



“INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS ESPECIALES RELACIONADOS CON ASPECTOS GEOTÉCNICOS DEL NUEVO AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO (NAICM) EN EL VASO DEL Ex-Lago DE TEXCOCO, ZONA FEDERAL”

Convenio de Colaboración No. GACM/DCI/SJ/CI/013-2015

NOTA TÉCNICA No. GEO-11 Comparación de soluciones para las aeropistas del NAICM

Elaborada para:
Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México (GACM)

Por:
Instituto de Ingeniería, UNAM
Geotecnia e Ingeniería Estructural

Ciudad Universitaria, D.F.

Septiembre 11, 2015



Comparación de soluciones para las aeropistas del NAICM

Se han establecido dos Tablas comparativas que resaltan los méritos y anotan las desventajas de las diferentes soluciones de cimentaciones de las pistas. Estas tablas, presentadas en el Primer Informe Parcial del II-UNAM (31 de agosto de 2015), se actualizan tomando en cuenta las primeras evidencias de comportamiento de los terraplenes de prueba y las presentaciones realizadas durante las reuniones técnicas de los meses de agosto y septiembre de 2015 (Tablas 1 y 2).

Se enfatiza que podrá haber necesidad de recurrir a una combinación de las distintas soluciones para resolver la problemática de zonas con diferentes condiciones geotécnicas y topográficas.

Las Tablas 1 y 2 son susceptibles de sufrir modificaciones en función de los resultados adicionales que se vayan obteniendo en los tramos de prueba.

Tabla 1. Comparación de soluciones para las aeropistas del NAICM.

Solución	Ventajas	Desventajas	Comentarios
Sección compensada	Reduce asentamientos de las pistas respecto al terreno circundante. Experiencia en AICM actual.	Elimina la capa de desecación superficial. Baja confiabilidad ante heterogeneidades del suelo. Procedimientos elaborados de excavación. Requiere movimientos de tierra importantes. Interacción problemática con alcantarillas y otras estructuras. Solución no aplicable en su forma convencional, cuando se tienen rasantes que imponen la construcción de terraplenes.	Requiere control estricto del peso volumétrico colocado de los materiales que se usen para la compensación. Puede optimarse recurriendo a materiales controlados. Es preciso evaluar meticulosamente la respuesta sísmica de esta alternativa de solución.



Continuación Tabla 1. Comparación de soluciones para las aeropistas del NAICM.

Solución	Ventajas	Desventajas	Comentarios
Precarga simple del subsuelo	Reduce asentamientos post-constructivos. Respeta la capa de desecación superficial. Facilita la construcción de terraplenes más altos (mejor perfil de pista y drenaje). Reduce disparidades en la compresibilidad del subsuelo. No requiere excavación.	Tiempo excesivo, sobre todo para las primeras pistas. Requiere movimientos de tierra importantes.	El material de sobrecarga removido puede reusarse eventualmente para sobrecarga de pistas u otros tramos por construir en el futuro; ello exigirá una labor cuidadosa de planeación constructiva. Posibilidad de usarse en combinación con otras soluciones, a fin de lograr la rasante de proyecto con asentamientos diferenciales a mediano y largo plazo reducidos. Es preciso evaluar concienzudamente la respuesta sísmica de esta alternativa de solución.
Precarga con drenes verticales prefabricados	Reduce asentamientos post-constructivos. Menor tiempo de consolidación respecto a la solución sin drenes. Facilita la construcción de terraplenes aún más altos. Reduce disparidades en la compresibilidad del subsuelo. No requiere excavación. Respeta la capa de desecación superficial. Mayor facilidad de construcción que los drenes de arena.	Costo inicial mayor que el de la precarga simple. Requiere movimientos de tierra importantes. Separación menor que la de los drenes de arena.	El material de sobrecarga removido puede reusarse eventualmente para sobrecarga de pistas u otros tramos por construir en el futuro; ello exigirá una labor cuidadosa de planeación constructiva. Posibilidad de usarse en combinación con otras soluciones, a fin de lograr la rasante de proyecto con asentamientos diferenciales a mediano y largo plazo reducidos. Es preciso evaluar la respuesta sísmica de esta alternativa de solución.



Continuación Tabla 1. Comparación de soluciones para las aeropistas del NAICM.

Solución	Ventajas	Desventajas	Comentarios
Precarga con drenes verticales de arena	Reduce asentamientos post-constructivos. Menor tiempo de consolidación respecto a la solución sin drenes. Facilita la construcción de terraplenes aún más altos. Reduce disparidades en la compresibilidad del subsuelo. No requiere excavación. Respeta la capa de desecación superficial.	Costo inicial mayor que el anterior. Requiere movimientos de tierra importantes.	El material de sobrecarga removido puede reusarse eventualmente para sobrecarga de pistas u otros tramos por construir en el futuro; ello exigirá una labor cuidadosa de planeación constructiva. Posibilidad de usarse en combinación con otras soluciones, a fin de lograr la rasante de proyecto con asentamientos diferenciales a mediano y largo plazo reducidos. Los drenes de arena permiten reducir los asentamientos totales y diferenciales en una forma más eficiente que los drenes prefabricados, al trabajar como inclusiones semi-rígidas en el subsuelo. Es indispensable hacer una evaluación detallada de la respuesta sísmica de esta alternativa de solución.
Inclusiones rígidas verticales en el subsuelo	Disminuye asentamientos. Aumenta la capacidad de carga. Facilita la construcción de terraplenes más altos. No requiere excavación. Respeta la capa de desecación superficial. No requieren acero de refuerzo las inclusiones.	Se requiere un diseño apropiado para evitar que se presenten deformaciones en el terraplén flexible de las pistas, coincidentes con las inclusiones, las que pueden afectar al pavimento. Dejan un asentamiento residual significativo.	Puede tratarse de pilotes de mortero de cal o pilas de grava-arena compactada. Una losa rigidizante sobre la superficie del terreno podría reducir las deformaciones inducidas por las inclusiones. Las técnicas de <i>deep-mixing</i> no se consideran aplicables a la arcilla del Valle de México, en razón de su alto contenido de agua, alta plasticidad y baja resistencia. Es preciso evaluar la respuesta sísmica de esta alternativa de solución.



Continuación Tabla 1. Comparación de soluciones para las aeropistas del NAICM.

Solución	Ventajas	Desventajas	Comentarios
Terraplén pilotado	Disminuye asentamientos. Gran capacidad de carga, ya que más que un mejoramiento, se trata de una cimentación basada en pilotes de fricción. Construcción rápida por posibilidad de abrir muchos frentes de trabajo, con equipo de construcción no muy especializado, de peso moderado y ampliamente disponible. Utilización prácticamente inmediata después de su construcción. Respeta la capa de desecación superficial. Amigable con el medio ambiente, no genera desperdicios.	Volumen moderado de concreto. Los pilotes requieren acero de refuerzo, principalmente por requerimientos del izaje. Su costo podría verse compensado por un número menor de pilotes que el de inclusiones rígidas. Dejan un asentamiento residual significativo.	Solución bien conocida en nuestro medio, práctica, adaptable al perfil del terreno y de previsible comportamiento. De conveniente compatibilidad con edificios sobre pilotes de fricción. Propicia adecuado soporte a pavimentos. Es preciso evaluar la respuesta sísmica de esta alternativa de solución.
Celdas estructuradas	Absorbe deformaciones locales por heterogeneidades del terreno. Uniformiza asentamientos diferenciales transversales y suaviza los longitudinales. No requiere pavimento flexible adicional. Menor movimiento de tierras. Conserva la costra superficial. Atenúa las fuerzas sísmicas por el fenómeno de interacción dinámica suelo-estructura. Soporta altos esfuerzos a la tensión y cortante. Opone resistencia al agrietamiento del suelo. Por sí, sola, no presenta obstáculos para la construcción de túneles debajo de las pistas y calles de rodaje.	Potencialmente el costo unitario es alto, pero una vez establecida la logística constructiva, el costo total puede abatirse. El concreto utilizado en las celdas debe contar con aditivos adecuados para disminuir su susceptibilidad al ser afectado por la presencia de cloruros y sulfatos (sales) potencialmente presentes en el suelo. El procedimiento exige un nivel técnico alto de los constructores. La solución debe combinarse con otras cuando se requiera alcanzar una elevación superior a la del terreno, en particular por requerimientos del drenaje. Estructuralmente la solución requiere que exista un contacto continuo entre la losa y el suelo.	Al ser esta una propuesta innovadora, no hay experiencia a nivel internacional. Análisis de modelado numérico y primeras evidencias en el terraplén de prueba muestran que la geometría de diseño del pavimento se mantiene a mediano y largo plazo, requiriéndose un mantenimiento mínimo de las pistas, debido principalmente al desgaste del pavimento por el tránsito de las aeronaves. Esta solución se puede combinar de así requerirse con otras alternativas como precarga, compensación e inclusiones.



Continuación Tabla 1. Comparación de soluciones para las aeropistas del NAICM.

Solución	Ventajas	Desventajas	Comentarios
Solución postensada	<p>Absorbe deformaciones locales por heterogeneidades del terreno.</p> <p>Uniformiza asentamientos diferenciales transversales y suaviza los longitudinales.</p> <p>No requiere pavimento flexible adicional.</p> <p>Menor movimiento de tierras.</p> <p>Conserva la costra superficial.</p> <p>Soporta altos esfuerzos a la tensión y cortante.</p> <p>Opone resistencia al agrietamiento del suelo.</p> <p>Por sí sola, no presenta obstáculos para la construcción de túneles debajo de las pistas y calles de rodaje; no así si requiere inclusiones.</p>	<p>Potencialmente el costo unitario es alto, pero una vez establecida la logística constructiva, el costo total puede abatirse.</p> <p>El concreto utilizado en las celdas debe contar con aditivos adecuados para disminuir su susceptibilidad al ser afectado por la presencia de cloruros y sulfatos (sales) potencialmente presentes en el suelo. El procedimiento exige un nivel técnico alto de los constructores.</p> <p>La solución debe combinarse con otras cuando se requiera alcanzar una elevación superior a la del terreno, en particular por requerimientos del drenaje.</p> <p>Está pendiente el estudio de interacción dinámica suelo-estructura.</p>	<p>Al ser esta una propuesta innovadora, no hay experiencia a nivel internacional. Análisis de modelado numérico y primeras evidencias en el terraplén de prueba muestran que la geometría de diseño del pavimento se mantiene a mediano y largo plazo, requiriéndose un mantenimiento mínimo de las pistas, debido principalmente al desgaste del pavimento por el tránsito de las aeronaves.</p> <p>Esta solución se puede combinar de así requerirse con otras alternativas como precarga, compensación e inclusiones.</p>



Tabla 2. Comparación general cualitativa de diferentes soluciones.

Método	Sección compensada	Precarga simple	Precarga con drenes prefabricados	Precarga con drenes de arena	Inclusiones rígidas	Terraplén piloteado	Celdas estructuradas	Solución postensada
Aplicabilidad a lo largo de las pistas	*	*	**	***	**	**	*	**
Economía construcción	**	***	**	**	**	**	**	**
Economía mantenimiento	**	***	**	**	**	**	**	**
Brevedad del plazo de ejecución	**	*	**	**	***	***	**	**
Experiencia en México	***	**	**	**	**	**	*	*
Sencillez para la ejecución	**	***	**	*	**	**	*	**
Respeto medio ambiente	**	*	*	*	**	**	**	**

Mérito: * bajo; ** mediano; *** alto