



Participación del Instituto de Ingeniería en aspectos geotécnicos del diseño y construcción del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México

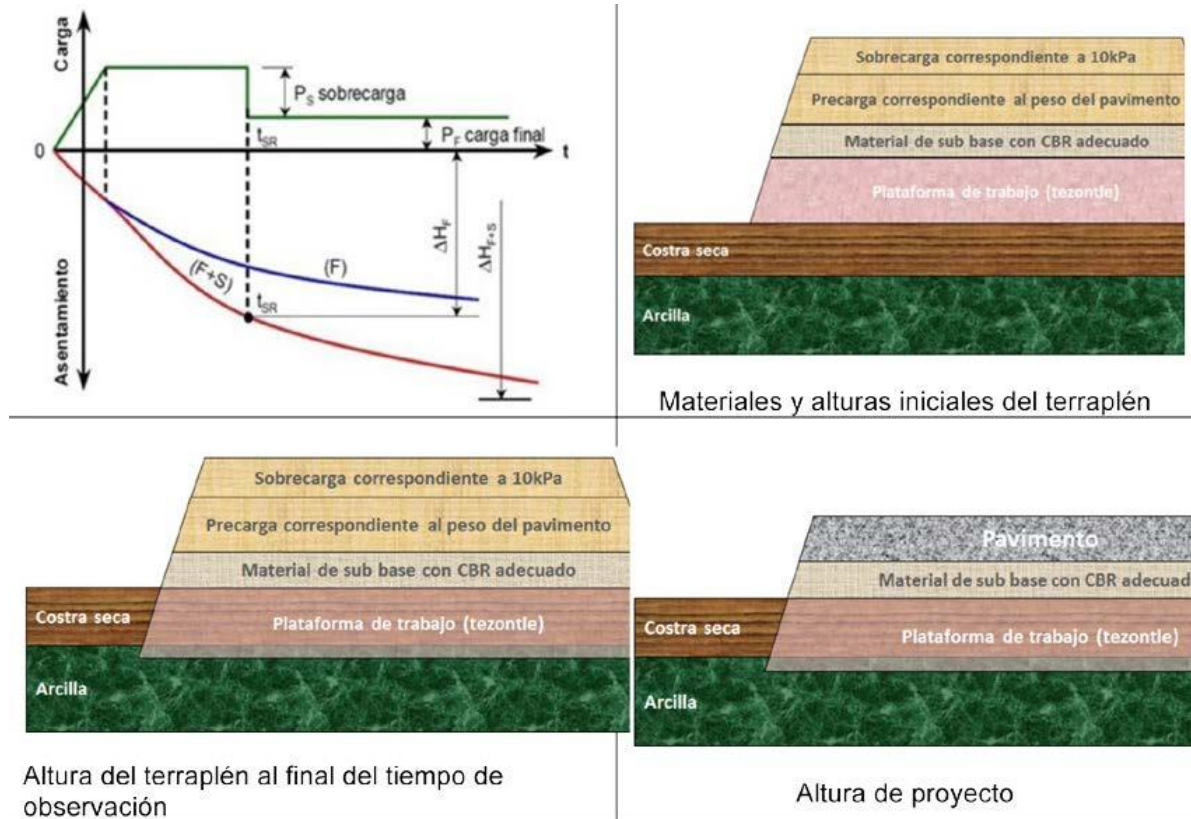
Manuel Jesús Mendoza López.

Hace 17 años fuimos consultados por las autoridades aeroportuarias del país acerca de la viabilidad técnica y geotécnica para construir un nuevo aeropuerto en la Ciudad de México, en el lecho del antiguo Lago de Texcoco, Estado de México. Se planteaba alternativamente otro sitio en Zapotlán de Juárez, Hidalgo. Al involucrarse MITRE, empresa norteamericana surgida del MIT y que se ocupa de la localización de los grandes aeropuertos en el mundo, se tuvo luz acerca del asunto. Ellos concluyeron enfáticamente después de un cuidadoso estudio muy detallado, independiente, costoso y prolongado, que el sitio en el lecho del antiguo Lago de Texcoco era el idóneo para la construcción del aeropuerto desde un punto de vista aeronáutico, cercanía a la ciudad, potencial de crecimiento y con ello, tiempo de vida útil. En efecto, el espacio disponible en el valle donde se alojaría en Zapotlán es tal que sólo se habrían podido construir dos pares de pistas para operaciones simultáneas, en tanto que en el sitio actual se cuenta con el espacio físico y aéreo para disponer de tres pares, seis pistas en total a futuro; en esta primera etapa de construcción se contará con las pistas 2, 3 y 6.

Al cuestionamiento mencionado en el párrafo previo, nuestra respuesta fue categórica: si sólo se tuviese que comparar geotécnicamente hablando el subsuelo de las dos opciones, sin duda Zapotlán ofrecería condiciones mejores para desplantar la infraestructura por construir. También fuimos muy claros en establecer que, no obstante las difíciles condiciones del subsuelo para edificar el aeropuerto, era viable su construcción en el ex-Lago de Texcoco. Advertimos, sin embargo, que su construcción no sería convencional, sino que demandaría la puesta en juego de técnicas particulares para adecuarse a las condiciones del terreno, a fin de cumplir los requerimientos que

demandaba un aeropuerto moderno de clase mundial.

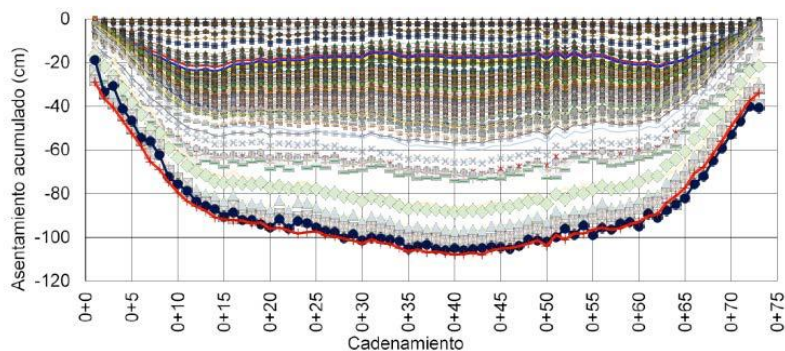
A fin de coadyuvar en la toma de decisiones, primero con ASA y luego con el Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México SA de CV (GACM) nos hemos constituido en su asesor y soporte técnico para dar seguimiento al diseño y construcción tanto de las llamadas obras del lado aire (OLA) (aeropistas, calles de rodaje y plataformas) como de las obras del lado tierra (OLT) (edificio terminal, torre de control, centro de transferencia terrestre y otras edificaciones). Ello tanto por lo que corresponde al área de ingeniería geotécnica como de ingeniería estructural.



Es claro que el conjunto de problemas para la construcción de esta magna obra de infraestructura gira alrededor de un subsuelo arcilloso muy blando, de gran compresibilidad, de muy baja resistencia al esfuerzo cortante y con alta salinidad. A ello se suma la frecuencia de acciones sísmicas cuyas amplitudes se ven amplificadas al pasar por esos estratos arcillosos; y si algo faltaba, la zona sufre la ocurrencia de abatimiento piezométrico a profundidad, lo que determina el fenómeno de hundimiento regional. Dada esta situación, no es de extrañarse que en la actualidad aproximadamente 80% de la fuerza de trabajo de la Coordinación de Geotecnia, esté dedicada a los estudios relacionados con el diseño y construcción del NAICM. La mayoría de los investigadores, técnicos académicos, becarios, honoristas y laboratoristas laboran en los muy diversos aspectos

geotécnicos que hemos propuesto, o los que nos requieren el GACM. En diciembre de 2016 concluimos la primera etapa de los estudios e investigaciones realizadas para el GACM, y actualmente llevamos a cabo las gestiones necesarias para firmar el convenio a través del cual se establezcan los alcances y objetivos de nuestra participación en el diseño y construcción de las OLA y OLT del NAICM.

Múltiples estudios emprendimos en los últimos tres años, retomando aquellos iniciados cuando la pretensión de diseñar y construir el NAICM en 2001 hubo de posponerse. Hemos participado desde la definición de qué, cómo y dónde llevar a cabo una diversidad amplia de sondeos exploratorios del subsuelo, ensayos especiales de laboratorio que no pueden realizar otros laboratorios, u otros de campo como el de sonda suspendida para determinar propiedades dinámicas del subsuelo, con equipo de nuestro haber que es único en el país. También se ha avanzado en el análisis geoestadístico y despliegue gráfico para la caracterización mecánica de las diferentes unidades geológicas que constituyen el subsuelo del sitio. Se ha participado en el levantamiento y distinción de anomalías geotécnicas tales como agrietamientos del terreno, canales, pozos abandonados y rellenos de escombros, que impactarían con su presencia la construcción de pistas y las cimentaciones de otras estructuras. Se han realizado análisis dinámicos para caracterizar la respuesta de las diversas zonas del predio ante acciones sísmicas, y se han efectuado estudios analíticos y numéricos para modelar la evolución de los niveles piezométricos del agua del subsuelo, a fin de predecir finalmente la magnitud de los asentamientos futuros en el predio, ya que tienen una incidencia directa en el comportamiento de las OLA y OLT.



En la búsqueda de medios para desplantar las OLA del aeropuerto, los investigadores del IIUNAM

propusimos, y el GACM aprobó, la construcción de tramos de prueba en los que se materializaron diversas soluciones conceptuales de las que finalmente se seleccionó la que se está poniendo en práctica actualmente para la construcción de las aeropistas 2 y 3, y otras soluciones que eventualmente se adopten para plataformas de estacionamiento de las aeronaves. Además de un terraplén de referencia de 60 x 60 m y 2.1 m de altura, construido sin tratamiento alguno de su cimentación, se construyeron las primeras seis opciones siguientes, a las que se añadieron las dos últimas, propuestas por una empresa mexicana:

- Plataforma compensada.
- Terraplén con precarga y drenes verticales de arena.
- Terraplén con precarga y drenes verticales artificiales.
- Terraplén estructural sobre pilotes de fricción.
- Terraplén sobre inclusiones rígidas.
- Plataforma de concreto con celdas estructuradas.
- Plataforma de concreto con cajones estructurales postensados.
- Plataforma de concreto con cajones estructurales postensados y sobre inclusiones rígidas.

A cada una de estas potenciales soluciones se les diseñó y colocó instrumentación geotécnica para cuantificar deformaciones, asentamientos y presiones. Personal del IIUNAM se ocupa actualmente del monitoreo de esos instrumentos y de su interpretación, a fin de conocer el comportamiento de cada una de esas posibles soluciones, a dos años y medio de su construcción. A propuesta de otra empresa privada y con la venia del GACM, se agregó recientemente a las soluciones anteriores, un tramo de prueba consistente en una plataforma con un terraplén de sobrecarga y un sistema de vacío aplicado dren a dren (verticales); el GACM ha solicitado al IIUNAM interpretar también el comportamiento de tal tramo. Cada una de esas soluciones requirió detallados análisis numéricos con la idea de modelar la evolución de su comportamiento; en los últimos meses hemos tenido oportunidad de contrastar esas predicciones y previsiones con los resultados reales medidos.

El diseño de los pavimentos de tipo flexible para las aeropistas ha sido motivo de atención del personal del IIUNAM, no sólo por lo que toca a la discusión de enfoques de diseño con el Ingeniero Civil Maestro (ICM), sino aportando de manera relevante las propiedades de resiliencia de los estratos arcillosos someros del sitio, así como de las propiedades mecánicas de tezontles, que son los materiales que por millones de metros cúbicos se están empleando para la construcción de las OLA del NAICM.

La solución adoptada para las pistas 2 y 3, actualmente en construcción, es aquella en la que se

aplica una precarga al terreno, previa colocación de drenes verticales artificiales en la formación arcillosa superior. La idea central es generar una compresión y estado de preconsolidación al subsuelo con el peso de esa sobrecarga, acelerada con la inclusión de los drenes, para que una vez que sea removida y sustituida por el pavimento de las pistas, su asentamiento sea reducido y aceptable para la operación de las mismas. Si bien se entiende que requerirá trabajos futuros de mantenimiento necesarios para conservar la rasante de las pistas dentro de la tolerancia normativa, se pretende que éstos sean lo más distantes en el tiempo.

También participamos activamente en la discusión de los enfoques de diseño para la cimentación de importantes OLT tales como el Edificio Terminal, la Torre de Control Aéreo y el Edificio de Transferencia Terrestre. Nuestra posición ha sido la de evitar excavaciones a cielo abierto profundas, aspecto que se ha ratificado en una excavación piloto a la que también le hemos dado acompañamiento y de la que se derivan lecciones interesantes para el Arquitecto Maestro (AM) mismas que limitan la profundidad de excavación, cuando incluso se realizan con taludes 4:1 (H:V). El AM es el responsable del diseño de las OLT.

Por otra parte, hemos participado en las discusiones sobre los aspectos geotécnicos de los proyectos del drenaje en el predio del NAICM, alejando toda posibilidad de que las OLA y OLT se inunden; para ello, y otros requerimientos de la operación del aeropuerto tales como vialidades interiores y transportes de carga y equipaje, se requiere la construcción de túneles cuyo trazo, se ha insistido, no debe atravesar las pistas, para que su presencia no incida en la rasante o perfil de las pistas.

Sin duda esta experiencia ha sido muy benéfica a la investigación geotécnica de nuestra institución, ya que nos permite participar al más alto nivel técnico en la obra de infraestructura más importante en décadas en nuestro país, con lo que la UNAM cumple con el deber social elemental como universidad pública y con uno de los objetivos principales de nuestra dependencia al contribuir a la solución de problemas técnicos nacionales de nuestra competencia. Tecnológica y científicamente hablando ha sido una experiencia muy estimulante donde hemos puesto en juego muchos años de experiencia y saberes de investigadores e ingenieros que nos antecedieron, a la que sumamos el conocimiento, experiencia, esfuerzo y talento de los participantes actuales. Esta mezcla da como resultado lo que podemos distinguir como la experiencia mexicana en la ingeniería geotécnica de suelos blandos. Hemos podido constatar el valor y la riqueza de ésta cuando revisamos los análisis y soluciones que pretenden imponer el ICM y el AM, consorcios responsables del diseño de las OLA y las OLT, respectivamente, ambos liderados por ingenieros de empresas extranjeras. En los hechos, nos hemos constituido en la parte técnica mexicana que cuestiona y muchas veces argumenta en contra de propuestas del ICM o AM que nuestros análisis y experiencias así lo dictan. El proceso no es terso, es muy demandante porque nos exige realizar análisis múltiples para sustentar nuestros argumentos; las discusiones técnicas son frecuentes y no siempre nuestras razones son escuchadas. La responsabilidad del diseño es del ICM y el AM; la nuestra es de asesorar,

realizar estudios geotécnicos especiales de naturaleza analítica, experimental y numérica, investigar y caracterizar el medio físico, sugerir y llevar a cabo pruebas especiales como las de carga sobre pilotes instrumentados, y proponer soluciones a múltiples aspectos geotécnicos que se suscitan en el análisis y la construcción del NAICM. Cuidamos que todos nuestros resultados y posicionamientos sean comunicados por escrito al GACM, a través de notas técnicas e informes periódicos totalmente documentados.