Criterios de diseño de túneles urbanos y su relación con las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México: una revisión crítica

Héctor Abraham ARIAS BAUTISTA
Estudiante de la Maestría en Ingeniería Civil con Orientación en Túneles y Obras Subterráneas, UNAM.
Vicepresidente de Difusión en la IV Mesa Directiva del GIJ.

Resumen

La construcción de túneles urbanos en entornos densamente poblados, como la Ciudad de México, representa uno de los retos más complejos en materia de infraestructura (Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas, 2012). El presente trabajo expone un avance de investigación enfocado en el análisis de los criterios y acciones de diseño en proyectos de túneles y sus accesos, con el objetivo de aportar elementos para la evaluación y eventual actualización de las Normas Técnicas Complementarias (NTC) vigentes. A través de una revisión normativa y técnica de carácter internacional, se busca establecer una perspectiva de análisis para valorar la suficiencia y aplicabilidad de las disposiciones actuales, en un entorno urbano caracterizado por condiciones geotécnicas complejas y alta vulnerabilidad estructural.

Introducción

El crecimiento urbano acelerado y la necesidad de soluciones sostenibles de movilidad han hecho de los túneles una alternativa fundamental para las ciudades modernas (Széchy, 1966). En la Ciudad de México, esta necesidad se acentúa por factores como la topografía, la presencia de un subsuelo altamente compresible y el entorno construido preexistente. No obstante, el diseño de túneles requiere criterios normativos claros, actualizados y adaptados a estas particularidades. Las Normas Técnicas Complementarias constituyen el principal marco de referencia local para este tipo de obras y su aplicación requiere de un análisis más más profundo.

Justificación del estudio

La práctica del diseño de túneles en la ciudad se apoya en criterios internacionales y en experiencias locales, muchas veces sin una sistematización clara ni una adecuada adaptación normativa. Ante esto, se hace necesaria una evaluación crítica de los criterios de carga, resistencia, funcionalidad y seguridad presentes en las NTC. Este trabajo busca identificar las áreas de oportunidad en el marco normativo vigente, proponiendo un enfoque que articule la ingeniería del diseño de túneles con las necesidades urbanas y las condiciones reales del terreno.

Metodología

La investigación se desarrolla en tres etapas principales: 1) revisión de normas nacionales e internacionales (NTC, SSFT-2016, RDPISR, ASCE 7); 2) análisis comparativo de combinaciones de factores de carga ante distintas situaciones de diseño; y 3) evaluación de criterios clave a partir de la revisión de literatura especializada. Este enfoque permitirá construir una propuesta que no solo identifique debilidades normativas, sino que también trace perspectivas de mejora desde una visión contextualizada.

Conclusión provisional

Aunque aún no se cuenta con resultados definitivos, los primeros hallazgos confirman la necesidad de una revisión técnica de la aplicabilidad de las NTC en el diseño de túneles urbanos. Esta revisión debe considerar no solo aspectos estructurales, sino también geotécnicos, funcionales y de interacción con el entorno urbano. El estudio en curso pretende contribuir a este debate, abriendo camino a una normatividad más robusta, integral y adecuada a los desafíos de infraestructura subterránea en la capital del país.

Bibliografía

American Society of Civil Engineers. (2022). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-22). American Society of Civil Engineers.

Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas. (2012). Túneles en México. Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas.

German Committee for Underground Construction (DAUB). (2013). Recommendations for the design, production and installation of segmental rings. ITA-AITES.

Gobierno de la Ciudad de México. (2004). Reglamento de construcciones para el Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal, 29 de enero.

Gobierno de la Ciudad de México. (2023). Normas técnicas complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones. Gaceta Oficial del Distrito Federal.

Japan Society of Civil Engineers. (2018). Standard specifications for tunneling – 2016: Shield tunnels. Tunnel Engineering Committee.

Széchy, K. (1966). The art of tunneling [Título traducido]. Akadémiai Kiadó.

GRUPO DE INGENIEROS JÓVENES

Curso SISGEO

El pasado 6 de marzo, la Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas, A.C. llevó a cabo un sorteo en el que se otorgaron dos inscripciones gratuitas para una masterclass especializada en el uso, instalación y análisis de datos de sistemas de inclinómetros. Esta capacitación fue organizada por la empresa SISGEO LATINOAMÉRICA.

Los ganadores del sorteo fueron la Ing. Leslie Barajas Coria y el Ing. Juan José Mendoza Escobedo, quienes nos comparten su opinión sobre el curso técnico Sisgeo's Inclinometers, impartido el 7 de marzo.

Mi nombre es Leslie Barajas Coria Recientemente participé en la Masterclass de Inclinómetros, el cual fue impartido por ingenieros expertos en la materia pertenecientes a la empresa SISGEO.

El curso fue enteramente de mi agrado, al haberse abordado desde las bases teóricas hasta la aplicación práctica de los inclinómetros para el monitoreo y control geotécnico-constructivo y, además, por haber contado con varias sesiones de Q&A para la aclaración de dudas y la mejor comprensión del tema.

Finalmente, agradezco el patrocinio por parte de la AMITOS y el GIJ-AMITOS, quienes hicieron posible mi participación al nombrarme como una de las ganadoras del sorteo organizado.

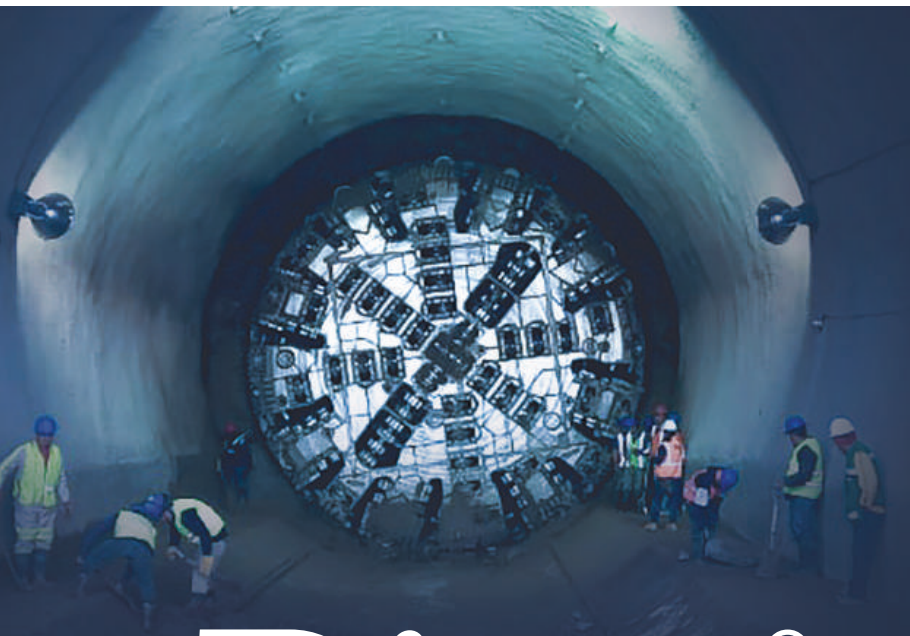
Mi nombre es Juan José Mendoza Escobedo, pertenezco al grupo de ingenieros jóvenes y fui uno de los ganadores del curso sobre instrumentación, el cual fue interesante ya que se abordó el tema de los inclinómetros desde los conceptos básicos, distintos tipos de instrumentos y configuraciones que pueden emplearse de acuerdo con las necesidades de cada proyecto.

Además, una parte que me gustó fue que también se tocó el tema sobre los problemas que pueden surgir durante su implementación y las posibles soluciones a dichos inconvenientes.

Considero que actualmente las obras deben de contar con un cierto grado de instrumentación que brinde información sobre el estado de las obras y permita atender problemas antes de que sean más difíciles de atender.

Por último, considero que este tipo de cursos deben de ser difundidos para que más ingenieros conozcan sus ventajas y se familiaricen con su operación.

Para concluir quiero agradecer al grupo de ingenieros jóvenes de AMITOS por brindarnos este tipo de oportunidades.



www.dirac.mx

68 AÑOS DE COMPROMISO:
INNOVACIÓN Y SOSTENIBILIDAD
PARA UN FUTURO BRILLANTE

Somos la **firma mexicana líder en el diseño y supervisión de proyectos de infraestructura.** Utilizamos la **tecnología más avanzada** para optimizar procesos, reducir costos y asegurar resultados para nuestros clientes.

La calidad de nuestro trabajo nos ha permitido expandirnos al mercado latinoamericano, participando en proyectos en Colombia y Panamá, con una sólida presencia que nos impulsa a mirar hacia el resto del mundo.

Dirac®
Ingenieros Consultores

ISO 9001 ISO 14001 ISO 45001

Entrevista con Christian Sanyas

El Ingeniero Christian Sanyas nació en Túnez. Gracias al trabajo de su padre en las empresas francesas Bachy y Saint Gobain, vivió en muchos países, incluyendo Marruecos, Algeria, México, Brasil y Grecia, lo que lo acostumbró a viajar mucho. Al terminar sus estudios de bachillerato, decidió estudiar Ingeniería, al tener un gran interés por la construcción.

Poco antes de graduarse de la Escuela de Ingeniería, comenzó a trabajar en diferentes empresas durante el verano, participando en proyectos de construcción de edificios y obras públicas. Comenzó a trabajar en la empresa francesa Soletanche en el verano de 1974 y ahí permaneció durante el resto de su vida profesional.

Una relación cercana con México durante décadas

Su primera visita a México fue a una edad temprana, ya que su padre trabajó en una obra en Monclova, Coahuila, por lo que vivió junto con su familia por 4 años en dicho estado durante su infancia.

Al finalizar sus estudios de Ingeniería, comenzó a trabajar en la empresa francesa Soletanche, en Francia, durante 3 años. Y al cabo de ese periodo, comenzó a ser enviado a misiones de 6 meses en el extranjero para participar en obras en diferentes países, y también trabajó en Francia, lo que le permitió adquirir conocimiento sobre avances técnicos en diferentes sitios de la empresa y así poderlos replicar en otros países. Esta práctica se debía en parte a que los sistemas de comunicación que existen en la actualidad aún no estaban disponibles, por lo que era la única manera de poder intercambiar conocimientos prácticos en el terreno.

Uno de los primeros proyectos en los que participó en México fue en el año 1977, en el Estado de Oaxaca, en el Cerro de Oro, construyendo una cortina de impermeabilización para la SARH. Una de las particularidades de este proyecto fue que utilizó la técnica europea de inyección con parámetros y materiales diferentes de las técnicas estadounidenses empleadas con anterioridad en otras obras. Este proyecto duró alrededor de 5 años.

Su último proyecto en México fue la extensión de la refinería de Minatitlán en Coatzacoalcos, Veracruz, en el que trabajó durante un año y medio. Regresó en otras ocasiones a México, pero solo para brindar asistencia en proyectos o licitaciones.

Participación en el proyecto del Túnel de la Mancha

Uno de los proyectos más icónicos en los que ha participado el Ing. Sanyas es sin lugar a dudas el Túnel de la Mancha, también conocido como Eurotúnel, el cual conecta las ciudades de París y Londres. Este proyecto inició en el año 1986, tras varias tentativas fallidas desde el año 1974.

La viabilidad del proyecto se debió gracias a que se obtuvo financiamiento por parte de empresas tanto de Reino Unido como de Francia. Se comenzó realizando sondeos submarinos para investigación. Se decidió que se construiría un pozo de concreto en el que se instalarían las tuneladoras para construir los 6 túneles del proyecto.

▲ Figura 1. El sitio de la obra de Cerro de Oro y la planta de inyección.

Se trató de una de las primeras obras que utilizó un número importante de tuneladoras en Francia. Uno de los principales retos fue que se trataba de una técnica que aún no se dominaba, y el hecho de que fuera bajo el mar representaba un reto aún mayor. En primer lugar, era necesario bajar todos los elementos de la tuneladora, que según el diámetro, tenían una longitud de entre 100 y 200 metros. Era necesario ingresar la tuneladora por partes y más tarde ensamblarla. Fue necesario construir alrededor del pozo una pantalla impermeable de 200 m de largo por 70 m de ancho.

Las obras iniciaron en enero de 1986, con condiciones climáticas de hasta menos 20°C. Las bajas temperaturas y la nieve generaron numerosos desafíos, en particular para el transporte de material, ya que las carreteras fueron cerradas, lo que generó un retraso en las obras de 4 semanas. Uno de los principales problemas fue que el contrato firmado no contemplaba retrasos por mal clima, pues nunca se pensó que se llegaran a presentar condiciones tan adversas.

Tuvieron que haber negociaciones con la empresa sobre los tiempos de entrega, pero finalmente se logró resarcir el retraso 3 semanas, pero con un esquema de trabajo 24/7 (24 horas por día, 7 días por semana), el cual era contrario a las leyes laborales de Francia (de 8 horas, 5 días por semana), por lo que

GRUPO DE INGENIEROS JÓVENES

se tuvo que obtener un permiso especial del Ministerio del Trabajo francés, al justificar que se trataba de una obra prioritaria.

La participación del Ing. Sanyas en este proyecto icónico ocurrió en dos etapas, primero al inicio del proyecto por un periodo de entre 4 y 5 meses, que fue la etapa del preparación e instalación del pozo y de la pantalla impermeable; y un año después, cuando regresó para el momento del inicio del primer túnel (la galería técnica central de 4, 80 m de diametro). En esta etapa, participó en los sondeos de investigación para saber cuál era el terreno enfrente de la tuneladora, y en los dos túneles adyacentes. Para las galerías de comunicación o antipistoneamiento, los sondeos de investigación permitían decidir el tratamiento de impermeabilización antes de iniciar la excavación manual. En esta segunda etapa, trabajó alrededor de 2 años y medio, participando en la construcción de alrededor de 15 km de los 28 necesarios en el lado francés del proyecto.

Sobre las diferencias culturales en el mundo de la ingeniería

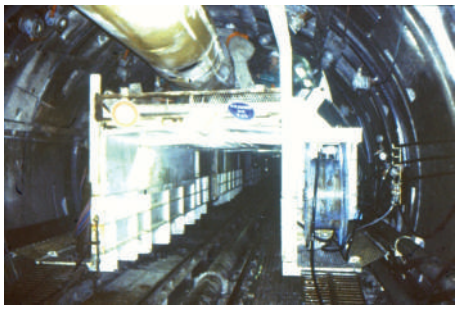
El Ing. Sanyas ha tenido la oportunidad de trabajar en diferentes países con culturas muy diferentes, lo que le ha permitido tener experiencias muy variadas y un amplio panorama sobre el ámbito de la ingeniería. Cuando le preguntamos cómo ha sabido navegar estas diferencias culturales para llevar a buen puerto una obra, nos explica que es importante siempre considerar el aspecto cultural durante las etapas de planeación y diseño. Por ejemplo, en Francia él considera que se trabaja con una estructura muy rígida, y con agendas muy precisas y una metodología específica. También, al ser un país relativamente pequeño, la gente trabaja de una forma más cercana, con toda la asistencia humana, técnica y de equipos, de forma casi inmediata.

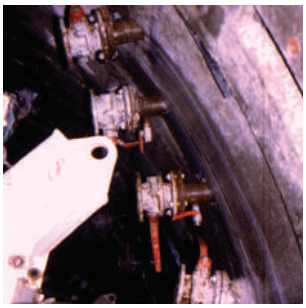
Al llegar a otro país, con una cultura diferente, a veces se les debe enseñar nuevas metodologías y métodos de trabajo, y es fundamental que la comunicación fluya para poder manejar a los equipos eficientemente. Considera que es realmente un reto para un ingeniero o director de obra hacer una obra en el extranjero tal y como uno la tenía contemplada en un inicio. Es importante empaparse de la cultura y saber leer a la gente, ya que algunas personas son más sensibles que otras. En ciertas culturas, el jefe es la autoridad máxima. En otros países, como Hong Kong, no se debe tomar protagonismo y se debe dejar que las personas locales desempeñen el papel principal. Esto, ya que los trabajadores chinos deben sentir que ellos manejan la obra, y son personas muy capaces, que saben lo que hacen, y es la única manera de darles confianza.

Hay que dejar el ego de lado, y no pensar que nuestra manera de trabajar es forzosamente mejor. También considera fundamental saber trabajar en las condiciones específicas de cada país, y con las herramientas y el personal disponible. Se debe buscar la forma de adaptarse y obtener el

▲ Figura 2. Minatitlán, extensión de refinería – Equipos de pilas y pilotes.

▲ Figura 3. El pozo de Sangatte y el abastecimiento de materiales en pequeñas cantidades.





▲ Figura 4. El pórtico de perforación y los SAS de control de la perforación.

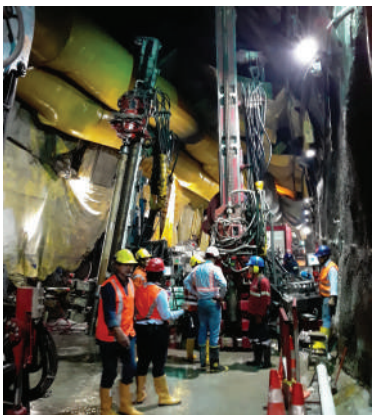
apoyo necesario a nivel local, no a 5,000 km de distancia. Generar esa habilidad de independencia es una buena estrategia donde sea que estés.

Se debe tratar de entender la manera de pensar de cada país y saber cómo manejar a la gente para lograr una obra exitosa. Incluso a nivel de los clientes, también existe ese choque cultural que se debe considerar. Por ejemplo, en Colombia y otros países de Latinoamérica, los retrasos en las obras no son tan graves, se hace un programa y los actores involucrados saben que al final el proceso será más largo. En México, sabemos que "un ratito" pueden llegar a ser hasta 3 meses. Así se acostumbra y hay que saber adaptarse, no hay que presionar demasiado, pues se debe considerar ese aspecto cultural.

Finalmente, considera que existen países donde la comunicación puede ser mucho más difícil, como es el caso de Rusia, donde es imposible trabajar sin un intérprete. Las barreras lingüísticas también pueden afectar la fluidez de la comunicación y por ende, retrasar los tiempos en las obras.

Hacer frente a los desafíos con ingenio

Cuando le preguntamos sobre un ejemplo de cómo solucionó un problema en alguno de sus proyectos recientes habló de un caso en Colombia, donde elaboró un diseño de un tapón temporal dentro de una galería para limpiarla debido a un derrumbe importante. Se tuvieron que instalar micropilotes de



▲ Figura 5. Perforaciones sónicas de micropilotes de 8".

▲ Figura 6. Muelle con Muro Milán.

▲ Figura 7. Instalación de una línea adicional de bombeo en el talud.

8 pulgadas de diámetro de 40 m de profundidad a partir de otra galería y cruzar el derrumbe para más tarde hacer un tratamiento. Lo que se tenía previsto era fabricar los micropilotes en ese tipo de terreno, con una metodología poco desarrollada por el grupo, que es una perforación sónica. El principal reto fue obtener la autorización del cliente para cambiar el proyecto, lo que tardó 2 meses. Otro reto fue demostrar que el nuevo diseño se adecuaba a las normas con construcción.

También nos habló de los retos de construir un muelle en el norte de Francia. 50 metros detrás de este, se colocó una pantalla impermeable que hacía un perímetro cerrado, donde se hacía el anclaje. Ademas, se construyó un dique frente al mar, el cual se mantuvo mientras se construía el muelle 5 m por debajo del nivel del mar. El objetivo era hacer un desagüe a lo largo del dique mediante pozos. Sin embargo, algunos de los pozos no funcionaban muy bien, ya que en vez de tener arena, habíamos encontrado limos, y los desagües con presencia de limos no son permeables. Entonces se tuvo que buscar la forma de mejorar este pequeño tramo de 20 m x 300 m-400 m de muelle. Todas estas soluciones forman parte del diseño del proyecto y permiten hacer frente a los desafíos que se presentan una vez iniciadas las obras.

Sus consejos para los ingenieros jóvenes

Cuando le preguntamos sobre sus consejos para los jóvenes ingenieros, uno de ellos es obtener toda la experiencia posible, en particular colaborando con ingenieros experimentados y aprendiendo sobre su forma de trabajo, y comunicando sus dudas. Otro consejo es mantener bitácoras de trabajo, guardando registro de los diferentes proyectos en los que trabajan, así como de todas las reuniones con los clientes, para siempre tener claridad de las solicitudes y necesidades de cada

GRUPO DE INGENIEROS JÓVENES

proyecto. Finalmente, aconseja ser paciente, ya que toma años y una diversidad de experiencias para aprender sobre temas como la geotecnia.

En lo que respecta a cómo solucionar problemas, que siempre se presentan en cualquier proyecto, el Ing. Sanyas recomienda desde el inicio de una obra comenzar a pensar en todas las eventualidades y problemas que pudieran presentarse, y pensar en posibles soluciones a los mismos. Las obras no siempre ocurren como se tienen planeadas, las condiciones pueden variar, o pueden presentarse eventos inesperados.

▲ Figura 8. Momentos de convivialidad con el equipo.

También aconseja apuntar todas las ideas que surgen, para poder utilizarlas cuando sea necesario, pues la mayoría de las veces las eventualidades tienen una solución, solo hay que pensarla y luego saber cómo presentarsela al cliente para que esté convencido de implementarla. Esto no siempre es fácil, ya que muchas veces ellos ya tienen una idea en mente y díficil hacerlos cambiar de opinión.

Otro consejo es pensar que cuando se hace algún proyecto de construcción, se está dejando una huella en la sociedad, por lo que se debe contemplar la importancia de la colaboración y del trabajo en equipo. Es necesario tener la capacidad de relacionarse con la gente con la que se trabaja, lo que ayuda a tener buenos resultados, además de tener confianza en las personas y decir cuando están haciendo bien las cosas.

Finalmente, asegura que es importante pensar que no todo se hace detrás de una computadora. Considera que también es vital estar presente en el campo, pasar al menos una hora al día haciendo el recorrido de la obra para ver lo que funciona, qué se puede mejorar y tener un contacto con los trabajadores de la obra para que en caso de problema la comunicación fluya. La relación social con la gente que forma un equipo en obra es esencial para lograr un buen resultado. Escuchando y hablando se logra 70% del resultado de una obra.

Optimice la productividad con fluidos estabilizadores de perforación IMDEX

Soluciones industriales en bentonita sódica y polímeros para la construcción civil.

- Viscosificadores
- Encapsuladores de arcilla
- Floculantes
- Extendedores de Bentonita
- Agentes controladores de filtrado
- Surfactantes
- Adelgazantes químicos

. Otros productos especiales

Visualiza nuestra amplia gama de productos

PÓNGASE EN CONTACTO CON NOSOTROS

Síguenos

Jorge Quiroga
REPRESENTANTE
DEL SERVICIO TÉCNICO

Myrna Sosa
REPRESENTANTE
DEL SERVICIO TÉCNICO

IMDEX™
imdex.com

Leading Brands
AMC™ REFLEX™ devico