

geotecnia

DICIEMBRE 2022 -
FEBRERO 2023

266



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



ANÁLISIS NUMÉRICO DE UN REVESTIMIENTO DE TÚNEL SEGMENTADO SOMETIDO A CONSOLIDACIÓN REGIONAL

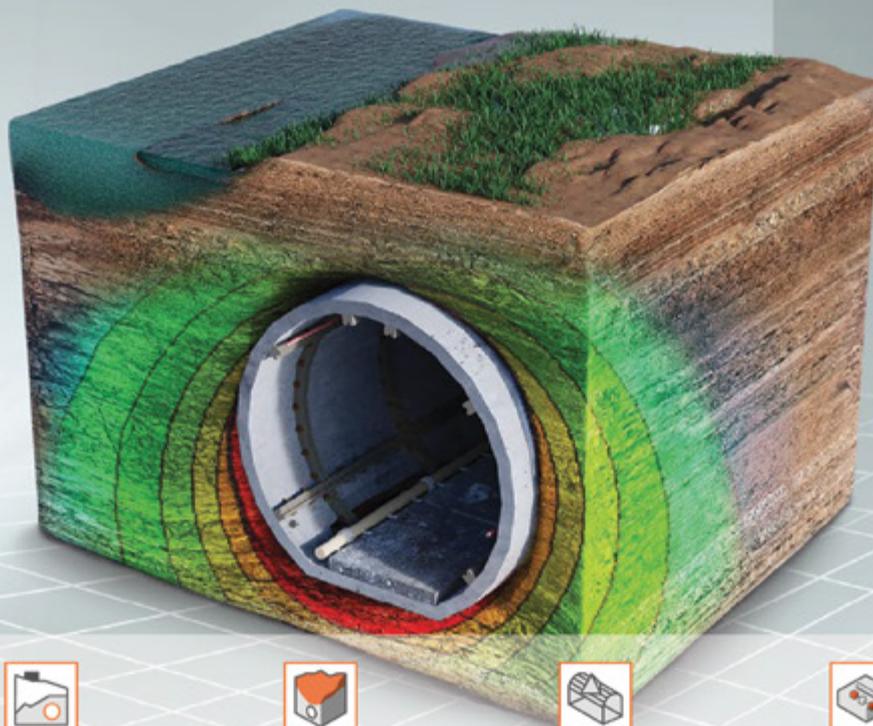
MICROTÚNEL DE 1.52 M DE DIÁMETRO CON TUBERÍA HINCADA
EN ZONA DEL LAGO DE LA CIUDAD DE MÉXICO



SOFTWARE PARA TUNELERÍA

Tanto en diseño como análisis detallados, los programas de Rocscience tienen todo lo que puedan necesitar para tunelería. Realice modelos avanzados en 3D para suelos blandos, roca fracturada, cortes y coberturas en superficies.

Haga una prueba gratis.
Visítenos en rocscience.com



RS2

Análisis Geotécnico 2D
por Elementos Finitos



RS3

Análisis Geotécnico 3D
por Elementos Finitos



UnWedge

Análisis de Estabilidad de
Cuñas Subterráneas



EX3

Análisis Geotécnico 3D
por Elementos de Borde

 **rocscience**

Raul Demarini
Director, Rocscience Sudamérica
raul.demarini@rocscience.com
+51-9-9808-5388

Aldo Nosiglia
Gerente de Ventas, Rocscience Sudamérica
aldo.nosiglia@rocscience.com
+51-9-8681-5044



El potencial de la SMIG

Mesa Directiva 2021-2022

Presidente

Roberto Avelar Cajiga

Vicepresidente

Ricardo Enrique Ortiz Hermsillo

Secretario

Raúl Fernando Verduzco Murillo

Tesorero

Francisco Alonso Flores López

Vocales

Miguel Castillo Cruz

Raúl Jiménez Olvera

Miguel Ángel Mánica Malcom

Daniel Martínez Oviedo

Blanca Esther Meza Vega

Gerente

Brenda Aguilar Silis

Delegaciones regionales

Michoacán

Occidente

Puebla

Querétaro

Tabasco

Veracruz

Representaciones

Chiapas

Ciudad Juárez

Irapuato

Mérida

Monterrey

Tijuana

Síguenos en



@smiggeotecnia



Sociedad Mexicana
de Ingeniería Geotécnica



inggeotec

Está por concluir este año correspondiente al 65° Aniversario de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, así como la gestión de la actual Mesa Directiva que tuvo el privilegio de presidir, a cuyos integrantes les agradezco su dedicación e interés que siempre manifestaron para lograr eficientemente la difusión del conocimiento de la ingeniería geotécnica, objetivo principal de nuestra querida sociedad técnica.

El Consejo Editorial de la revista *Geotecnia* ha mantenido la calidad de su contenido, reconocido por diferentes especialistas de nuestro gremio a nivel nacional e internacional; este número es el primero que se presenta solamente en formato digital interactivo aprovechando los avances de la tecnología informática, lo que coadyuvará a la protección del medio ambiente y a las finanzas de la SMIG, al no incurrir en los procesos de impresión y distribución física.

Durante estos dos últimos años, la SMIG se ha fortalecido gracias a la participación de sus miembros en el desarrollo de las diferentes actividades que ha llevado a cabo, entre las que destacan conferencias, cursos, seminarios y simposios, que hasta esta fecha suman 68 eventos técnicos a distancia y presenciales; en algunos de ellos compartimos su organización con otras sociedades e instituciones técnicas. También se renovó el Boletín Semanal y el sitio web de la SMIG con un diseño vanguardista y dinámico, con el propósito de facilitar su consulta; en ellos se incluye información oportuna, videoteca y biblioteca digital, entre otros. Con motivo de la celebración del 65° Aniversario de la SMIG, se publicaron, con la participación comprometida de sus miembros, tres libros conmemorativos relacionados con análisis numérico, ingeniería forense y túneles, todos vinculados a la geotecnia.

La interacción con las nuevas generaciones de ingenieros geotecnistas se vigorizó a través de los Capítulos Estudiantiles, así como en el 7° Coloquio de Jóvenes Geotecnistas, y se percibió su consolidación en la Reunión Nacional de Profesores de Ingeniería Geotécnica (RNPIG) y en la Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica (RNIG) durante la ejecución de los concursos de geotecnia, que tuvieron gran éxito. Con la promoción de la SMIG, este año se fundó el Comité de Mujeres en Cimentaciones Profundas y Geotecnia en México (WiDF-Women in Deep Foundations-México), en el que las ingenieras geotecnistas de nuestra sociedad técnica participaron activamente y tuvieron destacadas sesiones en el 5° Simposio Internacional de Cimentaciones Profundas y en la RNIG.

La RNIG y la RNPIG, celebradas del 16 al 19 del pasado mes de noviembre en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, nos permitió disfrutar de cuatro conferencias magistrales dictadas por personalidades nacionales e internacionales reconocidas en el ámbito de la ingeniería geotécnica, así como de 24 sesiones técnicas presididas por los Comités Técnicos de la SMIG con presentaciones de distinguidos expertos en cada una de las especialidades. También tuvimos oportunidad de visitar 30 espacios comerciales en la ExpoGeotecnia 2022, en la que se exhibieron equipos, productos y servicios relacionados con nuestro interés técnico. Las actividades sociales que compartimos con los 600 asistentes de diferentes países confirmaron la invaluable integración multi-generacional que existe entre todos los que formamos parte de la SMIG.

La Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica tiene el potencial de seguir fortaleciéndose con ética y excelencia en beneficio de la ingeniería geotécnica, con la intervención de su activo más importante que es el acervo compartido de sus miembros.

Roberto Avelar Cajiga
Presidente
Mesa Directiva 2021-2022



Geotecnia, año 12, núm. 266, diciembre 2022 - febrero 2023, 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. 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: Ediciones de la Sierra Madre, 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: 30 de noviembre de 2022.

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 helios@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 helios@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 Espacio del lector
Dos profesionales inolvidables
Luis Vieitez Utesa

4 Conversando con...
Un privilegio de los ingenieros civiles es hacer cosas útiles para la sociedad
Rodrigo Murillo Fernández



11 CALENDARIO

12 Semblanza
Un ingeniero brillante con música en el corazón



16 La geotecnia en la historia
Nabor Carrillo y la mecánica de suelos
Arthur Casagrande

19 Normatividad
Capítulo de "Memoria técnica" de la NTCDC

20 Tema de portada / Artículo técnico
Análisis numérico de un revestimiento de túnel segmentado sometido a consolidación regional
Juan M. Villagrán Alegría y cols.

RESEÑAS

29 Libros

30 Artículo técnico
Microtúnel de 1.52 m de diámetro con tubería hincada en Zona del Lago de la Ciudad de México
Blanca Esther Meza Vega y cols.

RESEÑAS

39 Tesis



SMIGnoticias

40 México a través de los sismos 2022

40 Bienvenidos, nuevos socios

41 Tercer simposio internacional de suelos no saturados

42 XXII Reunión Nacional de Profesores de Ingeniería Geotécnica y XXXI Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica

45 Esquela

46 Noticias de la Vicepresidencia por Norteamérica de la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica



CAPÍTULOS ESTUDIANTILES

48 Programa de Posgrado e Investigación de la FI UNAM

PORTADA: CONEXIÓN DE LA LUMBRERA 5 CON EL TÚNEL EMISOR ORIENTE (TEO)
FOTO: MOISÉS JUÁREZ CAMARENA

Dirección general
Roberto Avelar Cajiga

Dirección ejecutiva
José Francisco González Valencia

Consejo Editorial
Juan de Dios Alemán Velásquez
Gabriel Yves Armand Auvinet Guichard
Jorge E. Castilla Camacho
Francisco Alonso Flores López
Moisés Juárez Camarena
Germán López Rincón
Raúl López Roldán
Héctor Moreno Alfaro
Rodrigo Murillo Fernández
Ricardo Enrique Ortiz Hermsillo
Alexandra Ossa López
Walter Iván Paniagua Zavala
Natalia del Pilar Parra Piedrahita
Margarita Puebla Cadena
Luis Bernardo Rodríguez González
Juan Jacobo Schmitter M. del C.
Guillermo Springall Cáram
Carlos Roberto Torres Álvarez
Ángel Trejo Moedano
Raúl Fernando Verduzco Murillo

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

Coordinación de contenidos
Teresa Martínez Bravo

Diseño
Diego Meza Segura

Dirección comercial
Daniel N. Moser da Silva

Comercialización
Laura Torres Cobos

Dirección operativa
Alicia Martínez Bravo

Dos profesionales inolvidables

Afortunada coincidencia, en el mismo número de *Geotecnia* 264, de dos emotivas rememoraciones: Daniel Reséndiz Núñez y Manuel Romana Ruiz, los dos ingenieros civiles y geotecnistas notables, personas íntegras, amigos de verdad.

Con maestros de reconocido prestigio y con un bagaje intelectual y cultural envidiables, se lanzaron al cumplimiento de su bien definida vocación desde muy jóvenes. Y la llevaron a cabalidad con determinación infatigable y con una creatividad indiscutible. Su logro personal lo hicieron colectivo. Dedicaron parte importante de su valioso tiempo a compartir sus experiencias con amigos, colegas, alumnos, con grupos de disciplinas afines y no tan afines. A educar, en

toda la extensión de la palabra y en todos los muchos ámbitos en los que intervinieron y en los que mucho influyeron.

Merecen todos los reconocimientos adquiridos en vida y muchos más. Las generaciones que formaron honrarán con su actuar su memoria.

Un saludo emocionado a Manuel y a Daniel. Un cariñoso abrazo con profunda simpatía a sus muy queridas familias.

Luis Vieitez Utesa

P.S. También va un muy sentido recuerdo de amistad y reconocimiento a otros muy ilustres ingenieros y compañeros inolvidables y a sus apreciables familias: Federico Mooser Hawtree, Raúl Vicente Orozco Santoyo y Leonardo Reyes Santos.

Soluciones Geotécnicas Integrales
"Soluciones, con Calidad"

Servicios: Estudios Geotécnicos, Supervisión Geotécnica, Construcción Geotécnica, Topografía, Estudios Geofísicos, Dirección, Gerenciamiento y Administración de Obra, Verificación de calidad, Cimentación y pruebas de integridad en pilas.

Equipos y Herramientas: Vibración de onda superficial, Presiómetro Menard, Sondeos Down Hole, Cross Hole, Equipo Autotriax, Equipo de corte directo, Equipo de placa instrumentado.

Logos y Certificaciones: GTO (GTO-SOP/PUC-411), SMIG, OFI (OFI FOUNDATIONS INSTITUTE), ema (LABORATORIO DE ENSAYOS ACREDITADO CONUB-17815).

Contacto: direcciongeneral@solucionesgeotecnicas.com, presupuestos@solucionesgeotecnicas.com, soluciones.geotecnicas@prodigy.net.mx.
Teléfono: 462 621 5609, 462 152 2157.

Redes Sociales: [@soluciones geotecnicas integrales](https://www.facebook.com/solucionesgeotecnicasintegrals), [soluciones.sgi](https://www.instagram.com/soluciones.sgi), [soluciones geotecnicas integrales](https://www.linkedin.com/company/soluciones-geotecnicas-integrales)

www.solucionesgeotecnicas.com

**Rodrigo Murillo Fernández**

Profesor B, FES Aragón, UNAM

Subgerente de Seguridad de Presas, Conagua.

Un privilegio de los ingenieros civiles es hacer cosas útiles para la sociedad

Desde muy joven, Rodrigo Murillo participó en la construcción de obras que nunca se habían realizado en México. Vivió una época en la que tuvo grandes oportunidades creativas porque no existían tantas restricciones; los jóvenes hacían sus propios piezómetros, implementaban pruebas en materiales en un pequeño laboratorio... Con el Proyecto Texcoco, muy temprano en su profesión enfrentó el reto del suelo del Valle de México, uno de los más complejos del mundo.

Consultado sobre sus más vívidos recuerdos de la infancia, Rodrigo Murillo nos cuenta: “Tengo muy presentes las escuelas; la primaria en la que estuve era gigantesca, había mucha gente, era una escuela pública del que en ese entonces era el pueblo de Iztacalco, ahora ya integrado a la Ciudad de México. Fue una época de buenos amigos compartiendo lo habitual entre niños y jóvenes de entonces. Recuerdo sobre todo a unos hermanos que frecuentábamos mi hermano mayor Alejandro y yo: eran Sergio y José Luis, así como Héctor; la pasábamos jugando en su casa, que tenía un amplio solar. Fue muy agradable”.

Después siguió una época de varios cambios de domicilio, y por ende cambios de escuelas en zonas que entonces eran provincia: “Tanto Iztacalco como Iztapalapa eran provincia –cuenta Rodrigo Murillo–; ambientes muy agradables en los que se conocía a mucha gente y, aunque lo supe años después, los adultos sabían quiénes



Con los abuelos, tíos, papás, primos y hermanos en 1962. Rodrigo Murillo al centro, frente a los abuelos.

eran los niños que andaban por la zona y nos cuidaban.

”En la infancia y la adolescencia convivíamos mucho con los primos de las dos ramas de

la familia. Del lado paterno, los Murillo, dos de mis tíos eran charros y andaban en la industria del cine, así que íbamos a los sets de películas de vaqueros; teníamos primos de nuestra edad, y aunque eran pocos nos llevamos siempre bien. Yo soy el segundo en el orden de los hermanos; éramos mi hermano mayor, mi hermana Rosa María y el pequeño, Francisco Javier; con los Fernández pasábamos más tiempo y, aunque les llevamos 7 o más años a estos primos, siempre hemos estado en contacto y procuramos reunirnos todos de vez en cuando. Creo que nuestros abuelos y tíos influyeron mucho en nuestra vida, así como mis padres, siempre trabajando y luchando por mejorar”.

La primaria y la secundaria las cursó Rodrigo Murillo en escuelas públicas. Cuando comenzó a imaginar a qué profesión se dedicaría como adulto, quería ser violinista, luego tuvo deseo de ser químico. “Mi primera opción fue el Instituto Politécnico Nacional (IPN), pero platicando con mis mayores, un tío en particular al que le tenía mucho afecto, me comentó: ‘¡Está mejor en la UNAM la carrera de químico!, tienen laboratorios nuevos muy bien equipados y un plantel docente de primer nivel’. Hice los exámenes para entrar a la Vocacional 2 del Politécnico, y obtuve el lugar 98, pero como en esos años nos ofrecían fichas para examen de ingreso a la UNAM en nuestra secundaria, porque no había mucha demanda y había nuevas preparatorias, hice el examen y finalmente me inscribí en la Preparatoria 7 de la UNAM, pero por haber esperado los resultados del Politécnico me atrasé en la inscripción y el primer año me tocó en el horario nocturno. Allí adquirí nuevas experiencias, porque había jóvenes más grandes que nosotros; éramos tres jovencitos de unos 16 años y todos los demás ya pasaban de los 20 años. Nos cuidaban, pero también nos enseñaron algunas cosas que no debían, como ir a divertirse a ciertos lugares... en fin, algunos bebían en el salón con unos popotes. El grupo tenía un equipo de fútbol; yo sólo apoyaba, pero recuerdo que para ir a un partido nos subimos como nueve a un pequeño auto de aquella época, un Lloyd Alexander de tres cilindros”.

En los últimos años de la preparatoria le tocó el turno matutino; allí hizo amigos, algunos de los cuales aún conserva. Comenzó a empaparse de las implicaciones de las diversas ingenierías, a conocer un poco más de qué se trataban, y fue cuando se decidió por la carrera de ingeniero civil. ¿Qué influyó para que Rodrigo Murillo se

En los últimos años de la preparatoria le tocó el turno matutino; allí hizo amigos, algunos de los cuales aún conserva. Comenzó a empaparse de las implicaciones de las diversas ingenierías, a conocer un poco más de qué se trataban, y fue cuando se decidió por la carrera de ingeniero civil. “Tenía un tío político que era ingeniero civil. Le tocó a él la experiencia de participar en la construcción de la Ciudad Universitaria, particularmente de la Facultad de Medicina. Entonces tenía en su casa un collage de fotografías de cómo habían realizado la Ciudad Universitaria: eso me animó a la ingeniería civil”.

decidiera por esa rama, cuando venía decidido por la química?

Él nos relata: “Tenía un tío político –esposo de una tía– que era ingeniero civil. Le tocó a él, afortunadamente, la experiencia de participar en la construcción de la Ciudad Universitaria, particularmente de la Facultad de Medicina. Entonces tenía en su casa un *collage* de fotografías de cómo habían realizado la Ciudad Universitaria: eso me animó a la ingeniería civil”.

Rodrigo Murillo pertenece a la generación 1968, año histórico para la vida universitaria en México.

“Nos tocó vivir aquel movimiento estudiantil. Algunos de mis amigos de la prepa andaban pensando en irse a las armas... nos tocó una época muy intensa, aprendimos a distinguir muchas cosas, como las tácticas de supuestos líderes que no conocíamos y querían manipular las asambleas, así como discernir entre verdades y mentiras buscando diversas fuentes. Evidentemente, todos teníamos el deseo de mejorar las cosas en nuestro país; sin embargo, aunque la intención era muy valiosa, hubo muchas intromisiones de agentes externos. Todos los jóvenes de alguna manera somos de izquierda cuando estamos en esa edad –como en la frase atribuida a Winston Churchill ‘El que no es de izquierda de joven no tiene corazón, el que a los 40 sigue siéndolo no tiene cerebro’–. Tengo amigos de la época que sigo frecuentando todavía, los veo con cierta regularidad, algunos cada mes”.

Ya en la carrera universitaria, Rodrigo Murillo fue parte de una generación que vivió el cambio tecnológico, de las reglas de cálculo a las primeras calculadoras personales.

“Vivimos el inicio del cambio tecnológico: los cambios de las grandes computadoras, los programas en las supercomputadoras que teníamos en la universidad con tarjetas perforadas; no había computadoras personales, empezaban cuando prácticamente estábamos terminando la carrera. Pero nos tocó toda esa influencia de la computación, de las nuevas tecnologías”.

Le pedimos a Rodrigo una reflexión sobre su parecer respecto a la relación alumno-maestro en la época en que fue estudiante y ahora, en la que es profesor.

“Creo que los profesores ahora somos más abiertos con los alumnos. Existían antes muchos profesores totalmente secos, incluso dictatoriales; no por eso eran buenos o malos, era cuestión de estilo. Con algunos de ellos aprendimos mucho. Otros eran más amables, incluso

yo conservo amistad con algunos de quienes fueron mis profesores –con pocos, porque muchos ya no están”.

De la época del movimiento de 1968 recuerda una anécdota. “Estuvimos en la explanada cuando habló Barros Sierra. Recuerdo que la mamá de un amigo se enteró de que había soldados y tanques en Insurgentes, los cuales vimos desde el balcón, y nos encerró en el departamento, preocupada, para no dejarnos salir; no nos dejó ir a la marcha del silencio”.

Recuerda Rodrigo Murillo también los momentos de fiesta entre estudiantes. “Yo andaba en un grupo de rock. Los fines de semana me dedicaba a las fiestas donde tocábamos: yo la primera guitarra, el requinto; esta actividad me ayudó a sacar adelante la carrera, era un ingreso adecuado porque en esas épocas no había mucho dinero en casa”.

Lo de las fiestas –que obviamente disfrutaba– era fundamentalmente una fuente de ingresos, como explicó Rodrigo. “Yo era un joven formal, los sábados tocábamos en fiestas y los domingos hacíamos tardeadas donde cobrábamos la entrada”.

Al culminar la carrera, estaba Murillo enfocado en especializarse en Estructuras. “Tuve los mejores maestros en estructuras que había en la facultad en esos años, como el doctor Juan Casillas García de León, los ingenieros Claudio Merrefield, Félix Colinas, Enrique del Valle Calderón (que fue mi director de tesis), Julio Dammy Ríos”.

Buscaba trabajo en varias instituciones y empresas, pero la oportunidad llegó por otro lado: “Me ofrecieron una oportunidad en la Secretaría de Recursos Hidráulicos, con el ingeniero Juan José Hanell Campbell, a quien ya conocía por-

Inicialmente quería ser estructurista, pero entré al Lago de Texcoco, donde era geotecnia lo que había que hacer. Entonces dije: no estoy preparado para esto, y con el ingeniero Raúl Carranza Eslava, un gran compañero y amigo, vimos que lo que conocíamos de estructuras, hidráulica, construcción, no era suficiente, por lo cual decidimos realizar la maestría en Mecánica de Suelos, donde conocimos excelentes maestros, que no mencionaré por no olvidar alguno; fui el último alumno de la clase de Presas del profesor Marsal... En el Lago de Texcoco, había que hacer obras como nunca se habían realizado.

que había sido ayudante de mecánica de suelos con los ingenieros Guillermo y José Springall. Me presenté y me dijo: ‘¡Qué bueno que viniste!’ Y ¡pum!, entré como procesador de datos de comportamiento de presas, primero en el Departamento de Ingeniería Experimental (Tecamachalco) y luego en el Proyecto Texcoco, y de ahí no me han soltado, aunque pasé al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua de 1987 a 1995 y nos regresaron a la Conagua en ese último año.

”Algunas veces he tratado de irme, y cuando ya me iba al Plan Nacional Hidráulico me duplicaron el sueldo, así que no me dejaron ir”.

Antes de retomar el tema del Lago de Texcoco, le pido que narre sus experiencias con maestros destacados en los estudios de posgrado, con compañeros en geotecnia.

“Inicialmente, decía, quería ser estructurista, pero entré al Lago de Texcoco, donde era geotecnia lo que había que hacer. Entonces dije: no estoy preparado para esto, y con el ingeniero Raúl Carranza Eslava, un gran compañero y amigo, vimos que lo que conocíamos de estructuras, hidráulica, construcción, no era suficiente, por lo cual decidimos realizar la maestría en Mecánica de Suelos, donde conocimos excelentes maestros, que no mencionaré por no olvidar alguno; fui el último alumno de la clase de Presas del profesor Marsal...”

”En el Lago de Texcoco, había que hacer obras como nunca se habían realizado: lagos artificiales mediante dragado de las arcillas o –aun más desconocido– mediante la consolidación de las arcillas del subsuelo; construir el sistema de conducciones a cielo abierto que comunicaran los vasos artificiales, rectificar los cauces y mejorar las condiciones hidráulicas de los 11 ríos que fluyen desde el oriente para captar esos escurrimientos; construir la primera planta de tratamiento de aguas residuales del país, explorar el tratamiento de agua a nivel terciario, así como la recarga de los acuíferos, por mencionar algunas de las acciones que se habían programado y otras que se quería explorar”.

Comenzó a trabajar en este proyecto poco antes de recibirse. Compartió la experiencia con ingenieros y profesionales de diversas disciplinas, la enorme mayoría muy jóvenes como él.

“Entre ellos estaban –nos cuenta Murillo– Enrique Lozano Graef, que había participado en la presa La Amistad y en otras presas como proyectista; Adolfo Castañón Ortiz, que era el vocal ejecutivo y fundamentalmente cons-



Revisión de hormigueros en la cortina de la presa San Bartolo, Durango, 2015.

tractor de obras hidráulicas; Roberto Graue de Haro como consultor, quien trabajó con Nabor Carrillo en los estudios del Lago de Texcoco, y algunos otros, pero casi todos éramos jóvenes, no pasábamos de los 25 años la mayoría de los que fuimos contratados, un grupo muy diverso, multidisciplinario. Era la primera vez que se formaba un grupo de ese tipo, porque aparte de ingenieros civiles, mecánicos, electricistas, geólogos, topógrafos, había biólogos, agrónomos, químicos, psicólogos y licenciados en ciencias sociales, en fin, un conjunto de profesiones que normalmente no se reunían a trabajar en equipo. Esto se dio en el Proyecto Texcoco con un buen ambiente; todo mundo trataba de sacar adelante lo que estaba planteado en el proyecto. El planteamiento de lo que se podía hacer está plasmado en el libro de Nabor Carrillo *El hundimiento de la Ciudad de México, Proyecto Texcoco*; fue una época muy interesante porque teníamos oportunidad de hacer muchas cosas, había presupuesto y la facilidad de hacerlas, no teníamos tantas restricciones como tiempo después comenzó a suceder para cualquier contratación. Incluso nos pusimos a hacer nuestros propios piezómetros, a implementar pruebas en materiales en nuestro pequeño laboratorio. Recuerdo que empezaban los geotextiles y realizamos pruebas de durabilidad y cosas de ese tipo. Muy interesante, la época”.

El suelo del Valle de México, uno de los más complejos del mundo, presentaba enormes retos para los mayores expertos del mundo, y ello refleja la magnitud del desafío que asumieron los jóvenes en Texcoco.

Relata Rodrigo Murillo que “el objetivo era comprender qué estaba pasando con ese suelo que se deformaba tanto, que se rompía tan fácilmente; además, teníamos que hacer lagos por consolidación extrayendo el agua con bombas profundas. Aunque conoce uno las teorías, al momento de aplicarlas en la realidad no es nada más ‘haz esto’ y ya: hay que estar vigilando, midiendo, evaluando. Teníamos un grupo de asesores del Instituto de Ingeniería de la UNAM que nos ayudaban, y aunque yo nunca vi al profesor Raúl Marsal, sí convivíamos mucho con Jesús Alberro, que después fue mi maestro; con Gabriel Auvinet y Enrique Santoyo, que también fue mi maestro... ellos iban con alguna frecuencia a Texcoco a ver lo que estábamos haciendo, que no era nada más construir lagos: era construir caminos, era cómo sostener los equipos, que pesaban mucho y se hundían; cómo



En la presa de CCR El Zapotillo, Jalisco, 2018. De izquierda a derecha: dos ingenieros de la supervisión, Armando Ramírez, Rodrigo Murillo, Arturo Ortiz y Andrés García.

En el Proyecto Texcoco casi todos éramos jóvenes, un grupo muy diverso, multidisciplinario. Aparte de ingenieros civiles, mecánicos, electricistas, geólogos, topógrafos, había biólogos, agrónomos, químicos, psicólogos y licenciados en ciencias sociales, en fin, un conjunto de profesiones que normalmente no se reunían a trabajar en equipo. Todo mundo trataba de sacar adelante lo que estaba planteado en el proyecto.

impermeabilizar partes para que no se filtrara el agua o, mejor aún, que no se mezclaran las aguas de mejor calidad con las aguas salobres del suelo, en fin, un montón de asuntos que se estaban probando en México en ese momento.

”Una de las locuras que hicimos fue hacer una construcción con adobes de las arcillas del lugar; evidentemente, sabíamos que no iba a funcionar, porque antes probamos mejorar las arcillas con cal hidratada, con arenas, con paja, con majada, etc., pero la hicimos de todos modos para revisar los resultados.

”Otro problema que debíamos resolver era la inestabilidad de los canales. Por la baja resistencia al corte, los taludes a profundidades mayores que unos 3 m son inestables, a menos que se tenga un nivel de agua dentro de la excavación. Si se bajaba el nivel del agua dentro de ellos, se deslizaban los taludes; eso ha seguido ocurriendo incluso en los rellenos sanitarios actuales: les colocan alguna carga en la parte de arriba y fallan. Por ello, fue necesario determinar experimentalmente, en pruebas a escala natural, con que velocidad era posible abatir los niveles de agua sin que se deslizaran los taludes. Fue una experiencia muy bonita, esa parte me permitió conocer a otras personas que me impulsaron a cambiarme dentro de la misma secretaría a donde he estado los últimos años, fundamentalmente en la labor de consultoría, en diseño, construcción y operación de presas”.

Respecto a las conclusiones o detalles técnicos más relevantes de los trabajos en Texcoco,

Rodrigo Murillo nos revela: “Probamos que las arcillas del Valle de México se podían manejar de alguna manera, sobre todo las que son tan poco resistentes y tan deformables, porque se pensaba que no se podría hacer nada con el Lago de Texcoco, más que mantenerlo con cierto nivel de agua. Esa fue la gran ventaja: siempre nos tocaron retos en los que no había experiencia previa, y afortunadamente salieron bien. Aunque algunas cosas pudimos hacerlas mejor, eso ya lo vemos en retrospectiva, pues en el momento estamos tratando de sacar adelante la obra o el proyecto, y después vemos que quizá habríamos mejorado si hubiéramos hecho otra cosa.

”Cuando había algo raro, que no se había hecho –relata Rodrigo–, me tocaba a mí: estaciones climatológicas, construcción, proyectos, agronomía, impermeabilizaciones, refuerzo o mejoramiento de suelos y concretos... me enviaron a las oficinas centrales a colaborar con los responsables directos de los más diversos temas”.

No pasó mucho tiempo para que Rodrigo Murillo fuese requerido para trabajar en otro frente, el de las presas.

“Me invitó el ingeniero Alfredo Marrón a participar con él en el Consultivo Técnico, y se enojó mucho el entonces vocal ejecutivo, el ingeniero Gerardo Cruickshank, pero me dejó ir de Texcoco finalmente. Después, de ahí me tocó convivir con ingenieros que tenían mucha experiencia en presas, los que construyeron las primeras en México; estaban todavía por ahí trabajando en la antigua Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos”.

Rodrigo Murillo habla de ingenieros de amplia trayectoria, conocimientos y experiencia, como Carlos Oliva Anaya, Antonio Mosqueda Tinoco, Alfredo Marrón Vimbert, Manuel Anaya y Sorribas, Francisco Torres Herrera... “Me tocó entrar precisamente cuando Mosqueda era el jefe de Ingeniería Experimental, que fue la cuna de muchos ingenieros especialistas en hidráulica, en mecánica de suelos, en mecánica de rocas durante los años cincuenta y sesenta. Conocí a muchos de esos grandes ingenieros que habían sido responsables de la construcción de las primeras presas en México después de que la empresa G. J. White Engineering Company se fuera de México en 1932; algunos trabajaban en esa empresa, que hizo las primeras presas con técnicas modernas en compactación de materiales y el uso de concretos en México, como las presas Requena, Hidalgo, Plutarco Elías Calles,

Rodrigo Murillo habla de ingenieros de amplia trayectoria, conocimientos y experiencia, como Carlos Oliva Anaya, Antonio Mosqueda Tinoco, Alfredo Marrón Vimbert, Manuel Anaya y Sorribas, Francisco Torres Herrera...

”Me tocó entrar precisamente cuando Mosqueda era el jefe de Ingeniería Experimental, que fue la cuna de muchos ingenieros especialistas en hidráulica, en mecánica de suelos, en mecánica de rocas durante los años cincuenta y sesenta.

Aguascalientes, la sobreelevación de Taxhimay, Hidalgo, donde estuvieron los ingenieros Fernando Hiriart y Alfredo Marrón, y la presa Don Martín (Venustiano Carranza), en Tamaulipas”.

Esta etapa de la carrera profesional de Rodrigo Murillo fue, sin duda, de gran importancia. Y refiere: “En provincia había ingenieros que desarrollaron la infraestructura hidráulica de México, como Guillermo Moad, ingeniero agrónomo en Querétaro, Jesús Pliego en Jalisco, Adolfo Castañón en Tampico; todos ellos habían hecho prácticamente la infraestructura de muchas regiones del país, tenían una amplia experiencia.

”Yo era aún joven, conviví con ellos y me tomaron algún afecto; era cosa de ir a las obras desde temprano, estar todo el día en el sitio revisando cómo iba el procedimiento de construcción o el funcionamiento hidráulico, estructural, ver si no existía alguna inestabilidad o filtraciones, hacer un corte para comer... y era cuando se sacaban las anforitas de coñac, de tequila y de wiski.

”Ellos habían realizado muchas de las obras que se revisaban, comentaban cómo se habían hecho, los problemas que habían tenido. En esa época, a principios de los ochenta, comenzó a multiplicarse el cultivo de marihuana y amapola en muchas partes, y en ocasiones los responsables de dichos cultivos ilegales, obviamente, no nos dejaban entrar a la zona, o lo hacían con ciertas restricciones, pero prácticamente solo en dos lugares no nos dejaron entrar: uno en Jalisco y otro en Sinaloa. Nunca nos detuvieron ni nos molestaron. Desde hace unos años la situación ha cambiado, y es bastante peligroso acceder a esas zonas”.



El ingeniero Rodrigo Murillo Fernández con José Francisco González Valencia en el aniversario 40 de la SMMS.



Durante la construcción de la presa El Realito, Guanajuato-San Luis Potosí, 2018. A la izquierda, Valente Rivera, el residente de la obra, Rodrigo Murillo (tercero de izquierda a derecha) y personal de apoyo.

Participó en la presa Huites, en Sinaloa, “una obra muy relevante”, opina Murillo. “Nos tocaron las dos primeras presas con concreto compactado con rodillo (CCR): en realidad se trata de utilizar el concreto como si fuera un suelo compactable, y como tenía yo la experiencia de concretos y de suelos en Texcoco, fue fácil adaptarse a eso”.

También estuvo en La Manzanilla, en Guanajuato, y después en Trigomil, Jalisco. “Tuvi- mos algunos problemas ahí, primero se segregaba el CCR, por la alta caída desde grandes camiones, lo cual se resolvió parcialmente con bandas transportadoras, y al final de la construcción, en 1992, vinieron las lluvias de principio de año –las que llaman las cabañuelas–, y la presa que dijeron que no se iba a llenar nunca se llenó en tres días. Fue cuando la CFE tuvo problemas en Aguamilpa, y por poco se les dañó la presa; en esa zona llovió, durante tres o cuatro días, lo que llueve en medio año. Trigomil no estuvo en riesgo, pero se llenó en tres días. Había un camión de esos gigantes, de 20 metros cúbicos en la parte alta, y se lo llevó la corriente; lo fueron a encontrar 5 kilómetros abajo; además, se dañó la obra de toma...”

“Otra experiencia crítica la vivimos cuando se estaba construyendo la presa Canoas (hoy llamada Caborca) en Durango. Cayeron fuertes nevadas, de repente vino el deshielo y provocó

En esa época, a principios de los ochenta, comenzó a multiplicarse el cultivo de mariguana y amapola en muchas partes, y en ocasiones los responsables de dichos cultivos ilegales no nos dejaban entrar a la zona, o lo hacían con restricciones, pero prácticamente solo en dos lugares no nos dejaron entrar: uno en Jalisco y otro en Sinaloa. Nunca nos detuvieron ni nos molestaron.

avenidas que no se esperaban; casi se va la presa en construcción, se llevó media cortina, pero no es que haya cortado la parte izquierda o la derecha, no: se llevó la mitad de la presa a lo largo ¡hacia abajo!, pero afortunadamente no se rompió”.

De este periodo de 35 años trabajando en presas, Rodrigo Murillo tiene buenos recuerdos.

“Siempre hubo un trato amable; alguna vez quizá un problema con responsables de las constructoras, porque ellos siempre quieren cobrar más o evitar hacer alguna actividad para ahorrarse algún dinero, pero eso les tocaba fundamentalmente a los residentes, no a nosotros. Uno de los últimos casos que viví fue en la presa Zapotillo –tan discutida– de Jalisco. Contrataron a unos expertos extranjeros –alemanes– y la contratista era una empresa española en conjunto con una mexicana; entonces, los consultores extranjeros recomendaron que se colocaran anclas, pero unas anclas especiales que traían de Alemania, carísimas. El ingeniero Carlos García Herrera, que fue destacado geólogo, trabajó en la CFE y también en la Conagua con nosotros; hizo el análisis de la estabilidad de los cortes y resultó que no hacían falta, así que surgió el problema, porque los consultores alemanes que recomendaron un procedimiento carísimo querían cobrarlo, y nosotros dijimos que no hacía falta; hasta ahora el tiempo nos da la razón.

”Los protocolos en presas han cambiado –afirma Rodrigo Murillo–. Ahora, cada vez que ocurre una gran avenida o sismo de magnitud mayor que 5, es prioritario revisar el estado físico, el comportamiento de la infraestructura, y tal es el caso de las presas.

”Con los sismos de 2017 se presentaron agrietamientos en varias de las cortinas en la zona de Guerrero, Morelos y Puebla, pero es un fenómeno que ya se había visto, aun sin sismos, en presas del noroeste del país, debido a que los enrocamientos de dichas presas no fueron compactados, como ahora se estila; ahora se compacta todo el corazón, los filtros y el enrocamiento, que son las partes principales de las cortinas. Entonces se colocaban las rocas sólo a volteo, y con el paso del tiempo estos materiales se acomodan y pueden producir un agrietamiento a lo largo de las cortinas, cerca de los hombros, en las orillas superiores de la corona. Ese fenómeno, en forma estática, ya se había observado, pero los sismos de 2017, e incluso el de 2022, favorecen ese tipo de agrietamiento, aunque no las pone en peligro inminente. Hemos revisado la estabilidad y no están en peligro de falla, no hay posibilidad, no se forman grietas transversales en la cortina; eso provocaría una fuga de agua, erosión y ruptura. Son longitudinales, así que de alguna manera se pueden controlar, da tiempo de tomar previsiones, de bajar el nivel de agua en el vaso, de avisar, sobre todo.

”Hay una detalle muy significativo –continúa relatando Rodrigo Murillo–: no ha fallado una

”En la academia me han tratado bien, por eso sigo dando clases desde que estaba en el posgrado, tanto en la Facultad de Ingeniería en las divisiones Profesional, Posgrado y Educación Continua, como en la Facultad de Estudios Superiores Aragón de la UNAM. He estado fundamentalmente en el sector público e incursioné en el sector privado como consultor, pero no me ha ido muy bien ahí”.

presa grande en México en los últimos 70 años, al menos; entonces, creo que los que diseñaron esas presas hace tantos años lo hicieron bastante bien. Se podría discutir que quizá las sobredimensionaron, que tienen taludes más tendidos de lo que deberían, pero la ventaja es que ahí están operando, sin fallar”.

Rodrigo Murillo ha incursionado en los sectores académico, público y empresarial, siendo en los dos primeros donde ha estado el mayor tiempo, hasta la fecha.

”En la academia me han tratado bien –nos cuenta–, por eso sigo dando clases desde que estaba en el posgrado, tanto en la Facultad de Ingeniería en las divisiones Profesional, Posgrado y Educación Continua, como en la Facultad de Estudios Superiores Aragón de la UNAM. He estado fundamentalmente en el sector público e incursioné en el sector privado como consultor, pero no me ha ido muy bien ahí: a veces se trabaja mucho y no le quieren a uno pagar lo justo o ni siquiera pagar”.

Le pedimos una referencia sobre su participación gremial y una definición de sí mismo, sobre sus pasiones y gustos.

”En la antes Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, hoy Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, fui tesorero cuando fue presidente Luis Aguirre Menchaca (1989-1990), organizador de la Reunión Nacional de Mecánica de Suelos en Monterrey en 1988 y apoyo desde hace varios años al Comité Editorial responsable de la revista *Geotecnia*.

Mis pasiones y aficiones –termina diciendo– han sido mi familia, la buena música –desde la indígena hasta la sinfónica, con preferencia por el rock y el blues–, la fotografía, probar platillos y las buenas conversaciones”.

Lleva más de cien trabajos publicados, sin duda motivados por otra de sus pasiones: “me gusta escribir y transmitir a otros lo que conozco”.

Cerramos el diálogo con una reflexión final de Rodrigo Murillo: “Un consejo para los que inician o están a mitad de la carrera: siempre traten de hacer las cosas bien y con dedicación, para que sigan por ese camino. Sigán su vocación, es fundamental. Uno de los privilegios de los ingenieros civiles es que hacemos cosas que son útiles para toda la sociedad” ♦♦



Fiestas de fin de año, 2016 en Guadalajara. De izquierda a derecha: Rodrigo Murillo, sus hijos Gerardo y Sofía, su cuñada Lilia, su sobrina Lucía, su esposa Tere y su sobrino Fernando.

Entrevista de Daniel N. Moser

Apreciamos su opinión e información sobre el tema de este artículo. ✉ Escribanos a helios@heliosmx.org

2023

5-8 **Geosynthetics Conference 2023**
 Febrero Kansas, EUA
geosyntheticsconference.com

5-7 **International Conference on Advanced Topics in Mechanics of Materials, Structures and Constructions**
 Marzo Khobar, Arabia Saudita
pmu.edu.sa/atomech1-2023

26-29 **Geo-Congress 2023**
 Marzo Los Ángeles, EUA
www.geocongress.org

2-5 **8th International Conference on Unsaturated Soils**
 Mayo Isla de Milos, Grecia
www.issmge.org

29-31 **15th International Conference "Underground Construction Prague 2023"**
 Mayo Praga, República Checa
www.ucprague.com

7-9 **17th Danube – European Conference on Geotechnical Engineering**
 Junio Bucarest, Rumania
17decge.ro

25-28 **9th International Congress on Environmental Geotechnics**
 Junio Isla de Creta, Grecia
iceg2023.org

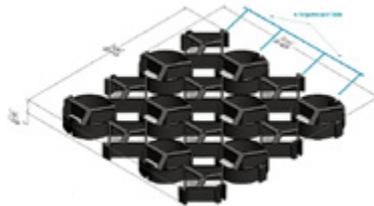
26-28 **Numerical Methods in Geotechnical Engineering NUMGE 2023**
 Junio Londres, Reino Unido
www.imperial.ac.uk/numerical-methods-in-geotechnical-engineering/

3-6 **IS-PORTO 2023: 8th International Symposium on Deformation Characteristics of Geomaterials**
 Septiembre Porto, Portugal
web.fe.up.pt/~is-porto2023

12-14 **9th International Conference, Innovative Geotechnologies for Energy Transition**
 Septiembre Londres, Reino Unido
www.osig2023.com

17-21 **12th International Conference on Geosynthetics**
 Septiembre Roma, Italia
www.12icg-roma.org

9-14 **Symposium on Energy Geotechnics SEG23**
 Octubre Delft, Países Bajos
seg23.dryfta.com



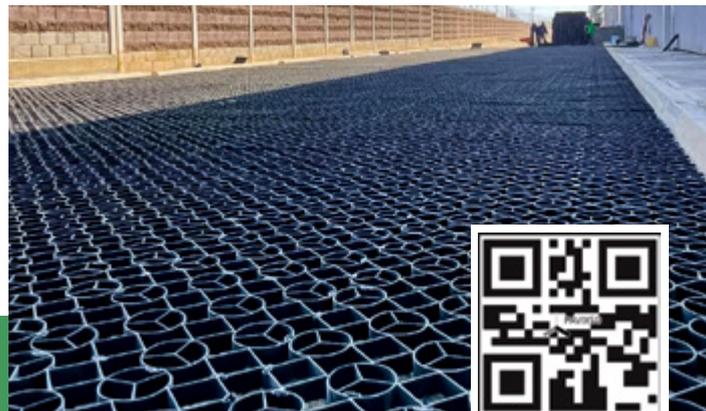
Ficha Técnica

Es un sistema de rejillas de plástico 100% reciclado que se ensamblan entre sí y se rellenan con grava para formar pisos firmes y permeables para bajas velocidades con gran capacidad de carga o aplicaciones peatonales.

Las rejillas se deben rellenar con grava, logrando un piso permeable de gran resistencia para caminos de uso peatonal, ligero o pesado. Para uso pesado el suelo deberá llevar una preparación como la de un concreto.

APLICACIONES:

- PATIOS DE MANIOBRA
- ESTACIONAMIENTOS
- VIALIDADES SECUNDARIAS
- BAJA VELOCIDAD
- PARQUES
- COCHERAS
- JARDINERAS



¿Quieres conocer más de PAVIXSO ?

ventas4@absplastica.com

tmarketing@absplastica.com



Un ingeniero brillante con la música en el corazón

Aunque él decía que su vocación era la música, su incansable actividad profesional, un agudo sentido de observación y su rigurosidad en el análisis de la información le retribuyó a Raúl Vicente Orozco Santoyo un profundo conocimiento del comportamiento de estructuras térricas como los pavimentos y los depósitos de jales, lo que lo convirtió en un ingeniero con una formación técnica muy sólida y robusta.

Raúl Vicente Orozco Santoyo nació en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, el 22 de noviembre de 1938. Fue uno de 11 hermanos; por el trabajo de su padre, René Ernesto Orozco y Orozco, estudió la primaria en distintas ciudades: Colima, Zacatecas, Aguascalientes... y terminó radicando en Guadalajara. En esa ciudad, su padre lo inscribió en el Colegio Unión, de los jesuitas, cuyos rectores eran del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), algunos primos de su padre. Pero el nivel de matemáticas de Raúl Vicente era deplorable, le avergonzó no haber pasado el examen de matemáticas de primero de primaria y a partir de ese momento se disciplinó para ser el mejor y lo consiguió, pues durante toda la primaria estaría en el cuadro de honor.

Su secundaria y preparatoria las cursó en el Instituto Juventud, también de jesuitas. Allí comenzó a destacar por su inquietud intelectual; recordaba que en esa época construyó una radio de onda corta para la que él mismo hizo los bulbos, y mucho más...

Él era —como hoy se le dice— el *nerd* del salón; a él sólo le interesaba estudiar y ser el mejor, por lo que era, en términos actuales, “buleado”, maltratado, pero tenía a un hermano mayor, Ernesto, que intervenía por él; siempre andaban juntos, lo que a Raúl Vicente le ayudó mucho.

PASIÓN POR LA MÚSICA

Su madre, Guadalupe Eliza Santoyo de los Monteros, le enseñó música desde muy pequeño; ella estudió en Estados Unidos en la época de la Revolución mexicana, cuando su hermano la mandó llamar y se fueron a un pueblo de Texas



Vista a la unidad minera Nyrstar Campo Morado. Arcelia, Guerrero.

donde ella se convirtió en primera concertista. Raúl Vicente Orozco Santoyo estudió en el conservatorio de Guadalajara y superó por mucho a todos: a los 17 años obtuvo el título de licenciado pianista concertista y compositor. Orgulloso, le llevó el título a su padre, quien le dijo: “¿Ahora qué vas a estudiar en serio?” Él contestó que Ingeniería, y ¡vámonos!, ese mismo día lo inscribieron en la Universidad de Guadalajara.

En una entrevista que se publicó hace unos años en esta revista, Raúl Vicente señaló: “Mi vocación es ser músico, no ingeniero, pero ya ve [...] En la Universidad de Guadalajara

había un maestro, Pedro Vázquez Guerra, que nos dio Mecánica de Suelos y, bueno, me gustó la materia. Yo era el hermano número 2 de 11 y vine a la Ciudad de México porque mi padre me dijo: ‘Son muchos y deben buscar su propio sustento’... Así lo hice”.

EL GUSTO POR LA FÍSICA Y LAS MATEMÁTICAS

Años después –según relata su hijo mayor, Raúl Vicente Orozco Escoto–, al ser brillante para las matemáticas por la dedicación que le puso, sus profesores de secundaria, y sobre todo de la preparatoria, lo fueron subiendo de nivel porque a él le resultaba muy básico el curso regular.

Los profesores jesuitas, que eran ingenieros, le enseñaron que las matemáticas son matrices, así que Raúl Vicente veía la música como una posibilidad infinita de combinaciones, de ahí que cada pieza que tocaba la convertía en una sinfonía.

Así pues, Raúl Vicente estudió la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad de Guadalajara; la especialidad en Vías Terrestres, la maestría y el doctorado en Geotecnia (con enfoque en las vías terrestres), en el Posgrado de Ingeniería de la UNAM. La opción de vías terrestres no fue de él, como relató: “Corría el año 1960, tenía yo 17 años y era pasante. Fernando Espinoza Gutiérrez era el director general de Proyectos y Laboratorios en la que hoy es la SCT; llegué a pedirle trabajo y respondiendo a pregunta expresa le dije que me gustaría estudiar el doctorado en Mecánica de Suelos. ‘Mira –me dice–, tenemos en este momento un curso anual de especialización en vías terrestres, empieza en 1961’. Tomó el teléfono y llamó a Roger Díaz de Cossío, de la UNAM, y le dijo: ‘Te voy a mandar a un candidato para que le hagan un examen y le doy una beca de pasante, 700 pesos...’ Yo no le había dicho que sí o que no”.

Fernando Espinoza decidió por él, y allí va Raúl Vicente Orozco Santoyo a presentarse con Luis Esteva Maraboto. Todos quienes no egresaban de la UNAM tenían que esforzarse más, pero Raúl Vicente Orozco estaba preparado. “Había yo realizado en Guadalajara cursos especiales de física y matemáticas; ambas materias me gustaban mucho. En fin, me diplomé en la especialidad de Vías Terrestres y llegué con Fernando Espinoza, a quien le recordé mi interés en la mecánica de suelos. Me dice: ‘Estás comisionado para trabajar con Eulalio Juárez Badillo y Alfonso Rico Rodríguez. Vamos a iniciar la maestría en Vías Terrestres y tú vas a ser el conejillo de Indias’. Y así fue.

”Entonces, llevé la maestría mientras trabajaba comisionado en el Departamento de Ingeniería de Suelos que



En 1975, con su hijo Raúl Vicente Orozco Escoto, en un tajo de mina en San Luis Potosí para material de cortina de jales.

después se llamó de Geotecnia. Mi primer jefe fue Gabriel Moreno Pecero, por quien tengo gran afecto y respeto; me enseñó mucho”.

EL PENDIENTE DE LA MECÁNICA DE SUELOS

“Destaca en esa época la voluntad y la decisión de formar nuevos ingenieros dentro del sector público para integrarse después al privado. Yo insistía –relató Raúl Vicente en la entrevista referida– con mi interés en la mecánica de suelos. Tuve que hacer la maestría en Vías Terrestres, pero me permitieron, paralelamente, cursar materias de mecánica de suelos con Eulalio Juárez Badillo y Enrique Tamez González, siempre que atendiera la maestría con la que me había comprometido”.

Su padre, Ernesto Orozco y Orozco, fue ingeniero civil minero y estuvo al frente de la Junta Local de Caminos de Occidente. De la experiencia de ingenieros como su padre, su tío –José Vicente Orozco y Orozco–, Alfonso Rico, Eulalio Juárez y Enrique Tamez, Raúl Vicente rescata la importancia de saber fusionar el conocimiento teórico y el práctico para el mejor ejercicio de la ingeniería.

UNA ANÉCDOTA CON ALFONSO RICO

Hablando de teoría y práctica, una anécdota que tenía muy presente Raúl Vicente es la siguiente: “Estando yo en la SCT, nos mandó Fernando Espinoza a Compostela-Puerto Vallarta para revisar las consecuencias de un ciclón sobre la infraestructura carretera; fue a mediados de los sesenta. Acompañé al maestro Alfonso Rico, de quien aprendí mucho; era un teórico, conocía a mi padre y sabía aceptar las cosas que él, desde su visión práctica, decía.

”Alfonso Rico pidió que nos acompañase un ingeniero con experiencia práctica y designaron a Carlos Mancha

Garza, un práctico eminente; no tenía títulos pero sabía cómo se hacían las cosas. Comenzamos el recorrido en la caja de una camioneta, de pie: Rico de un lado, yo al centro y al otro lado Mancha. Me acuerdo muy bien. Rico apuntaba en unas tarjetas y Mancha en una libreta. Yo tomaba fotos. En la tarde, me dice Rico: ‘Chente, usted es el más joven, usted hace el informe; Mancha y yo nos vamos al cine de Compostela a ver tres películas de Cantinflas’. Así lo hicieron”.

Les pidió los apuntes a Rico y a Mancha, pero este último, aduciendo a que no iba a entender su letra, no se los quería dar; Rico lo intimó: “Si no se los das, no vienes al cine”.

LA INFLUENCIA DE SU PADRE

La anécdota anterior y las siguientes ponen de manifiesto su respeto a la opinión de su padre y la importancia que le daba. Contó Raúl Vicente: “Yo me quedé a hacer el informe. Luego regresamos a Guadalajara; conservé una copia de ese informe que ya había autorizado Alfonso Rico y se lo enseñé a mi papá. ‘¿Tú hiciste esta cochinidad?’, me dijo. Habló con Fernando Espinoza para pedirle que me dejara ir un mes a Compostela-Vallarta; me autorizaron y allá voy, recorriendo buena parte de la zona a pie. Total que resultó un informe muy distinto, del cual derivaron cambios sustanciales al trazo y las obras de reconstrucción, que en muchos casos implicaron opciones distintas de las existentes”.

MAESTRO, CONFERENCISTA, AUTOR PROLÍFICO

Raúl Vicente Orozco Santoyo fue profesor de maestría en temas relacionados con el control de calidad en obra y otros de geotecnia en la Universidad Autónoma de Querétaro, la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, la Facultad de Ingeniería de la UNAM y en la Universidad Popular de La Chontalpa, Tabasco.



Con colegas durante una reunión en las instalaciones del Colegio de Ingenieros Civiles de México.

Fue conferencista e instructor sobre varios temas relacionados con el control de calidad ágil y oportuno en las obras, uso del concreto y temas de vías terrestres en entidades como Capufe, la SCT, ASUR y la Asociación Mexicana de Ingeniería en Vías Terrestres (AMIVTAC), entre otras. Fue uno de los creadores del Diplomado en Proyecto, Construcción y Conservación de Carreteras (UNAM/IMT-SCT); coordinó el Seminario de Depósitos para Jales (en las cuatro ediciones que se han llevado al cabo), en colaboración con la Camimex y la SMIG. Fue 7º Conferencista Magistral Alfonso Rico Rodríguez (2014), con el tema “Reflexiones para aumentar la calidad de los pavimentos en México”.

Redactó más de 80 artículos técnicos que se presentaron en foros nacionales y más de 95 ponencias que se expusieron en diferentes eventos técnicos.

Fue miembro honorario y del Consejo de Honor en la SMIG, de la cual fue presidente y miembro de varias de sus mesas directivas; también lo fue de la AMIVTAC, y fue uno de los fundadores la Asociación Mexicana del Asfalto y de la American Society of Civil Engineers (ASCE México). Fue igualmente miembro de otras varias asociaciones, como la Asociación Mexicana de Túneles y Obras Subterráneas, la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, la Asociación Mexicana de Hidráulica, el Colegio de Ingenieros Civiles de México –miembro vitalicio–, la Asociación Mundial de Carreteras, el American Concrete Institute y la Academia de Ingeniería; estuvo certificado como perito en Geotecnia y en Vías Terrestres por el CICM.

VÍAS TERRESTRES Y DEPÓSITOS DE JALES

Sus dos grandes áreas de desarrollo profesional fueron los depósitos de jales y las vías terrestres. Fue uno de los iniciadores e incansable impulsor de las normas sobre proyecto, construcción y operación de depósitos para jales (residuos mineros) y patios de lixiviación de plata y cobre, como representante de la Academia de Ingeniería y de la SMIG ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Algunos de sus primeros proyectos de diseño de depósitos de jales fueron para la Industrial Minera México en 1973, en Guerrero y Michoacán. A lo largo de su ejercicio profesional participó como asesor y diseñador de depósitos de jales en más de 50 unidades mineras, en diferentes proyectos y etapas de éstos; como referencia, algunos de ellos fueron Santa Bárbara, Santa Eulalia y Bismark, en Chihuahua; Cananea y La Caridad, en Sonora; Hércules y Múzquiz, en Coahuila; Tayoltita y Velar-



En su cumpleaños número 80, con su hijo Ernesto y su nuera Geraldine.

deña, en Durango; San Martín y Aranzazú Holding, en Zacatecas; La Negra y San Martín, en Querétaro; El Baztán y Minera Aporo, en Michoacán; Peña Colorada y Ternium, en Colima; Tizapa y La Guitarra, en el Estado de México; Zimapán y Naopa, en Hidalgo; San Felipe y El Arco, en Baja California; Rosario, en Sinaloa y Las Torres, en Guanajuato.

Su incansable actividad profesional, un agudo sentido de observación y su rigurosidad en el análisis de la información le retribuyó un profundo conocimiento del comportamiento de estructuras térreas como los pavimentos y los depósitos de jales, lo que lo convirtió en un ingeniero con una formación técnica muy sólida y robusta.

En el campo de las vías terrestres, de los primeros cargos que asumió en su vida profesional fue como laboratorista, proyectista y en control de calidad de concretos de cemento pórtland en la Secretaría de Obras Públicas de Guadalajara, en 1961.

ACTIVA Y VARIADA PRÁCTICA PROFESIONAL

Fue calculista, jefe de mesa y jefe de mesa de campo entre 1962 y 1964 en la sección de estudios del Departamento de Ingeniería de Suelos, perteneciente a la Dirección General de Proyectos y Laboratorios de la Secretaría de Obras Públicas (DGPL-SOP). Aquí se iniciaron los estudios geotécnicos completos para terracerías y obras de drenaje de todas las carreteras y aeropistas de la República mexicana. El objetivo fue establecer un modelo de estudios: geofísicos, de taludes, drenes horizontales y subdrenes en cortes; coeficientes de variación volumétrica para curva-masa y todos los aspectos geotécnicos básicos de previsión de problemas. Fue jefe de la sección de campo en la Oficina de Mecánica de Suelos del Departamento de Geotecnia de la DGPL-SOP en 1965, donde tenía como actividad principal realizar estudios geotécnicos completos para el proyecto de terracerías y obras de drenaje en caminos y aeropistas. Fue subjefe B (Geotecnia) en el Departamento de Ingeniería Experimental de la Dirección de Proyectos en la Dirección General de Irrigación

y Control de Ríos de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) en 1971.

Entre 1971 y 1972 fue asesor técnico del director general de Grande Irrigación de la Subsecretaría de Construcción de la SRH y de la Gerencia de Construcción en las obras de rehabilitación del Distrito de Riego 14, principalmente el revestimiento asfáltico del canal Independencia en el Río Colorado, en Baja California y Sonora.

Entre 1976 y 1981 fue jefe del Departamento de Control de Calidad, subgerente y gerente de Geotécnica y Control de Calidad de la Compañía Contratista Nacional, que en 1981 se transformó en la empresa Raúl Vicente Orozco Santoyo y Cía., donde se realizaban estudios geotécnicos, asesorías y control de calidad en suelos, rocas, concretos de cemento pórtland y asfálticos para presas, canales, caminos, puertos, plantas industriales, escolleras y aeropistas. De 1981 a 2022 fue director general de la empresa, donde estuvo activo hasta el día de su fallecimiento.

LEAL Y SINCERO AMIGO

Raúl Vicente Orozco Santoyo se casó, tuvo cinco hijos y 10 nietos; 44 años después de habérselo planteado, obtuvo el doctorado en Mecánica de Suelos.

Llevaba a su hijo mayor, Raúl Vicente Orozco Escoto, a la sala Nezahualcóyotl a escuchar los conciertos de piano de Beethoven; con la partitura del concierto que se iba a dar, se sentaban en primera fila, le daba a su hijo un lápiz y al final del concierto tenían que verificar si había detectado los mismos errores que él, “porque todos tenemos errores, hijo, pero lo escrito, escrito está; esta es la norma. Al final me vas a decir si te gustó la interpretación, y eso es cualitativo; puedes tener n errores, pero la forma de expresarlo hace que los errores no se noten”. Nunca llegó Raúl Vicente Orozco Escoto a encontrar más que el 70 u 80% de lo que su padre detectaba.

En general, la relación de Raúl Vicente Orozco Santoyo con sus hijos era lejana, pues pasaba la vida trabajando; su hijo mayor cuenta que comenzó a conocer a su padre cuando, a sus 15 años de edad, lo llevó a trabajar a la empresa. Recuerda que su padre era muy estricto; su relación se resumía a las veces que lo llevaba a una obra o a un concierto. No obstante, en los momentos importantes de sus hijos, Raúl Vicente padre estuvo siempre atento y presente.

Fue un conversador ameno, ocurrente, de buen humor. Fue amante de la música e interpretaba piezas al piano de manera magistral. Fue un buen guía para ingresar a los temas de los depósitos de jales y vías terrestres, un profesional incuestionable pero, sobre todo, un leal y sincero amigo. Desafortunadamente, falleció el 14 de enero de 2022 🍷

Elaborado por Helios Comunicación con base en información propia, de Raúl Vicente Orozco Escoto, de Osvaldo Flores Castellón y de Alexandra Ossa.

Apreciamos su opinión e información sobre el tema de este artículo. ✉️ Escribanos a helios@heliosmx.org



Arthur Casagrande

Nabor Carrillo y la mecánica de suelos

Nabor Carrillo Flores nació en la Ciudad de México en 1911, se graduó en la UNAM como ingeniero civil en 1939, recibió la beca Guggenheim y se doctoró en Ciencias en la Universidad de Harvard en 1942. Se convirtió pronto en uno de los mayores expertos internacionales en mecánica de suelos. En su corta vida acumuló elevados méritos académicos y científicos que lo ubican como uno de los grandes. En esta ocasión, la SMIG tiene el gran placer de reproducir el texto que elaboró uno de sus maestros, otro de los grandes, en ocasión de un merecido homenaje realizado en 1969 por la entonces SMMS, con motivo de su sentido fallecimiento. Esperamos que este relato trascienda en el ánimo de las nuevas generaciones de geotecnistas.

Es en verdad merecido homenaje a Nabor Carrillo el publicar este volumen en su memoria, e incluir una selección de sus importantes contribuciones a la mecánica de suelos, así como una serie de trabajos referentes al hundimiento de la Ciudad de México, que fue el tema de su primera gran contribución, y sobre el Proyecto Texcoco, su última y más importante aportación a la mecánica de suelos aplicada. Es un gran privilegio para mí escribir, en este capítulo introductorio, mis impresiones acerca de este hombre notable y excepcional amigo.

Conocí a Nabor Carrillo en junio de 1936, cuando era el miembro más joven de la Delegación Mexicana al Primer Congreso Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, que se reunió en la Universidad de Harvard. Hoy, un tercio de siglo más tarde, principalmente por iniciativa de Nabor Carrillo, el VII Congreso Internacional se reunirá en la Ciudad de México. Fue él quien encabezó el Comité Organizador Mexicano hasta su prematura muerte, el 19 de febrero de 1967.



Durante los años de 1940 a 1942, Nabor Carrillo estudió en la Universidad de Harvard, donde rápidamente se hizo notar y ganó la duradera amistad de Karl Terzaghi y Harold Westergaard. En mis cursos sobresalió como el estudiante más brillante al que he tenido el privilegio de enseñar durante mis 37 años en la Universidad de Harvard. En muchas ocasiones su respuesta a un tema de clase fue sorprender a su profesor al día siguiente con una contribución original y significativa. Demostraba su habilidad al reconocer de inmediato lo esencial de

cualquier problema, y entonces analizarlo matemáticamente utilizando un camino elegante y muchas veces asombrosamente simple. Muchas de estas contribuciones espontáneas fueron publicadas y muchas otras debieron haberlo sido, incluyendo capítulos de su brillante tesis doctoral titulada “Investigaciones sobre la estabilidad de taludes y cimentaciones”. Como ejemplo se reproduce, de su propio puño y letra, una hoja que me entregó un día de mayo, 1941, en la cual calculó la presión de poro inducida en un suelo con pro-

piedades anisotrópicas-elásticas. En otra pequeña contribución que me dio en junio del mismo año, derivó la ecuación diferencial de la consolidación para un suelo anisotrópico como sigue:

$$\frac{\delta u}{\delta t} = \frac{(1+e)k_z}{\gamma a_v} \left[\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} \right]$$

donde

$$X = x \sqrt{\frac{k_z}{k_x}}; \quad Y = y \sqrt{\frac{k_z}{k_y}}; \quad Z = z$$

Concluyó que transformando la geometría este problema podría ser tratado como si el material tuviera un solo coeficiente de permeabilidad k_z .

En junio de 1942, Nabor Carrillo recibió el título de Doctor en Ciencias de la Universidad de Harvard. Regresó a la Ciudad de México y se iniciaron los 25 años de su rápido ascenso profesional, empezando como catedrático en la Universidad Nacional Autónoma de México, siguiendo poco tiempo después su nombramiento de coordinador de la Investigación Científica, y luego por ocho largos y arduos años en los cuales guio a su universidad como rector, durante el periodo en que ésta tuvo su más notable crecimiento. Finalmente, en la última fase de su carrera profesional, fue miembro de la Comisión Nacional de Energía Nuclear de México, sirviendo adicionalmente a su gobierno en ocasiones especiales como embajador científico.

Como jefe de la Sección de Física de Suelos de la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica, N. Carrillo fue instrumento promotor de un amplio estudio acerca de las condiciones poco comunes del subsuelo de la Ciudad de México, y de la iniciación de observaciones amplias y detalladas del hundimiento general de dicha ciudad. Tuvo la fortuna de encontrar la colaboración de ingenieros tan hábiles como F. Hiriart, R. J. Marsal y el desaparecido R. Sandoval, que llevaron a cabo estas investigaciones con un detalle y competencia poco usuales. Una condensación del extenso volumen de información que resultó de estos esfuerzos fue preparada por R. J. Marsal y M. Mazari, y publicado en 1959 por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, con el título “El subsuelo de la Ciudad de México”.

Por medio de sus propias investigaciones, N. Carrillo pudo demostrar, más allá de cualquier duda, que el hundimiento general de la Ciudad de México era causado principalmente por la intensa extracción de aguas subterráneas con pozos profundos. Publicó sus conclusiones en su trabajo clásico “La influencia de pozos artesianos en el hundimiento de la Ciudad de México”. Este trabajo tuvo un efecto catalítico sobre los ingenieros mexicanos especializados en cimentaciones y motivó la decisión, por parte de las autoridades de la ciudad, de prohibir la perforación de nuevos pozos de agua dentro del área urbana. Esta veda posteriormente se hizo extensiva a otras áreas del Valle de México.

Unos años más tarde, N. Carrillo atacó un problema similar, pero aun más difícil: la investigación de las causas del hundimiento de la ciudad de Long Beach, California. Para este fin, desarrolló una novedosa solución de la teoría de elasticidad que denominó “teoría de los centros de tensión”. Con ella pudo demostrar que los hundimientos eran causados por el bombeo de petróleo proveniente de tres zonas separadas, localizadas a una profundidad de más de mil metros. El éxito de este brillante análisis matemático no cegó a N. Carrillo acerca de las grandes limitaciones que tiene un enfoque puramente teórico de los problemas de la mecánica de suelos aplicada. En una de sus conferencias que dictaba anualmente a mis estudiantes, enfatizó que su teoría de los centros de tensión era uno de esos casos raros en que la solución a un problema práctico de mecánica de suelos podía ser obtenida aplicando la teoría de la elasticidad.

Nabor Carrillo influyó para que muchos estudiantes prometedores e ingenieros jóvenes se especializaran en mecánica de suelos y tuvo éxito en obtener el suficiente apoyo financiero para la investigación en dicho campo. Se debe básicamente a sus esfuerzos que México haya alcanzado su actual posición eminente en la mecánica de suelos teórica y aplicada.

Hablando de mecánica de suelos aplicada, no debería uno olvidar mencionar sus trabajos realizados como ingeniero consultor privado, que se extendieron durante un periodo de 10 o más años, después de su regreso a la Ciudad de México, en 1942. De 1942 a 1947 fue también consultor permanente de la Comisión Nacional de Irrigación, para la cual ya había trabajado antes de ir a Harvard. Entre los proyectos más importantes en los cuales N. Carrillo participó para dicha comisión se pueden citar la presa de La Angostura, una cortina en arco de concreto de 92 m de altura, para cuya solución aplicó el método de “cargas de ensaye”; el tratamiento de la cimentación de la presa Sanalona y la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los mantos limoarenosos parcialmente saturados en la cimentación de la presa El Azúcar.

Los proyectos de cimentación de estructuras, para los cuales fue llamado como consultor privado, incluyeron investigaciones sobre el asentamiento de importantes edificios para hospitales y hoteles; la Basílica de Guadalupe (1951) y el Palacio Nacional (1952). En 1952 también investigó las grietas profundas que resultaron del bombeo de aguas saladas del subsuelo en El Caracol, el concentrador solar de salmuera en la zona del Lago Texcoco. En 1954 sus investigaciones de los fuertes hundimientos diferenciales en el Hospital de Infecciosos lo llevaron a la conclusión de que éstos fueron causados por fricción superficial en los pilotes.

Aun después de que sus absorbentes ocupaciones administrativas en la universidad le obligaron a suspender sus actividades como consultor privado, y de que aceptó un



Initial Excess Hydrostatic Pressure in a Suddenly Loaded Saturated Elastic Soil

N Carrillo

Consider an elastic material with two moduli of elasticity: one, E , for increasing pressure, and the other, E' , for decreasing pressure. Poisson's ratio will be assumed unique, μ .

Consider an element of the material, loaded as shown in the figure. We can construct the following table of values

	σ_x	σ_y	σ_z
$E \times$	$-\frac{t}{E}$	$\mu \frac{t}{E}$	$-\mu \frac{t}{E}$
E_y	$\mu \frac{t}{E}$	$-\frac{t}{E}$	$-\mu \frac{t}{E}$
E_z	$\mu \frac{t}{E}$	$\mu \frac{t}{E}$	$\frac{p}{E}$

That is
$$E_{vol} = (1 - 2\mu) \left[\frac{p}{E} - \frac{2t}{E'} \right]$$

Let $\frac{E'}{E} = r$. Then
$$E_{vol} = \frac{1 - 2\mu}{E} (p - 2rt)$$

For $E_{vol} = 0$ $p = 2rt$ ----- ①

Now consider a sample of consolidated elastic soil that is suddenly loaded in the z direction. Let p be the load, and q be the resulting pressure in the water. Before consolidation takes place, from ①

$p - q = 2rtq$ or $q = \frac{p}{1 + 2r}$... ②

{ For $r = 0$, $q = p$
 For $r = 1$, $q = \frac{1}{3} p$

Cuando Nabor Carrillo expuso por primera vez a sus colegas su concepción del Proyecto Texcoco, aun ingenieros de reconocido prestigio dudaron de que tan ambicioso proyecto se pudiera realizar. Si una proposición como ésta me hubiera sido hecha por alguien que no fuera N. Carrillo, dudo mucho que le hubiera prestado consideración seria alguna. Sin embargo, todos aquellos que han estado conectados con las investigaciones referentes al Lago de Texcoco están de acuerdo ahora en que la factibilidad de este proyecto ha quedado demostrada. Su ejecución sería un digno monumento al genio de Nabor Carrillo.

Para finalizar, quisiera decir algunas palabras sobre la notable combinación de talentos y cualidades humanas de N. Carrillo, que explican sus logros en ciencia, ingeniería y relaciones humanas. Entre los hombres brillantes que he conocido, solamente N. Carrillo combinaba tan bien las cualidades de un científico de mente clara y matemática con la visión de un gran estadista y la apreciación de un ingeniero de lo que humanamente es posible. Sus mayores logros dependieron particularmente de su visión, su habilidad para prever claramente en el futuro las necesidades de su país y las de sus conciudadanos, así como de su talento casi sobrenatural para influir en el pensamiento de aquellos cuyo apoyo necesitaba, una habilidad basada a su vez en un

puesto clave en la Comisión de Energía Nuclear, continuó manteniendo y mostrando su interés en la mecánica de suelos. Finalmente, por una fertilización cruzada de ideas tan separadas de la ingeniería como son la energía nuclear y la mecánica de suelos, tuvo la visión de una extraordinaria solución a los dos grandes problemas que afectan a la Ciudad de México, como son el insuficiente abastecimiento de agua potable y el continuo hundimiento de la ciudad. Las extensas investigaciones realizadas para este "Proyecto Texcoco", de propósitos múltiples, las cuales se extendieron durante un periodo de varios años, demostraron que el objetivo principal de este proyecto, la conservación y uso efectivo de todos los recursos potenciales de agua del Valle de México, puede ser alcanzado en gran parte aun sin el uso de la energía nuclear.

profundo conocimiento de la naturaleza humana y una genuina y cálida preocupación por el bien de su prójimo. En su presencia, hombres con objetivos divergentes o antagónicos en algunos casos súbitamente se interesaban por cooperar en un proyecto para el bienestar humano. Su sola presencia parecía crear una estrecha unión entre hombres, los cuales de otra manera no podían encontrar una base común para la solución de cierto problema. Ese encanto magnético lo rodeaba y acompañaba a cualquier parte adonde iba. Fue un catalizador humano por excelencia

Versión en español de Roberto Graue y Dieter Kraemer.

Apreciamos su opinión e información sobre el tema de este artículo. Escribanos a helios@heliosmx.org

Capítulo de “Memoria técnica” de la NTCDC

Con respecto a las modificaciones que está llevando a cabo el Subcomité Revisor de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones del Reglamento de la Ciudad de México, se ha ampliado sustancialmente el capítulo 12 de la norma, que se ha denominado ahora “Informe geotécnico y memoria técnica” (antes, solo “Memoria técnica”).

En esta nueva versión se especifica con detalle el índice mínimo que debe tener el informe geotécnico, a fin de dar una visión clara y ordenada de las condiciones del subsuelo, colindancias y condiciones de carga consideradas para el análisis y diseño de las estructuras geotécnicas (cimentaciones, estructuras de soporte y procesos constructivos).

Asimismo, el informe deberá incluir una memoria técnica donde se describan los aspectos siguientes: *a)* datos de entrada para el análisis y diseño, donde se incluyan los modelos geotécnicos empleados, las condiciones del agua subterránea, la geometría de cada una de las estructuras del proyecto, las condiciones de carga, la caracterización de las condiciones de riesgo estudiadas, etc.; *b)* los métodos de

análisis, con una descripción de los métodos empleados para analizar los estados límite de falla y servicio, las hipótesis consideradas, su validación, el análisis del proceso constructivo de las excavaciones y sus soportes, de las cimentaciones y de los mejoramientos del terreno, en caso dado, etc.; *c)* los resultados obtenidos, que deberán presentarse de manera clara y ordenada, con un subcapítulo dedicado a verificar el cumplimiento de los estados límite de falla y servicio establecidos en el reglamento para todas las soluciones propuestas para las obras geotécnicas analizadas (cimentaciones, excavaciones, soportes, etc.), y *d)* los anexos, donde se incluirá el detalle de los datos de entrada, los cálculos realizados y los resultados.

Finalmente, se incluyen comentarios sobre cada uno de los aspectos citados en la nueva versión de este capítulo de la norma ⇄

Subcomité Revisor de las NTCDC.

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

✉ Escríbanos a helios@heliosmx.org

BAUER MASCHINEN EQUIPO DE PERFORACIÓN

VENTA DE EQUIPO Y HERRAMIENTAS – RENTA – REFACCIONES – SERVICIO TÉCNICO

Distribuidor en México: GRUPO LUTHE INGENIERÍA SA DE CV, ventas@glimaquinaria.mx, www.glimaquinaria.mx, whatsapp: 722-264-2203

**Juan M. Villagrán Alegría**

Instituto Mexicano del Petróleo.

Sergio A. Martínez Galván

SEPI, ESIA Zacatenco, IPN.

Moisés Juárez Camarena

Geotecnia, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

Análisis numérico de un revestimiento de túnel segmentado sometido a consolidación regional

Este artículo trata de la evaluación de los cambios de esfuerzos y deformaciones del revestimiento de un túnel segmentado (primario) inducidos principalmente por el ovalamiento debido al proceso de excavación, que a su vez se incrementa por el proceso de consolidación regional (hundimiento) y por la distancia entre la cubeta del túnel y la capa dura subyacente. El revestimiento del túnel segmentado y el subsuelo se modelan utilizando el método de diferencias finitas, simulando el proceso de consolidación regional debido al abatimiento del perfil de presión de poro. Además, el modelo calcula las traslaciones y rotaciones entre segmentos y entre anillos, al considerar las juntas longitudinales y transversales y las juntas de transición del contacto revestimiento-suelo. Las juntas se modelan mediante la rigidez normal y la rigidez al corte. Los periodos de consolidación regional considerados son 2, 5 y 15 años de servicio del túnel. La estratigrafía está constituida por una formación de arcilla blanda con alta compresibilidad y baja resistencia al corte y una capa dura subyacente cerca de la cubeta del túnel, compuesta por arena limosa muy compacta. Los resultados muestran que, para periodos cortos de hasta 5 años de consolidación regional, no hay incrementos significativos de esfuerzos y deformaciones en el revestimiento del túnel segmentado, y que las traslaciones y rotaciones entre segmentos y entre anillos tampoco son importantes.

Durante la construcción y el servicio de los túneles de desagüe, estos suelen estar constituidos por uno o dos revestimientos. El revestimiento primario se instala mediante segmentos prefabricados o dovelas que forman un anillo, y anillos consecutivos conforman el revestimiento que garantiza la estabilidad temporal del túnel. El revestimiento secundario se construye con concreto colado en sitio y garantiza el funcionamiento a largo plazo del túnel. En este documento se analiza el comportamiento del revestimiento primario de un túnel sujeto a consolidación regional. El objetivo es evaluar la posible inestabilidad generada por la deformación y separación del revestimiento segmentado, donde se consideran periodos cortos de consolidación regional de 2 años a 15 años.

Es práctica común en el ambiente geotécnico mexicano modelar el túnel segmentado como un anillo uniforme, sin juntas longitudinales y sin juntas transversales; sin embargo, la rigidez del anillo uniforme es mayor que la rigidez del túnel segmentado, por lo que normalmente este procedimiento implica el uso de un factor de reducción de rigidez para igualar el comportamiento del anillo continuo con el de un anillo segmentado. Esto se consigue reduciendo la rigidez del anillo uniforme en el análisis geotécnico, hasta alcanzar una rigidez equivalente a la usada en el análisis estructural del revestimiento (Comulada-Simpson y Maidl, 2010). El proceso consiste en calibrar el análisis geotécnico con el análisis estructural, en términos de deformación del anillo, variando interactivamente en el análisis geotécnico la rigidez del anillo uniforme; cada interacción proporciona un nuevo estado de esfuerzos que actúan sobre el anillo, que se aplica en el análisis estructural hasta que se alcanza

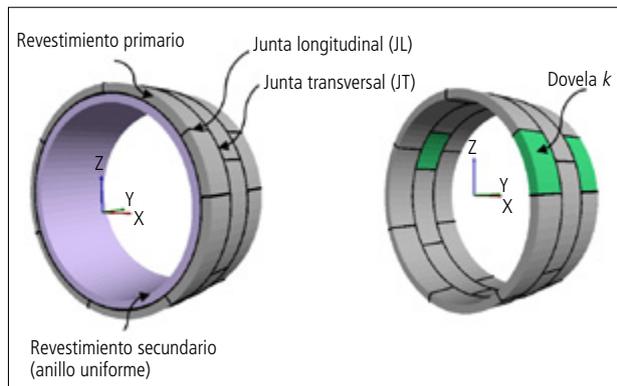


Figura 1 a) Revestimiento primario y secundario; b) orientación de la dovela de cierre k.

Tabla 1. Parámetros de los segmentos del revestimiento

Parámetro	Dovela
Peso volumétrico, γ (kN/m ³)	24.0
Módulo de elasticidad, E (GPa)	21.70
Relación de Poisson, ν (-)	0.20
Resistencia a la compresión, f'_c (MPa)	35



Figura 2. Distancia entre la capa dura y la cubeta del túnel; a) caso I, a 2.5 m; b) caso II, a 5.0 m; c) caso III, a 10.0 m.

Tabla 2. Parámetros de resistencia, deformación y compresibilidad utilizados en el análisis a corto plazo

Material	Formación arcillosa					Capa dura
	A1	A2	A3	A4	A5	B
Profundidad (m)	0-3	3-9	9-18	18-30	30-35	35-47.5
Peso volumétrico, γ (kN/m ³)	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	18.0
Cohesión no drenada, c (kPa)	11.5	13.0	15.4	26.9	50.0	200.0
Ángulo de fricción no drenado, ϕ (grados)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.0
Módulo de deformación no drenada, E (kPa)	800	1,000	1,400	1,800	3,500	15,000
Relación de Poisson no drenado, ν (-)	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.30
Coefficiente de presión de tierra en reposo, K_0 (-)	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.43

Tabla 3. Parámetros de compresibilidad utilizados en el análisis a largo plazo.

Material	Formación arcillosa				
Parámetro	A1	A2	A3	A4	A5
Relación de vacíos inicial, e_0 (-)	5.0	4.7	4.5	4.3	3.9
Lambda, λ (-)	1.89	2.03	2.21	2.19	1.42
Kappa, k (-)	0.41	0.23	0.17	0.18	0.07
Coefficiente de compresión, C_c (-)	4.36	4.68	5.09	5.04	3.28
Coefficiente de recompresión, C_s (-)	0.95	0.54	0.40	0.41	0.15
Relación de sobreconsolidación, OCR (-)	1.11	1.14	1.18	1.25	1.31
Ángulo de fricción drenado, ϕ' (grados)	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
Relación de Poisson drenado, ν' (-)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

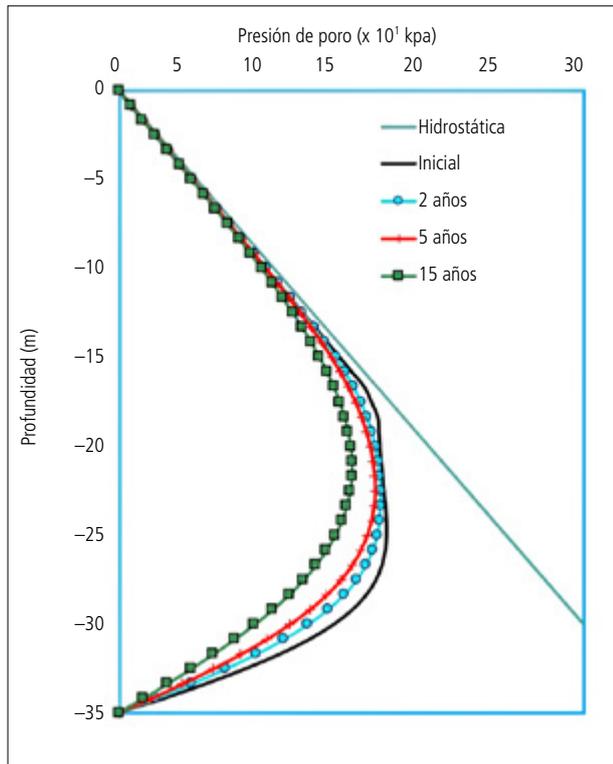


Figura 3. Perfil de presión de poros inicial, 2, 5 y 15 años de abatimiento piezométrico, aproximados.

una convergencia similar entre el análisis geotécnico y el estructural. Así los estados de esfuerzos y deformaciones correspondientes se calibran en ambos modelos.

El revestimiento del túnel segmentado y el subsuelo se modelan utilizando el método de diferencias finitas, con el *software* Flac3D (Itasca, 2011), simulando el proceso de consolidación regional debido al abatimiento piezométrico. Con el modelo se calculan las traslaciones y rotaciones entre segmentos y entre anillos, al considerar las juntas longitudinales (JL, contacto entre segmentos), las juntas transversales (JT, contacto entre anillos) y las juntas de transición del contacto entre el revestimiento y el suelo (véase figura 1). Se analizan tres anillos consecutivos. Las juntas se modelan mediante rigidez normal y rigidez al corte. Los periodos de consolidación regional considerados son 2, 5 y 15 años de servicio del túnel.

GEOMETRÍA DEL TÚNEL

El revestimiento único y primario del túnel en estudio es de sección circular de 10 m de diámetro exterior, compuesto por 6+1 dovelas prefabricadas de concreto. El espesor y el ancho de cada dovela es de 0.40 y

1.50 m, respectivamente. Las seis dovelas son de igual longitud de arco con ángulo θ de 55 grados y el segmento de cierre o de corte (segmento k) tiene una longitud de arco con ángulo α de 30 grados. En la figura 1 se muestra el modelo geométrico del revestimiento, la ubicación de las dovelas, la orientación de las juntas longitudinales y la ubicación del segmento k . Los parámetros y dimensiones de los segmentos de concreto utilizados en los análisis numéricos se enumeran en la tabla 1. El centro geométrico del túnel se encuentra a profundidades de 20, 25 y 27.5 m respecto del nivel del terreno natural (véase figura 2), por lo que las coberturas, respectivamente, son de 15, 20 y 22.5 m de espesor.

CASOS DE ANÁLISIS

Se establecen tres casos de análisis para evaluar la distancia crítica entre la cubeta del túnel o bóveda inferior y la capa dura subyacente, ya que la condición más crítica de análisis es cuando la cubeta del túnel hace contacto con la capa dura (Rodríguez *et al.*, 2012); esta distancia se evalúa para que la deformación se acerque al límite de deformación del revestimiento segmentado. Se proponen tres distancias desde el nivel de la capa dura subyacente hasta la base (cubeta) del túnel: 2.50 m caso I, 5.0 m caso II, y 10.0 m caso III. La figura 2 ilustra los tres casos mencionados.

En el estudio sólo se varían las distancias de la capa dura a la cubeta del túnel; las propiedades del suelo y de la capa dura son similares en los tres casos. Asimismo, se utiliza la misma distribución de elementos en el modelo numérico en los tres casos, para reducir la influencia de la forma de la malla.

Características estratigráficas y parámetros de diseño

La estratigrafía está formada por arcillas de alta plasticidad (CH) de consistencia blanda y baja resistencia al corte; por debajo de este suelo blando subyace una capa dura formada por arena limosa muy compacta (SM). Las tablas 2 y 3 muestran los espesores de las capas y los parámetros de resistencia, deformación y compresibilidad considerados para corto y largo plazo en el análisis de la interacción suelo-revestimiento.

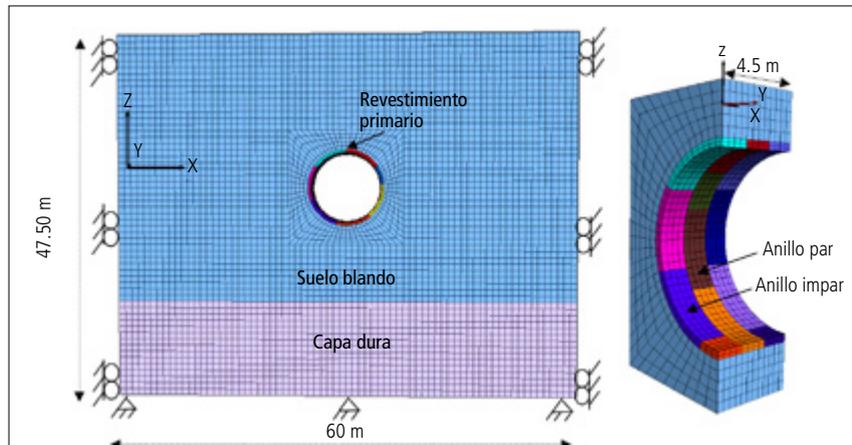


Figura 4. Modelo tridimensional para los tres casos (I, II, III).

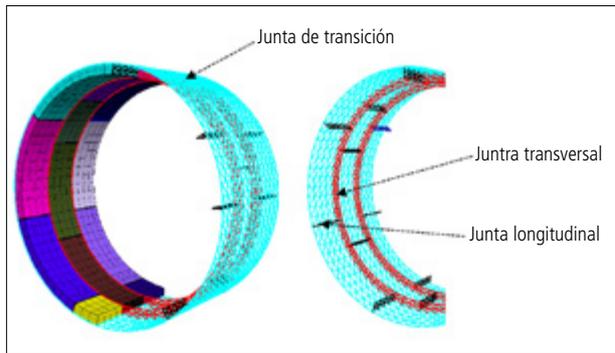


Figura 5. Juntas longitudinales, transversales y de transición.

Condiciones piezométricas y estado inicial de esfuerzos

Las presiones de poro iniciales del subsuelo consideradas son hipotéticas, por lo que las presiones de poro finales también son hipotéticas y representativas de sitios en la zona lacustre de la Ciudad de México. El perfil piezométrico considera que el NAF (nivel del agua subterránea) se encuentra en la superficie del terreno (véase figura 3). La figura 3 muestra respectivamente la proyección del abatimiento piezométrico para 2, 5 y 15 años de bombeo profundo, proyecciones estimadas a partir del cálculo del flujo de agua para la estratigrafía considerada y las condiciones iniciales piezométricas, también consideradas.

INTERACCIÓN SUELO-REVESTIMIENTO

Modelo tridimensional de diferencias finitas

Para simular el proceso de excavación y consolidación regional, se desarrolla un modelo tridimensional de diferencias finitas (véase figura 4). La malla tiene 47.50 m de alto, 60 m de ancho y 4.50 m de largo; está formada por 60,048 zonas tridimensionales de forma tetraédrica. Los elementos del revestimiento en el plano X-Z se distribuyen cada 5 grados y longitudinalmente (eje Y) en cuatro elementos en 1.5 m, es decir, cada elemento tiene 0.375 m de longitud. El mallado y las características de los elementos tetraédricos son similares para los tres casos en los que el túnel segmentado presenta una condición libre en sus extremos (eje Y). El modelo de comportamiento de los suelos blandos es Cam-Clay Modificado, mientras que para la capa dura, el modelo es Mohr-Coulomb.

Rigidez de los elementos interfaz

Se lleva a cabo un análisis paramétrico para determinar la rigidez normal k_n y la rigidez al corte k_s de las juntas transversales (contacto anillo-anillo), longitudinales (contacto segmento-segmento) y de transición (contacto suelo-revestimiento) (véase figura 5). La finalidad del análisis paramétrico entre los desplazamientos normales (aperturas) y los desplazamientos tangenciales (relativos) entre dovelas y entre anillos es justificar los parámetros de las rigideces normales k_n y tangenciales k_s utilizados en los análisis de excavación y consolidación (más detalles en Villagrán, 2019).

Asimismo, para calibrar los desplazamientos entre dovelas tras la excavación, el presente trabajo considera los siguientes criterios para un revestimiento de túnel con un diámetro interior de 9.20 m (DAUB, 2013):

- El desplazamiento relativo entre dovelas tras la excavación no debe superar los 0.38 mm.
- La desviación angular (separación) entre segmentos tras la excavación debe ser inferior a 0.58 mm.

Las figuras 6 y 7 muestran, respectivamente, la variación de los desplazamientos normales (aperturas) y de corte (relativos), en función de la rigidez de cada interfaz evaluada.

En la tabla 4 se resumen los valores de la rigidez de cada interfaz considerada en el análisis de interacción suelo-revestimiento del túnel. La misma tabla incluye la junta de transición (JS) que considera las características de cohesión y fricción del suelo, contacto suelo-revestimiento del túnel.

Consideraciones adicionales

Además de la geometría y la rigidez de cada interfaz, el procedimiento de análisis considera:

- El análisis de la excavación se realiza con los parámetros del suelo a corto plazo (condiciones no drenadas, tabla 2).

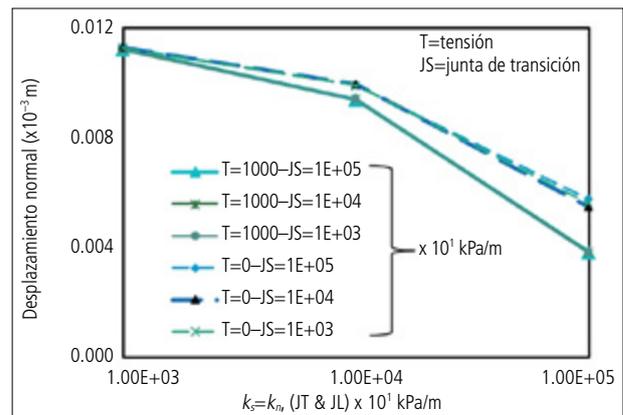


Figura 6. Desplazamientos normales (aberturas) entre segmentos.

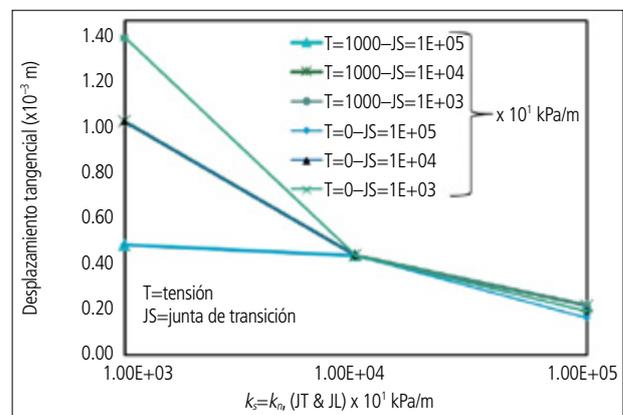


Figura 7. Desplazamientos tangenciales entre segmentos.

Tabla 4. Rigideces obtenidas a partir del análisis paramétrico, consideradas en el análisis de interacción suelo-revestimiento del túnel

Junta transversal, JT (kPa/m)	Junta longitudinal, JL (kPa/m)	Junta de transición, JS (kPa/m)	Resistencia a la tensión, T (kPa/m)
$k_n = k_s$	$k_n = k_s$	$k_n = k_s$	—
1.00 E + 06	1.00 E + 06	1.00 E + 05	0

k_s = rigidez tangencial, k_n = rigidez normal

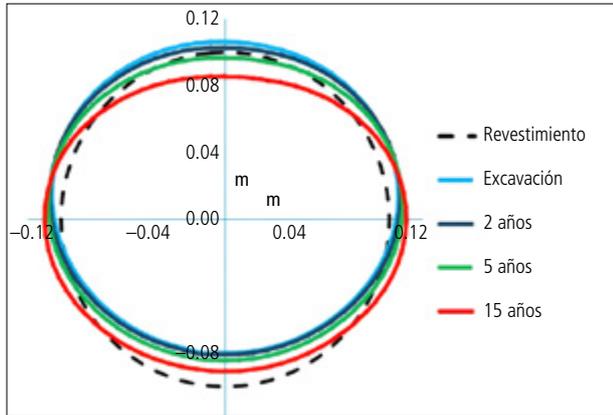


Figura 8. Comparación del revestimiento deformado (m) para el caso I, 2.5 m de espesor del suelo blando a la cubeta del túnel.

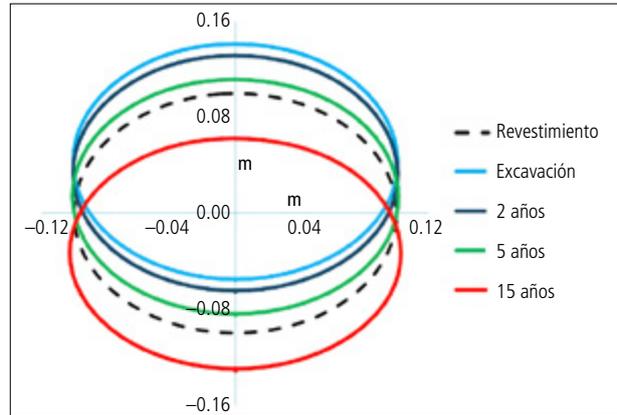


Figura 10. Comparación del revestimiento deformado (m) para el caso III, 10.0 m de espesor del suelo blando a la cubeta del túnel.

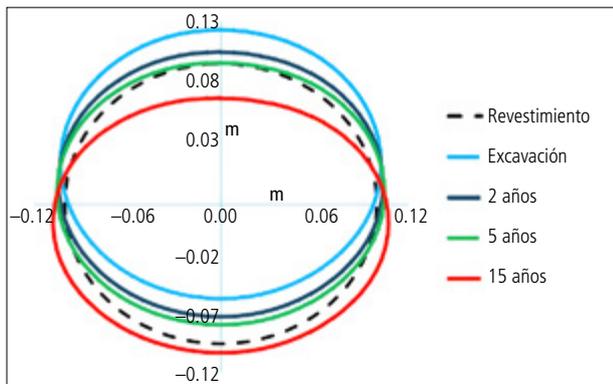


Figura 9. Comparación del revestimiento deformado (m) para el caso II, 5.0 m de espesor del suelo blando a la cubeta del túnel.

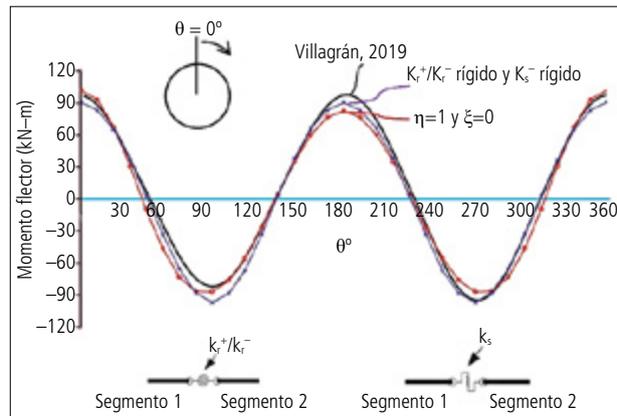


Figura 11. Variación del momento flector (Villagrán, 2019).

La excavación y la colocación del revestimiento se realizan en la misma etapa.

- b. Para abatimientos piezométricos mayores a dos años, el análisis se realiza a cambios de volumen (condiciones drenadas). La disipación de la presión de poro generada por la excavación se realiza después de la colocación del revestimiento (Gutiérrez y Schmitter, 2010).
- c. No se considera el mortero inyectado en el espacio libre entre la camisa y el faldón del cabezal de corte del equipo de excavación (escudo).
- d. No se considera la fuerza axial o empuje sobre los anillos generada por los gatos del escudo durante la excavación, lo que constituye una condición desfavorable, ya que la fuerza axial proporciona una mayor capacidad de resistencia de carga al revestimiento (Galván, 2013), lo que se traduce en una mayor rigidez longitudinal del túnel.

- e. No se consideran las fuerzas tangenciales generadas por la instalación del segmento de cierre o segmento k , que se traduce en una mayor rigidez tangencial de los anillos.
- f. No se considera la disminución del módulo de elasticidad del concreto debido al flujo plástico.
- g. Las deformaciones calculadas en los elementos de interfaz que unen un anillo con anillo disminuyen los esfuerzos longitudinales aplicados por los gatos durante la construcción del túnel, por lo que la rigidez adoptada en este trabajo no se aleja de la que se produce durante la etapa de consolidación del suelo que confina al túnel.

Deformaciones para cada etapa de análisis

Para los casos analizados: tres distancias entre la capa dura y la cubeta del túnel y para las etapas de análisis (excavación-colocación del revestimiento y para periodos de 2, 5 y



15 años de consolidación regional), las figuras 8, 9 y 10 muestran, con referencia a la posición teórica del revestimiento (línea punteada en cada figura ubicada de forma arbitraria en ± 0.10 m para su dibujo), que la deformada calculada en el segundo anillo del revestimiento del túnel presenta:

- Como resultado de modelar la excavación y colocación del revestimiento, se observa un levantamiento del revestimiento, línea azul claro, que ocurre una vez que ha avanzado la cabeza cortadora.
- Con los resultados de cada proceso de consolidación analizado, se calcula que la clave y la cubeta del túnel descenden, con un pequeño diferencial, y los hastiales tienden a abrirse de forma simétrica.
- En los casos analizados se observa en la deformada del revestimiento convergencia de la clave y la cubeta, y divergencia los costados.

Elementos mecánicos en el revestimiento del túnel

Los momentos flectores calculados se comparan con los respectivos publicados por Zhenchang *et al.* (2015), donde se considera un anillo con diámetro exterior de 6.2 m, compuesto por un segmento clave (segmento k), dos segmentos adyacentes y tres segmentos estándar. Con objeto de evaluar el procedimiento de análisis utilizado, en la figura 11 se muestra la variación del momento flector indicado por Zhenchang *et al.* a lo largo del revestimiento y la correspondiente variación de momento calculado en el presente estudio para anillo

segmentado con rigidez muy alta de cada interfaz utilizada, revestimiento uniforme. En la formulación, Zhenchang *et al.* consideran que $\eta = 1$ y $\xi = 0$, donde:

η es la relación efectiva de la rigidez a flexión calculada como:

$$\eta = \frac{EI_{AJ}}{EI_{AC}} = \frac{A_{AJ}}{A_{AC}} \quad (1)$$

donde EI_{AJ} es la rigidez de un anillo con juntas y EI_{AC} es la rigidez de un anillo continuo.

Además, la relación de transferencia del momento de flexión (ζ) está incluida en:

$$M_s = M_0 (1 + \zeta), M_j = M_j (1 - \zeta) \quad (2)$$

donde M_0 es el momento de flexión más desfavorable calculado a partir de diagramas (Zhenchang *et al.*, 2015) y, M_s y M_j son los momentos flectores modificados soportados por el segmento y la junta, respectivamente.

En la misma figura 11, la relación k_r^+ / k_r^- indica la rigidez del resorte de rotación, implementación de uniones en simulaciones numéricas. La rigidez de corte del resorte k_s , implementación de uniones en simulaciones numéricas. La misma figura ilustra la variación del ángulo de referencia θ . La variación del momento flector de los tres casos es similar, por lo que se considera que el procedimiento de análisis utilizado es adecuado.

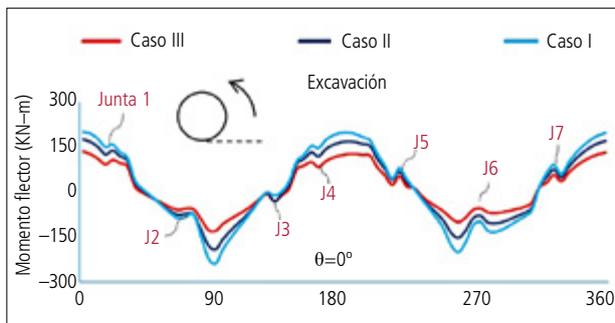


Figura 12. Momento flector a lo largo del perímetro del revestimiento para los tres casos, excavación.

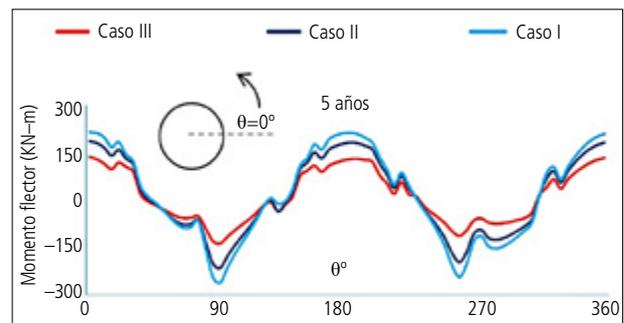


Figura 14. Momento flector a lo largo del perímetro del revestimiento para los tres casos, 5 años.

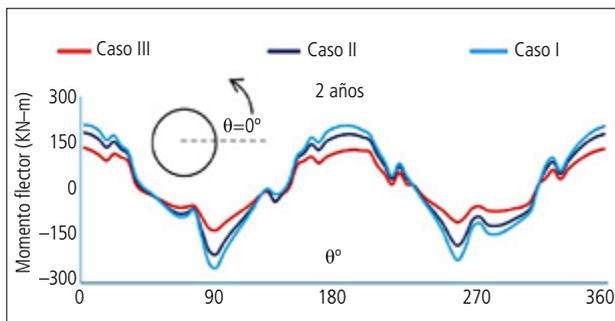


Figura 13. Momento flector a lo largo del perímetro del revestimiento para los tres casos, 2 años.

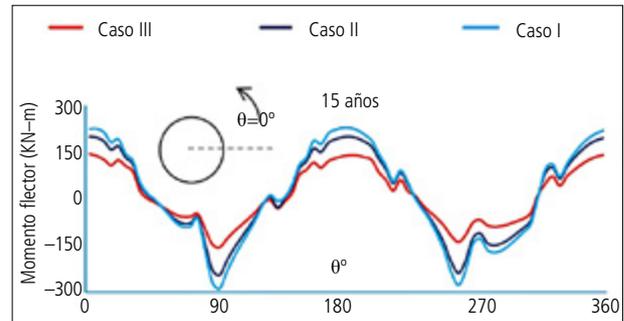


Figura 15. Momento flector a lo largo del perímetro del revestimiento para los tres casos, 15 años.

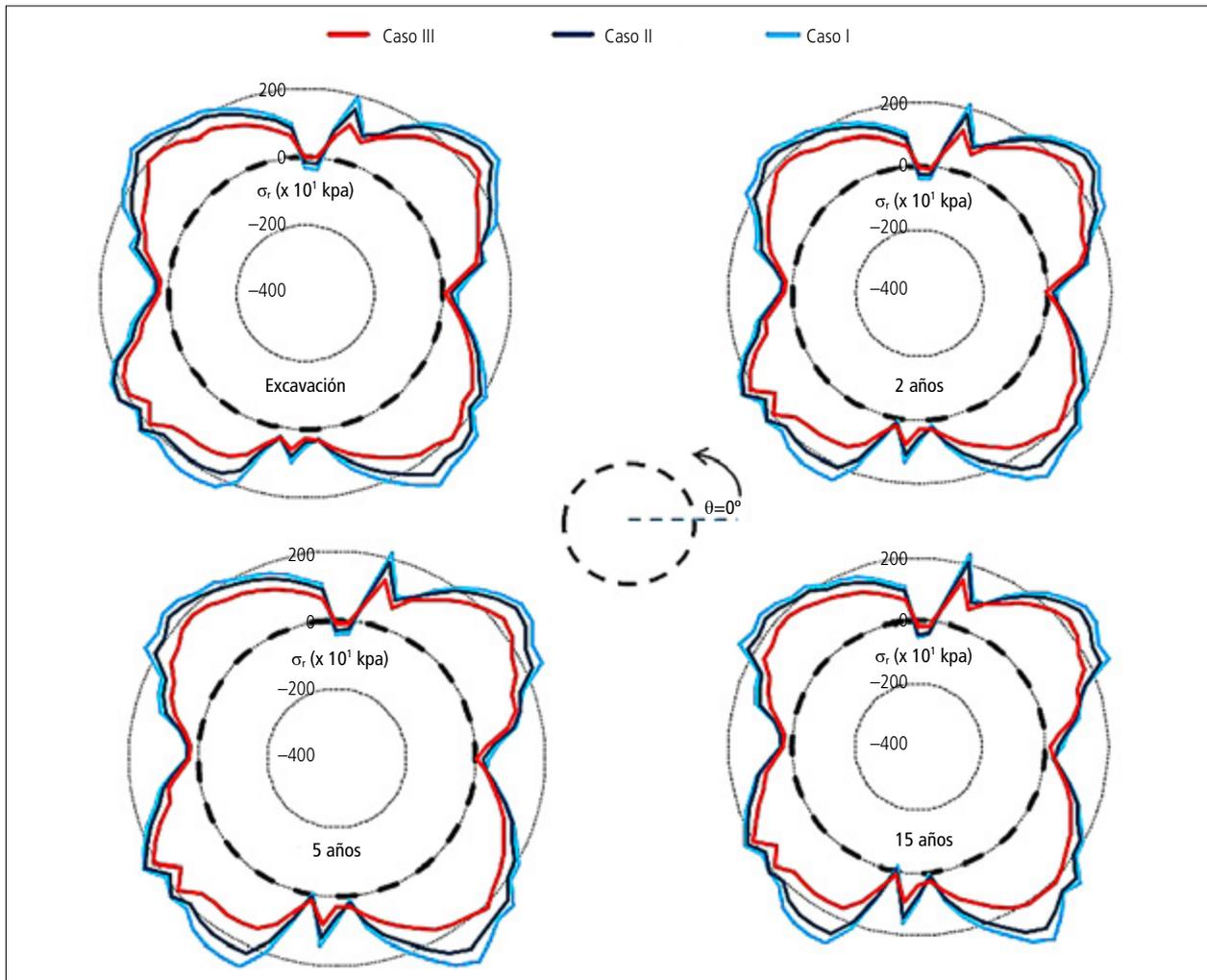


Figura 16. Esfuerzos radiales medios (σ_r) a lo largo del perímetro del revestimiento para los tres casos.

Las figuras 12, 13, 14 y 15 muestran el momento flector a lo largo del perímetro del revestimiento para todos los casos analizados, donde se utilizan las rigideces (k_n y k_s) de cada interfaz (tabla 4). Al comparar la variación del momento flector, se observa:

- Todas las gráficas muestran un cambio de tendencia en el momento flector en la posición de la interfaz o junta.
- De todos los casos analizados, el momento máximo-máximo se calcula en el caso I (2.5 m de espesor de suelo blando a la cubeta del túnel, menor espesor analizado para 15 años de consolidación regional) y se ubica en la clave del revestimiento ($\theta = 90$ grados).
- Que el momento máximo-máximo ocurre en el caso I, es decir, con el menor espesor de suelo blando a la cubeta del túnel, lo que es congruente con lo indicado por Rodríguez *et al.* (2012): “la condición más crítica de análisis es cuando la cubeta del túnel está en contacto con la capa dura”.
- Que el momento máximo-máximo corresponda a 15 años de subsidencia indica que el proceso paulatino de consolidación regional se incrementa en la magnitud del momento

flector en el revestimiento, y esto es más severo para pequeños espesores de suelo blando bajo el túnel.

Como interrelación directa con el momento flector, los esfuerzos radiales máximos y tangenciales máximos (σ_r y σ_θ) en el revestimiento corresponden al caso I para 15 años de consolidación regional (véanse figuras 16 y 17, respectivamente).

Los esfuerzos radiales máximos (σ_r) se ubican en $\theta = 45, 135, 225$ y 315 grados, aproximadamente, y los σ_r mínimos en $\theta = 90$ y 180 grados (clave y cubeta del revestimiento) (véase figura 16).

Los esfuerzos tangenciales máximos (σ_θ) se ubican en $\theta = 0, 90, 180$ y 270 grados, aproximadamente, y los σ_θ mínimos en $\theta = 45, 135, 225$ y 315 grados, aproximadamente (véase figura 17).

Las figuras 18 y 19 muestran respectivamente el momento flector calculado en el revestimiento segmentado a lo largo del revestimiento para los tres casos analizados (etapa de excavación y para 15 años de hundimiento) frente al mo-

mento flector calculado para el anillo uniforme. Los gráficos corresponden a los anillos impares y al anillo par. Tanto en la figura 18 como en la 19, se observa un aumento del momento flector en la zona que rodea las juntas, principalmente en $\theta = 90$ y 270 grados, aproximadamente, es decir, en la clave y en la cubeta del revestimiento del túnel.

CONCLUSIONES

Los resultados del análisis numérico tridimensional de diferencias finitas que incluye las juntas transversales, longitudinales y de transición (modelados con elementos interfaz) de un túnel con un revestimiento segmentado único construido en suelo en proceso de consolidación regional indican que:

- La deformada del revestimiento es congruente con lo calculado al poco tiempo (2 años, aproximadamente) de haber construido los túneles en suelo blando, es decir, convergencia de la clave y la cubeta y divergencia de los hastiales.
- La deformada del revestimiento uniforme es menor en comparación con la respectiva del revestimiento segmentado, obviamente debido a la reducción de la rigidez por

la presencia de juntas. Los resultados del presente estudio indican que la diferencia en el valor de la deformada entre el revestimiento segmentado y el uniforme es una función directa de la apertura de las juntas presentes en el revestimiento segmentado.

- Hay transferencia de elementos mecánicos (esfuerzos normales y tangenciales y momentos flectores) entre segmentos y entre anillos, con cambio de tendencia debido a la presencia de las juntas. La distribución y la magnitud de los elementos mecánicos calculados aquí son comparables con los resultados reportados por Zhenchang *et al.* (2015). En ausencia de juntas, anillo uniforme, el momento flector no presenta variación en la tendencia; lo contrario ocurre en el túnel segmentado, ya que, según Zhenchang *et al.*, “el momento flector en la junta longitudinal se transfiere de un anillo a otro a través del mecanismo de corte de las juntas transversales”.
- El momento flector es mayor cuando la cubeta del túnel se acerca a la capa dura, lo que concuerda con lo planteado por Rodríguez *et al.* (2012).

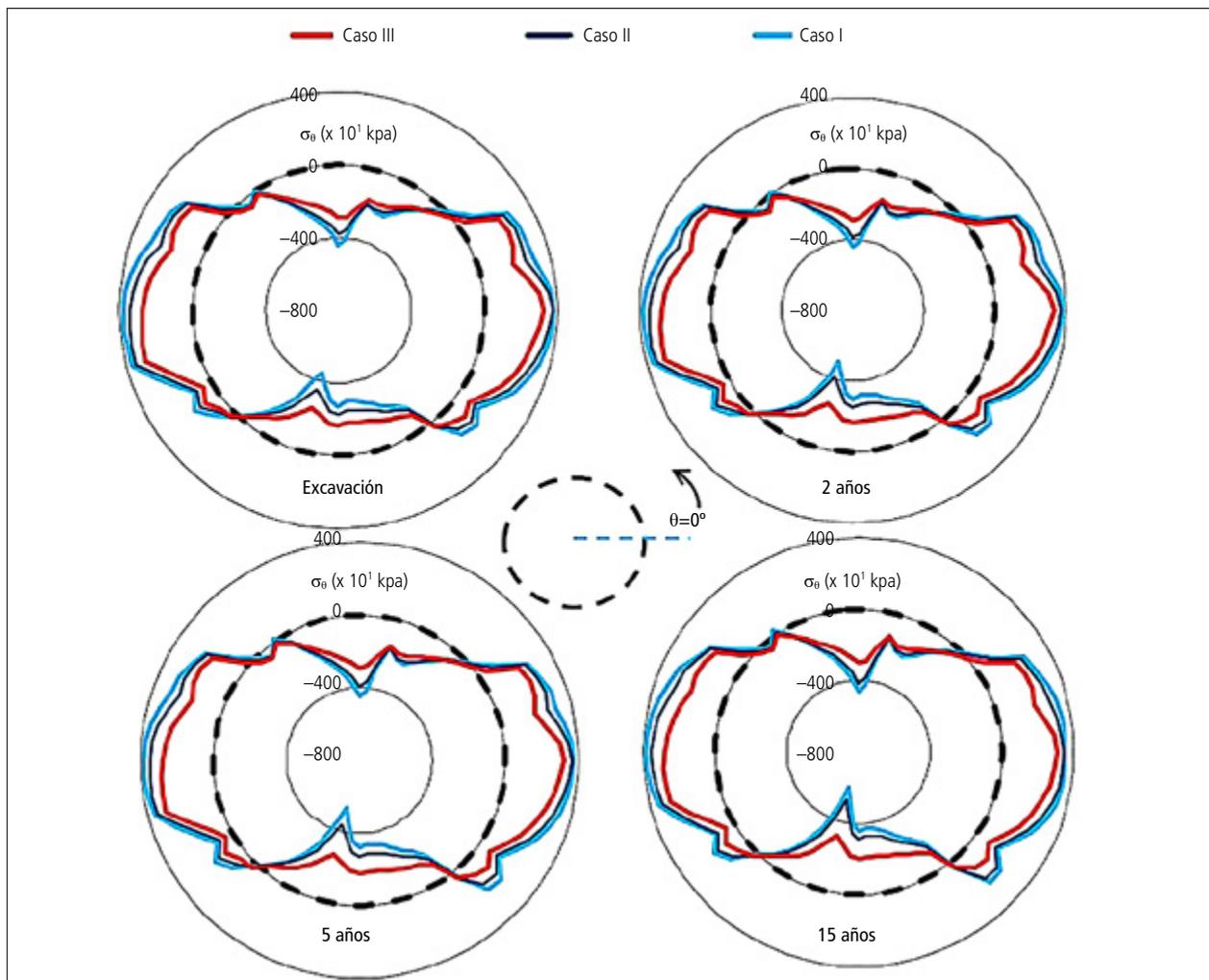


Figura 17. Esfuerzos tangenciales medios (σ_θ) a lo largo del perímetro del revestimiento para los tres casos.

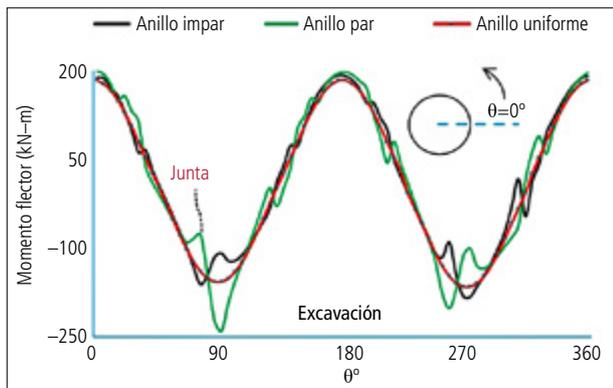


Figura 18. Momento flector a lo largo del perímetro del anillo uniforme y del revestimiento en presencia de juntas, excavación.

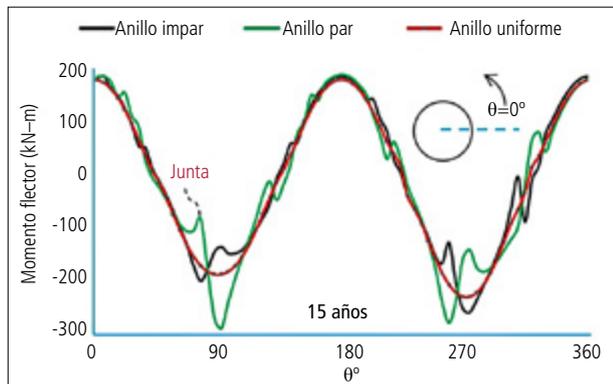


Figura 19. Momento flector a lo largo del perímetro del anillo uniforme y del revestimiento en presencia de juntas, 15 años de consolidación regional.

- e. Que el momento flector máximo-máximo corresponda a 15 años de subsidencia indica que el proceso paulatino de consolidación regional incrementa la magnitud del momento flector en el revestimiento, y esto a su vez es más severo para pequeños espesores de suelo blando bajo el túnel.
- f. En estudios posteriores será interesante evaluar la interacción suelo-revestimiento primario en suelos con subsidencia para condiciones de contorno impuestas por los cambios de rigidez en zonas que no se consolidan, por ejemplo, la intersección del túnel con una estación, en túneles de metro, donde, *a priori*, las traslaciones y rotaciones entre dovelas y entre anillos serán importantes

Referencias

Comulada-Simpson, M., y Maidl (2010). Diseño y análisis estructural de dovelas en suelos blandos. Primer Simposio Internacional de Túneles y Lumberras. México. AMITOS y SMIG.

DAUB (2013). Recommendations for the design, production, and installation of segmental rings. *Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen* 46.

Galván, A. (2013). Comportamiento estructural de túneles con dovelas prefabricadas en suelo blando. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.

Gutiérrez, L. E., y J. J. Schmitter (2010). Variación de la relación K0 en un subsuelo arcilloso, durante el paso de un escudo presurizado. *Memorias de la XXV RNMSIG*. Acapulco, pp. 613-617.

Itasca (2011). FLAC3D, Fast Lagrangian Analysis of Continua. User's Guide. Itasca Consulting Group. Minneapolis.

Rodríguez *et al.* (2012). Análisis y diseño del revestimiento definitivo de túneles en suelos blandos. 2º Simposio Internacional sobre túneles y lumberras en suelos y roca 10.

Villagrán, J. M. (2019). Evaluación de la estabilidad de túneles dovelados sometidos a consolidación regional. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. México.

Zhenchang, G., T. Deng, G. Wang y J. Yujing (2015). Studies on the key parameters in segmental lining design. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 10.

Bibliografía

Auvinet, G., y Rodríguez-Rebolledo, J. F. (2010). Análisis, diseño, construcción y comportamiento de obras subterráneas en suelos. *Memoria de la XXV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*. Vol. I, pp. 33-42. Acapulco.

Blom, C. (2002). Design philosophy of concrete linings for tunnels in soft soils. Tesis doctoral. Delft University Press.

Boreisi y Schmidt (2003). *Advanced mechanics of materials* (6ª Ed.). John Wiley & Sons.

Botello, J. (2014). Control de asentamientos bajo el túnel inmerso en suelo sometido a subsidencia. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. México.

Carrillo *et al.* (2019). *Introducción al método de diferencias finitas y su implementación computacional*. México: Facultad de Ciencias, UNAM.

Hart, R. (1993). An introduction to distinct element modeling for rock engineering. *Comprehensive rock engineering: principles, practice and projects* 17.

International Tunnel Association (2000). Guidelines for the Design of Shield Tunnel Lining. *Tunnelling and Underground Space Technology* 29.

Luttikholt, A. (2007). Ultimate limit state analysis of a segmented tunnel lining. Tesis de maestría. Delft University of Technology.

Marti, J., y P. Cundall (1982). Mixed discretization procedure for accurate solution of plasticity problems. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics* 12.

Montero, E. (2013). Simulación del colapso en túneles dovelados mediante la formación de articulaciones en vigas. *Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo* 14.

Pacheco, J. (2007). Modelo de subsidencia del valle de Querétaro y predicción de agrietamientos superficiales. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.

Peña *et al.* (2012). Comportamiento estructural de juntas entre dovelas de concreto. Redalyc 18.

Peña, F., y B. Basurto (2013). Factor de reducción de rigidez para túneles dovelados. *Memoria del 3er Simposio Internacional sobre túneles y lumberras en suelos y roca*. México.

Pérez, M. (2013). Distribución de esfuerzos y desplazamientos alrededor de un túnel circular y en su revestimiento. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

Rodríguez, F. (1983). Esfuerzos internos en túneles circulares. *Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales* (3)12.

Salazar, J. (2012). Estudios de la interacción entre revestimientos de túneles dovelados. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

Santoyo, E. (2007). *Historia y actualidad del hundimiento regional de la Ciudad de México*. TGC.

Sarmiento, N. (2011). Análisis tridimensional de la cara de concreto de presas de enrocamiento. Tesis doctoral. Instituto de Ingeniería, UNAM. México.

Wood, D. M. (1990). *Soil behaviour and critical state soil mechanics*. Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge.

Wu, H. M., Y. M. Shu y J. G. Zhu (2011). Implementation and verification of interface constitutive model in FLAC3D. *Water Science and Engineering* 12.

Apreciamos su opinión e información sobre el tema de este artículo.
 ✉ Escribanos a helios@heliosmx.org

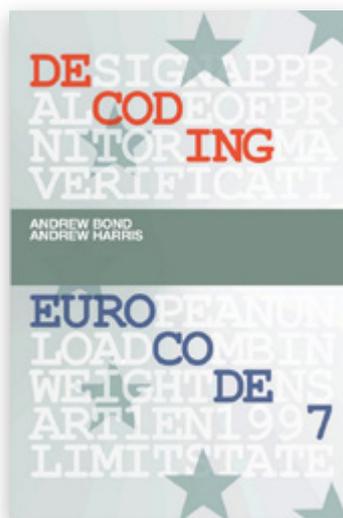
LIBROS

IR A TEXTO CORRIDO

DECODING EUROCODE 7Andrew Bond y Andrew Harris
Londres, CRC Press, 2008

Con el fin de que los ingenieros mexicanos interesados conozcan otra normatividad que les permita ampliar su visión y criterio profesional, se presenta este libro que proporciona un examen detallado del Eurocode 7, partes 1 y 2, y una visión actual del conjunto de normas europeas e internacionales asociadas.

La información dispersa alrededor de los eurocódigos se agrupan en tablas y diagramas con amplitud y claridad; los ejemplos han sido trabajados con gran detalle y demuestran cómo aplicar las normas a diseños reales. Mediante diagramas de flujo se explica la manera en que se introduce la confiabilidad en el diseño y se recolecta información relacionada mediante mapas men-



tales, dentro de un marco de referencia coherente.

Los autores son consultores y expositores especializados en la materia y explican con gran conocimiento, pero de manera práctica y sencilla, los principios clave y las reglas de aplicación del Eurocode 7, lo que hace valioso este texto para los ingenieros de la práctica, para los estudiantes de alto nivel y los investigadores que trabajan en el dominio de la geotecnia.

Se incluyen los siguientes temas: los eurocódigos estructurales; bases del diseño estructural y reglas generales para el diseño geotécnico; investigación del terreno, ensayos y caracterización; verificación de la resistencia, estabilidad, funcionalidad y utilidad; diseño de taludes, terraplenes, cimentaciones, muros de retención, muros empotrados, pilas y anclajes; ejecución de obras geotécnicas; reportes geotécnicos ➔

Pilas
Muros Milán
Tablestacas
Pruebas de carga estáticas
Pruebas de carga Bidireccionales
Pilotes
Anclas
Pantallas Flexoimpermeables
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

Pilotec
Cimentaciones Profundas



**Blanca Esther Meza Vega**

Ingeniera civil con maestría en Mecánica de Suelos. Ingeniera de proyecto *senior* en CIMESA (Soletanche-Bachy México). Vocal en la Mesa Directiva de la SMIG.

Raymundo González

Ingeniero civil con posgrado en Administración de la Construcción. Director comercial en Latinoamérica de Bessac. Vicepresidente de Microtuneleo en la AMITOS.

José Guillermo Clavellina Miller

Ingeniero civil con maestría en Mecánica de Suelos. Director de Ingeniería en CIMESA (Soletanche-Bachy México). Profesor de la asignatura de Mecánica de Suelos Aplicada en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Microtúnel de 1.52 m de diámetro con tubería hincada en Zona del Lago de la Ciudad de México

Este artículo trata sobre el diseño y construcción de un túnel con tubería de concreto reforzado de 1.52 m de diámetro interno de 1.035 km de longitud en la Zona de Lago de la Ciudad de México con el método de tubería hincada empleando la tecnología de microtuneleo con escudo de frente presurizado tipo EPB. El sistema alternativo propuesto permitió una mayor longitud de hincado entre tramos, con la implementación de trazados curvos, ahorro en la construcción en el número de zanjas y disminución de tiempo de construcción. En este trabajo se destacan los procesos de diseño y construcción, además se comparten las experiencias adquiridas.

INTRODUCCIÓN

Debido a la constante inundación de una de las avenidas más importantes de la Ciudad de México que comunican al Aeropuerto Internacional Benito Juárez, el gobierno de la ciudad realizó la inversión en un colector que forma parte de las obras hidráulicas del Túnel Emisor Oriente, en beneficio de más de 10 mil personas en las zonas que se veían afectadas cada año por las constantes inundaciones.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto está ubicado en el oriente de la ciudad, en las alcaldías Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero, en las avenidas 503 y lateral del Circuito Interior, en dirección a Aeropuerto Internacional-La Raza. Se trata de la construcción de un colector en su segunda etapa, que consiste en un túnel de 1.035 m de longitud y 1.52 m de diámetro con una tubería de concreto reforzado y una cobertura promedio de suelo sobre la clave del túnel de 5.0 m.

Proyecto base y proyecto alternativo

El proyecto base abarcaba la construcción del túnel con cuatro lumbreras y dos cajas de concreto tipo alcantarilla, para un tramo recto de túnel de 1.035 m de longitud. El trazo de este colector es paralelo al túnel existente, que presenta problemas de azolve y contrapendientes debido al hundimiento regional de la zona. El trazo original ocasionaba que el túnel pasara por debajo de algunas viviendas, además de contar con más pozos verticales para su construcción (véase figura 1).

El proyecto original contemplaba nueve meses de duración de los trabajos; con el proyecto alternativo, el programa se pudo reducir a siete meses.

Durante la etapa de estudio del colector se revisó la factibilidad de modificar el trazo, de tal manera que se realizara en menor tiempo y con la menor cantidad de lumbreras para reducir el programa de obra.

Se desarrolló un proyecto alternativo que consiste en la construcción de sólo tres pozos: la lumbrera de lanzado, una

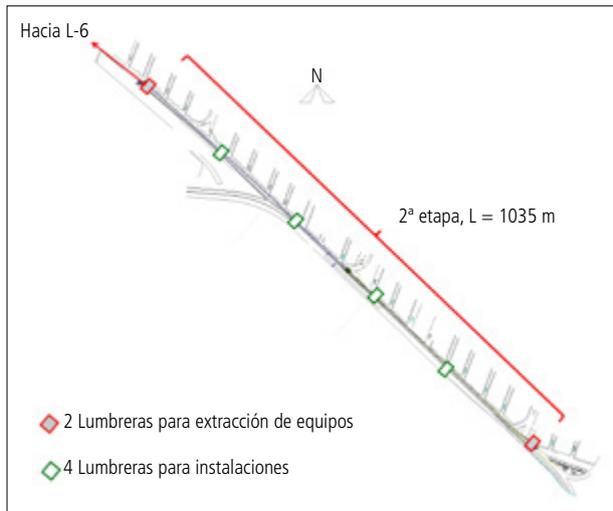


Figura 1. Trazo del proyecto base con seis lumbreras para el tramo de la segunda etapa del nuevo colector, L = 1,035 m.

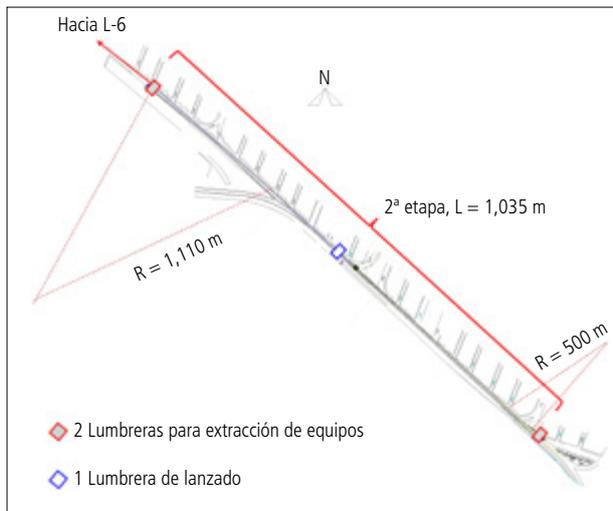


Figura 2. Trazo alternativo con tres pozos y tramos sensiblemente curvos para la segunda etapa del nuevo colector.

Tabla 1. Propiedades de los suelos

Unidad	Prof. i-f (m)	Descripción	Y (t/m ³)	C (t/m ²)	φ (°)	Ks (t/m ³)
U1	0.0 a -6.3	Relleno	1.60	10.0	20	3000
U2	-0.6 a -5.0	S.A.S. 1	1.13	1.30	2	700
U3	-5.0 a -6.2	S.A.S. 2	1.20	1.50	15	1300
U4	-6.2 a -8.0	S.A.S. 3	1.20	1.30	5	750
U5	-8.0 a -14.0	S.A.S. 4	1.20	2.00	3	800
U6	-14.0 a -21.0	S.A.S. 5	1.20	3.00	3	850

El NAF se reportó a -1.60 m de profundidad.

lumbrera de interconexión y una lumbrera de extracción de equipo. El nuevo trazo permitió plantear tramos ligeramente curvos para evitar que el colector invadiera las viviendas aledañas al túnel; esta propuesta de trazo permitió eliminar

pozos para agilizar los tiempos de avance en la construcción del microtúnel. En la figura 2 se muestra el nuevo trazo con la posición de los tres pozos.

ESTRATIGRAFÍA DEL SITIO

Condiciones geotécnicas

La zona donde se ubica el microtúnel se caracteriza por tener problemas de asentamientos regionales que han afectado la funcionalidad de banquetas, pavimentos y la propia estructura de drenaje del colector existente. En el estudio de mecánica de suelos se incluyen dos sondeos tipo mixto. Para fines de revisión del túnel y de las lumbreras se tomó como referencia el sondeo mixto núm. 2:

- Estrato 1: superficialmente se observó una arena limosa color café claro de consistencia dura con materia orgánica (N=50/10).
- Estrato 2: entre 0.60 y 5.50 m de profundidad se encontró una arcilla color café claro de consistencia blanda (2<N<5).
- Estrato 3: de 5.50 a 6.30 m de profundidad se encontró un limo arenoso color gris claro de consistencia media (4<N<5); el contenido natural de agua promedio es de 60% y el contenido de material fino es de 87%.
- Estrato 4: de 6.30 a 10.40 m de profundidad se encontró una arcilla color café oscuro de consistencia muy blanda con poca arena fina; el contenido natural de agua promedio es de 240%.

En lo referente a las condiciones hidráulicas del sitio, el nivel de aguas freáticas se encontró a 1.20 m de profundidad. El módulo de reacción (Ks) para cada unidad geotécnica se obtuvo a partir de los ábacos de Caquot.

MÉTODO DE PERFORACIÓN DEL MICROTÚNEL

El túnel se realizó con una microtuneladora tipo EPB1600; con este tipo de equipos y diámetros de túnel es posible realizar tramos de excavación continua de alrededor de 500 m. La tuneladora está equipada con una rueda de corte para materiales blandos. Este equipo permite realizar cambios del equipo de corte desde el interior de la máquina (véase figura 3).

Sistema principal de empuje

El equipo para la instalación de la tubería por el método de microtuneleo a utilizar es una microtuneladora marca Herrenknecht, modelo MTBM EPB 1500 con kit 1520 con soporte de presión de tierra en la cara de excavación y equipo para tubería de DN1520 mm aprovisionado con cabeza de corte para las condiciones estratigráficas de los trabajos a realizar (véase figura 4).

El sistema principal de empuje está situado en el eje de trazo de hincado, el cual puede aplicar una fuerza máxima de empuje de hasta 1,400 t. El sistema de empuje es controlado por el piloto desde la cabina de control. Este tipo de equipos permiten un mejor confinamiento del frente de excavación

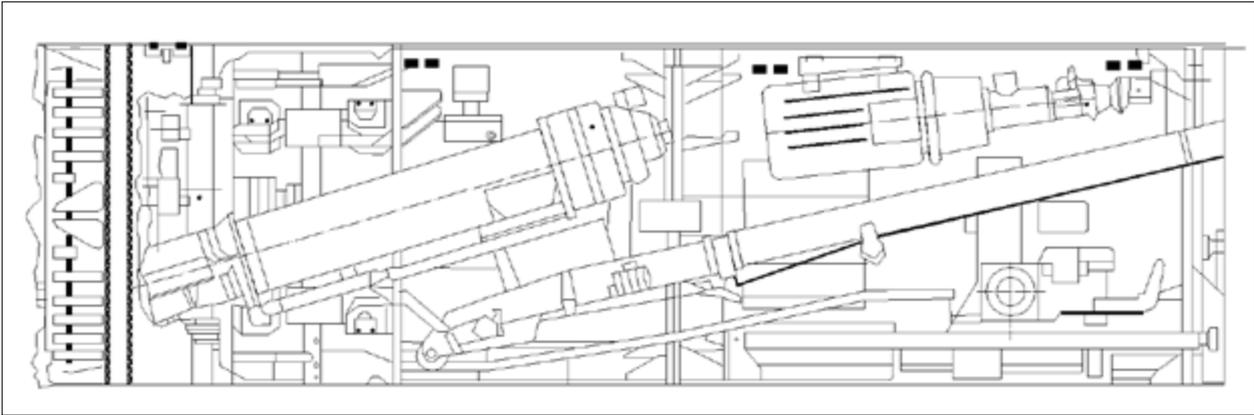


Figura 3. Sección longitudinal de la microtuneladora 2.0 m de diámetro x 9.0 m de longitud.

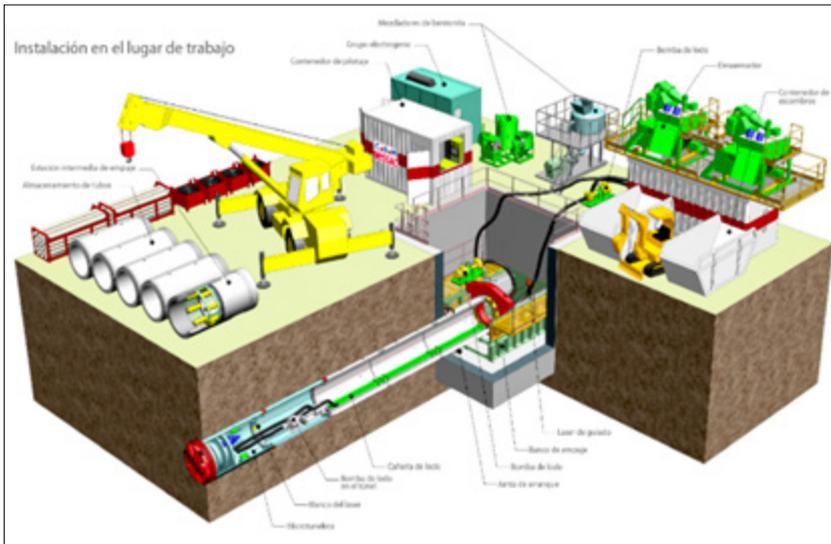


Figura 4. Componentes del sistema de perforación con microtuneladora tipo EPB.

con el modo EPB, mediante el uso de la rueda de corte adecuada para las condiciones geotécnicas del sitio. El hincado de tubería se logra empleando un sistema de lubricación durante el proceso de excavación alrededor de la máquina y del túnel. Este equipo permite sustituir las herramientas de corte desde el interior de la máquina con avances continuos de hasta 500 m.

El empleo de este equipo permite tener un sistema de guiado en tiempo real con registro de datos, mayor seguridad para el personal en los frentes de excavación y una capacidad para trabajar bajo nivel freático.

Sistema de inyección de bentonita y tubería de concreto como sistema de soporte del microtúnel

En todo el trazo del colector se considera tubería especial para microtuneleo, concreto reforzado grado 3 de diámetro nominal de 1.52 m. Para la ejecución de la hinca se emplea un sistema automático de lubricación. Este sistema está formado por una central que alimenta tubos de inyección de bentonita. El operador, desde la cabina de operación, puede

programar la inyección de bentonita estableciendo ciclos de inyección y definiendo el volumen y presión de inyección. El lubricante se realiza a base de agua y bentonita. La mezcla de lubricación se envía a través de las tuberías de inyección de alta presión para colocar la mezcla alrededor de las tuberías mediante tres puntos. A cada tres tubos de concreto se ubican los tres puntos de lubricación.

Sistema de medición con giroscopio

La microtuneladora cuenta un sistema de control remoto desde la superficie, un sistema de presión de tierra balanceada y un sistema de navegación por giroscopio, el cual

contempla una línea de diseño con un sistema de coordenadas cartesianas obtenidas de un alineamiento o altitud; son datos que se incorporan al programa desde el inicio del hincado. Durante el levantamiento de las mediciones, se activan en distancias libremente seleccionadas, a través de la computadora, los cuales se muestran gráfica y numéricamente en el monitor en tiempo real. Debido a esta representación gráfica simultánea de varias posiciones, el operador de la máquina puede ver la posición de la microtuneladora en el espacio, y por tanto la tendencia de dirección del movimiento. Todas las mediciones se almacenan en la PC. El control de mediciones puede llevarse a cabo a distancias de aproximadamente 10 a 50 m, y determinar cada vez un nuevo ángulo de deriva de la máquina para ingresarlo nuevamente al giroscopio; el ángulo de deriva de la máquina se origina cuando la dirección del movimiento de la máquina y la elevación no coinciden con el eje de diseño. Un topógrafo debe medir y calcular cuatro valores en la parte exterior de la máquina: tendencia horizontal, rotación y tendencia vertical y punto métrico.

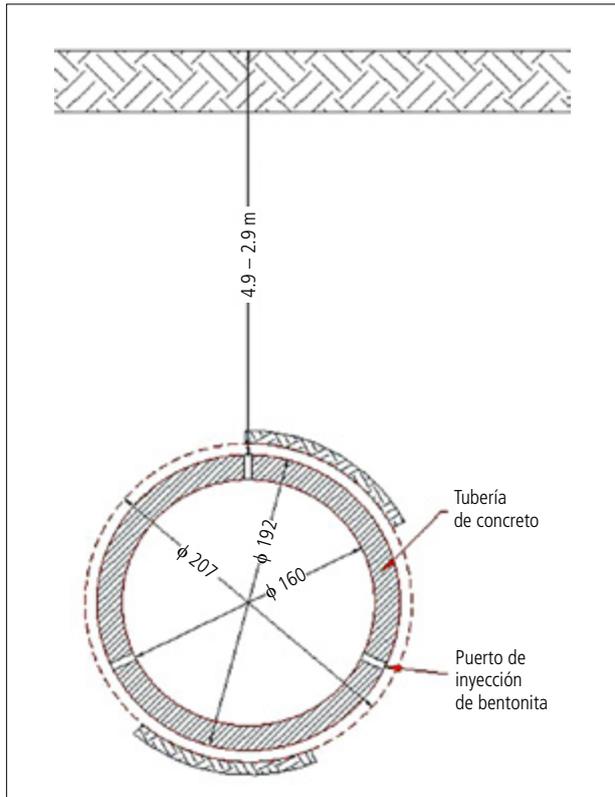


Figura 5. Sección típica de túnel con tubería de concreto como revestimiento.

- Tendencia horizontal: es la diferencia entre la dirección de la máquina y el eje teórico DTA (mm/m).
- Rotación: es el giro de la máquina (grados decimales) que se puede determinar utilizando una plomada en la parte lateral del giroscopio.
- Tendencia vertical: es la diferencia entre la inclinación de la máquina menos la inclinación del eje teórico DTA (mm/m).
- Punto métrico: es la distancia recorrida por la máquina desde un punto de referencia (m).

Se debe realizar la corrección de la dirección real de la máquina (DRIFT), debido a que la tuneladora se desplaza en una dirección o eje diferente del eje longitudinal de diseño.

En tramos rectos es fácil de realizar, porque se determina en función de los resultados de las comprobaciones de los

controles y se ingresa al sistema UNS como una corrección; difícil es aproximarla en un trazo curvo.

Es importante instalar el giroscopio desde la lumbrera de trabajo al inicio del túnel con trazo curvo, para calcular los valores iniciales que se toman en la parte externa de la microtuneladora y para realizar la corrección de la dirección real de la máquina.

CONSTRUCCIÓN DEL MICROTÚNEL

Secuencia constructiva general

1. Construcción de lumbrera de empuje, incluyendo losa de fondo para soporte de la base de deslizamiento o de los rieles guía del equipo. Construcción de un muro de concreto reforzado que se usará para el apoyo de los gatos hidráulicos de empuje. Este muro se denomina comúnmente “muro de reacción o de empuje”.
2. Inicio del proceso de excavación del túnel por medio del escudo excavador, cortando directamente el muro a base de tablestacas metálicas.
3. La primera pieza de tubo de concreto se colocará en la parte inferior de la lumbrera, la cual será empujada hacia delante por medio de los gatos hidráulicos. Se calibrará adecuadamente el empuje de los gatos hidráulicos garantizando que las fuerzas de empuje sean distribuidas uniformemente por medio del uso de un anillo o empaque de empuje.
4. Una vez empujado el primer tubo, los gatos hidráulicos se retraerán y se añadirá un espaciador. Se continuará con el proceso de excavación colocando las piezas adicionales de tubo para ser hincadas sucesivamente en un proceso iterativo. La instalación de la tubería hincada concluye al complementar la longitud total deseada.

Trabajos preliminares

El levantamiento topográfico se realizó de manera oportuna para detectar instalaciones u obras inducidas que pudieran afectar el trazo del microtúnel; fue importante determinar la trayectoria y el nivel de arreste del colector existente para considerarlos en la conexión con el nuevo colector. Para identificar las obras inducidas, se realizó un estudio de georradar para descartar la existencia de instalaciones subterráneas no identificadas. Los trabajos de desvío en uno de los carriles del Circuito Interior y la señalización son fundamentales para la ejecución de los trabajos.

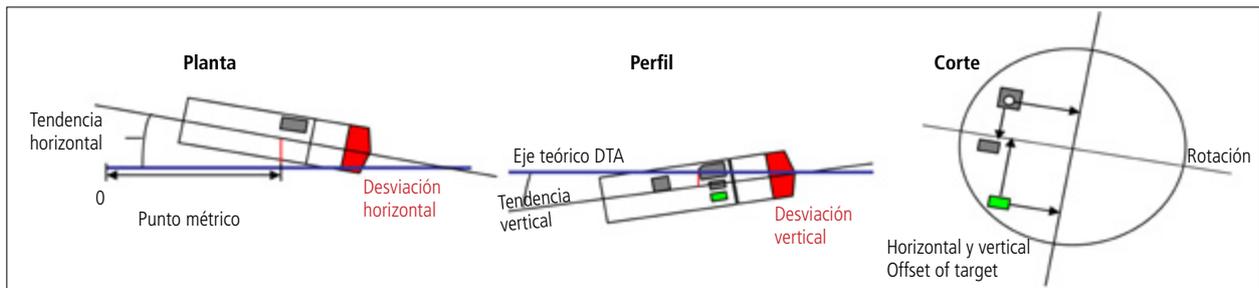


Figura 6. Sistema de medición con giroscopio.

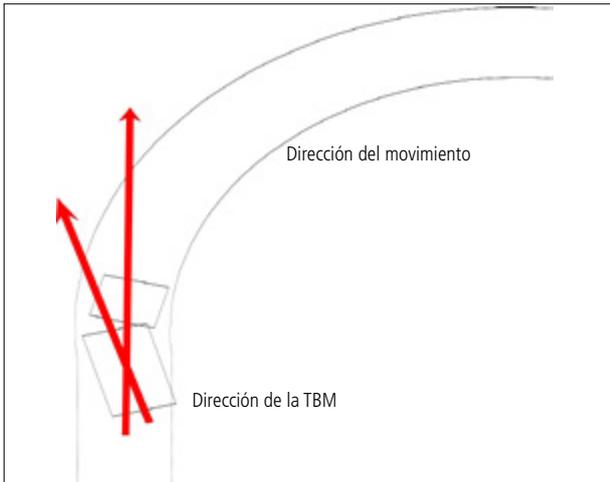


Figura 7. Dirección de la TBM en un trazo curvo.

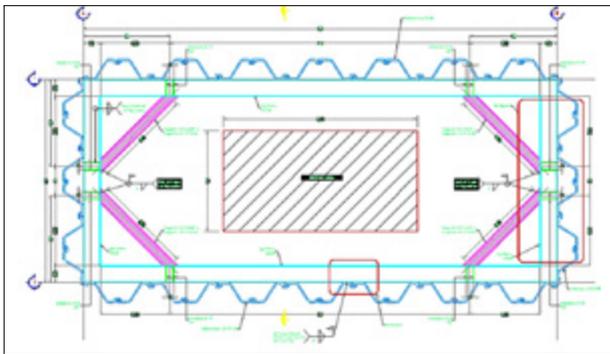


Figura 8. Dimensión mínima en lumbrera de lanzamiento para alojar la microtuneladora y el sistema de empuje de tuberías.

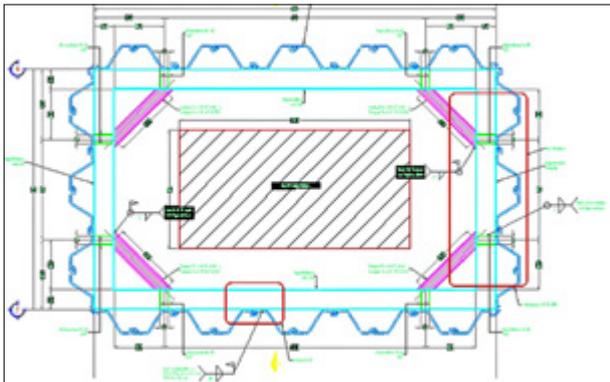


Figura 9. Geometría de lumbrera de llegada para recibir la microtuneladora.

Lumbrera de lanzamiento y llegada

Las lumbreras se ubican al centro del trazo del túnel; el confinamiento de las lumbreras se realizó a base de tablestaca tipo AZ19-700, con sistema de troquelamiento a base de perfiles W 14" × 90 lb/ft y troqueles tubulares tipo OC 12" × 0.375" y OC 8" × 0.25" (véase figura 8).

Las dimensiones de las lumbreras son las mínimas para que los equipos de microtuneleo puedan operar y salir,

considerando también las dimensiones de las estructuras definitivas de concreto.

Después del hincado de tablestaca y la colocación del sistema de troquelamiento, y antes de la excavación en el interior de los pozos, se deben realizar un par de pozos en el interior de la zona a excavar para aliviar la presión hidráulica debajo de un estrato de arcilla que puede ser susceptible de generar una falla en el fondo de la excavación.

Previamente a los trabajos de construcción del microtúnel, se realizaron una serie de análisis para asegurar la estabilidad de la excavación del frente, análisis de estabilidad del túnel y una revisión estructural de los tubos de concreto.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL FRENTE DE EXCAVACIÓN

Antes de la excavación de cada tramo de túnel, la tablestaca metálica de las lumbreras será cortada para el paso de la tuneladora; esto genera un alivio de esfuerzos en la masa del suelo por la eliminación del soporte, aun con la presión de empuje de la tuneladora. Por esa razón es necesario revisar la estabilidad del frente de excavación, para garantizar que sea estable durante la fase de cortado del muro de tablestaca en cada lumbrera.

De acuerdo con el criterio de Tamez, el factor de seguridad ante falla del frente de excavación sin soporte está dado por:

$$FS = \frac{2S_{m2} \frac{Z_d}{D} \left(\frac{D \sqrt{K_p}}{A} + 2.7 c \sqrt{K_p} + p_f K_p \right)}{\gamma H \left(\frac{A}{3H} + 1 \right) + q_s - p_f K_p}$$

donde:

S_{m2} = resistencia a la corte medida del suelo en las paredes del prisma rectangular sobre la cuña del frente

$$S_{m2} = K_f c + \frac{1}{2} K_f \phi [\gamma (H - Z_d) + q] \tan \phi = 1.383 \text{ t/m}^2$$

Z_d = altura de la zona de descarga = 1.7D; 3.264 m

D = ancho de la abertura: 1.92 m

K_p = coeficiente de empuje pasivo

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi/2^\circ) = 1.07$$

A = altura de la abertura: 1.92 m

c = cohesión del suelo: 1.30 t/m²

ϕ = ángulo de fricción interna del suelo: 2°

p_f = presión en el frente de la excavación: 0 t/m²

H = profundidad a la clave del túnel: 5.50 m

γ = peso volumétrico del suelo: 1.20 t/m³

q_s = sobrecarga a nivel de superficie: 2 t/m²

Además:

$$S_{m2} = K_f c + 0.17 [\gamma (H - z_d) + q] q = 27 c \sqrt{K_p} + p_f K_p - \frac{1}{2} \gamma A$$

$$K_f = (1 - \sin^2 \phi) / (1 + \sin^2 \phi)$$

$$K_p = [\tan^2 (45 + \phi/2)]$$

Tabla 2. Cálculo de momento resistente

Datos:				
$f'c=$	480 (kg/cm ²)		$f*c$ (kg/cm ²) = 384	
$f_y=$	4200 (kg/cm ²)		$f'c$ (kg/cm ²) = 326.4	
$h=$	16 (cm)	donde:		
$r=$	2.5 cm	recubrimiento		
$d=$	13.5 (cm)	peralte total de la sección		
$b=$	100 (cm)	peralte efectivo de la sección		
$s=$	24 (cm)			
#var=	2			
No. Var=	4.17 pzas.			
$A_s=$	1.32 (cm ²)			
CÁLCULO				
Cálculo del porcentaje de acero como viga balanceada				
Es importante que si falla, sea a tensión				
$p_{mín}=$	0.00365148			
$P_{bal}=$	0.03885714			
$p_{máx}=$	0.02914286			
Como $P= A_s /bd$, entonces:				
$P=$	0.00097744v	La viga falla a tensión (aceptada)		
$q=$	0.01257742			
$MR=$	6,6913	(kg-cm) =	0.67	(t-m)

En el caso en que no hay presión en el frente de excavación ($p_f = 0$), se tiene:

$$(FS = (cN1 + \gamma(H - zd - A/2) N2)) / (\gamma(A/3 + H) + qs)$$

donde:

$$N1 = 2.7\sqrt{(K_p)} + (2K_f + 0.92\sqrt{(K_p)})(1 + \sqrt{(K_p)}) zd/D$$

$$N2 = 0.34 (1 + \sqrt{(K_p)}) zd/D$$

Para el caso del túnel de 1.92 m de diámetro, sin considerar la presión en el frente de excavación, se tiene un factor de seguridad de 1.63, el cual es aceptable ($FS_{mín}=1.5$).

Estabilidad del frente mediante el método de relación de estabilidad:

De acuerdo con el criterio de Broms, el factor de seguridad (FS) de estabilidad está definido como:

$$FS = [6su] / (\gamma H_o - \sigma_T)$$

donde:

γ = peso volumétrico del suelo: 1.20 t/m³

su = resistencia al corte no drenada del suelo al nivel del eje del túnel: 1.50 t/m²

qs = sobrecarga a nivel de superficie: 2 t/m²

σ_T = presión de soporte del túnel

H_o = profundidad del eje del túnel: 4.11 m

Para el caso del túnel de 1.92 m de diámetro, considerando una presión de soporte nula, se tiene un valor de $FS = 1.82$,

el cual está por arriba del valor FS admisible de 1.5, por lo que se considera aceptable.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL MICROTÚNEL

La estabilidad general de los túneles se analizó mediante un modelo de elementos finitos en 2D, con ayuda del programa RS2. Las hipótesis generales consideradas en el modelo fueron:

Comportamiento elastoplástico del suelo, siguiendo el criterio de falla Mohr-Coulomb, de acuerdo con los parámetros del suelo reportados en la tabla 1.

El revestimiento primario del túnel se modela con elementos cascarón, considerando espesor de 0.16 m, $f'c = 480$ kg/cm², peso volumétrico de 2.4 t/m³, relación de Poisson de 0.2 y módulo de Young de 306,724.63 kg/cm².

Como condiciones de frontera, se restringió el desplazamiento en sentido horizontal en las fronteras laterales, mientras en la frontera inferior se restringió el desplazamiento en sentido vertical y horizontal.

La sobrecarga en la superficie se considera de 2 t/m², de acuerdo con lo estipulado en las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño de las Edificaciones del RCDF.

Condiciones hidrostáticas a partir de 1.60 m de profundidad de acuerdo con la ubicación del NAF.

Se estimó un factor de seguridad de 13.59, lo cual indica que la excavación es estable. Las deformaciones en las paredes del túnel son del orden de 0.7 cm, mientras que a nivel de superficie del terreno la deformación máxima es de aproximadamente 2.6 cm.

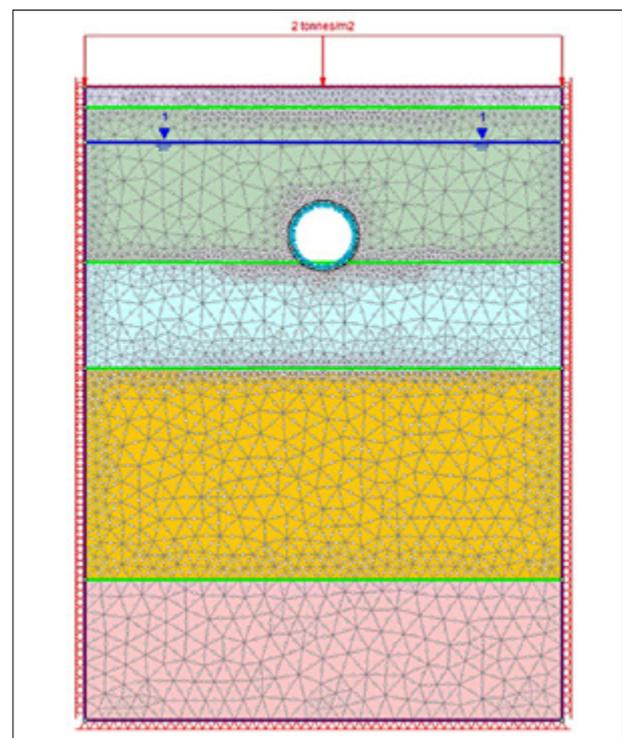


Figura 10. Malla de elementos finitos.

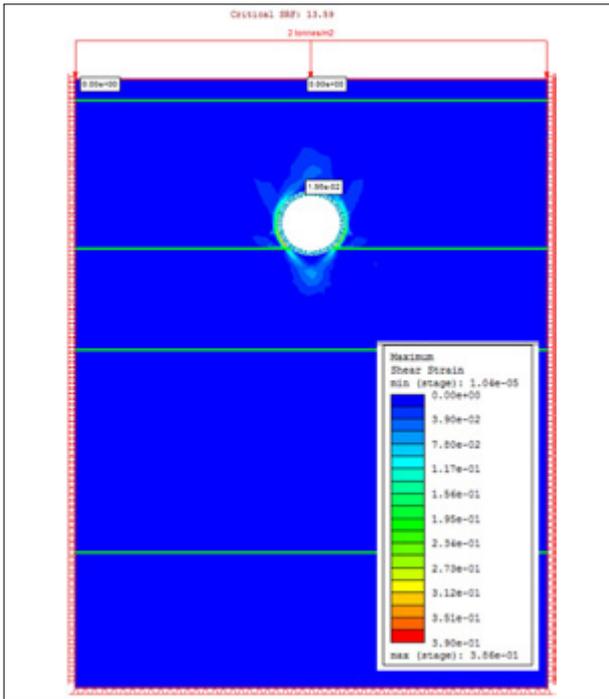


Figura 11. Máximas deformaciones al cortante.

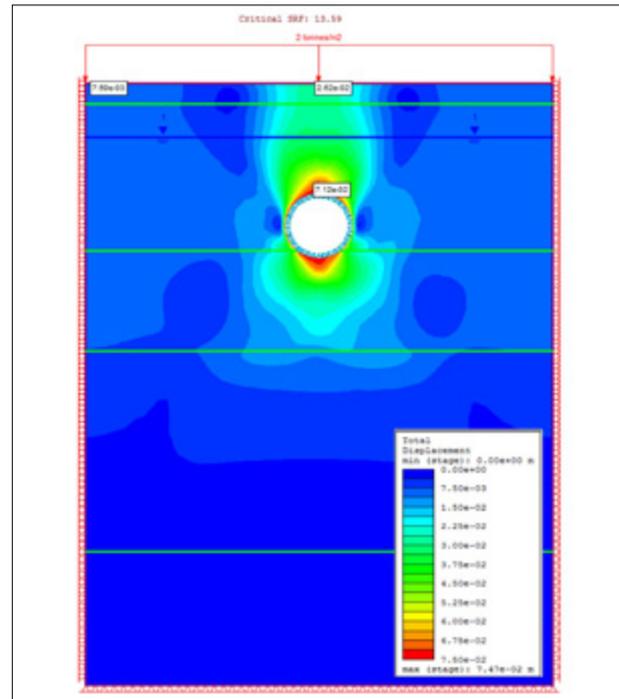


Figura 13. Deformaciones totales.

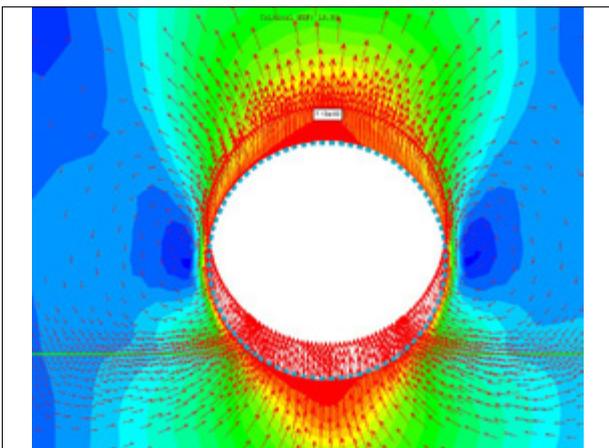


Figura 12. Vectores de desplazamientos.

REVISIÓN DE LOS TUBOS DE CONCRETO

Con base en los análisis realizados con el programa RS2, se calcularon los elementos mecánicos en el revestimiento primario de concreto lanzado.

A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Revisión por flexión

Considerando el uso de tubería de concreto reforzado grado 3 (480 kg/cm²), pared total, de acuerdo con la NMX-C-402-OOCCE, a continuación se presenta una sección transversal representativa, indicando el refuerzo correspondiente.

Con base en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño de Estructuras de Concreto, para un concreto $f'c$ de 480 kg/cm² y un espesor de pared del tubo de 16.0 cm, la ca-

pacidad última a flexión, considerando el refuerzo principal a base de varillas de 6 mm de diámetro a cada 24.0 cm, se calcula a continuación:

El refuerzo mínimo a flexión de las secciones de concreto reforzado se calcula con la siguiente expresión:

$$A_{Smin} = \frac{0.7 \sqrt{f'_c}}{f_y} bd$$

$$A_{Smin} = \frac{0.7 \sqrt{480}}{4200} 100 * 13.5 = 4.92 \text{ cm}^2$$

$$M_R = F_R A_s f_y d (1 - 0.5q)$$

$$q = \frac{p^* f_y}{f'_c}$$

$$p = \frac{A_s}{bd}$$

El cálculo de momento resistente se incluye en la tabla 2.

Considerando el factor de carga de 1.5, se tiene un momento último máximo de $0.047 \times 1.5 = 0.0705$ t-m, menor que el momento resistente estimado de 0.67 t-m.

Revisión por cortante

El esfuerzo cortante resistente del anillo puede estimarse como:

$$V_{CR} = FR \times 0.5 \sqrt{4.80} = 8.21 \text{ kg/cm}^2$$

Para el caso del espesor de 0.16 m, con $f'c$ de 480 kg/cm², se tiene:

$$V_{CR} = 0.75 (0.5) \sqrt{4.80} = 8.21 \text{ kg/cm}^2$$



Figura 18. a) Maniobra de montaje de microtuneladora en lumbrera de lanzado a un costado de la lateral del Circuito Interior; b) posición de la microtuneladora en lumbrera de lanzado después del corte de la tablestaca metálica; c) posición de la microtuneladora, gatos para empuje de tubería de concreto y sistema de rezaga de material.

CONCLUSIONES

El empleo de este método para la construcción del microtúnel permitió realizar sólo tres lumbreras para los 1,035 m de longitud. También hizo posible modificar el trazo con tramos ligeramente curvos para evitar la construcción de más pozos verticales, y sobre todo para evitar que el túnel quedara debajo de la zona de viviendas.

El uso de un escudo tipo EPB permite ejecutar avances de hasta 500 m sin la necesidad de realizar un paro para hacer intervenciones a la rueda de corte, ya que esto puede hacerse desde su interior.

El cambio de trazo y la reducción en la construcción del número de pozos permitieron reducir los tiempos de ejecución de nueve a siete meses, lo que generó un ahorro en tiempo y costo para el proyecto.

Mediante el control de procesos de la máquina para la excavación del microtúnel se puede llevar un control de la fuerza de empuje en el frente de excavación, un control de la presión de inyección de bentonita y también se puede realizar una corrección oportuna de las desviaciones horizontal (h) – vertical (z) de la máquina tuneladora. También es posible tener un control sobre el proceso de fabricación, las características, volumen y presión de inyección del lodo bentonítico que sirve para lubricar la tubería durante el proceso de hincado.

Como parte de los alcances del proyecto se realizaron verificaciones del frente de excavación para determinar si es estable durante los trabajos de corte de tablestaca para el paso de la microtuneladora; para ello se obtuvo un factor de seguridad de 1.63, mayor al 1.5 permisible.

También se realizaron análisis de estabilidad de los túneles, y se obtuvo un factor de seguridad de 13.59, lo cual indica que la excavación es estable. Las deformaciones en las paredes del túnel son del orden de 0.7 cm, mientras que a



Figura 19 a) Vista interior del microtúnel; b) vista de la rueda de corte a través de la tablestaca metálica; c) salida de la microtuneladora a la lumbrera de llegada.

nivel de superficie del terreno la deformación máxima es de aproximadamente 2.6 cm.

También es fundamental realizar la revisión estructural de la tubería de concreto para validar el diseño, debido a que se sometió a presiones de 700 t. Se concluye que la fuerza máxima de empuje es menor a la carga axial resistente de la tubería de concreto de 2,169 t.

Con los análisis de estabilidad del túnel se obtuvieron los elementos mecánicos en servicio de la sección del tubo de concreto. Con el refuerzo del tubo se realizó una verificación del armado y de la resistencia de la sección de concreto del túnel, de lo cual se concluye que el momento último máximo de $0.047 \times 1.5 = 0.0705$ t-m es menor que el momento resistente estimado de 0.67 t-m, y que el cortante último máximo de $0.17 \times 1.5 = 0.255$ t es menor que el cortante resistente estimado de 11.08 t ↔

Agradecimientos

Agradecemos a los constructores y dueños del proyecto por compartir sus experiencias durante la construcción del microtúnel.

Este trabajo, con el título “Construcción de un microtúnel de 1.52 m de diámetro mediante el método de tubería hincada en Zona de Lago de la Ciudad de México” fue presentado en el 6º Simposio Internacional de Túneles y Lumbreras en Suelos y Rocas.

Apreciamos su opinión e información sobre el tema de este artículo. Escribanos a helios@heliosmx.org

TESIS

[IR A TEXTO CORRIDO](#)

Estudio del comportamiento deformacional y de propagación de grietas de un suelo fino con inclusiones de fibra de polietileno tereftalato (PET)

Tesis de **Carolina Hernández Valerio** para obtener el título de doctora en Ingeniería
Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México
Asesor: Eduardo Botero Jaramillo

El problema de agrietamiento del suelo constituye un importante factor de riesgo que debe ser evaluado para definir medidas de protección y de coexistencia. La presencia real o el potencial de grietas debe tomarse en cuenta en el diseño de construcciones e instalaciones para evitar o disminuir el daño que pueden ocasionar a las edificaciones. Para disminuir el potencial de agrietamiento del suelo, se ha propuesto la incorporación de fibras de PET en suelos finos, a fin de que estas ayuden a tomar los esfuerzos de tensión producidos por el agrietamiento de suelos. Acerca de este tema, no existen suficientes estudios teóricos o experimentales registrados en la bibliografía que ahonden en el comportamiento de suelos con fibras de PET.

Por lo anterior, esta investigación se concentra en el conocimiento de los mecanismos y variables más relevantes que intervienen en el agrietamiento de un suelo fino reforzado con fibra de PET y en su comportamiento deformacional al variar el contenido de fibra con respecto al peso del suelo seco. Para ello, se analizaron varios modelos de predicción de agrietamientos y se formuló un programa experimental sobre un limo de alta plasticidad mezclado con diferentes porcentajes de fibra de PET (0, 0.1, 0.3, 0.5 y 0.7%), obtenido en el antiguo Lago de Texcoco en el Estado de México, donde ocurren problemas de agrietamiento.

Al analizar diferentes modelos de agrietamiento se pudieron determinar ciertas propiedades del suelo que se requieren para hacer el seguimiento del fenómeno, como son las características de deformabilidad ante esfuerzos de tensión, la resistencia a la tensión y los parámetros de mecánica de fractura. Estas características fueron evaluadas mediante la realización de pruebas triaxiales estáticas y dinámicas tipo UU (no consolidadas no drenadas), pruebas de columna resonante, pruebas de flexión

para determinar la resistencia a la tensión y los parámetros de mecánica de fractura y observaciones morfológicas del agrietamiento con ayuda de una cámara ambiental desarrollada en la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).

En los resultados se observó que, de acuerdo con las gráficas esfuerzo-deformación obtenidas en las pruebas triaxiales UU, la resistencia a la compresión se acrecienta con respecto al contenido de fibra en todas las presiones de confinamiento para deformaciones unitarias mayores al 15%. Por otra parte, para deformaciones unitarias menores de 15%, el contenido de fibra óptimo varía dependiendo de la deformación seleccionada, ya que las fibras de las probetas con menores contenidos de fibra (0.1 y 0.3% de fibra) comienzan a actuar a menores deformaciones en comparación con las de mayor contenido (0.5 y 0.7% de fibra).

Por otro lado, el comportamiento de la degradación del módulo de rigidez con la deformación angular es el mismo para todas las probetas ensayadas; la rigidez dinámica comienza a degradarse alrededor de 0.01% de deformación angular. Además el módulo de rigidez aumenta respecto al aumento de la presión de confinamiento. El valor más alto del módulo de rigidez máximo se observó en las probetas con un contenido de fibra del 0.3%.

Acerca de los parámetros de mecánica de fractura, se concluyó que los suelos reforzados estudiados con fibras adquieren resistencia a la propagación de las grietas para todos los contenidos de fibra. Este incremento de resistencia presenta un máximo en 0.5% de fibra y posteriormente disminuye de manera gradual; se estima que para contenidos de fibra mayores que 0.7, la propagación de las grietas podría ser mayor que para un suelo sin fibra.

También se observó que, en las muestras secadas al aire, se presentó un cambio significativo en el patrón de agrietamiento del suelo debido a la presencia de fibras con 0.5, 0.2, 0.1 y 0.005%. Si bien se forman grietas anchas y largas en el suelo no reforzado, la adición de fibras controla la apertura de ensanchamiento de grietas, el área agrietada y la propagación de grietas a través de la acción de las fibras. Las fibras disminuyeron la conectividad de las redes de agrietamiento ❖❖

EXPERIENCIA
CALIDAD
COMPROMISO



PERFORADORA SÓNICA
LS250 y 50K OPCIÓN



WWW.BOARTLONGYEAR.COM





México a través de los sismos 2022

Los días 19 y 20 de septiembre de 2022 se llevó a cabo en las instalaciones del Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM) la cuarta edición de México a través de los sismos, en esta ocasión con el lema "Lecciones aprendidas a cinco años de los sismos de 2017". El acto fue organizado por la SMIG y por los institutos de Ingeniería y de Geofísica de la UNAM, el Servicio Sismológico Nacional, la Asociación Mexicana de Directores Responsables de Obra y Corresponsables, el CICM, la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural y la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.

Los asistentes pudieron visitar en la exposición los stands de diferentes organizaciones empresariales relacionadas con el evento; allí, tanto los asistentes como los representantes de los servicios o productos exhibidos intercambiaron información de acuerdo con sus necesidades técnicas y comerciales.

Por parte de cada una de las instituciones y de las sociedades técnicas participaron expositores especializados en los temas que se presentaron: aspectos sísmicos y sismológicos, geotécnicos y estructurales, normativos y socioeconómicos, así como el protocolo de inspección postsísmica; en cada sesión se destinó tiempo para compartir comentarios, preguntas y respuestas. Participaron en las actividades, entre otras personalidades, Sergio Alcocer Martínez de Castro, Renato Berrón Ruiz, Shri Krishna Singh y Roberto Meli Piralla. Las presentaciones de los miembros de la SMIG, coordinados por Raúl Aguilar Becerril, se refirieron a los antecedentes, daños, potencial, evaluación y mitigación del fenómeno de licuación de los suelos.

A las 12:19 h del 19 de septiembre se realizó el Simulacro Nacional 2022, y 46 minutos después se registró un sismo con magnitud de momento de 7.7; el tiempo de evacuación de las instalaciones del CICM disminuyó en 60 segundos con respecto al registrado en el simulacro.

Para concluir el evento, se tuvo la oportunidad de intercambiar experiencias y conocimientos en una mesa de diálogo, que finalizó con un mensaje de Roberto Avelar Cajiga en repre-



Roberto Avelar Cajiga, Roberto Meli Piralla y Héctor Guerrero Bobadilla.

sentación de los organizadores, en el que puso énfasis en las responsabilidades que deben atender el gremio de la ingeniería civil, las autoridades gubernamentales y la sociedad, con el propósito de reducir los siniestros provocados por el fenómeno sísmico y que la resiliencia sea más efectiva ➡

Bienvenidos, nuevos socios

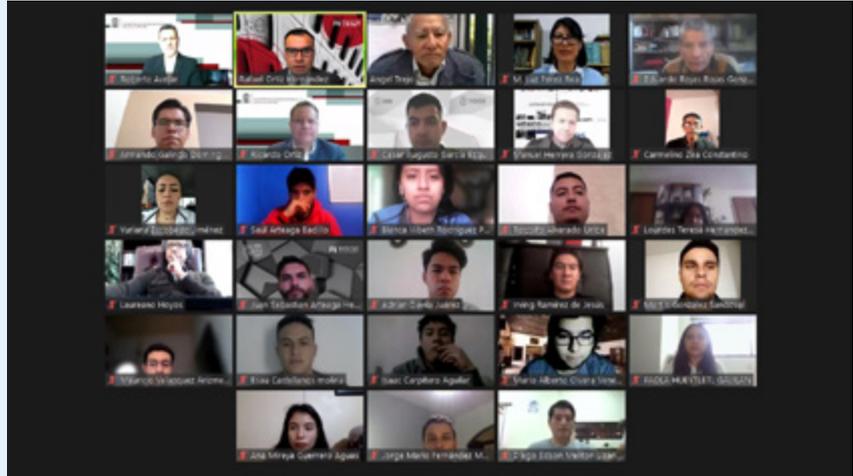
- José Mauricio Alcaraz Barranco
- Julio César Chable Moreno
- Alejandro Rafael Gutiérrez Ramírez
- César Alonso Lozano Contreras

- Jaime Enrique Lozano Contreras
- Daniel de la Rosa Arenas
- Óscar Ruiz Valdivia

Tercer simposio internacional de suelos no saturados

Los días 20 y 21 de octubre se realizó de manera virtual el Tercer Simposio Internacional de Suelos no Saturados, organizado conjuntamente por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), la Delegación Regional de la SMIG en Querétaro, el Comité Técnico de Suelos no Saturados y el Capítulo Estudiantil de la UAQ ante la SMIG.

El primer día se inició con la presentación del simposio, coordinado por Rafael Ortiz Hernández, presidente del capítulo estudiantil. Las palabras de bienvenida estuvieron a cargo de Ángel Trejo Modano, vicepresidente de la delegación regional Querétaro, y de Roberto Avelar



Cajiga, presidente de la SMIG. En el presidium también estuvieron el representante de la Mesa Técnica de Suelos no Saturados de la SMIG, Eduardo Rojas, quien es también coordinador de la Maestría de Geotecnia en la UAQ, y Ricardo Ortiz, secretario de la Mesa Directiva de la SMIG. La conferencia inicial, "Respuesta de rigidez-deformación de suelos cohesivo-friccionantes compactados por medio de pruebas de columna resonante y anillo de corte con controles térmicos", fue

impartida por Laureano R. Hoyos, de la Universidad de Texas en Arlington, EUA.

La segunda conferencia, "Modelado de la microestructura para predecir la resistencia tensional y cambio de volumen en suelos no saturados usando esfuerzos efectivos", estuvo a cargo de Hiram Arroyo, de la Universidad de Guadalajara.

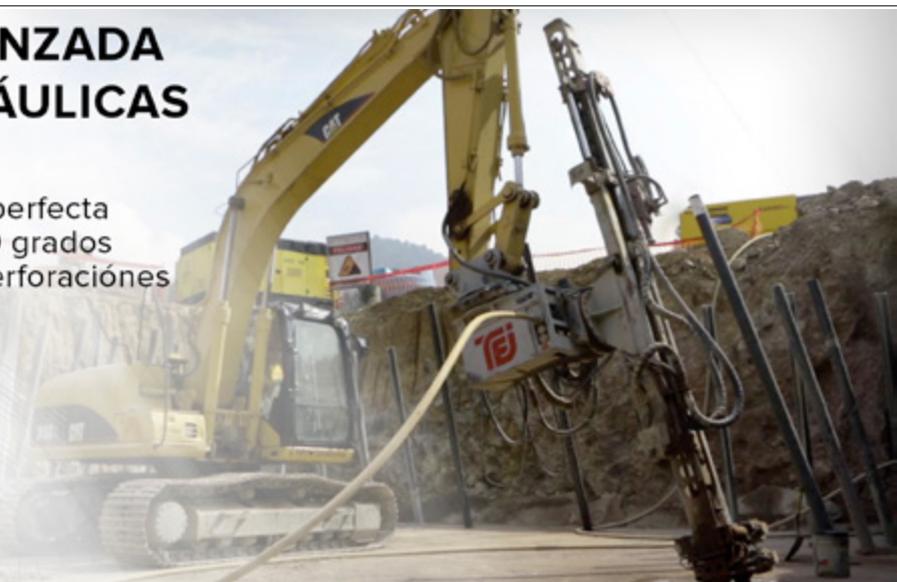
"Un modelo acoplado para suelos expansivos" fue la tercera conferencia, impartida por Elizabeth Silva García de la Universidad Anáhuac de Querétaro.

IR A TEXTO CORRIDO

LA TECNOLOGÍA MÁS AVANZADA EN PERFORADORAS HIDRÁULICAS

Las perforadoras HEM son la mezcla perfecta de lo moderno y eficiente, su rotor de 360 grados le otorga gran versatilidad para realizar perforaciones en cualquier ángulo

promotoraberma.com / 33.3496.5147



En las tres conferencias hubo sesiones interactivas donde la audiencia, conformada por participantes de toda América Latina y de universidades nacionales, pudo enviar sus preguntas a los ponentes y obtuvieron respuestas interesantes y reveladoras del tema.

El segundo día arrancó con dos conferencias magistrales en inglés: "Relevance of elasto-plastic unsaturated soil theory to practical problems in mining", presentada por Paul Simms, de la Universidad de Alberta, Canadá, y "Compression behavior of unsaturated soils during cyclic shearing" por John McCartney de

la Universidad de California, EUA; en ambos casos hubo traducción simultánea al español, incluyendo las sesiones de preguntas y respuestas.

Posteriormente se presentaron ponencias de colegas mexicanos: "Diseño de estructuras en suelo reforzado y refuerzo de rellenos sobre suelos con paraproductos", por Edson Hernández de la empresa Maccaferrri; "Mechanical behavior description of a rockfill subjected to controlled suction tests in a triaxial chamber, using simple theoretical equations emerged from the Principle of Natural Proportionality", por Carmelino Zea Constantino del

Instituto de Ingeniería de la UNAM, y la última conferencia, "La ruta del derrumbe", fue presentada por Jorge Alberto Muñoz Escudero, con su respectiva sesión de preguntas y respuestas.

Al final de segundo día, el simposio se clausuró con unas palabras de Eduardo Rojas, de la UAQ, quien invitó a los estudiantes a continuar especializándose en los suelos no saturados por medio de estudios de posgrado; mencionó que la Universidad Autónoma de Querétaro es pionera, entre los programas de posgrado de geotecnia, en el estudio e investigación de este campo en México 

XXII Reunión Nacional de Profesores de Ingeniería Geotécnica y XXXI Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica

El 16 de noviembre de 2022 se desarrollaron las actividades de la XXII Reunión Nacional de Profesores de Ingeniería Geotécnica (XXII RNPIG) en la ciudad de Guadalajara, Jalisco. La inauguración estuvo a cargo del presidente de la SMIG, Roberto Avelar Cajiga, quien dio la bienvenida a todos los asistentes. Posteriormente, Jorge Elías Alva Hurtado impartió la Cuarta Conferencia "Eulalio Juárez Badillo". El programa continuó, según lo planeado, con dos sesiones técnicas, la primera titulada "Diseño de asignaturas y actividades para el aprendizaje" y la segunda, "Innovación de enseñanza", con tres ponentes cada una. Al concluir la segunda sesión se llevó a cabo la toma de la fotografía grupal del evento en la terraza norte del hotel sede, y en seguida se ofreció una comida. Para concluir con el evento, se llevaron a cabo dos sesiones más: "Pandemia" y "Uso de la tecnología en la docencia", con tres y dos ponentes, respectivamente.

De forma paralela a las sesiones, se impartieron cuatro cursos precongreso: "Métodos de exploración geotécnica y geofísica. Ventajas, desventajas, aplicaciones y comparación de resultados entre ambos métodos", "Aplicaciones geotécnicas de mejoramiento y refuerzo de suelos usando geosintéticos", "Taller de elementos de acero aplicado a soluciones geotécnicas" y "Apli-

cación y diseño con geosintéticos para refuerzo de caminos y carreteras con enfoque empírico-mecanicista", que tuvieron un total de 117 asistentes.

Como parte de las actividades de la XXII RNPIG, se llevaron a cabo el Reto en Geotecnia y las eliminatorias de la V Olimpiada en Geotecnia. Para concluir con las actividades del día, se ofreció un coctel de bienvenida en el área de la ExpoGeotecnia 2022, en la que participaron 30 empresas relacionadas con la geotecnia y donde los asistentes convivieron con gran entusiasmo luego de cuatro años de no haber podido hacerlo a causa de la pandemia. Hubo asistentes de Chile, Colombia, Ecuador, Líbano, México, Noruega, Perú, Suecia y Venezuela.

Aunque las actividades de la XXII RNPIG concluyeron, la SMIG continuó su participación en Guadalajara con la XXXI Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica (XXXI RNIG), que se llevó a cabo del 17 al 19 de noviembre. Fue inaugurada por el presidente de la SMIG en compañía del presidente de la ISSMGE, Marc Ballouz; ambos dirigieron a los asistentes unas palabras de bienvenida y agradecimiento. Posteriormente, como es costumbre, se llevó a cabo la Conferencia "Nabor Carrillo", esta vez en su edición número 26, que fue dictada por la profesora Suzanne Lacasse; al concluir esta, se llevaron a cabo dos bloques de sesio-



Inauguración de la ExpoGeotecnia por Roberto Avelar Cajiga, presidente de la SMIG, y Marc Ballouz, presidente de la ISSMGE.



Inauguración de la XXXI RNIG. Roberto Avelar Cajiga, presidente de la SMIG, invitados especiales y Comité Organizador de la RNIG.



Fotografía grupal de la XXII Reunión Nacional de Profesores de Ingeniería Geotécnica.

nes con tres mesas técnicas cada una, y al finalizar las sesiones se tomó la fotografía grupal del evento en la terraza norte del hotel. Para concluir con las actividades técnicas del primer día, se efectuó una sesión más con tres mesas simultáneas. Las actividades del día concluyeron con una cena, donde se premió a los ganadores del III Reto en Geotecnia y de la V Olimpiada en Geotecnia.

El segundo día de actividades técnicas se inició con la participación de Rigoberto Rivera Constantino, quien dictó la Sexta Conferencia "Leonardo Zeevaert"; continuó con tres bloques de sesiones técnicas, cada una con tres mesas simultáneas, y para concluir, la profesora Minna Karstunen impartió la Décima Conferencia "Raúl J. Marsal".

Al final del día tuvo lugar una cena de gala en la que se llevó a cabo la final y premiación del Geomaratón. Posteriormente se rindió homenaje a todos los asociados que lamentablemente fallecieron durante la gestión de la actual Mesa Directiva de la SMIG, con un reconocimiento especial para Gabriel Moreno Pecero, Raúl Vicente Orozco Santoyo, Daniel Reséndiz Núñez y Federico Mooser Hawtree, quienes fueron presidentes, socio honorario y socio de la SMIG, respectivamente. Finalmente se entregaron los premios Manuel González Flores, cuya categoría de Enseñanza quedó desierta. En las categorías de Investigación y Práctica Profesional, los ganadores fueron Alfonso Fernández Lavín y Carlos Omar Vargas Moreno, respectivamente.



Jorge Elías Alva Hurtado impartiendo la Cuarta Conferencia “Eulalio Juárez Badillo”.



Suzanne Lacasse dictó la 26 Conferencia “Nabor Carrillo”.



Fotografía grupal de la XXXI RNIG.



La Sexta Conferencia “Leonardo Zeevaert Wiechers” fue impartida por Rigoberto Rivera Constantino.



Minna Karstunen dictó la Décima Conferencia “Raúl J. Marsal”.

El tercero y último día de la XXXI RNIG arrancó con la mesa titulada “Ingenieras geotecnistas”, presidida por Mariana Gómez Pérez, con la participación de Suzanne Lacasse, Minna Karstunen, Lucky Nagarajan, Norma Patricia López Acosta y Viviana Cruz Méndez, quienes compartieron su experiencia profesional en el ámbito de la geotecnia. De forma simultánea se llevaron a cabo las Sesiones Técnicas Comerciales. Posteriormente se presentaron los libros conmemorativos del 65° Aniversario de

la SMIG, para dar paso a la clausura de las actividades técnicas. Luego de ello se realizó la Asamblea General de Asociados, y allí se dieron a conocer los resultados de las votaciones para la conformación de la próxima Mesa Directiva de la SMIG. Además, los asociados votaron para nombrar a Suzanne Lacasse y a Efraín Ovando Shelley miembros honorarios de la SMIG.

Los presidentes de las 18 mesas técnicas que se presentaron en este magno evento fueron:



Premiación del Geomaratóon.

Depósitos mineros Osvaldo Flores Castellón	Suelos no saturados Eduardo Rojas González
Ingeniería geotécnica sísmica Raúl Aguilar Beceril	Obras subterráneas Luis Bernardo Rodríguez González
Exploración y ensayos de laboratorio Enrique Ibarra Razo	Vías terrestres Gerson Vázquez Salas
Modelación numérica Miguel Ángel Mánica Malcom	Cimentaciones profundas Manuel Jesús Mendoza López
Interacción suelo-estructura Agustín Demeneghi Colina	Geotecnia costa fuera Celestino Valle Molina
Mejoramiento de suelos Daniel Martínez Oviedo	Ingeniería geotécnica forense Héctor Manuel Valverde Landeros
Presas Juan de Dios Alemán Velásquez	Caracterización geotécnica de ciudades Moisés Juárez Camarena
Mecánica de rocas Ricardo Ortiz Hermsillo	Suelos blandos Efraín Ovando Shelley
Práctica profesional Alberto Cuevas	Flujo de agua en suelos Norma Patricia López Acosta

Para cerrar las actividades de la XXXI RNIG, se llevó a cabo una comida, amenizada por música de mariachi en vivo, y por la noche los asistentes bailaron con música de DJ.

El Comité Organizador de la XXXI RNIG y de la XXI RNPIG estuvo formado por:

Roberto Avelar Cajiga	Gabriel Arturo Núñez Ruelas
Ricardo Enrique Ortiz Hermsillo	Gabriel Polanco Sotomayor
Raúl Fernando Verduzco Murillo	Gil Humberto Ochoa González
Francisco Alonso Flores López	José Sergio Carmona Ruvalcaba
Daniel Martínez Oviedo	Julio César Conde Barajas
Miguel Ángel Mánica Malcom	Pablo Enrique Zamudio Zavala
Aquiles J. Morales González	Pedro Alonso Mayoral Ruiz
Juan Luis Umaña Romero	Pedro Gerardo Hernández Juárez
Carlos Roberto Torres Álvarez	Renata Alejandra González Rodríguez



Al centro, Carlos Omar Vargas Moreno y Alfonso Fernández Lavín, ganadores del Premio Manuel González Flores (Investigación y Práctica Profesional). A la izquierda, Marc Ballouz; a la derecha, Roberto Avelar Cajiga.

Finalmente, se expresa el mayor agradecimiento al personal operativo de la SMIG, que apoyó intensamente con la organización de este evento: Brenda M. Aguilar Sillis, gerente; Beatriz Morales Navarro y Verónica Aguilar Cruz, apoyo a la Gerencia. También se agradece la destacada colaboración de las empresas Grupo Ecodsa y Punto Zip. Se puede acceder al video de la memoria de las reuniones en la liga smig.org.mx/archivos/rnig-2022/RNIG-2022-Videomemoria.mp4



La Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A. C.

lamentamos profundamente el fallecimiento del ingeniero

Roberto Avelar López

Miembro honorario de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, ahora Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica

Expresamos nuestras más sentidas condolencias por esta irreparable pérdida.

DESCANSE EN PAZ

Noviembre 2022

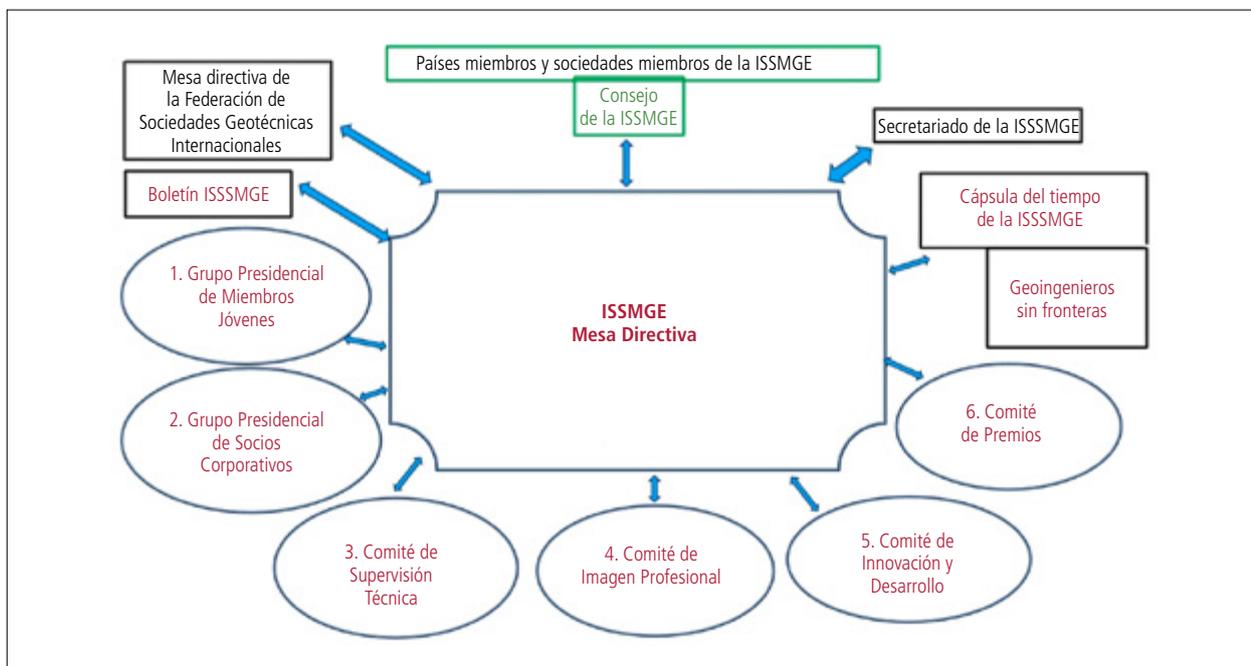


Noticias de la Vicepresidencia por Norteamérica de la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica

El 4 de septiembre de 2022 se llevó a cabo la primera reunión presencial de la Mesa Directiva de la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica (ISSMGE, sus siglas en inglés) luego de un extenso periodo en que por razones sanitarias se tuvieron que suspender. La reunión se efectuó en la ciudad de Londres, Inglaterra, en las instalaciones del Imperial College, en el marco del 11° Simposio Internacional de Monitoreo en Campo en Geomecánica, organizado por el Comité Técnico TC220 (Field Monitoring in Geomechanics). Se contó con la asistencia de los siguientes miembros de la Mesa Directiva:

EN PERSONA	
Mesa Directiva ISSMGE	
Marc Ballouz	Presidente
Marawan Shahien	Vicepresidente, África
Keh-Jian (Albert) Shou	Vicepresidente, Asia
Graham Scholey	Vicepresidente, Australasia
Walter Paniagua	Vicepresidente, Norteamérica

André Assis	Vicepresidente, Sudamérica
Yuli (Chaido) Doulala-Rigby	Miembro
Daniela Pollak	Miembro
Dimitrios Zekkos	Miembro
R. Neil Taylor	Secretario general
Comités ISSMGE nivel mesa directiva:	
Ashe Cooper	Chair, Grupo Presidencial de Jóvenes
Peter Day	Chair, Grupo Presidencial de Asociados Corporativos
Marcelo Sánchez	Chair, Comité de Supervisión Técnica
Loretta Batali	Chair, Comité de Premios
A DISTANCIA	
Charles W.W. Ng	Último presidente, ISSMGE
Lyesse Laloui	Vicepresidente, Europa
Mona Badr El Din	Chair, Comité de Imagen Profesional
Anthony Leung	Boletín



Estructura de la ISSMGE a partir de 2022.



Asistentes a la junta en Londres, 4 septiembre 2022. De izquierda a derecha: Marc Ballouz (Líbano), Marcelo Sánchez (Argentina-EUA), Marawan Shahien (Egipto), Peter Day (Sudáfrica), Albert Shou (Taiwán), Neil Taylor (Reino Unido), Ashe Cooper (Nueva Zelanda), Daniela Pollak (Chile), Graham Scholey (Australia), Walter Paniagua (México), Loretta Batali (Rumania), André Assis (Brasil) Yuli Coulala-Rigby (Turquía) y Dimitrios Zekkos (Grecia-EUA).



Walter I. Paniagua dirigiendo un mensaje a la audiencia en el Congreso GeoCalgary 2022 y con Michel Aubertin e Ian Moore.

Se discutieron y comentaron aspectos de la operación de la ISSMGE, incluyendo reporte financiero, nueva estructura de la sociedad (véase figura 1), informe de actividades y plan de trabajo de los vicepresidentes de las diferentes regiones y presentaciones de los comités nivel mesa directiva.

GEOCALGARY 2022

Del 2 al 5 de octubre se llevó a cabo el Congreso Nacional Canadiense de Geotecnia (GeoCalgary 2022) en la ciudad de Calgary, en Alberta, con el tema general "Reflexión sobre los recursos", organizado por la Sociedad Geotécnica de ese país. Acudieron alrededor de 600 personas en un ambiente de mucha camaradería, tomando en cuenta que fue el primer evento presencial realizado en Canadá después de la pandemia de SARS-CoV2.

El primer día se impartieron cinco cursos precongreso: Diseño de cimentaciones piloteadas, Diseño y construcción de estructuras mecánicamente estabilizadas, Geotecnia de ductos, Análisis del terreno e Ingeniería de rocas en terrenos montañosos.

El 3 de octubre se inició con la conferencia Hardy, impartida magistralmente por Jocelyn Hayley con el título "Desconge-



El 4 de octubre se llevó a cabo una sesión especial para conmemorar el 75° aniversario de los congresos de la CGS, con intervenciones a cargo de Doug VanDine, quien presentó brevemente la historia de la CGS y sus mesas directivas; Heinrich Heinz y Sarah Verwey, con la historia de la geotecnia en Calgary, y Suzanne Lacasse, con la conferencia "Los siguientes 75 años: formando nuestro futuro".

miento del permafrost en un clima cambiante: una perspectiva geotécnica", después de lo cual se desarrollaron cinco sesiones simultáneas. Durante la ceremonia de inauguración, el primer vicepresidente de la ISSMGE por Norteamérica,

Walter Paniagua, tuvo la oportunidad de dirigir un mensaje a la audiencia.

El 3 de octubre, Paniagua acudió a la reunión de “Mujeres en Geotecnia”, a la que asistieron más de 60 personas. Además, se reunió con funcionarios de la CGS: los presidentes actual y electo, Ian Moore y Rob Kenyon, respectivamente, así como el director Michel Aubertin y las tesoreras actual y electa Andrea Lougheed y Éliane Cabot. Se establecieron varios com-

promisos con la ISSMGE, como la producción de un seminario web y la inclusión de miembros de la CGS en comités técnicos, entre otros.

Continuaron las sesiones técnicas, en las que se incluyó la presentación de la 5ª edición del Manual Canadiense de Cimentaciones, que es una publicación muy utilizada y que tiene correspondencia con los reglamentos de construcción en Canadá ❖

Capítulos estudiantiles

IR A TEXTO CORRIDO

Programa de Posgrado e Investigación de la FI UNAM

El 23 de septiembre pasado se realizó la toma de protesta al Capítulo Estudiantil del Programa de Posgrado e Investigación de la Facultad de Ingeniería de la UNAM ante la SMIG. El acto se llevó a cabo en modalidad presencial y vía remota en el auditorio “Emilio Rosenblueth” del Instituto de Ingeniería de la UNAM. La inauguración formal estuvo a cargo del coordinador de Capítulos Estudiantiles ante la SMIG, Daniel Martínez.

Posteriormente, la directora del II UNAM, Rosa María Ramírez Zamora, dio la bienvenida destacando los retos que enfrentan los alumnos de la Maestría en Ingeniería, y subrayó que sociedades como la SMIG puedan apoyar a los alumnos en su desarrollo profesional. Inmediatamente después, la tutora del

capítulo estudiantil entrante, Alexandra Ossa López, ofreció un mensaje de bienvenida al público en general y destacó la conformación de la mesa directiva, con mujeres en su mayoría. Además, invitó a la comunidad a participar en las actividades de la SMIG que forman parte de su desarrollo profesional. Posteriormente, el presidente de la SMIG dirigió unas palabras de agradecimiento y apoyo a los profesionales que se dedican día a día a la mejora continua de métodos y tecnologías educativas que contribuyen al desarrollo de la geotecnia y del país.

Después se dio paso a la presentación de la conferencia “Estructuras termoactivas e importancia del flujo de agua en su diseño”, dictada por Norma Patricia López Acosta.

En seguida se llevó a cabo la toma de protesta a los integrantes de la mesa directiva del capítulo estudiantil de posgrado, representados por el presidente, Manuel J. Barroso Morales, quien primeramente agradeció a la SMIG, a la comunidad estudiantil y a los profesores la oportunidad de presidir la mesa directiva. Destacó el compromiso y la responsabilidad como presidente, planteando como objetivos principales el transmitir, promover, divulgar y ampliar los conocimientos geotécnicos entre la comunidad estudiantil mediante cursos, talleres y visitas a proyectos para enriquecer el aprendizaje continuo de los futuros profesionistas en geotecnia. Barroso presentó el plan de trabajo y al equipo que conformará la Mesa Directiva 2022-2023, cuyo vicepresidente será Alexander Aguilera, con Viviana Cruz como secretaria y Kenia Herrera y Yoali Cano como vocales.

Al concluir la toma de protesta, Daniel Martínez reiteró su disponibilidad para trabajar con los integrantes del capítulo estudiantil y contribuir a la difusión de la importancia que tiene la geotecnia en proyectos de ingeniería ❖



Roberto Avelar Cajiga, Daniel Martínez, Rafael Ortiz, Walter I. Paniagua, Raúl Fernando Verduzco Murillo



CREAMOS SOLUCIONES INTEGRALES CON PILOTES DE ACERO PARA CIMENTACIONES PROFUNDAS

VENTAJAS DE CONSTRUIR CON PILOTES DE ACERO

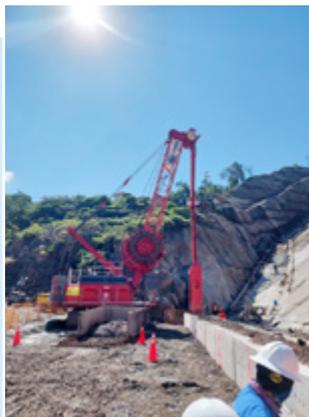
- Calidad desde su fabricación
- Simplificación logística
- Facilidad y rapidez en el hincado
- Alta resistencia pilote vs. Terreno
- Fabricación y ejecución sustentable
- Idóneo para trabajar en espacios reducidos
- Optimización de la mano de obra
- Inicio inmediato con la superestructura

CONTACTO

☎ 55 46 01 47 00

✉ pilotes@gerdau.com

gerdaucorsa.com.mx



www.cimesa.net





LA

CONFÍA EN GEOPIER®

