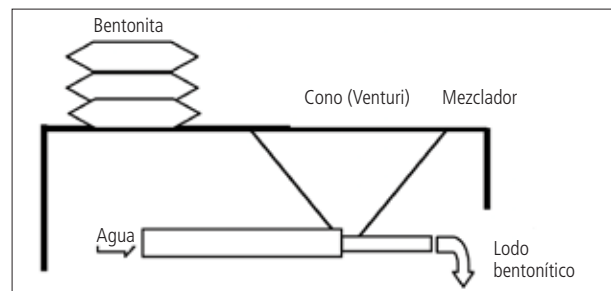


Figura 11. Mezclador tipo Venturi.



Figura 12. Dosificador automático.



Figura 13. Desarenador y deslimadores.

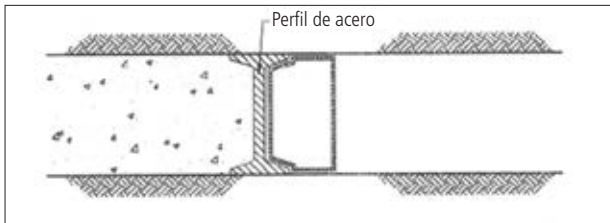


Figura 14. Junta metálica ahogada.



Figura 15. Junta metálica con doble banda impermeabilizante.

turno. Estas plantas producen de 15 a 30 m<sup>3</sup> por hora, dependiendo del modelo; deben ser alimentadas con bentonita a granel, la cual se almacena en silos.

Debido a la necesidad de cumplir con la especificación del contenido de arenas, se necesita cambiar el lodo de los muros; para su mejor aprovechamiento y disminuir el volumen de disposición de lodos, se pasan por desarenadores.



Figura 16. Izaje de un armado de muro Milán.

Existen varias marcas y modelos de desarenadores; los modelos están asociados a la capacidad de procesamiento de lodos por hora; dicha capacidad varía de 50 a 100 m<sup>3</sup>/hora.

Los desarenadores están equipados por conjuntos de mallas con distintas aberturas para contener los distintos tamaños de las partículas de arena; los conjuntos de mallas actúan por medio de vibradores que, al imprimir el movimiento a las mallas, permiten el paso del lodo y de partículas finas mezcladas con el lodo; estas últimas son retiradas por medio de hidrociclones, los cuales dejan como producto final el lodo limpio.

En proyectos en donde se emplean hidrofresas, que requieren un flujo constante de lodo limpio, se utilizan también deslimadores (*dessilters*).

### 3.3. Juntas entre módulos

Uno de los problemas que ha tenido que encarar la construcción de muros Milán es la necesidad de que las juntas entre los paneles detengan el flujo de agua hacia las excavaciones durante la construcción de los cajones y durante la vida útil de las cimentaciones y sótanos.

Se han empleado juntas circulares, las cuales se forman por medio de la colocación de tubos de acero en las fronteras de los paneles; los tubos funcionan a manera de moldes que son retirados al momento en que el concreto del muro colado tiene su fraguado inicial.

Otro tipo de junta son los perfiles de acero, generalmente de sección I o H, los cuales quedan ahogados en el concreto de los muros.

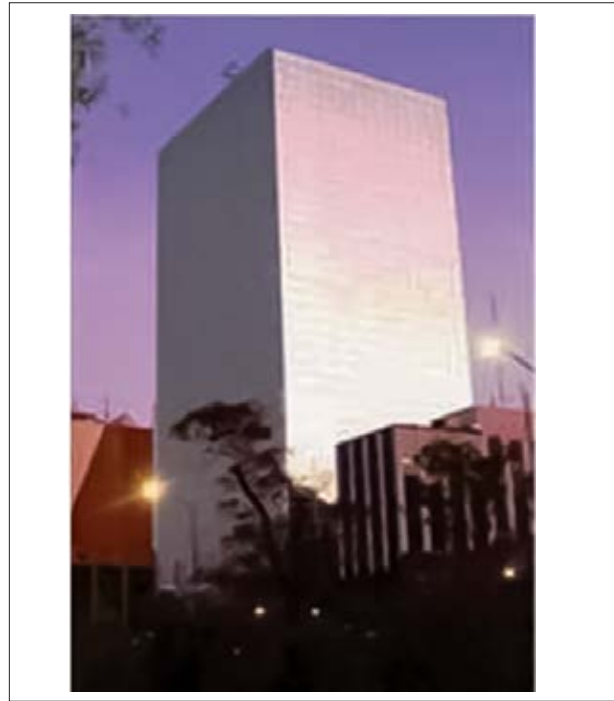
Figura 17. Tubería *tremie* armada.

Figura 18. Edificio Citibank.

En México, el tipo de junta más utilizado exitosamente es la trapezoidal con banda de neopreno o PVC como elemento impermeable entre los muros. Durante muchos años las bandas impermeables no lograban ser dejadas en el sitio exacto de los muros debido al procedimiento de retiro de las juntas, que se jalaban verticalmente con la grúa de servicio durante y al final del vaciado de concreto del muro.

Recientemente se han desarrollado métodos que permiten despegar y retirar las juntas en forma horizontal al efectuar la excavación del muro contiguo; los resultados son que las bandas impermeables se quedan en su sitio, la superficie de contacto entre los concretos queda limpia y se logra con ello una unión impermeable.

### 3.4. Equipos y aditamentos de izaje y vaciado de concreto

Parte importante del proceso constructivo son los equipos para el izaje y colocación de los armados de acero, las juntas metálicas y las tuberías para el vaciado de concreto.

Los equipos consisten en grúas de servicio preferentemente estructurales sobre orugas; dependiendo de las dimensiones y el peso de los armados de acero, se selecciona la capacidad de la grúa y la longitud de la pluma; los diseños recientes de muros han obligado al empleo de grúas con capacidades nominales arriba de las 90 toneladas y longitudes de pluma de 120 a 140 pies (35 a 43 m) para maniobrar armados de 20 a 30 m de longitud.

Para asegurar la estabilidad y no deformación de los armados, se emplean balancines con poleas que sujetan el armado de puntos de izaje estratégicos.

Con la misma grúa auxiliar se colocan las juntas metálicas y se retiran de las zanjas una vez que son despegadas de un panel previamente colado.

El vaciado de concreto se efectúa con tuberías de acero tipo *tremie*, generalmente de 10" de diámetro, las cuales están habilitadas en segmentos de 2 o 3 y hasta 6 m de longitud; los extremos de los segmentos se unen por medio de juntas rápidas que se sujetan por medio de cables cortos (chicotes) que deslizan en ranuras previamente labradas en los coples de unión.

Las tuberías *tremie* tienen en su parte superior tolvas de forma cónica o piramidal en donde se vierte el concreto directamente de los camiones revoladora; tanto el acople de los segmentos como la operación y desacople en la zanja de los muros se efectúan con la grúa de servicio.

Una variante de los muros Milán colados en el lugar son los muros prefabricados, en los que la zanja es rellena con lodo fraguante dentro del cual se sumerge la pieza de muro. Estos elementos se aplicaron en un tramo de la línea 8 del metro y en edificios de la Zona de Transición.

## 4. EJEMPLOS

### 4.1. Edificio Citibank

Localizado en Av. Paseo de la Reforma, entre las calles Oxford y Praga, construido en los años setenta; es un edificio de 10 niveles con una cimentación por medio de pilotes de fricción; al tener tres sótanos para estacionamiento se requirió la construcción de muros Milán perimetrales.

La estratigrafía del sitio es la típica de la Zona del Lago del Valle de México, consistente en:

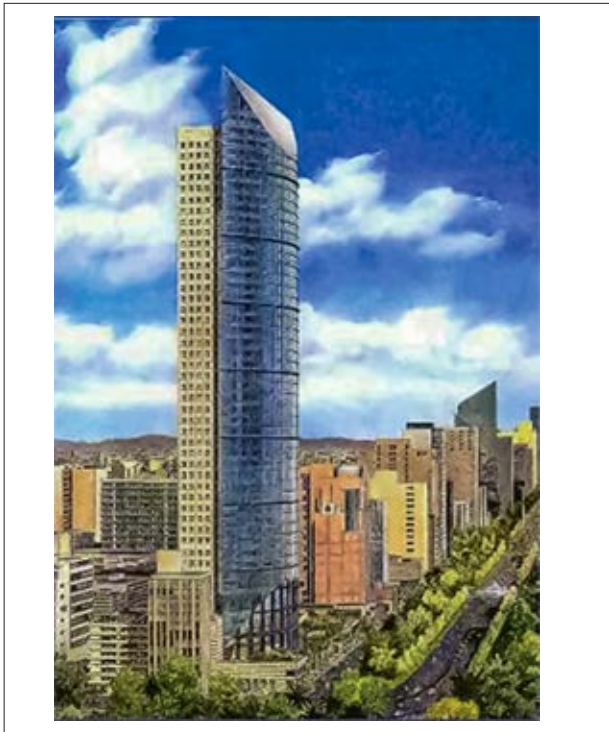


Figura 19. Torre Mayor.



Figura 20. Junta ahogada a base de perfil de acero.

Costra superficial, entre la superficie del terreno y 5.00 m de profundidad, formada por rellenos artificiales; limos y arenas de compactación media.

Serie Arcillosa Superior, entre 5.00 y 25.50 m, formada por arcillas de origen lacustre de consistencia muy blanda; contenido de agua de 200 a 300% y altamente compresible.

Capa Dura, de 25.5 a 29.00 m, formada por limos arenosos cementados.

Serie Arcillosa Inferior, entre 29.00 y 32.00 m, formada por arcillas lacustres de consistencia media, preconsolidadas.

Depósitos Profundos, a partir de los 32.00 m, formados por arenas limosas y arcillosas de compactación variable de media a muy compacta, con intercalaciones de horizontes de arcillas de consistencia blanda a media.

Los muros se alojaron en la Serie Arcillosa Superior y tienen las siguientes características geométricas:

Espesor: 600 mm

Profundidad: 13.00 m

Modulación típica: 6.00 m

Superficie de muros: 2600 m<sup>2</sup>

Cantidad de módulos: 100

Para llevar a cabo la excavación de los sótanos, se construyó, y después demolió, un muro Milán auxiliar que dividió el predio de 40 × 40 m en dos mitades iguales que permitieron colocar troqueles de lado a lado.

El equipo de excavación empleado fue un Soilmec BPH con *kelly* monolítico.

Las juntas entre paneles fueron trapezoidales sin banda impermeabilizante, y su método de retiro y extracción fue mediante jalones verticales durante el proceso de vaciado de concreto y endurecimiento de éste.

#### 4.2. Edificio Torre Mayor

Localizado en la Avenida Paseo de la Reforma, entre las calles Río Elba, Río Ródano y Río Atoyac, y cerca del Bosque de Chapultepec, este importante y arquitectónicamente bello edificio de oficinas con 55 niveles y cuatro sótanos tiene en sus cimientos muros Milán construidos en 1999 con las siguientes características:

Espesor: 600 mm

Profundidad: 21.00 m

Modulación típica: 6.00 m

Superficie de muros: 6,300 m<sup>2</sup>

Cantidad de módulos: 50

El subsuelo del sitio de la Torre Mayor corresponde, al igual que el del edificio Citibank, a la estratigrafía típica de la Zona del Lago del Valle de México; por estar a unas calles de éste, prácticamente es la misma estratigrafía, con algunas ligeras variaciones en las profundidades y el espesor de la Capa Dura.

Los muros Milán se construyeron con dos tipos de almejas; equipo guiados Casagrande KRC2 y equipos semiguia-



Figura 21. Metro, línea 12.

dos KS 3000 de Soletanche. La grúa de servicio fue una Link Belt LS 418 de 90 toneladas.

La particularidad de estos muros fue el tipo de juntas entre paneles por medio de vigas de acero tipo I permanentes.

## 5. CASOS DE APLICACIÓN ESPECIALES

### 5.1. Celdas estructuradas, metro L12, México

La línea 12 del metro de la Ciudad de México tiene un desarrollo de 24 km; en su trayecto tiene un tramo elevado, un tramo subterráneo por medio de cajones; un tramo subterráneo por medio de túnel excavado con TBM y un tramo subterráneo por medio de túnel construido por método convencional.

Una aplicación especial de los muros Milán fueron las celdas estructuradas, que funcionan como cimentación de las columnas del tramo elevado de la línea 12 del metro en zonas lacustres con formaciones de arcillas de muy alta plasticidad y compresibilidad, las cuales se encontraron en el intertramo Zapotitlán-Tlaltenco y en la estación Zapotitlán en Tláhuac, Ciudad de México.

La localización geotécnica se definió como de transición roca-lago, la cual se caracteriza por depósitos de arcillas de consistencia blanda, con contenidos de agua hasta de 400%, interestratificadas con horizontes de arenas volcánicas medianamente compactas con espesores variables de 50 cm hasta 5.00 m.

Los depósitos de arcillas sobreyacen coladas de basalto a profundidades variables; en esta zona se encontraron a partir de los 50 m.

Las celdas estructuradas, llamadas también vasos invertidos, desarrollan su capacidad de carga a través de la fricción entre las paredes de las celdas y el subsuelo; al mismo tiempo, funcionan como controladores de asentamientos, y al no quedar apoyadas en el estrato resistente, evitan la emersión de los apoyos causado por el hundimiento regional, con lo que aseguran un comportamiento estable y uniforme de cada apoyo del tramo elevado.

Consisten en cajones de 6 × 6 m, formados por muros Milán, sin losa de fondo y con una losa tapa que une y rigidiza

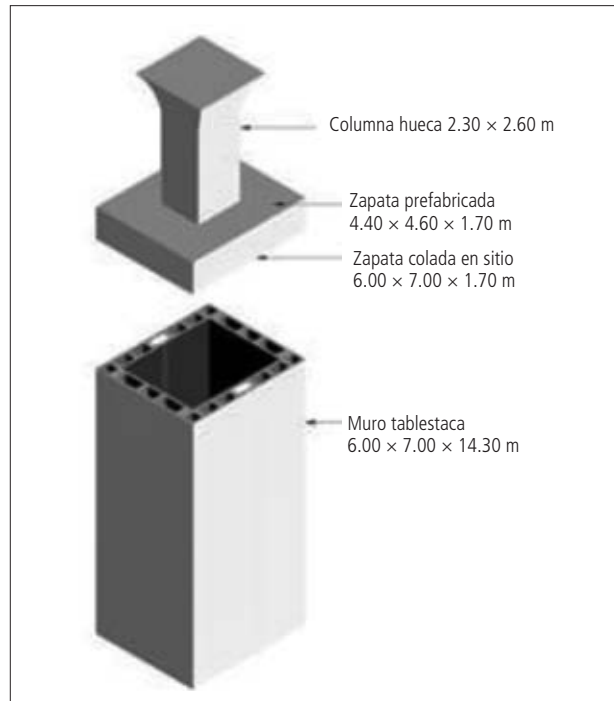


Figura 22. Esquema arquitectónico de una celda estructurada tipo.

el conjunto hasta formar una sola pieza; la profundidad de desplante de las celdas fue de 14.60 m.

La continuidad estructural entre los muros se resolvió por medio de un pilote prefabricado, del cual sobresalen varillas corrugadas de acero en longitudes de 1.00 m, las cuales se ahogan en el concreto de los muros Milán contiguos durante el colado de éstos.

La construcción de las celdas requirió un proceso elaborado y cuidadoso, ya que se debió colar en forma monolítica un muro continuo en forma de “U” asegurando la unión del pilote prefabricado y su acero expuesto con el concreto fluido, y al mismo tiempo evitando que este concreto fluido pase hacia la zona excavada del segundo muro por los costados del pilote.

Para tal propósito, en el sitio de localización de los pilotes se construyeron zanjas rellenas de concreto plástico a base de lodo bentonítico y cemento con una geometría de 1.0 m de ancho por 2.50 m en posición transversal al eje de los muros Milán, para formar dos juntas plásticas.

Posteriormente se excavaron las zanjas correspondientes a los muros en donde se localizan los pilotes; se colocan éstos y se hinca por peso propio el extremo inferior de 2 m de longitud, y sin armado de liga.

En seguida se efectúa la excavación de la zanja del muro que cierra la primera “U”, se coloca el armado de acero de refuerzo y el concreto utilizando cuatro tuberías de colado simultáneas.

Después se excava el muro la zanja opuesta; se efectúa la limpieza y desarenado del lodo bentonítico, se coloca el

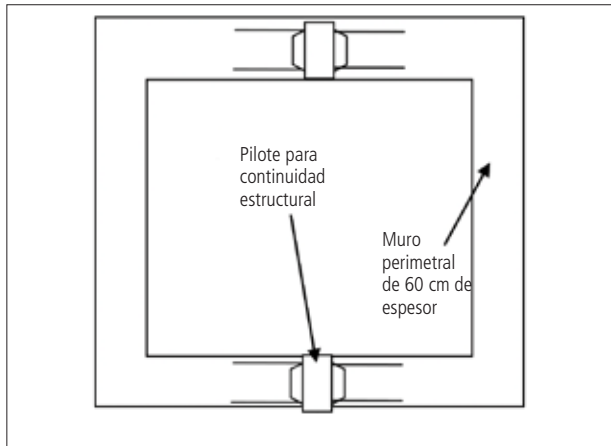


Figura 23. Representación de los pilotes para continuidad estructural.

armado de acero de refuerzo y el concreto de la sección “U” completa, con lo que se cierra la construcción de la celda.

En total se construyeron 60 celdas correspondientes al mismo número de apoyos.

### 5.2 Estación Eje Central de la línea 12 del metro

La estación Eje Central de la línea 12 corresponde a la parte subterránea de la línea; tiene 154 m de largo por 31.50 de ancho; su estructuración está preparada para efectuarla por medio de subexcavación y permitir el paso de la máquina tuneladora.

Perimetralmente se construyeron muros Milán de 80 cm de espesor desplantados a 29 m de profundidad; por necesidades de soporte de las losas de techo y de mezanine, se construyeron muros intermedios a manera de columnas rectangulares.

La estratigrafía del sitio de la estación tiene la siguiente secuencia:

De la superficie del terreno y hasta 6 m de profundidad, costra superficial formada por una capa de relleno de 1.5 m de espesor y posteriormente arcillas arenosas de consistencia media.

De 6 a 21 m, arcilla lacustre de consistencia muy blanda a media; alta plasticidad, con horizontes pequeños de arena fina y ceniza volcánica.

De 21 a 23 m, arena arcillosa muy compacta.

De 23 a 32 m, arena limosa, poco arcillosa en estado muy compacto, cementada, clasificada como primera toba.

Por la profundidad de desplante de los muros, a partir de los 21 m fueron excavados en suelos muy duros; para su excavación se emplearon dos equipos semiguiados hidráulicos, un KS3000 sobre grúa Lienherr 853, un Soilmec BH12 sobre grúa Link Belt LS138 y una almeja hidráulica BAUER modelo MC sobre grúa Liebherr HS853HD.

### 5.3. Lumbreira 3A del TEO

El Túnel Emisor Oriente pertenece al Sistema de Drenaje Profundo del Valle de México; consiste en un túnel de 7.0 m

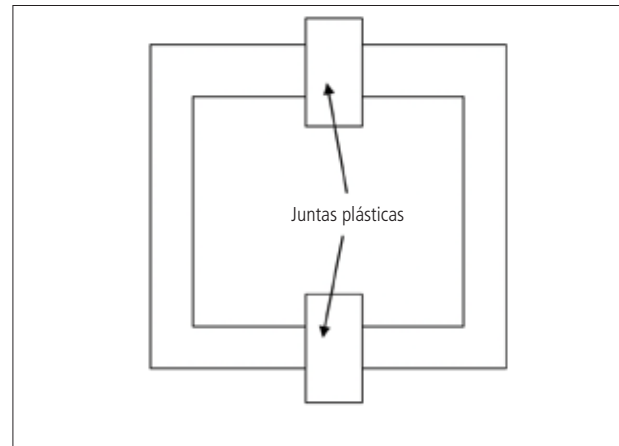


Figura 24. Construcción de juntas plásticas.

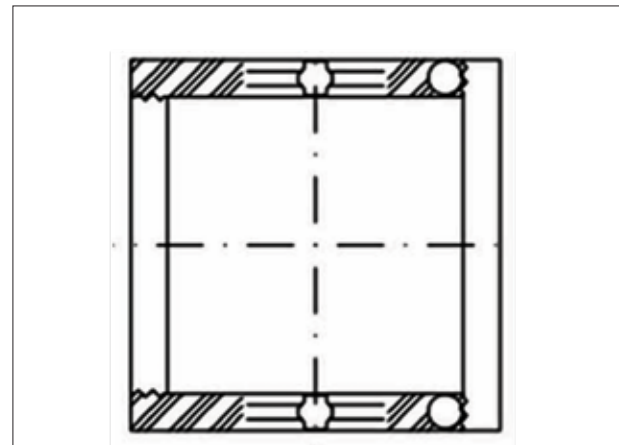


Figura 25. Excavación de zanjas paralelas al eje del metro.

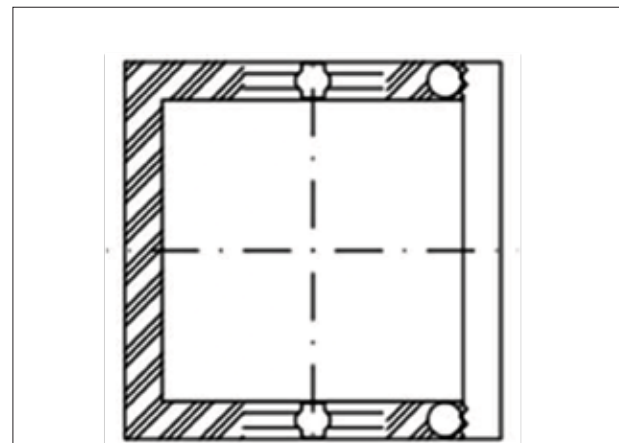


Figura 26. Primer muro construido.

de diámetro y 62 km de longitud que desalojará las aguas que se concentran e inundan colonias del oriente del Valle de México.

El primer tramo de este túnel, que comprende las lumbreas 0 a 5 con una longitud de 10.5 km, se debe concluir en abril de 2012, y para tal propósito se introduce una tunelado-

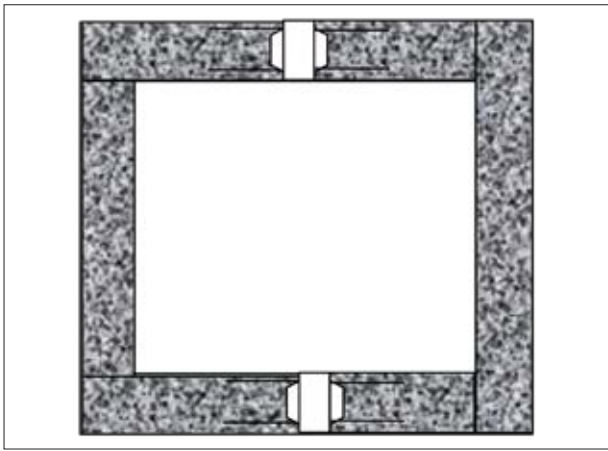


Figura 27. Celda terminada.

ra adicional en la lumbrera 5 para avanzar hacia la lumbrera 0 y encontrarse con la tuneladora que viene de la L0 en un punto que se denomina lumbrera 3A, de donde se extraerán las dos máquinas.

La lumbrera 3A es un pozo de 16 m de diámetro y 44.50 m de profundidad, construido con muros Milán de 1.0 m de espesor, desplantados a 48 m de profundidad.

La característica que distingue la construcción de estos muros frente a otros de tipo profundo fueron los problemas que causaron pérdidas súbitas de lodos bentoníticos durante el proceso de excavación, y las soluciones aplicadas.

La estratigrafía del subsuelo de la lumbrera 3A tiene la siguiente secuencia:

De la superficie del terreno y a 1.20 m de profundidad se encuentran rellenos constituidos por arenas limosas y basura.

A partir de 1.20 m y hasta 5.00 m existen intercalaciones de limos y arcillas arenosas con número de golpes variables de cero a 15; entre 3.50 y 4.20 m se encontraron limos orgánicos de consistencia suave que revelan depósitos del producto del dragado del Gran Canal de Desagüe.

Entre 5.00 y 14.80 m se encuentran interestratificaciones de arcillas y limos de baja resistencia a la penetración de cono eléctrico  $q_c$  de 7 kg/cm<sup>2</sup> y contenidos de agua entre 200 y hasta 468%, con tres horizontes de arenas finas pumíticas entre 10.10 y 11.70 m con una resistencia a la penetración  $q_c$  de 20 a 40 kg/cm<sup>2</sup>.

Entre los 14.80 y 17.60 se encuentran limos con resistencias a la penetración  $q_c$  variables entre 10 y hasta 100 kg/cm<sup>2</sup> con un descenso importante del contenido de agua al 60% en promedio.

Entre 14.80 y 21.00 m se encuentran limos orgánicos y arcillas con resistencia a la penetración  $q_c$  de 8 kg/cm<sup>2</sup> y contenidos de agua de 250% en promedio y hasta 331%.

De 21.00 a 23.50 m se encuentran limos de consistencia dura, con número de golpes en la prueba de penetración estándar de más de 50 golpes y contenidos de agua de 100% en promedio.

De 23.50 a 26.40 se tienen arcillas plásticas de resistencia a la penetración  $q_c$  de 12 kg/cm<sup>2</sup>; contenido de agua de 180%, con horizonte de ceniza volcánica.

De 26.40 a 29.80 m, limos de consistencia muy dura (más de 50 golpes en la prueba de penetración estándar), con intercalación de arcilla dura y ceniza y vidrio volcánico; contenido de agua de 100% en promedio.

De 29.80 a 34.20 m, limos orgánicos de resistencia a la penetración estándar de cero a 3 golpes con raíces fosilizadas, conchillas y ceniza volcánica; contenido de agua promedio de este estrato de 150%.

De 34.20 a 47.40 m de profundidad se encuentran limos de consistencia dura con número de golpes de la prueba de penetración estándar de 15 a 20 y contenidos de agua de 120% en promedio.

A partir de 47.40 m y hasta la profundidad máxima explorada de 61.20 m se encuentran limos arenosos muy duros,

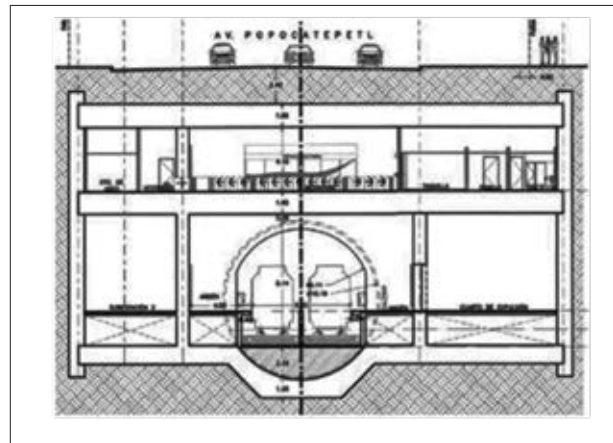


Figura 28. Sección transversal de la estación Eje Central.

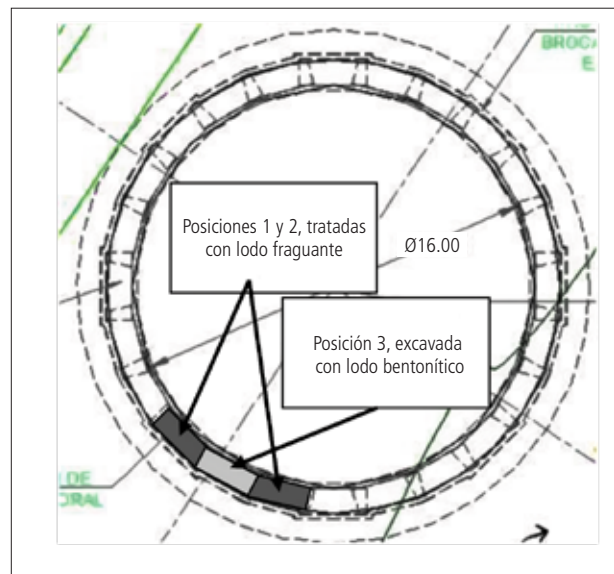


Figura 29. Lumbrera 3A del TEO; distribución de muros Milán y proceso de muro típico.

más de 50 golpes en la prueba de penetración estándar y contenido de agua de 50 a 30%, descendiendo ésta con la profundidad.

La descripción anterior algo detallada de la estratigrafía es con el propósito de explicar las pérdidas súbitas de lodos bentoníticos que se presentaron durante la excavación de los primeros muros; éstas ocurrían a profundidades de entre 27.00 y 33.00 m y se llegaron a perder cerca de  $500 \text{ m}^3$  de lodo bentonítico en el primer muro excavado, poniendo en riesgo la estabilidad de las paredes de la zanja y la construcción de la lumbrera misma.

Afortunadamente, el descenso brusco del nivel de lodo sólo provocó desprendimientos locales en los primeros dos muros.

Debido a que la pérdida de lodo se presentaba después de los 27.00 m, ésta se asocia a posibles grietas en los contactos entre suelos duros y suelos suaves, y posible fracturamiento hidráulico del estrato de limos orgánicos existentes entre 29.80 y 34 m. La solución que se le dio a este problema fue excavar con una mezcla de lodo fraguante hasta una profundidad de 35 m; dejar endurecer éste y reexcavar nuevamente ya con el subsuelo sellado; así se excavaban las dos posiciones extremas de cada muro, y la tercera posición, es decir la central, se excavaba solamente con lodo bentonítico.

El lodo fraguante consistió en una mezcla de agua, cemento y bentonita con las siguientes proporciones:

Agua: 809 75%


Cemento: 267 20%

Bentonita: 53 kg 5%

Relación A/C: 3:3

## 6. CONCLUSIONES

6.1. Los muros Milán son un ingenio constructivo que ha permitido construir obras subterráneas con seguridad y comodidad en suelos difíciles en presencia de agua.

- 6.2. Su desarrollo ha estado íntimamente ligado a la evolución de las ingenierías mecánica, hidráulica y química, asociado a los inventos de máquinas, sus mejoras y al descubrimiento y uso de los lodos estabilizadores.
- 6.3. El diseño de los muros Milán para su uso como elementos estructurales de contención de fuerzas horizontales del suelo en excavaciones abiertas se basa en principios de análisis de empujes activos, pasivos y su redistribución de acuerdo con las envolventes observadas y definidas por investigadores geotecnistas.
- 6.4. La estabilidad de las zanjas necesarias para construir los muros se puede revisar con los principios elementales de equilibrio de fuerzas.
- 6.5. De acuerdo con los ejemplos presentados, los muros Milán se pueden aplicar en la construcción de cimentaciones y sótanos para edificios; en trenes urbanos subterráneos (metro); pozos profundos (lumbreras) para sistemas de drenaje y muelles, aunque no se hayan presentado ejemplos en este artículo.
- 6.6. La evolución tanto de los equipos de excavación de muros como de los equipos de producción y tratamiento de lodos bentoníticos dan como resultado estructuras subterráneas confiables y de alta calidad 

## Bibliografía

Santoyo, E., y J. A. Segovia (2002). *Muros Milán. Manual de construcción geotécnica*. México: Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos A. C.

Terzaghi, Karl, y R. B. Peck (1996). *Soil mechanics in engineering practice*. 3ª ed. Nueva York: John Wiley and Sons.

Este trabajo se presentó originalmente en el primer Simposio Internacional de Cimentaciones Profundas en 2011.

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

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



**pruebas  
dinámicas  
en pilotes, s.a.**

Las pruebas garantizan la capacidad de carga de las cimentaciones, su integridad y seguridad

Probar las cimentaciones cuesta muy poco... no hacerlo, es un riesgo que nadie debería tomar



**Garantía de calidad en cimentaciones profundas**



Tel: (55) 5574-7433  
Fax: (55) 5574-8226

[info@pruebasdinamicas.com.mx](mailto:info@pruebasdinamicas.com.mx)  
[www.pruebasdinamicas.com.mx](http://www.pruebasdinamicas.com.mx)

Hermosillo No. 12 Col. Roma Sur 06760 Ciudad de México

# Pruebas no destructivas para la evaluación de la integridad de pilas de cimentación

La evaluación de la capacidad de carga de cimentaciones profundas, tanto existentes como nuevas, ha sido de interés desde hace mucho tiempo. Se han desarrollado diversas pruebas con el objetivo de determinar la capacidad de carga estática de las pilas, así como pruebas de carga dinámica de éstas. Sin embargo, el énfasis principal de estas pruebas está en la respuesta global de las pilas. Ya que este conjunto de pruebas suele ser costoso y difícil de llevar a cabo, su implementación se ve limitada.

Ciertos defectos en el material de las pilas, calidad de mano de obra y errores de construcción pueden tener un impacto negativo en la capacidad de carga de estos elementos. Por lo tanto, el control de los elementos de las pilas es clave durante los procesos de diseño y construcción. O'Neill (1991) clasificó las causas de defectos estructurales en:

- Problemas constructivos generales
- Problemas de perforación
- Problemas de manejo de ademe
- Problemas de manejo de lodos de perforación
- Deficiencias en el diseño

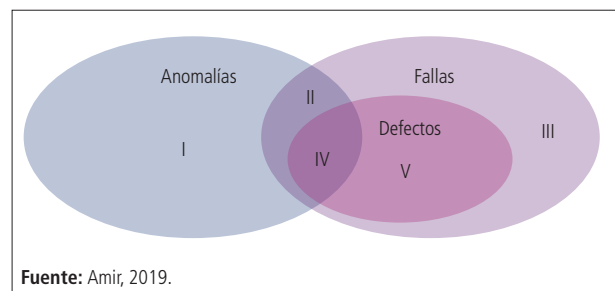
Se observa que el autor no propone una categoría separada para los defectos que surgen de la colocación del concreto, que se suponen incluidas en alguno de los anteriores.

## TERMINOLOGÍA

Sellountou *et al.* (2019) proponen los siguientes términos para eliminar posibles confusiones o interpretaciones erradas en cuanto a las condiciones de las pilas de cimentación:

**Anomalía.** Dato anormal que se desvía de las expectativas, que puede indicar una falla o defecto.

**Falla.** Imperfección en la forma o material planeado de la cimentación, que puede no afectar su desempeño.



Fuente: Amir, 2019.

Figura 1. Diagrama de Venn de las cinco zonas típicas.

**Defecto.** Una falla que, debido a su tamaño, localización y propiedades inferidas del concreto, podrá tener un efecto adverso significativo en el desempeño de la cimentación.

Los términos se incorporaron en la Norma ASTM D6760 y pueden visualizarse con ayuda de un diagrama de Venn (véase figura 1), donde se distinguen cinco zonas típicas:

**Zona I,** anomalía que no es una falla; por ejemplo, un ensanchamiento de la sección.

**Zona II,** anomalía que sí es una falla; por ejemplo, un acortamiento de la longitud de la pila, producto de azolve en el fondo de la perforación.

**Zona III,** falla que no es una anomalía ni defecto; por ejemplo, una bolsa pequeña de suelo en la pila (figura 2a).



Figura 2. Ejemplos de zonas III y IV.

Generalmente no se puede detectar con los procedimientos actuales, por lo que no genera una anomalía.

Zona IV, anomalía que sí es un defecto; es la de mayor preocupación desde el punto de vista estructural, por su tipo y tamaño (figura 2b).

Zona V, defecto que no es una anomalía; por ejemplo, acortamiento de la longitud por azolve, desviación de la vertical, ensanchamientos grandes.

Los métodos tradicionales de evaluación de la integridad de una pila incluyen la excavación masiva del suelo adyacente y la extracción continua de muestras del núcleo, y es extremadamente difícil de realizar en estructuras existentes. En el caso de construcciones nuevas, estos métodos invasivos podrían incrementar el costo del control de calidad, así como tener impacto en el tiempo de construcción. Las pruebas no destructivas para la evaluación de la calidad de las pilas se desarrollaron en la década de 1960.

Los adelantos electrónicos han contribuido significativamente a hacer las pruebas de integridad accesibles al mercado de la ingeniería geotécnica, así como las técnicas de computación modernas permiten procesar las señales que facilitan la posterior presentación e interpretación de los resultados. Estas pruebas han ayudado a obtener conocimiento adicional sobre la calidad e integridad de cimentaciones existentes y nuevas, y ayudan a revelar defectos potenciales que pueden haber ocurrido durante la construcción de las pilas o en el transporte e instalación (en el caso de pilotes precolados).

El control de calidad en construcciones nuevas es un componente clave para el éxito de la construcción de cimentaciones profundas. Los problemas relacionados con material y mano de obra, o defectos que se puedan presentar durante la colocación de concreto o la instalación de pilotes hincados, pueden influir en la capacidad de carga de las pilas y afectar su desempeño. Los ingenieros han utilizado las pruebas no destructivas para este propósito, principalmente debido a que los métodos alternos, tales como retirar suelo, inspección visual o extracción de núcleos, son relativamente caros,

ocasionan retrasos en el tiempo de construcción y pueden tener un impacto adverso en la calidad e integridad de los elementos. En las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones (2017) se exige la realización de estas pruebas:

*Se deberán realizar pruebas para verificar la integridad de pilotes o pilas, de acuerdo con lo especificado en la tabla 7.1. Los ensayos de integridad deberán ser realizados por métodos reconocidos cuya validez haya sido confirmada por la experiencia local. Se podrán emplear métodos geofísicos como pulso simple o combinado, pozo-abajo, pozos cruzados, gama-gama o térmicos.*

Se han desarrollado distintos métodos para evaluar la calidad de las cimentaciones recién construidas. Estas pruebas ayudan a identificar y evaluar problemas relacionados con la calidad e integridad de las cimentaciones profundas. Dependiendo del tipo de cimentación profunda y de las condiciones del suelo circundante, se puede utilizar un método no destructivo adecuado para obtener información fundamental sobre la seguridad y confiabilidad de las pilas.

Entre los métodos existentes, los de baja deformación (también llamados acústico o sónicos), que se basan en la propagación de ondas de compresión, se utilizan para la evaluación de la integridad de las pilas. Los ensayos PIT (Pile Integrity Test) y CSL (Cross Sonic Logging) son dos métodos muy aceptados en esta categoría. En los últimos años han

Tabla 1. Número mínimo de pruebas de integridad para pilotes o pilas colados en el lugar

Edificación, según el art. 139 del RCDF	Número de ensayos mínimo, en % del total de pilas
Grupo A	100
Grupo B1: zona III	75
Grupo B1: zonas I y II	50
Grupo B2	30

Fuente: NTCDDC 2017.



Figura 3. Equipo de pruebas de integridad, acelerómetro, martillo y colector de datos.

Tabla 2. Velocigramas de pruebas de integridad con diversas clasificaciones

Clasificación de tipo de pila	Velocigrama e interpretación
A-Pila buena. No se observan irregularidades de importancia a lo largo de la pila, solamente reducciones ligeras de la sección en la punta.	<p>4: #1+2%</p> <p>19.79 (3800 m/s)</p>
B-Pila mala. Se observan posibles imperfecciones en el cabezal y a todo lo largo de la pila.	<p>24.00 m (3800 m/s)</p>
C-Pila con posibles defectos. Se observan irregularidades de importancia en la sección de la punta (probable azolve), así como reducción de la longitud de la pila (16.04 m).	<p>5: #9</p> <p>16.04 m (3800 m/s)</p>
D-Datos no concluyentes. No se observa claramente el pulso reflector de la punta y se presentan pulsos intermedios u oscilaciones que podrían estar asociados a las vibraciones del armado que aflora en el cabezal o a ampliaciones y reducciones de la sección.	<p>1: #1</p> <p>28.25 m (4200 m/s)</p> <p>Magn V 0.169 cm/s (0.229)</p>

Fuente: Paniagua y Elvira (2017).

cochado popularidad otros métodos de ensaye basados en el monitoreo de temperatura de las pilas, conocidos como ensayos térmicos (TIP, Thermal Integrity Profile). En este trabajo se describen brevemente estos tres métodos; un tratamiento con mayor detalle de éstos se puede encontrar en Paniagua y Elvira (2017).

#### PRUEBA DE INTEGRIDAD DE IMPACTO DE BAJA DEFORMACIÓN

La prueba de integridad de impacto de baja deformación, conocida como PIT, es el método no destructivo más usado para la evaluación de cimentaciones profundas. Esta prueba es un método relativamente económico y fácil de implementar para la evaluación rápida de la integridad de pilas y cimentaciones profundas. En esta prueba se utiliza la propagación de ondas y compresión de deformación para obtener información sobre la ubicación de anomalías y defectos en los elementos de una pila.

La prueba requiere el impacto ligero de un martillo de mano en el cabezal de la pila. Este impacto genera una onda que es detectada en el cabezal mediante un acelerómetro. Posteriormente, esta onda viaja a todo lo largo de la pila y, al llegar a sus fronteras (paredes y punta), se provocan reflexiones que regresan la onda hacia el cabezal, donde nuevamente son detectadas por el acelerómetro. Si la pila es continua y homogénea, y el pulso generado en el cabezal es vertical, situación que en general se

cumple, el acelerómetro detectará, en principio, la onda que se genera en el cabezal, y posteriormente la onda reflejada en la punta de la pila. Si existe un desperfecto en la pila, éste provoca pulsos reflectores distintos a los de una pila sana, que llegan antes que el pulso reflector de la punta. Asimismo, si la longitud de la pila es mayor a la teórica (la de diseño, por ejemplo), o la calidad del concreto es menor, el pulso reflector de la punta llegará retrasado con respecto a lo esperado.

El resultado de la prueba PIT es un velocigrama, donde es posible visualizar con mayor claridad los pulsos generados en el cabezal, en la punta o por los desperfectos existentes en la pila. A fin de facilitar su interpretación, el velocigrama se amplifica y filtra. En la figura 3 se muestra el equipo utilizado para la ejecución de las pruebas de integridad. La masa del martillo varía entre 0.5 y 3 kg, y normalmente está cubierta en el área de impacto por una masa de nailon duro que genera frecuencias de impacto de hasta 10,000 Hz y amplitudes de aceleración hasta 1,000 g.

Esta prueba se puede utilizar para pilas de concreto coladas *in situ*, pilotes de tubo de acero relleno de concreto, pilotes de concreto y columnas estructurales. No se recomienda la prueba PIT para ensayar la integridad de tablestacas de acero, pilotes de sección H o pilotes de tubo de acero huecos, ya que el modo de vibración dominante cambia de compresión a flexión. Las características principales de la prueba PIT son:

- La preparación de las pilas es relativamente fácil y sencilla.
- El proceso de ensayo y recopilación de pruebas es rápido y de bajo costo.
- La prueba puede identificar defectos mayores (ubicación y grado de severidad de los defectos).

Algunas de sus desventajas principales se pueden resumir de la siguiente manera:

- La interpretación de los resultados requiere experiencia.
- Es sensible a la relación largo (L) diámetro (D) de la pila. Los resultados pueden no ser confiables para pilas con una relación L/D mayor de 30. La fricción del suelo circundante, aunada al cambio de la vibración dominante de compresión a flexión, afecta los resultados.
- Puede resultar difícil evaluar las pilas con cortes transversales o discontinuidades/anomalías.

Con la finalidad de la simplificación del reporte y una mejor comprensión de éste por parte del usuario, los registros de las pilas son clasificados cualitativamente (Rausche, 1992) como sigue.

- A-Pila buena. No se aprecian defectos obvios, y la respuesta de la punta de la pila es clara para longitudes de pila de hasta 30 diámetros.
- B-Pila mala. Existe una identificación clara de defectos en la pila; no se aprecia claramente el reflector de la punta de la pila después de eliminar el ruido de la señal, aun cuando se cumple con el criterio de que la longitud de la pila es menor que 30 veces su diámetro. En tales casos, para po-

der descartar una pila, es recomendable llevar a cabo pruebas de detalle (pruebas de carga o sondeos de inspección), analizar profundamente el historial de construcción de la pila, así como realizar correcciones en el caso de que los defectos se muestren superficialmente y volver a efectuar los ensayos de integridad.

- C-Pila con posibles defectos. Los defectos en la pila no son claros. Es necesario llevar a cabo pruebas de integridad adicionales después de aplicar medidas correctivas en caso de que los defectos se localicen en la parte superior (gran longitud del armado que sobresale en el cabezal, imperfecciones del cabezal, deficiencia en el pulido de la superficie del cabezal en la zona donde se coloca el acelerómetro, etc.); en caso de que los posibles defectos persistan, será necesario llevar a cabo pruebas de carga o extracción de núcleos, para poder descartar dicha pila.
- D-Datos no concluyentes. No se tienen registros de calidad debido a imperfecciones en el cabezal de la pila

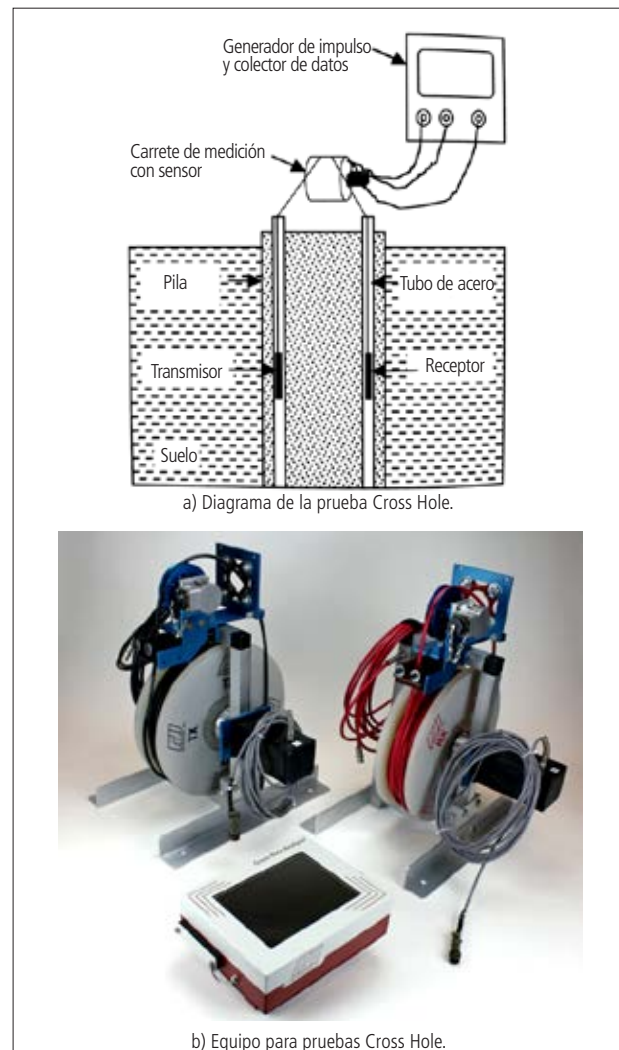


Figura 4. Arreglo general para la prueba de pozos cruzados en cimentaciones profundas.

Tabla 3. Correlación entre la calidad del concreto y la velocidad del pulso ultrasónico

Calidad del concreto	Velocidad del pulso (m/s)
Excelente	Mayor de 4,500
Buena	3,500-4,500
Mediocre / regular	3,000-3,500
Pobre	2,000-3,000
Muy pobre	Menor de 2,000

Fuente: Saint-Pierre *et al.*, 2016.

(armado que sobresale, superficies mal pulidas, contaminación en el cabezal) y a la alta resistencia del terreno localizado a lo largo de la pila o a la longitud de la pila, por lo que el pulso reflector de la punta no es observable (un criterio empírico para definir la longitud máxima de la pila para que se pueda observar dicho pulso reflector es que la longitud de la pila sea menor que 30 veces su diámetro).

Si las pilas son clasificadas como “A”, no es necesario llevar a cabo ensayos detallados. Cualquier otro resultado requerirá pruebas adicionales o una interpretación detallada. La revisión por ingenieros experimentados en la interpretación de los datos procesados es altamente recomendada. Esto sólo es posible si los registros se encuentran completos (amplificación, filtros, magnitudes de velocidades, etc.). En la norma ASTM-5882 se describen los requerimientos para que una prueba se realice correctamente.

En la tabla 2 se presentan ejemplos de resultados de pruebas de integridad donde se observan fallas localizadas en las pilas, clasificadas cualitativamente en alguno de los cuatro grupos de interpretación.

**PRUEBA DE POZOS CRUZADOS**

La prueba de pozos cruzados (CSL, por sus siglas en inglés) utiliza una señal de sonido ultrasónico de 40 a 100 MHz (el

sonido audible por el oído humano es de 20,000 Hz), que mide la velocidad de la onda entre dos tubos de PVC o acero adosados al acero de refuerzo antes del colado de la pila, previendo que los tubos sean verticales y paralelos entre sí. En la figura 4a se muestra un diagrama esquemático para esta prueba, y en la 4b, el equipo utilizado: sensores, transmisor, receptor y colector de datos.

Este método está basado en el concepto de velocidad de pulsos ultrasónicos (UPV, por sus siglas en inglés). UPV mide el tiempo de transmisión de las ondas de compresión entre los transductores de emisión y recepción. Este tiempo se puede convertir a velocidad de onda si se conoce la trayectoria de las ondas de compresión entre emisor y receptor. Dicha velocidad está directamente relacionada con la calidad del material. El concreto de baja calidad o dañado tiene una velocidad de onda menor, comparada con el concreto sólido. En la tabla 3 se muestra la relación entre velocidad de onda y calidad del concreto.

Al colocar diferentes tubos y medir en distintas posiciones, es posible obtener información de la integridad de la pila prácticamente en cualquier punto de la sección. En la figura 5a se muestran varios arreglos típicos para realizar la prueba, que pueden ser desde uno hasta cinco, dependiendo del diámetro de la pila analizada. En la figura 5b se muestra un ejemplo de la instalación de tubos de PVC en el armado de la pila.

Si se observa un cambio significativo en el tiempo de transmisión (o velocidad de onda), se podría correlacionar con anomalías o defectos internos. El concepto de tomografía que utiliza dos sondas se aplica para identificar la extensión de los defectos a una profundidad específica (ASTM-D6760, 2016). En la figura 6 se muestra el perfil de la pila, así como una localización en 3D de las anomalías detectadas en la realización de una prueba con cinco tubos, donde se observa un corte transversal de la zona específica de la anomalía en la cual cambió la velocidad de onda, o bien se modificaron los tiempos de llegada de ésta entre el sensor emisor y el receptor.

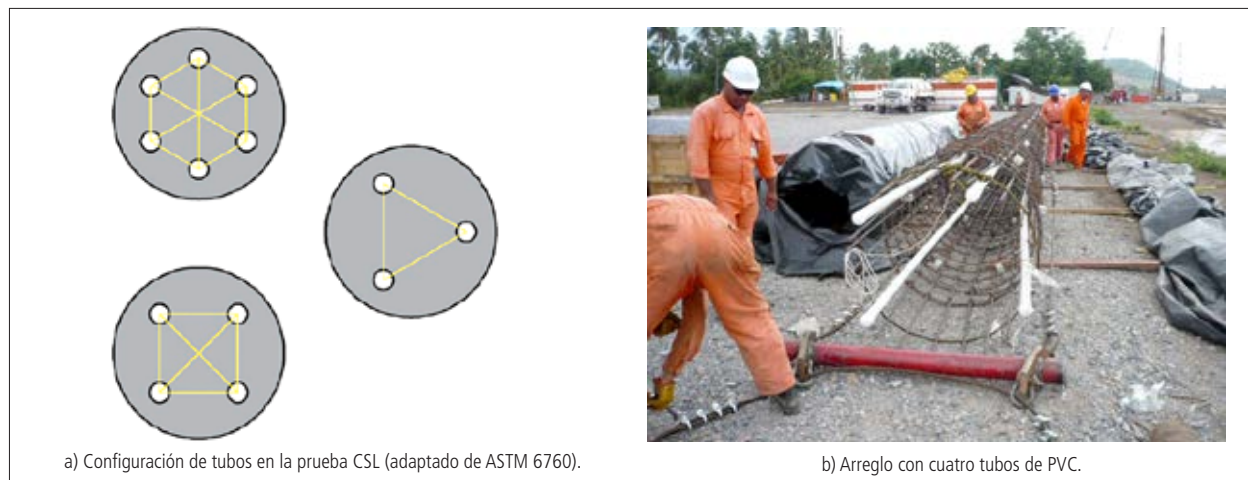


Figura 5. Arreglos típicos en pruebas CSL.

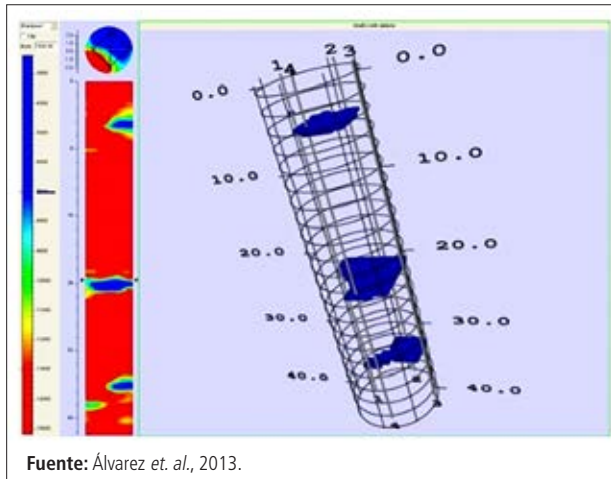


Figura 6. Vista en 3D de pila y corte transversal.

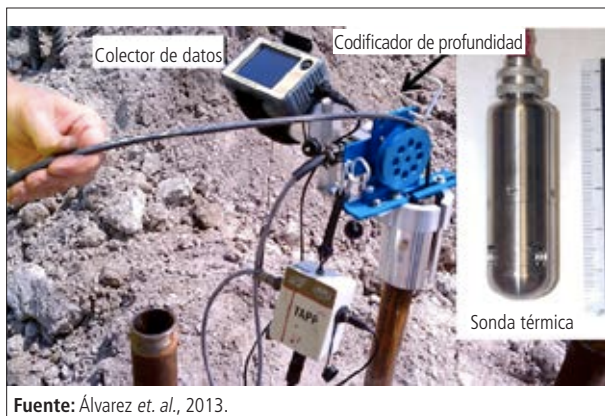


Figura 7. Equipo para pruebas de ensayo térmico.

Las ventajas de aplicar una prueba CSL en la evaluación de la integridad de pilas nuevas son (Moradi y Layssi, 2019):

- Es ideal para la evaluación de pilas de diámetros mayores (> 1.2 m).
- No hay límite en la longitud de la pila.
- Proporciona información precisa sobre la ubicación y extensión de los defectos.
- El perfil del suelo no influye en los resultados de la prueba.
- La información es fácil de interpretar.

El método CSL tiene algunas desventajas:

- Es costoso y no suficientemente rápido para la evaluación de las condiciones de las pilas.
- Los tubos se deben instalar antes de la colocación del concreto. Los tubos se pueden romper durante la construcción, lo cual lleva a resultados no concluyentes.
- Las ondas de compresión cubren el área entre las sondas emisora y receptora. Por lo tanto, las pilas de diámetros mayores necesitan varios tubos para obtener resultados concluyentes.
- La prueba no proporciona información sobre secciones de concreto fuera del acero de refuerzo.

## ENSAYO TÉRMICO

El ensayo TIP (Thermal Integrity Profile, por sus siglas en inglés) se basa en el hecho de que el concreto produce calor durante el proceso de fraguado; este fenómeno es la base para el perfilado de la integridad térmica de toda la sección transversal de la pila. Durante el fraguado de una pila, el centro de ésta tiene la temperatura más alta, mientras que el perímetro tiene la temperatura más baja, ya que está adyacente al terreno y el calor fluye desde la pila hacia el suelo en el perímetro. En la figura 7 se muestra el equipo de medición, que consiste en un puerto térmico de adquisición de temperatura que puede medir temperaturas hasta de 65°, y un colector de datos.

Cuanto mayor sea el contenido de cemento en una mezcla de concreto, mayor será la temperatura generada, y viceversa. Los procedimientos del método de perfil de integridad térmica se rigen por la norma ASTM-D7949. La temperatura puede ser detectada por las sondas infrarrojas en los tubos de acceso; uno de estos cables instrumentados se instala equidistante alrededor del armado para cada 300 mm de diámetro de la pila. En la figura 8a se muestra la colocación de un tubo de acceso que contiene la instrumentación, así como el sensor térmico en la figura 8b. Las lecturas se deben tomar periódicamente durante el desarrollo de la prueba.

La temperatura media del eje se puede correlacionar con el radio medio efectivo de la pila; las desviaciones locales de la temperatura media se pueden relacionar directamente con las desviaciones del radio, permitiendo una evaluación completa de toda la sección transversal incluyendo el recubrimiento de la pila. En la figura 9 se muestra la evaluación de la pila por medio de la temperatura.

La prueba TIP tiene varias ventajas, comparada con las pruebas ya descritas:

- Se puede usar para evaluar la porción de concreto por fuera del acero de refuerzo, esto es, en el recubrimiento.
- Proporciona información en tiempo real sobre la calidad de la pila, lo cual puede acortar el tiempo de construcción.
- La interpretación de la información es relativamente fácil.

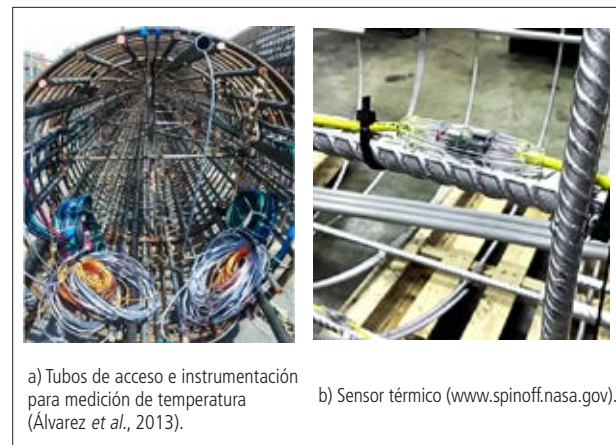


Figura 8. Detalles de la instalación de instrumentos para una prueba TIP.

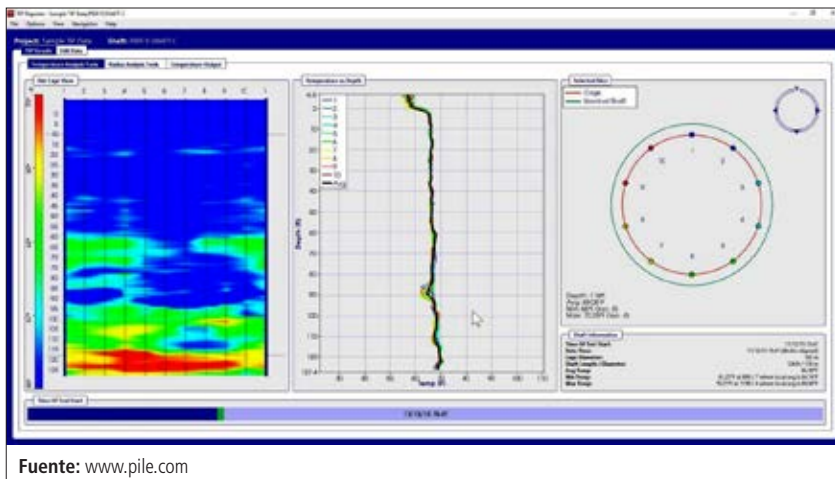


Figura 9. Análisis de la pila por medio de la temperatura.

La medición TIP tiene algunas limitaciones, incluyendo:

- Sólo se puede usar para ensayar la integridad de pilas nuevas. El ensayo debe realizarse a los pocos días de colocado el concreto.
- Es necesaria una gráfica de referencia para comparar los registros de evaluación de integridad.
- Se pueden dañar los cables y sensores durante la instalación y colocación del concreto.
- La medición es un método comparativo para la evaluación de la integridad. Los cambios en el diseño de la mezcla pueden dar como resultado una diferencia enorme cuando se compara con la gráfica de referencia, aun cuando la pila de concreto sea sana.

## COMENTARIOS

Los métodos alternos, como retirar suelo, extraer núcleos y examen visual son costosos por lo general, proporcionan poca información y generan retrasos en el proceso de toma de decisiones y en el tiempo de construcción.

Las pruebas no destructivas se han utilizado ampliamente para el control de calidad de cimentaciones profundas en construcciones nuevas, así como en la evaluación forense y de condiciones de pilas existentes. Los métodos no destructivos son herramientas rentables y fáciles de implementar para la evaluación de la integridad de pilas y otras cimentaciones profundas. Algunos códigos recomiendan o exigen llevar a cabo pruebas de integridad de cimentaciones profundas, tanto para construcciones nuevas como para la evaluación exhaustiva de estructuras existentes. Otros códigos consideran que las pruebas de integridad son opcionales; sin embargo, autorizan a los ingenieros y diseñadores a aumentar la carga de la superestructura en caso de que la integridad de las pilas se haya verificado por medio de métodos no destructivos.

Se recomienda evaluar la integridad inicialmente con el método PIT, y después proceder a usar métodos avanzados no destructivos en caso de que los métodos PIT

no sean concluyentes o muestren algún problema de integridad. La implementación del método PIT para estructuras existentes es más complicado, ya que el acceso a los cabezales de las pilas suele ser limitado debido a la presencia de la superestructura. Además, se recomienda que quien lleve a cabo las pruebas sea un técnico capacitado que recopile información confiable durante el trabajo de campo. Asimismo, la información complementaria (es decir, conocimiento de la historia de la construcción, documentos de diseño, perfil del suelo, diseño de la mezcla de concreto, fuerza de compresión) ayudan a interpretar la información de campo y a analizar los resultados de manera más precisa.

ayudan a interpretar la información de campo y a analizar los resultados de manera más precisa.

## Referencias

- Álvarez, C., A. Sellountou y F. Rausche (2013) Thermal integrity profiling: A recent technological advancement in integrity evaluation of concrete piles. *Proceedings of the First International Conference, Seminar on Deep Foundations*. Santa Cruz.
- Amir, J. (2019) Pile testing - Anomalies, flaws and defects. *Deep Foundations Magazine*. Mayo/junio.
- ASTM D7949-14 (2014). Standard test methods for thermal integrity profiling of concrete deep foundations. ASTM International.
- ASTM D5882-16 (2016). Standard test method for low strain impact integrity testing of deep foundations. ASTM International. [www.astm.org](http://www.astm.org).
- ASTM D6760-16 (2016b). Standard test method for integrity testing of concrete deep foundations by ultrasonic crosshole testing. ASTM International.
- ASTM D4945-17 (2017). Standard test method for high-strain dynamic testing of deep foundations. ASTM International. [www.astm.org](http://www.astm.org).
- Moradi, F., y H. Layssi (2019) Application of non-destructive testing solutions. An integrity evaluation of new and existing foundations. *Piling Canada Magazine* Q4: 35-42.
- NTCDCC (2017). Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de cimentaciones. Gaceta oficial de la Ciudad de México.
- O'Neill, M.W. (1991). Construction practices and defects in drilled shafts. *Transportation Research Record* 1331: 6-14. Washington.
- Paniagua, W. I., y A. Elvira (2017). Patología de cimentaciones profundas. En: *Ingeniería de cimentaciones Profundas*. Cap. 10. México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica.
- Rausche, F. (1992). Pile integrity and analysis. Procedures. Fourth International Conference on the Application of Stress Wave Measurements to Piles. La Haya.
- Saint-Pierre, F., A. Philibert, B. Giroux y P. Rivard (2016). Concrete quality designation based on ultrasonic pulse velocity. *Construction and building materials* 125: 1022-1027.
- Sellountou, A., J. Amir, G. Canivan, L. Chernauskas, B. Hertlein, P. Kandarís, T. Kovacs y G. Likins (2019). Terminology and evaluation criteria of crosshole sonic logging (CSL) as applied to deep foundations. Nueva York: PIMS Committee, Deep Foundations Institute.

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

# Recomendaciones para proyecto y construcción de un depósito de jales

Desde hace varios siglos, la minería en México se ha ido desarrollando gradualmente por la influencia española inicial, al igual que en otros países de América del Sur; posteriormente intervinieron algunos países europeos y los vecinos del norte, Canadá y Estados Unidos.

En un principio los residuos sólidos de la molienda minera generalmente se consideraban desperdicios, y algunas veces se dejaban en las márgenes de los ríos para que su agua corriente se los llevara. Recuérdese que antes no existía protección ambiental, y los jales o relaves contenían algunos reactivos químicos peligrosos o venenosos para los seres vivos.

Los primeros trabajos formales sobre presas de jales fueron el referido a la planta de beneficio El Fraile en Taxco, Guerrero (León, 1976), y el manual de presas de jales de la ICOLD (AIMMGM, 1993).

## GENERALIDADES

Para el proyecto y la construcción de un depósito de jales (residuos mineros), procesos que en general ocurren simultáneamente, se requiere la operación; mucho antes, se requiere la planificación, y después el cierre de la obra con la supervisión y el control de calidad presentes en todas las etapas.

La planificación debe tomar en cuenta todos los aspectos: sociales, normativos y reglamentarios oficiales; conservación a corto y largo plazo; flora y fauna; lixiviación y drenaje ácido, calidad bioquímica y física del agua (superficial y subterránea); protección eólica y pluvial de taludes; contaminación en general; permeabilidad relativa del terreno de cimentación y cortina contenedora; obstrucciones, eventos peligrosos a largo plazo, proceso de separación física, fisicoquímica (flotación con agentes espumantes orgánicos) y química (cianuración, sosa cáustica), etcétera.

El proyecto en sí requiere numerosos esquemas generales, diseños detallados según el método constructivo seleccionado (aguas arriba, aguas abajo, línea central u otro, tomando en cuenta la presa convencional de almacenamiento de agua); la caracterización geotécnica de jales y sitios; la exploración,

el muestreo, las pruebas de laboratorio y de campo; los perfiles estratigráficos; la instrumentación y el monitoreo; la licuación; la sismología y los análisis de estabilidad y de taludes, estáticos y dinámicos; el flujo de aguas (gradientes hidráulicos, caudales, líneas de corriente y equipotenciales); la erosión y dispersión externa (pluvial y eólica) e interna (tubificación y huecos); el balance de aguas y los eventos extremos: inundaciones (lluvia máxima probable, tormenta de diseño, análisis estadístico con periodos de retorno), derrames y terremotos (sismo máximo probable, métodos estadísticos y determinísticos), oleaje y bordo libre; los filtros y las obras hidráulicas complementarias, con diseño y seguimiento; la hidráulica en general, en conjunto con la geología y la geotecnia, así como la sismología.

Como ya se expuso anteriormente, la construcción es muy importante porque depende del método seleccionado, pero la supervisión (verificación) y el control de calidad (certificación) deberán ser ágiles y oportunos, con una operación sumamente eficiente y responsable que respete los criterios básicos y las reglas a seguir. Esto hace necesarias inspecciones permanentes para lograr la estabilidad y la seguridad que

la obra necesita. Además, deberá observarse la inmigración de sales solubles en las aguas superficiales y subterráneas, el seguimiento en la instrumentación y el monitoreo, la humedad en los taludes, los defectos y deformaciones, los perfiles de resistencia y esfuerzos, así como los de humedades y niveles freáticos, entre otros.

El cierre de la obra es parte del proyecto y necesita un seguimiento permanente, así como las declaraciones respectivas a las autoridades y los requerimientos legales vigentes.

**TENDENCIA ACTUAL**

A raíz de tomarse en cuenta seriamente la ecología en la Tierra, ya fructifica la conciencia sobre la necesidad de conservar la naturaleza del planeta en todos sus aspectos, y es precisamente en México donde la minería ha puesto el ejemplo a las demás industrias, al cambiar y ajustar las prácticas defectuosas a las condiciones reales para la protección del ambiente en que vivimos.

Entre las principales acciones que se están llevando a cabo en relación con los jales o relaves, se resumen las siguientes:

- No llamarles “desechos mineros” a esos residuos sólidos triturados –ya que tienen ciertos minerales de valor que pueden posteriormente extraerse con otros métodos–, sino guardarlos el tiempo que sea necesario para hacerlo. ¿Cómo?:

- Denominándolos “residuos mineros sólidos”, que son “geomateriales para construcción” para formar terraplenes compactados, rellenos hidráulicos (playas naturales de jal).
- Depositándolos en el vaso de una presa convencional que permita recuperar el agua libre para reciclarla a la planta de beneficio. Hay muchos casos en nuestro país de depósitos de jales muy antiguos que se están repulpando para su aprovechamiento, con molienda mucho más fina que la que se tuvo en su momento.

En los siguientes apartados se describirá el concepto de depósito para jales, sus ingredientes, los elementos constitutivos del depósito, conceptos geotécnicos básicos y propiedades fundamentales. Más adelante se describirán las actividades básicas y responsabilidades en el desarrollo de un depósito de jales seguro. En la clasificación de los depósitos para jales (27 categorías) en México (Orozco, 1995; Semarnat, 2014) se hace referencia a los análisis de estabilidad, decantación y drenaje e instrumentación.

**CONCEPTO DE DEPÓSITO PARA JALES**

Se define aquí depósito de jales a aquella obra de ingeniería para la disposición final de los jales, ya sea en el embalse de una presa convencional para almacenamiento de agua (tipo sección graduada con corazón impermeable de suelo, con-

Tabla 1. Depósito de jales

Concepto	Agua	Transporte	Objeto			Caracterización	
						Física	Química
Jales	I. Totales (lamas, arenas y agua)	Verter directamente en el embalse de una presa convencional para almacenamiento de agua (tipo Conagua o CFE)	Depositar y azolver una presa convencional para almacenamiento de agua (tipo Conagua o CFE)			Granulometría, densidades de la pulpa y sólidos	Composición y peligrosidad para decidir aislarlos con membranas impermeables o neutralizarlos en la planta
	II. Secos, semisecos exprimidos, filtrados, deshidratados o espesados	Directamente o llevar en bandas o camiones	Formación de estructuras téreas	Terraplenes (jales espesados o compactados)	Granulometría, densidades de sólidos Humedales, grados de saturación, compacidades, ángulos de fricción interna, módulos elásticos (estáticos y dinámicos) y coeficientes de permeabilidad		
	III. Totales más agua para conducirlos	En canales o tuberías que conducen a un relleno hidráulico (playas y estanque de agua recuperada)		Métodos: aguas arriba, aguas abajo, línea central u otras combinaciones (rellenos hidráulicos)			

Tabla 2. Depósito de jales (cortina contenedora)

Concepto	Condición	Estructura			Observaciones
Jales	I. Totales (lamas, arenas y agua)	Corazón convencional impermeable de suelo compactado, con filtros y enrocamiento. Concreto asfáltico o hidráulico (Pórtland), central o en los taludes aguas arriba			
	II. Secos, semisecos, exprimidos, filtrados, deshidratados o espesados	Cortina: porción térrea resistente en los taludes	Zona amplia de taludes estables	No se necesita corazón convencional impermeable	Si se chorrean o escurren los jales espesados se forma un terraplén cónico que, de requerirse, se coloca al pie del talud un bordo perimetral limitrofe para captar y controlar lluvias o azolves (TTD, tichkened taillings disponsal in the mining industry, Robinsky, 1999)
	III. Totales más agua para conducirlos			El estanque de agua clarificada se retorna a la planta de beneficio	



Figura 1. Concauidad hacia aguas abajo y el estanque de agua clarificada alejado, sin afloramientos de agua en el talud externo.

creto Pórtland o asfáltico colocado verticalmente o inclinado en el talud, aguas arriba) o en una estructura térrea formada con los mismos jales mediante “rellenos hidráulicos” (formación de playas con los métodos constructivos aguas arriba, aguas abajo, línea central o cualquier otra combinación), o terraplenes con jales espesados o compactados.

Se hace hincapié en que todas las ideas y recomendaciones que resulten de este trabajo están encaminadas principalmente al aumento en la seguridad de los depósitos de jales.

### INGREDIENTES DE LOS JALES

La composición de los jales (relaves o *tailings*) es, principalmente, la siguiente:

- Sólidos. Constituidos por arenas trituradas, de gruesas a finas, que pueden separarse de los jales mediante “cicloneo” (arenas cicloneadas), y por lamas (o léngamos), que constituyen la fracción más fina de los jales (limos o arcillas).
- Los sólidos se consideran secos totalmente, es decir, sin la humedad de absorción, la cual pertenece a los líquidos.

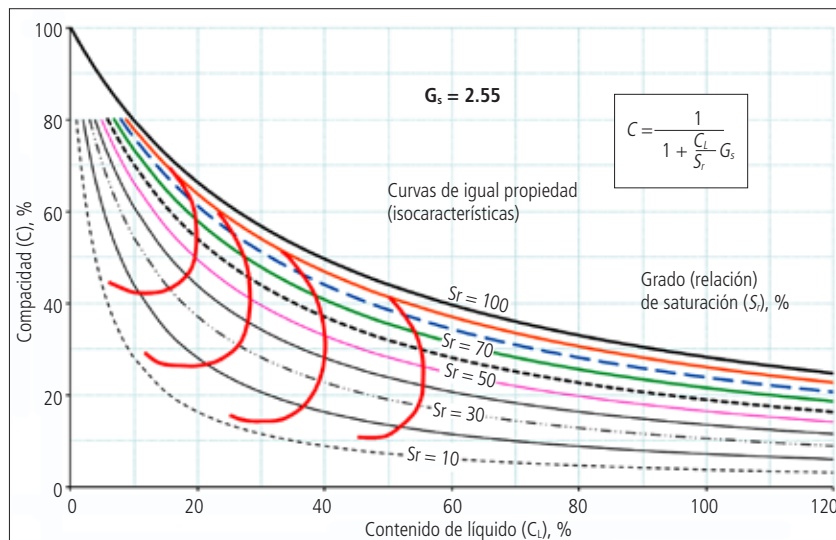


Figura 2. Diagrama CAS (compacidad-agua o asfalto-saturación).

- Líquidos. Consisten, principalmente, en las aguas del proceso de molienda y transporte. También se considera el agua de lluvia cuando ya están depositados los jales en la modalidad de “rellenos hidráulicos” (playas) o en una presa convencional.
- Gases. Para fines geotécnicos, sólo se considerará el aire en los vacíos que contiene el jal.

### ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL DEPÓSITO

De acuerdo con el concepto general de depósito de jales, se presentan dos opciones (véanse tablas 1 y 2).

1. Jales totales: lamas, arenas y agua. Tal como salen de los tanques espesadores al final del proceso en la planta de beneficio.
2. Jales secos, semisecos, exprimidos, filtrados, deshidratados o espesados, antes de depositarlos en terraplenes: compactados o no (con alta concentración de sólidos).
3. Jales totales más agua para transportarlos.

En su transporte al depósito de jales, en la opción 1 se vierten éstos directamente en el embalse de una presa convencional impermeable en su cortina, diseñada *ex profeso*.

En la opción 2, los jales se vacían directamente sobre el terreno preparado o se llevan en bandas o camiones para formar terraplenes (jales espesados o compactados) y así se forma una estructura térrea sin cortina contenedora.

En la opción 3, los jales se conducen a un relleno hidráulico, que es una estructura térrea formada a fuerza de derramar los jales paulatinamente, para formar playas con los conocidos y tradicionales métodos constructivos aguas arriba, aguas abajo, línea central y diversas combinaciones que se presenten. Como se deduce, la construcción y operación ocurren simultáneamente. El agua clarificada del estanque debe alejarse lo más posible de la cortina contenedora para tener una superficie superior del flujo lo más baja posible (línea superior de corriente) que no afecte a los taludes externos.

Entonces, la cortina contenedora es uno de los elementos constitutivos de los depósitos de jales, según se explica en la tabla 2. Conviene que tenga forma arqueada, cóncava hacia aguas abajo y bien atracada, con el propósito de reducir tensiones y agrietamientos, y de no propiciar filtraciones y tubificaciones, principalmente con el agua libre y clarificada alejada. (véase figura 1; Orozco, 2019).

En el caso de rellenos hidráulicos (playas y estanque), otro elemento constitutivo del depósito de jales es el vertedor de excedencias, que puede ser el mismo de operación (siste-

ma decantador drenante, por ejemplo: tipo sección portal) construido gradualmente u otro que se construya con antelación al final de la operación, para la seguridad permanente de la obra. Además, se tienen otros elementos constitutivos, como el vaso de almacenamiento y el propio sistema decantador drenante para la recuperación del agua que se envía a la planta de beneficio.

**CONCEPTOS GEOTÉCNICOS BÁSICOS**

Uno de los conceptos más importante que regulan la geotécnica es la concentración de sólidos o compacidad (C), como contraparte de la conocida porosidad (n), de tal manera que (Orozco, 2014):

$$C + n = 1 \tag{1}$$

o bien:

$$V_s/V_t + V_v/V_t = 1 \tag{2}$$

donde:

$C = V_s/V_t =$  compacidad

$n = V_v/V_t =$  porosidad

$V_s =$  volumen ocupado por los sólidos secos jalosos

$V_t =$  volumen total de la masa de jal

$V_v =$  volumen ocupado por los vacíos que deja el jal

De esta manera se puede afirmar que el mejor acero tiene 100% de C, y el aire, 0%. Los jales alcanzan de 60 a 70% de C, dependiendo del contenido de agua o humedad (w) y el grado (o relación) de saturación ( $S_r$ ).

Los tres parámetros: C, w y  $S_r$ , están íntimamente relacionados mediante la ecuación:

$$C = \frac{1}{1 + \frac{w}{S_r} G_s} = \frac{1}{1 + e} \tag{3}$$

donde:

w = humedad (o contenido de agua)

$S_r =$  grado (relación) de saturación ( $G_w$ )

$G_s =$  densidad relativa media de los sólidos

e = relación de vacíos

La demostración de la fórmula (3) se deduce de esquemas gravimétricos sencillos.

La representación gráfica de la expresión (3) se ilustra en la figura 2, que es un diagrama CAS (curvas de igual valor o “isocaracterísticas”) (Orozco *et al.*, 2016, y Orozco, 2018); en el caso de los jales, el contenido de líquido ( $C_L$ ) es la humedad o el contenido de agua (w).

**PROPIEDADES FUNDAMENTALES**

La estrecha relación que se presenta entre las propiedades de un geomaterial viscoelástico como el jal está expresada

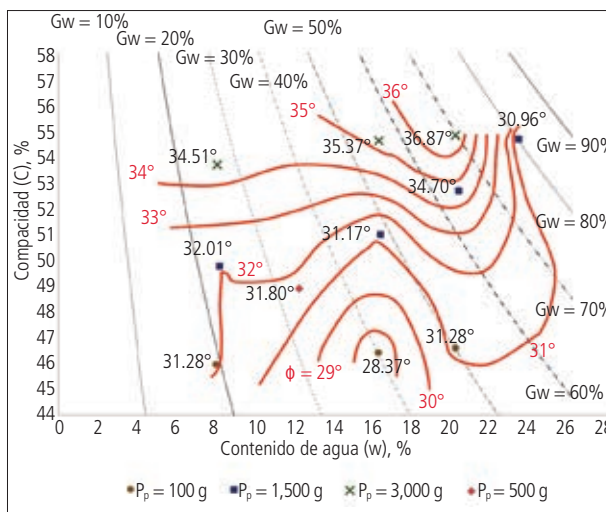


Figura 3. Diagrama CAS para el ángulo de fricción interna (φ) (Orozco *et al.*, 2016).

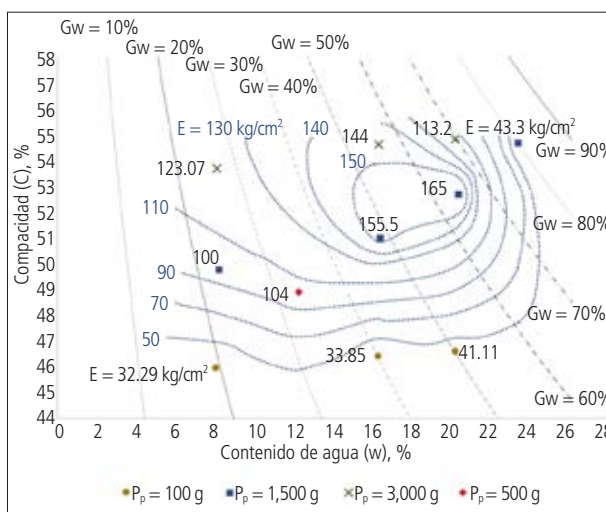


Figura 4. Diagrama CAS para el módulo de elasticidad (E50) (Orozco *et al.*, 2016).

en la fórmula (3) y representada en el diagrama CAS de la figura 2.

Las principales y más sobresalientes propiedades de un jal corresponden al ángulo de fricción interna (φ) obtenido de las pruebas triaxiales convencionales, estáticas y dinámicas, con los correspondientes módulos elásticos ( $E_{50}$ ), para tomar en cuenta tanto la resistencia como la deformabilidad de estos geomateriales viscoelásticos y así trazar las curvas isocaracterísticas en un diagrama CAS, como se ilustra en las figuras 3 y 4.

Si empalmamos ambas figuras, se delimita la región óptima de C, w y  $S_r$ , es decir, los mejores valores combinados del ángulo de fricción interna (φ) y del módulo elástico ( $E_{50}$ ), según se ilustra en la figura 5. Las pruebas triaxiales convencionales fueron del tipo CU (consolidadas, no drenadas) (Orozco *et al.*, 2016).

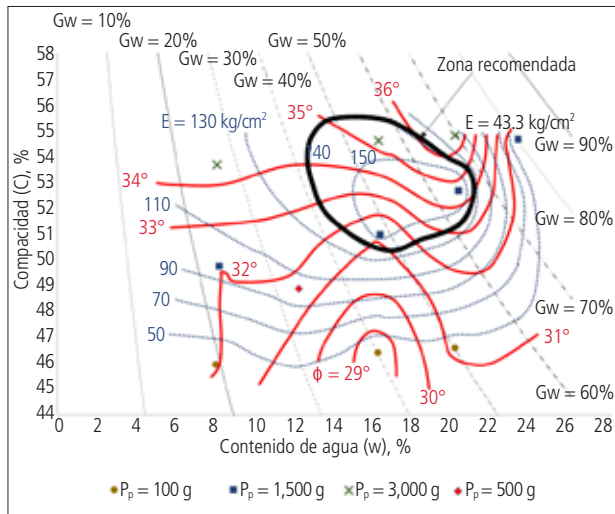


Figura 5. Diagrama CAS uniendo los valores de  $\phi$  y  $E_{50}$  (Orozco et al., 2016).

Como se explicó anteriormente, al empalmar los dos diagramas CAS de las figuras 3 y 4 se obtiene la región óptima recomendable, de mayor eficiencia para compactar los jales, por ejemplo, y aumentar, por ende, la estabilidad en los taludes de los depósitos.

#### ACTIVIDADES BÁSICAS Y RESPONSABILIDADES EN EL DESARROLLO DE UN DEPÓSITO DE JALES SEGURO

Son cuatro las actividades básicas para lograr el desarrollo completo de un depósito: planificación y estudios; proyecto y construcción; supervisión y control de calidad; conservación y operación.

Estas actividades deben ser llevadas al cabo de la manera más clara y eficiente posible, dentro de la economía y, principalmente, del entorno ambiental. En forma muy simplificada, lo anterior se representa gráficamente en la figura 6 (Orozco, 2010 y 2014). Puede inferirse de esta figura que la planificación es un zunchito que une todas las otras actividades para que el depósito de jales sea permanente. Estas actividades, también muy importantes, se refieren a las de posconstrucción y cierre de la obra, las cuales merecen atención especial.

Existe una palabra clave (véase figura 7) para cada uno de los responsables en las actividades, con el fin de alcanzar el nivel de calidad, sinónimo de especificaciones, en cada elemento de la obra y dentro de la vida útil o económica asignada. En la figura 7 se representa lo anteriormente expuesto; se señalan conceptos bien cimentados y en equilibrio. Desde luego que hay otros puntos de vista para explicar y ejemplificar estos criterios de ingeniería.

El proyecto y la construcción están estrechamente relacionados, al igual que la operación, sin descuidar el control de calidad (especificaciones) para que se lleven siempre actualizadas y oportunamente (véase figura 8; Orozco, 2019).

Conviene recordar que la ingeniería geotécnica ha tenido una gran influencia en todas las actividades ingenieriles ya

mencionadas, con el fin de satisfacer la seguridad de los depósitos de jales con economía, la máxima estabilidad de taludes y la mejor resistencia a la licuación por sismo o explosión, la tubificación, la erosión o el derrame sobre la cortina contenedora, tomando en cuenta siempre el medio ambiente.

#### CONCLUSIONES

Ha habido un gran desarrollo en el proyecto, la construcción y la operación de los depósitos para jales (relaves) en la industria minera mexicana en las últimas décadas.

Se tiene conciencia de que la planificación –con estudios– de los depósitos para jales es la actividad rectora de todas las demás: proyecto y construcción, supervisión y control de calidad, operación y conservación dentro de la vida asignada a las obras y hasta después de su cierre.

El ingeniero minero decide cómo almacenar sus jales, en las modalidades siguientes:

- Arrojàndolos integralmente y en forma directa en un embalse tradicional con cortina convencional impermeable (el agua libre clarificada se extrae en estaciones de bombeo) o expresamente proyectada permeable (el agua filtrada se extrae de una presa con cortina impermeable, ubicada aguas abajo, como el caso de Buenavista del Cobre, Nacoziari, Sonora).
- Formando “rellenos hidráulicos” (playas y estanque) y extrayendo el agua libre clarificada, con los métodos constructivos ya conocidos (aguas arriba, aguas abajo, etc.).
- En terraplenes, compactados o no, según la humedad y consistencia de los jales.

Se pueden clasificar los depósitos para jales en 27 categorías que están descritas en las normas mexicanas (Semarnat, 2014), atendiendo a la topografía, la hidrología y la sismicidad del sitio.

La geometría en arco cóncavo hacia aguas abajo amplifica el efecto tridimensional de los depósitos para jales, evita tensiones y previene tubificaciones, sobre todo si se respetan las leyes de permeabilidad (Semarnat, 2014), permitiendo que la línea superior de la corriente en la red de flujo se

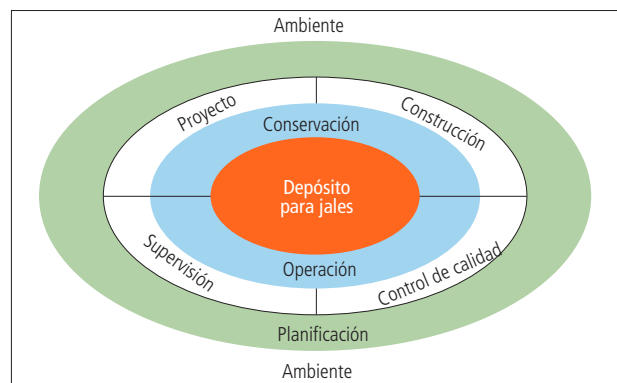


Figura 6. Actividades para el depósito de jales permanente (estética, ecológica, segura y económica; nueva o rehabilitada).

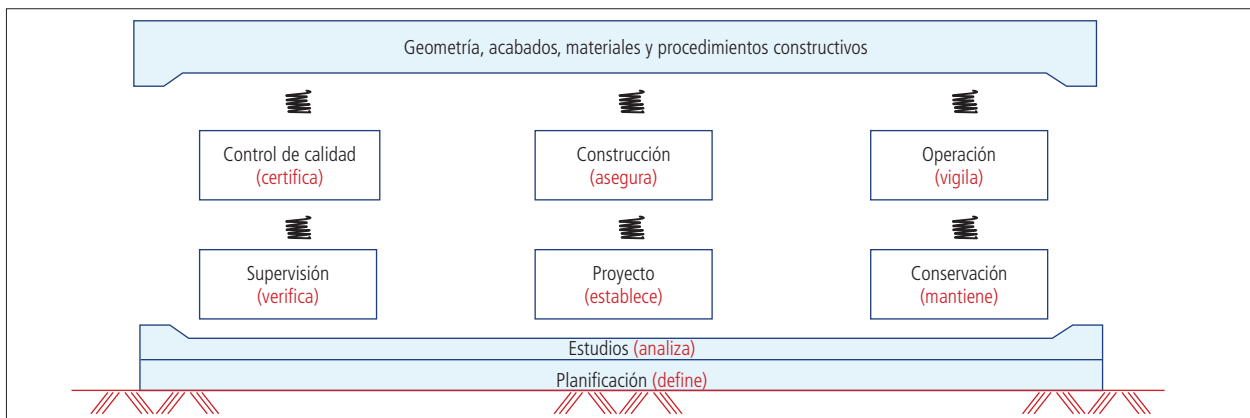


Figura 7. Responsables del nivel de calidad.

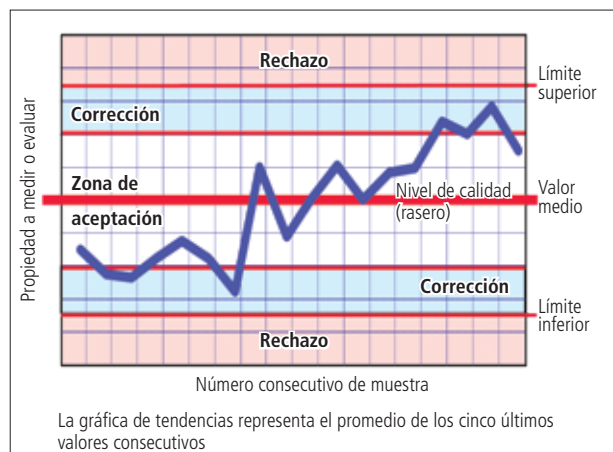


Figura 8. Carta de control de calidad.

mantenga alejada de los taludes y elevando el factor de seguridad, sobre todo cuando se aleja el estanque de agua libre y clarificada (véase figura 1; Orozco, 2019).

## RECOMENDACIONES

1. Cuando se trata de un depósito del tipo “relleno hidráulico” o de un terraplén compactado, se recomienda conocer la interrelación entre la concentración de sólidos (o compactidad), la humedad y el grado (o relación) de saturación, para una graduación (granulometría) dada de los jales.
2. Cuando los jales se depositan en un embalse convencional arrojándolos integralmente, no es necesario hacer investigaciones de laboratorio, sino solamente caracterizarlos con pruebas índice tradicionales.
3. En todo caso, el proyectista deberá establecer claramente los niveles de calidad (sinónimos de especificaciones) para que se lleven oportunamente las cartas de control dentro de las zonas estipuladas (aceptación y corrección, no en las de rechazo), con las gráficas de tendencias (promedio de los últimos cinco valores consecutivos) actualizadas al momento, en forma ágil y oportuna.
4. Recordar la frase célebre de Aristóteles: “La calidad no es un arte, es un hábito”.

5. Tomar en cuenta lo descrito en el apartado “Generalidades” de este texto ➡

## Referencias

- Asociación de Ingenieros de Minas Metalurgistas y Geólogos de México, A. C., AIMMG (1993). *Manual de presas y depósitos de jales*. Traducción del Boletín 45 de la Comisión Internacional de Grandes Presas, ICOLD (por sus siglas en inglés).
- León T., J. L. (1976). Aplicación del método del elemento finito dinámico en la presa de jales El Fraile, Taxco, Gro. México. XII Congreso Internacional de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD). II UNAM, Asarco Mexicana.
- Orozco S., R. V. (1995). Criterios de proyecto, construcción y operación para presas de jales en México. X Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Guadalajara: ISSMGE.
- Orozco S., R. V. (2010). La ingeniería geotécnica en las presas de jales mexicanas. *Memorias de la XXV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica. Acapulco, México.
- Orozco S., R. V. (2014). Depósitos de jales mineros en México. Reflexiones para mejorar su calidad. *Memorias de la XXVII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica. Puerto Vallarta, México.
- Orozco S., R. V. (2018). Estimación de cambios volumétricos unitarios por variaciones de humedad en suelos arcillosos, parcialmente saturados. *Memorias de la XXIX Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica. León, México.
- Orozco S., R. V. (2019). Criterios básicos de proyecto, construcción y operación. V Seminario sobre depósitos de jales. Cámara Minera de México, Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, Universidad de Guanajuato, Asociación de Ingenieros de Minas Metalurgistas y Geólogos de México.
- Orozco S., R. V., O. Flores, M. Bernal y V. L. Hernández (2016). Influencia de la compactidad, la humedad y la saturación en las propiedades de jales mineros. XXVIII Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica. Mérida, México.
- Robinsky, E. I. (1999). *Thickened tailings disposal in the mining industry*. Toronto: Quebecor Printpack.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Semarnat (2014). Norma Oficial Mexicana NOM.141-SEMARNAT-2003 que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y post-operación de depósitos para jales. México.

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

**Carlos Orozco y Orozco**

Vicepresidente de la SMIG en el periodo 1975-1976  
y presidente en 1979-1980.

# Un candidato de Tamez

Un recuerdo sobre la rectitud de un maestro que impulsó mi participación gremial.

Siendo presidente de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos el profesor Enrique Tamez González, por el mes de mayo de 1974 me llamó por teléfono para invitarme a que lanzara yo mi candidatura a la Vicepresidencia de la sociedad, en el bienio 1975-1976, explicándome que, si bien la Mesa Directiva tenía sus propios candidatos, las elecciones en nuestra sociedad eran absolutamente libres, por lo que resultaba conveniente que para cada puesto hubiera varios candidatos.

Grande fue mi asombro. No había pasado por mi mente tal cosa; si bien pertenecía a la SMMS desde el año 1969, mi participación en ella se reducía a la asistencia activa a todos los eventos.

Por esos días, y con motivo de que el propio profesor Tamez y Juan Orozco habían hecho un viaje a Tanzania, yo había heredado el compromiso de ser el relator general de la VIII Reunión Nacional, y en eso estaba trabajando.

Torpeamente le contesté al profesor que si esa candidatura ayudaba a los fines de la sociedad, yo con gusto la lanzaría. No fui muy cuidadoso con mi respuesta, y la reprimenda no



CIDHUAM

se hizo esperar: “Mire usted, Carlos – me dijo–: que yo le diga que los integrantes de la mesa directiva tenemos a nuestros candidatos de ninguna manera significa que ellos serán los integrantes de la nueva mesa directiva. Si usted acepta participar, contrae la obligación de luchar y trabajar todo lo necesario para ganar. No malinterprete usted mi invitación.”

Profundamente apenado, me disculpé y, obviamente, acepté la invitación. Hice honor a mi compromiso de trabajar y luchar por ganar las elecciones y así sucedió; para mi sorpresa mayúscula, resulté vicepresidente en la asamblea de noviembre de 1974.

Desde esa fecha, y por causa de mi muy querido profesor Tamez, he trabajado activamente con la SMMS, tantas ocasiones como se me ha solicitado, quizá no para bien de la SMMS pero sí para mi más profunda satisfacción. Gracias, profesor 🍀

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

**GD GERDAU CORSA**  
El futuro se moldea



[gerdaucorsa.com.mx](http://gerdaucorsa.com.mx)

## PILOTES DE ACERO W o H PARA CIMENTACIONES

Presentes en el día a día de las personas y dándole vida a las ciudades, proponemos soluciones versátiles, flexibles, innovadoras y sostenibles que apoyan la visión de nuestros clientes. Satisfacemos las demandas existentes para la optimización de tus proyectos y juntos moldeamos el futuro.



CALIDAD



MEDIO  
AMBIENTE



SEGURIDAD  
Y SALUD

### VENTAJAS DE LA CIMENTACIÓN CON PILOTES DE ACERO

- 🕒 Rapidez en la construcción
- 📄 Productos certificados
- 💰 Rentabilidad del proyecto

TRANSFORMAMOS LA  
CIMENTACIÓN DE TU PROYECTO  
CON PILOTES DE ACERO.

Contáctanos  
Tel. 55.5262.7300  
e-mail: [pilotes@gerdau.com](mailto:pilotes@gerdau.com)



**Gerdau Corsa. El futuro se moldea.**

Walter I. Paniagua

Pilotec, S.A de C.V.

# In memoriam

## Daniel Ruiz Fernández

Comparto aquí un recuerdo de mi trato profesional con un ingeniero muy respetable.

En primera instancia, conocí al ingeniero Daniel Ruiz Fernández a través de los comentarios que escuché de mi padre, que lo trató profesionalmente en ICA y siempre expresó admiración y respeto por él como ingeniero.

Posteriormente, a mediados de la década de 1990, empecé a tratarlo personalmente, con motivo de la recimentación con micropilotes de diversos inmuebles escolares en la Zona del Lago de la Ciudad de México. Me sorprendió el grado de detalle con el que se involucraba, con conocimientos profundos de las condiciones geotécnicas del sitio, sin perder la objetividad del problema conjunto.

Seguí en contacto con el ingeniero Ruiz Fernández en diversos proyectos; en el año 2006 coincidimos en la construcción de un centro comercial en el Centro Histórico de la Ciudad de México. El inmueble está sobre una avenida muy transitada, colinda a los costados con una iglesia colonial y un edificio de 10 niveles, y en la parte posterior con un edificio muy alto.

En la primera entrevista, el ingeniero Daniel Ruiz me planteó el problema de comportamiento del nuevo centro comercial, ya que estaría cimentado con un cajón compensado, y el edificio posterior está en pilas apoyadas en los depósitos profundos. Su legítima preocupación derivaba del hundimiento regional en esa zona, que en la época era de alrededor de 12 cm/año; en efecto, el edificio tendría una emersión aparente, mientras que el cajón seguiría el hundimiento general de la zona. Necesitábamos separar el comportamiento de ambas cimentaciones.

La contención de la excavación se planeó con un muro Milán colado en el lugar, y para separar físicamente ambas cimentaciones se diseñó un “muro Milán deslizante” a lo largo de la colindancia con el edificio alto.

Una vez resuelto el problema a satisfacción del Ing. Daniel Ruiz, me solicitó eliminar el apuntalamiento con



troqueles metálicos, para simplificar el proceso de excavación. El diálogo, como lo recuerdo, fue así:

–Walter, necesito que elimine los troqueles del proceso de excavación; ¿puede hacerlo?

–Es posible, ingeniero, pero es probable que tenga que extender la pata del muro Milán y que se incremente el espesor del muro o la cuantía de acero. Lo calculo en la oficina y se lo muestro la próxima semana.

–De ninguna manera. Muéstrame cómo lo calcula, ahora.

Al escuchar esta indicación, palidecí. La presencia y reputación del ingeniero me abrumaban. Sin embargo,

al no tener alternativa, saqué unas hojas de trabajo y mi calculadora. Dibujé un modelo geotécnico, asignando las propiedades comunes en la zona a cada estrato. Posteriormente, calculé los empujes a corto plazo (todo bajo la mirada inquisidora de Daniel Ruiz Fernández), y cuando empecé a calcular el momento actuante, me interrumpió:

–Es suficiente; ya vi que sabe cómo hacerlo. Ahora vaya a su oficina, lo hace en su computadora y me trae el proyecto la próxima semana.

Ni qué decir que respiré, al haber pasado el “examen” con el profesor Daniel Ruiz. El proyecto se desarrolló de acuerdo con lo planeado, y el comportamiento independiente de las cimentaciones mencionadas ha sido adecuado.

Mi relación profesional con el Ing. Daniel Ruiz continuó en algunos otros proyectos, como un hospital en el oriente de la Ciudad de México. Agradezco haber tenido la oportunidad de tratarlo profesionalmente, y aprender algo de su vasta experiencia 🍷

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

## TESIS

### Criterios de diseño para cimentaciones en roca

Tesis de **Óscar Arturo Iturbide Morales** para obtener el grado de maestro en Ingeniería (Geotecnia) Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.  
Asesor: Miguel Ángel Figueras Corte

El estudio de las cimentaciones en roca es un tema que en ocasiones no se analiza a profundidad, ya que se toma en cuenta que el material de desplante va a soportar fácilmente las cargas impuestas sobre él y no presentará problemas de ningún tipo. En algunos casos esta afirmación es cierta; sin embargo, existe la posibilidad de que el macizo rocoso presente numerosas fracturas, o si éstas tienen una considerable abertura, es necesario un estudio a detalle.

En esta investigación se concluyó que es sumamente importante conocer el estado en que se encuentran los macizos rocosos, así como sus propiedades físicas y mecánicas, con la finalidad de evaluar el tipo de roca sobre el que se pretende trabajar.

En el caso de la falla por capacidad de carga que se analizó, se dice que la resistencia del macizo rocoso está gobernada por la orientación que presentan las juntas respecto a las cargas de dise-

ño, así como del estado en que se halle el material. Se debe realizar con criterio el cálculo de la capacidad de carga utilizando el valor de la resistencia a la compresión simple, ya que obtener un alto resultado de este parámetro no asegura que se tendrá una capacidad de carga elevada; esto sólo sería cierto si se encuentra ante una roca sana y con pocas o nulas discontinuidades.

El objetivo general de la investigación es aportar ecuaciones con las cuales conocer la capacidad de carga admisible tomando en cuenta que no siempre es posible realizar un análisis detallado con pruebas que impliquen un alto costo en el anteproyecto y determinar una correlación entre dos de los parámetros más utilizados en el análisis de la capacidad de carga en rocas, el índice de calidad de roca (RQD) y resistencia a compresión simple ( $q$ ). Dicho análisis aborda únicamente rocas de travertino encontradas en la ciudad de Puebla. Los resultados obtenidos en esta investigación pueden brindar una aproximación práctica del valor de capacidad de carga admisible en roca de travertino en la ciudad de Puebla, pero también se puede tomar como un punto de partida para analizar diferentes tipos de roca en distintas ubicaciones de la República mexicana ❖



**Pilotec**

Cimentaciones Profundas

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

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

# LIBROS

## MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

22 capítulos actualizados, disponibles en amazon.com

Esta nueva edición del manual elaborado por la CFE y el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México provee los lineamientos de diseño de todas las obras de ingeniería civil, y lo hace incorporando los avances tecnológicos y la experiencia técnica acumulada por la ingeniería mexicana desde 1983, año en que se editó el anterior manual. Se conjuntan elementos teóricos y prácticos de la ingeniería en los campos de la hidrotecnia, geotecnia y estructuras. Constituye una referencia técnica obligada no sólo para los ingenieros de la CFE, sino para todos aquellos encargados de construir obras de ingeniería civil en Pemex y dependencias del sector público federal y local. Al igual que su predecesor, este manual único en su tipo será de gran ayuda técnica para los ingenieros de toda América Latina.

### Capítulo C.3.2 Diseño de estructuras con aislamiento de base

El objetivo fundamental del aislamiento sísmico es desacoplar los movimientos horizontales del terreno de la estructura mediante la introducción de dispositivos especiales, nombrados comúnmente aisladores, los cuales se ubican por lo general entre la cimentación y la superestructura, en el caso de edificios y equipos, y entre las pilas y las calzadas, en el caso de puentes, de manera que durante un sismo la estructura montada sobre los aisladores se comporte como un cuerpo rígido y siga esencialmente el movimiento de los aisladores. A diferencia de una estructura convencional, una

estructura aislada sísmicamente permanece en esencia sin deformarse, desplazándose casi como un cuerpo rígido perfecto montado sobre el sistema de aislamiento, por lo que, si el sistema de aislamiento se diseña con propiedad, sus elementos estructurales y no estructurales sobrevivirán el sismo sin daño alguno. En este capítulo se establecen los lineamientos generales que deberán seguirse para el diseño de todo tipo de estructuras con aislamiento de base, incluyendo edificios y estructuras de interés para el sector eléctrico. Se establecen las bases para los tres métodos fundamentales de análisis y diseño: simplificado, estático y dinámico. Los requisitos de este capítulo tienen como propósito obtener una seguridad adecuada tal que, bajo el sismo máximo probable, no habrá fallas estructurales, fallas en el sistema de aislamiento sísmico ni pérdidas de vidas humanas, aunque sí puede requerirse el reemplazo de parte o la totalidad del sistema de aislamiento después de acaecido el sismo. Para el diseño se considerarán dos estados límites: *a*) el nivel de servicio, en que se revisarán las deformaciones para evitar los daños en elementos estructurales y no estructurales, y *b*) el nivel de prevención de colapso, en que se determinarán las resistencias y se revisarán las deformaciones para prevenir la falla del sistema de aislamiento y de la estructura que éste soporta.



### GROUND IMPROVEMENT CASE HISTORIES: EMBANKMENTS WITH SPECIAL REFERENCE TO CONSOLIDATION AND OTHER PHYSICAL METHODS

Buddhima Indraratna, Jian Chu y Cholachat Rujikiatkamjorn, Kindle, 2015

Escrito por un grupo de colaboradores internacionales, *Casos históricos de mejoramiento de suelos: Terraplenes con especial énfasis en consolidación de suelos y otros métodos físicos* emplea el uso de casos históricos para ilustrar y aplicar ecuaciones, métodos numéricos y tecnología para llevar a

cabo los proyectos de mejoramiento de suelos más complicados. En este libro, cada caso histórico proporciona una descripción general de la tecnología específica, seguida de aplicaciones de campo y, en algunos casos, un análisis retrospectivo exhaustivo mediante modelos numéricos. Los casos históricos específicos de terraplenes, con especial énfasis en la consolidación del suelo, son: Ballina Bypass (Australia), puerto de Tianjin (China), Segundo Aeropuerto Internacional de Bangkok (Tailandia), recuperación de Changi East (Singapur), autopista

Maizuru-Wakasa (Japón) y autopista del Aeropuerto Colombo, Sri Lanka. Otros métodos físicos incluyen la ejecución de columnas de grava en la recuperación de la Bahía de Penny en Hong Kong y pilotes PCC para la construcción de carreteras y vías férreas de alta velocidad en China, entre otros.

Este libro es una gran referencia para ingenieros de la práctica, constructores de cimentaciones e ingenieros geotecnistas, así como para estudiantes y profesores de ingeniería geotécnica.





## Conferencias Geotécnicas Bolivianas

Con el auspicio de la Sociedad Boliviana de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica se llevaron a cabo las Conferencias Geotécnicas Bolivianas del 10 al 22 de agosto.

Se impartieron 22 conferencias, entre ellas "Excavaciones en zonas urbanas y sus afectaciones a colindantes", impartida por Walter I. Paniagua Zavala.

Algunos otros temas fueron "Metodología para caracterización del módulo resiliente de suelos de subrasante a través del ensayo triaxial dinámico", expuesto por Eduardo Gutiérrez del Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno de Bolivia, "Modelación numérica en geotecnia", impartida por Alejo Sfriso, vicepresidente de la ISSMGE Sudamérica y "Las propiedades de los suelos", ofrecida por Juan Carlos Santamarina de la King Abdullah University of Sciences and Technology de Arabia Saudita.



Aproximadamente 500 personas atendieron las conferencias por vía remota.

Como una importante contribución, la SMIG proporcionó el acceso por Zoom. Los videos de las conferencias están disponibles en el sitio oficial del evento: <https://www.facebook.com/UPBoficial>



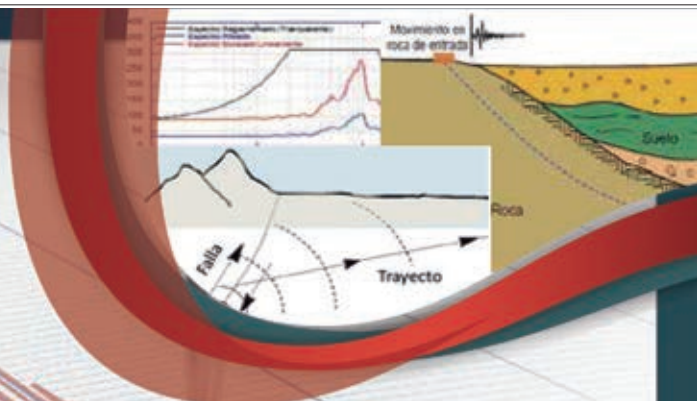
Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C.

### **CURSO-TALLER** EVALUACIÓN DE PELIGRO SÍSMICO, EFECTOS DE SITIO Y ESPECTROS DE DISEÑO SÍSMICO

Impartido en  
plataforma online

7 y 8 de octubre de 2020,  
de 09:00 a 18:00 hrs.

Cupo limitado



### **INSTRUCTORES**

**M.C. Carlos Roberto Torres Álvarez**  
**Dr. Héctor Raúl Aguilar Becerril**  
**M.I. Francisco Alonso Flores López**

### **COORDINADOR**

**Dr. Sergio Antonio Martínez Galván**  
Vocal M. D. 2019-2020

### **CUOTAS + I.V.A.**

Socio	\$ 1,600.00
No socio	\$ 1,800.00
Estudiante	\$ 1,000.00
Capítulo estudiantil	\$ 800.00

### **REGISTRO E INFORMES**

administracion@smig.org.mx  
55 56 77 37 30 / 55 56 79 36 76

## Uso de tablaestacas

Los días 26 y 27 de agosto se llevó a cabo el curso Uso de tablaestacas, impartido en dos módulos, cada uno de los cuales abarcó tres temas.

El tema 1, "Generalidades de las tablaestacas", tuvo por objetivo brindar un panorama global sobre la tecnología del tablestacado y los términos de referencia más comunes. Para ello se revisó la historia, tipos de perfiles, tipo de rolado, candados y aplicaciones.

"Diseño de muros pantalla y durabilidad en obras de infraestructura urbana" fue el tema 2. Su objetivo fue difundir los conceptos teóricos asociados al diseño de pantallas flexibles y su aplicación en obras de infraestructura urbana. Como parte de él se abordó la teoría de empujes, ejemplo de análisis, determinación del perfil adecuado, mecanismos de corrosión y ejemplo de determinación de propiedades a largo plazo.

El tema 3 fue "Casos de estudio y aspectos constructivos", que se planteó como objetivo ilustrar algunos detalles constructivos de interés y casos de éxito de soluciones con tablaestacas.

Se revisaron casos de estudio de puertos, estacionamientos subterráneos, pasos a desnivel y protección marginal; vigas madrina, tensores, pantalla de anclaje y anclajes inyectados; despiece para proyectos ejecutivos (tornillería, pares de tablaestaca, vigas de reparto y puntales) y equipos. Los tres primeros temas fueron desarrollados por Emmanuel García.

El primer tema del segundo día fue "Pasos a desnivel", impartido por Leonardo Betancourt. Se abordó el proceso constructivo, la instalación y caso de estudio.

Después, el tema Tablaestaca PZC y PS, Gerdau GLN, fue impartido por Carlos Moss Vélez. Trató las especificaciones, normatividad, grados de acero, aplicaciones, capacidad instalada y ubicación de plantas, así como casos de éxito.

Finalmente, Richard Morales desarrolló en inglés el tema Innovations in steel sheet piling.

El curso tuvo una duración de 9 horas, y vía remota fue atendido por 810 personas el día 26, y por 643 personas el día 27. Los participantes se conectaron de Argentina, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Estados Unidos, Honduras, México, Nicaragua, Panamá y Perú ➡



La Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A. C.

lamentamos profundamente el fallecimiento del M. en C.

### Enrique Tamez González

Fundador de la SMIG, antes Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, y presidente de ésta en el periodo 1973-1974

y se une a la pena que embarga a sus familiares y amigos.

Descanse en paz  
Junio 2020



La Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A. C.

lamentamos profundamente el fallecimiento del ingeniero

### Carlos García Herrera

y se une a la pena que embarga a sus familiares y amigos.

Descanse en paz  
Junio 2020



La Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A. C.

lamentamos profundamente el fallecimiento del ingeniero

### Arturo Alfonso Bello Maldonado

y se une a la pena que embarga a sus familiares y amigos.

Descanse en paz  
Julio 2020



La Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A. C.

lamentamos profundamente el fallecimiento del doctor

### Neftalí Rodríguez Cuevas

Profesor emérito de la FI e investigador titular del II de la UNAM. Fue responsable del Túnel de viento del II

y se une a la pena que embarga a sus familiares y amigos.

Descanse en paz  
Julio 2020

# Cultura

## El azaroso arte del engaño

Gerardo Herrera Corral  
Taurus, 2019

¿Dónde está el límite entre el azar y el error? ¿Cuál es la diferencia entre error y embuste deliberado? En este libro se presentan varios casos que nos hacen plantearnos estas cuestiones.

Cada capítulo ilustra un caso concreto que va desde el plagio de que fue víctima Hiparco por parte de Ptolomeo hasta el uso artificioso de la estadística para hablar del cambio climático, pasando

por diversos ejemplos paradigmáticos de manipulación y fabricación de datos.

Por la importancia que hoy en día se concede a la estadística como base para sustentar argumentos de todo tipo, la lectura de este trabajo del doctor en Física mexicano Gerardo Herrera Corral resulta muy importante, ya que mueve a la reflexión



y nos ubica, además de divertidos

**Gerardo Herrera Corral (1963)**

Es un físico de partículas mexicano (Delicias, Chihuahua), profesor del Departamento de Física del Cinvestav. También colabora en ALICE (A Large Ion Collider Experiment), uno de los cuatro experimentos más importantes del Gran Colisionador de Hadrones, en Ginebra, Suiza. Es un reconocido divulgador de la ciencia, que frecuentemente imparte pláticas, publica

artículos en distintos medios, y que ha escrito varios libros de divulgación de la ciencia.

# Cartelera

## Exposiciones al aire libre

Frente a la epidemia que continúa configurando el panorama mundial, los museos y centros culturales continúan cerrados, por lo que las instalaciones al aire libre pueden convertirse en una elección segura para seguir en contacto con el arte.

### REJAS DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC

Durante un paseo por Reforma, a la altura del bosque, es inevitable ver las fotografías ubicadas en las rejas que limitan esta gran área verde de la Ciudad de México.

En la exposición *Desde nosotras*. Encuadros y miradas participan 59 mujeres fotoperiodistas. Las fotografías retratan



la violencia y desigualdad contra las mujeres en México

Galería Abierta Rejas del Bosque de Chapultepec. Reforma esq. Grutas.

### CINETECA NACIONAL

Exposición sobre la compañía cinematográfica más antigua del mundo, *Gaumont*.

Galería al aire libre de la Cineteca Nacional. Real Mayorazgo, Xoco.

### CORREDOR DE ARTE URBANO

Gracias al colectivo *Liberalia Itinerante*, los transeúntes y automovilistas que recorren el Eje 1 Norte verán los esfuerzos de 43 artistas nacionales que plasmaron personajes e ideas creadas en conjunto con los vecinos de la zona

Corredor de Arte Urbano.

Eje 1 Norte, Buenavista.



La Sociedad Mexicana de  
Ingeniería Geotécnica, A.C.

INVITA A PARTICIPAR EN LA

**XXX REUNIÓN NACIONAL DE  
INGENIERÍA GEOTÉCNICA**

Y

**XXI REUNIÓN NACIONAL DE PROFESORES  
DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA,**

QUE SE REALIZARÁN EN PLATAFORMA ONLINE.

**XXX RNIG**

**XXI RNPIG**

**16-19 MARZO**



**2021**

## TEMAS TÉCNICOS

- Suelos blandos
- Depósitos mineros
- Cimentaciones profundas
- Modelación numérica
- Práctica profesional
- Sitios históricos y recimentaciones
- Ingeniería geotécnica sísmica
- Mecánica de rocas
- Presas
- Obras subterráneas
- Caracterización geotécnica de ciudades
- Suelos no saturados
- Geotextiles
- Geotecnia costa fuera
- Mejoramiento de suelos
- Ensayes de laboratorio
- Exploración geotécnica
- Taludes
- Interacción suelos-estructura
- Vías terrestres
- Flujo de agua en suelos

## NUEVAS FECHAS

### FECHAS IMPORTANTES

Fecha límite de recepción de artículos técnicos	<b>30 de octubre de 2020</b>
Aceptación de artículos técnicos	<b>02 al 30 de noviembre de 2020</b>
Aceptación de artículos para presentación oral en Línea o presentación en cartel en Línea	<b>01 al 18 de diciembre de 2020</b>



**VENTA Y RESERVACIONES DE  
PUBLICIDAD EN PLATAFORMA  
ELECTRÓNICA DE LA XXX RNIG Y  
XXI RNPIG**

**Leticia Bernal**

[lety.bernal@ecodsa.com.mx](mailto:lety.bernal@ecodsa.com.mx)

**55 5599-2860 ext. 121**



**INFORMES**

[www.smig.org.mx](http://www.smig.org.mx)

[informes@smig.org.mx](mailto:informes@smig.org.mx)

**55 5677-3730**



El registro para la recepción de los documentos (artículos) se deberá llevar a cabo a través de la siguiente liga:

[www.smig.org.mx/admArticulos/](http://www.smig.org.mx/admArticulos/)

**XXI RNPIG 16 de marzo de 2021.  
XXX RNIG del 16 al 19 de marzo de 2021.**