

Nuevo Aeropuerto Internacional de la ciudad de México

Ingeniero Civil Maestro

4. Pistas y Plataformas













1. Experiencia previa con condiciones de suelo blando
2. Investigación de Campo y Pruebas
3. Evaluación de Alternativas
4. Evaluación de alternativas /Diseño Seleccionado
5. Fase de Construcción
6. Conclusiones

Experiencia previa con condiciones de suelo blando

Segundo Aeropuerto Internacional de Bangkok



Drenes verticales

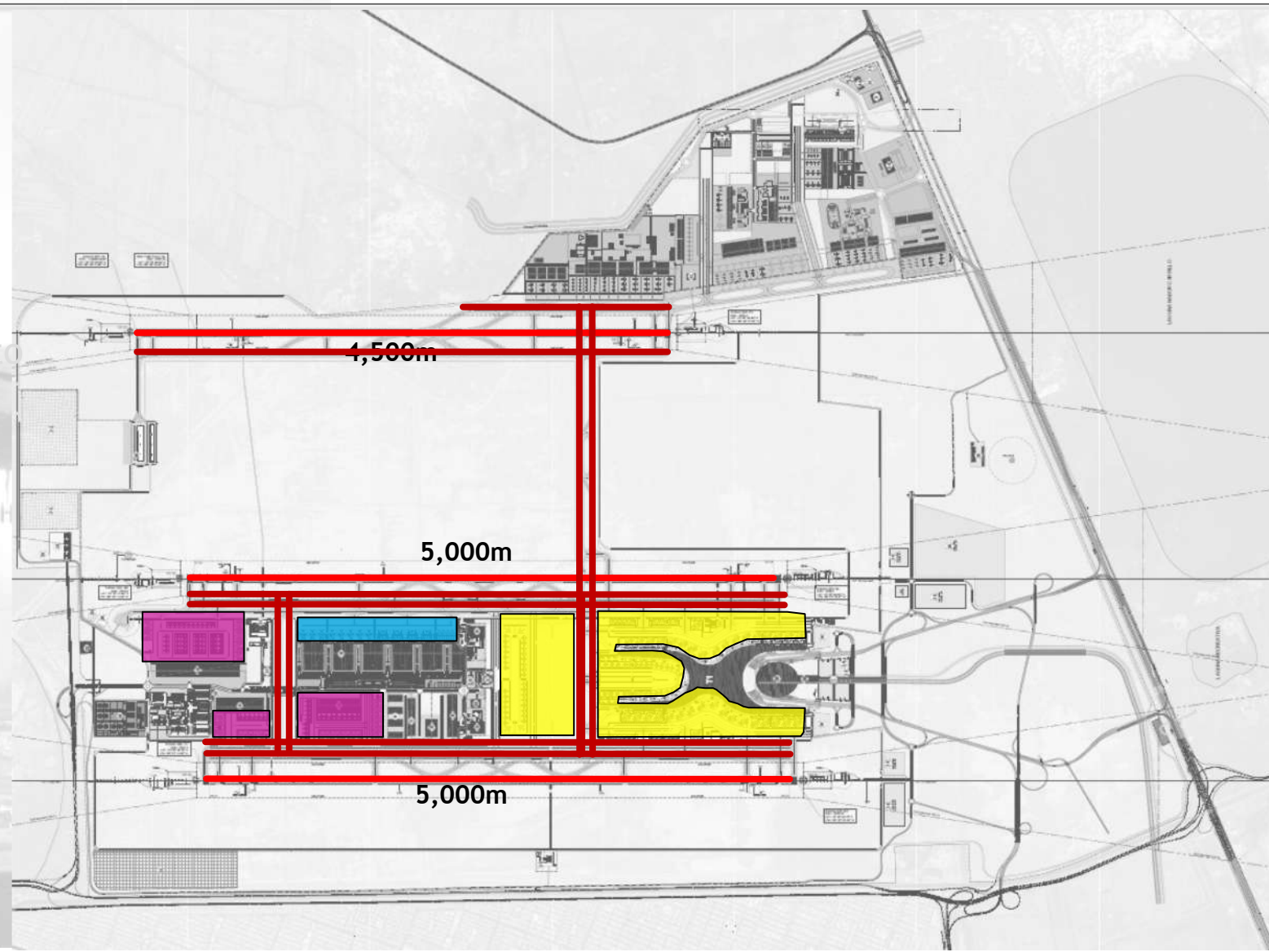
Aeropuerto Schiphol de Ámsterdam



Precarga y drenes verticales

Alcance del proyecto

- Pistas
- Rodajes
- Plataformas
- Comercial
- Plataforma de Carga
- Plataforma Manteniamiento



Investigación de campo y pruebas

Investigación del terreno

Como base para la investigación, TASANA realizó el estudio, entre otros, de:

- Estudios y publicaciones de la UNAM
- Reporte Factual de Investigación del Terreno (GEOTEC, 2013)
- Reporte Geotécnico UNAM 2001
- Reporte Geotécnico TGC 2014
- Reporte Geotécnico CFE 2014
- Datos Geotécnicos CFE 2015
- Datos de monitoreo en campo (de las pruebas en sitio)

Investigación de campo y pruebas

Subsidencia

- Las tasas de subsidencia determinadas se basan en:
- Reportes del II-UNAM
- Levantamientos del 2014 al 2016 de IUYET
- Las Tasas de subsidencia se han incorporado en la medición de asentamientos

Investigación de Campo y Pruebas

Conclusión de las pruebas

- Incorporar pavimento y cargas de tráfico de aeronaves a un subsuelo muy blando conlleva a asentamientos excesivos o fallas
- Si no se toman las medidas apropiadas, esto dará como resultado ciclos de mantenimiento muy cortos con frecuentes intervenciones al pavimento
- **El mejoramiento de suelo es necesario para cumplir con los requisitos de desempeño / Servicio del pavimento**



Investigación de campo y pruebas (II-UNAM y otros)

Terraplenes de prueba

Pruebas a gran escala	Año	Descripción
Terraplén de referencia	2015	Estructura de Pavimento sobre suelo natural
Terraplén con Drenes Verticales	2015	Como se menciona arriba pero con PVDs
Terraplén con Drenes Verticales de arena	2015	Como se menciona arriba pero con PVDs de arena
Terraplén Semicompensado	2015	Estructura de Pavimento en una excavación
Inclusiones Rígidas	2015	Estructura de Pavimento sobre pilotes de fricción
Terraplén con pilotes	2015	Como se menciona arriba: alternativo
Celdas estructurales	2015	Pavimento en celdas de concreto postensadas
Postensada	2015	Pavimento en losas de concreto postensadas
Postensada con inclusiones	2015	Como se menciona arriba con pilotes de fricción
Vacío con membrana	2018	Subbase con consolidación por vacío
Vacío sin membrana	2017	Como se menciona arriba: otra técnica

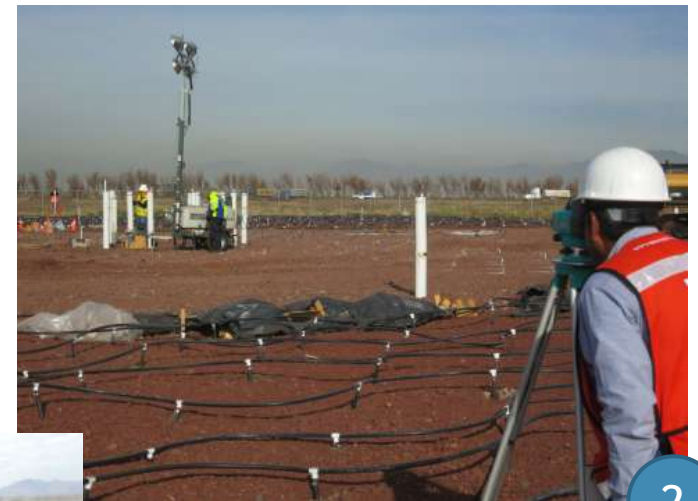
Investigación de campo y pruebas

Pruebas de vacío

- Pruebas de vacío propuestas por TASANA en el 2016
- Razón para realizar las pruebas de vacío: mantener la presión de vacío en estas condiciones y altitud
- Dos tipos: sin y con membrana, realizados respectivamente en 2017 y 2018
- Ambas pruebas de vacío demostraron ser efectivas

Investigación de campo y pruebas

Pruebas de vacío



Sin membrana



Con membrana



Diseño Seleccionado

Bases de Diseño y Evaluación de alternativas

Bases: Pruebas de II-UNAM y experiencia del consultor en todo el mundo

Criterios de evaluación:

1. Criterios de OACI para la resistencia del pavimento y asentamientos residuales
 - Requerimiento de pendiente longitudinal y transversal para los pavimentos (en el orden de pendiente de 1% a 1.5%, transversal)
2. Robustez (Ciclo de mantenimiento):
 - Actividades de mantenimiento mayores cada 5-8 años
 - Reacondicionamiento de pavimentos cada 20 años
3. Tecnología probada
 - Técnicas utilizadas satisfactoriamente en otros proyectos
4. Tiempo
 - El objetivo es tener un tiempo de precarga de 12 meses, si es posible desde un punto de vista geotécnico, para poder ligarlo con los programas de construcción de los contratistas
5. Costo
 - Minimizar costos de construcción y mantenimiento

Evaluación de alternativas

Criterios de la OACI

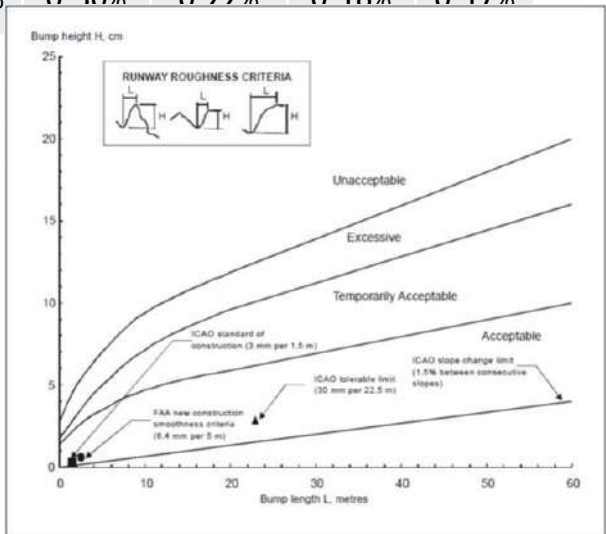


- O.A.C.I = Organización de Aviación Civil Internacional (www.icao.int)

Irregularidades de la superficie	Máxima longitud aceptable de irregularidades (m)									
	3	6	9	12	15	20	30	45	60	
Máxima altura o profundidad de irregularidad superficial (cm)	3	3.5	4	5	5.5	6	6.5	8	10	
Altura o profundidad de irregularidad superficial temporalmente aceptable (cm)	3.5	5.5	6.5	7.5	8	9	11	13	15	
Pendiente calculada	1.00%	0.58%	0.44%	0.42%	0.37%	0.30%	0.22%	0.18%	0.17%	



OACI 2013



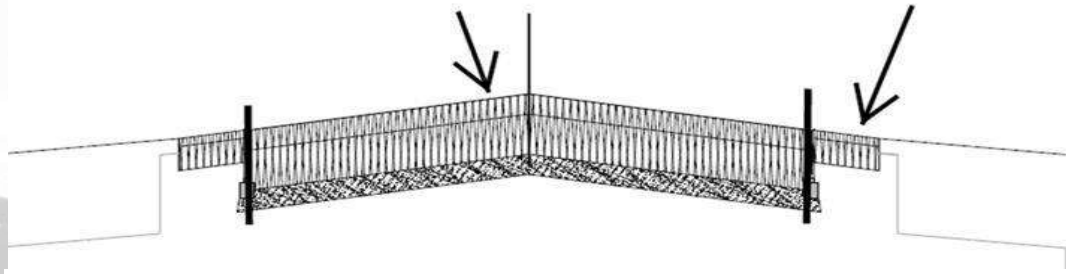
Evaluación de alternativas

Crterios de la OACI



Slope full pavement
Design: 1,5%
Max.: 1,5%
Min.: 1,0%

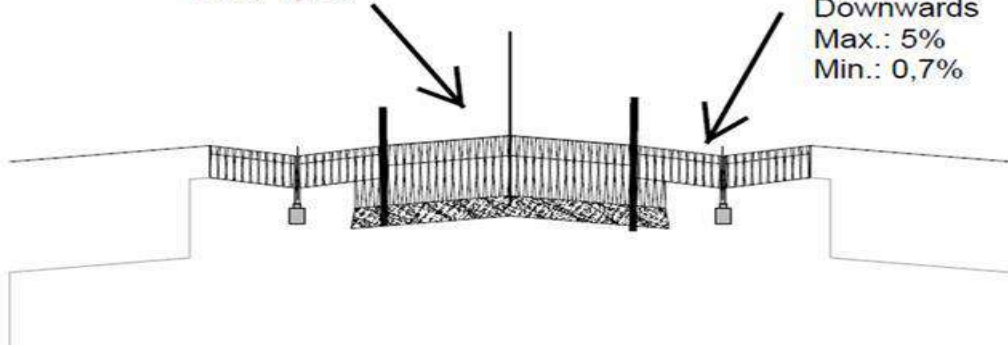
Slope shoulder pavement
Design: 1,5%
Max.: 2,5%
Min.: 1,0%



Pistas

Slope full pavement
Design: 1,0%
Max.: 1,5%
Min.: 0,7%

Slope shoulder pavement
Design: 1,5%
Upwards
Max.: 2,5%
Min.: 0,7%
Downwards
Max.: 5%
Min.: 0,7%



Calles de rodaje

Evaluación de alternativas

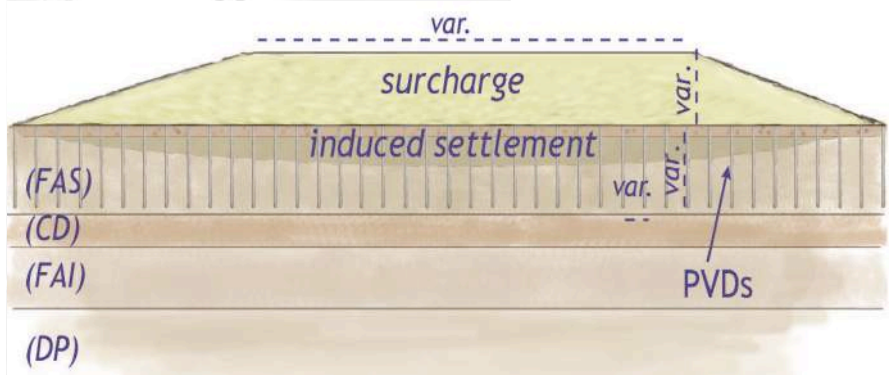
De los 11 métodos de mejoramiento de suelo considerados, se eligieron 5 opciones, las cuales fueron las más apropiadas para evaluación del proyecto.

No.	Alternativas a Evaluar
1	Precarga
2	Vacío
3	Inclusiones Rígidas
4	Semi-compensada
5	Postensada

Evaluación de alternativas

Precarga

- Aplicar al suelo una carga mayor a la que aplicará la estructura del pavimento en servicio causará consolidación. Esto da como resultado un mejoramiento de las propiedades de suelo y una reducción en los asentamientos post-construcción.
- Objetivo: mejorar la rigidez del subsuelo aplicando un esfuerzo mayor (Presforzar) al que aplicará el pavimento
- Presforzar mediante la colocación de material granular pesado (sobrecarga)

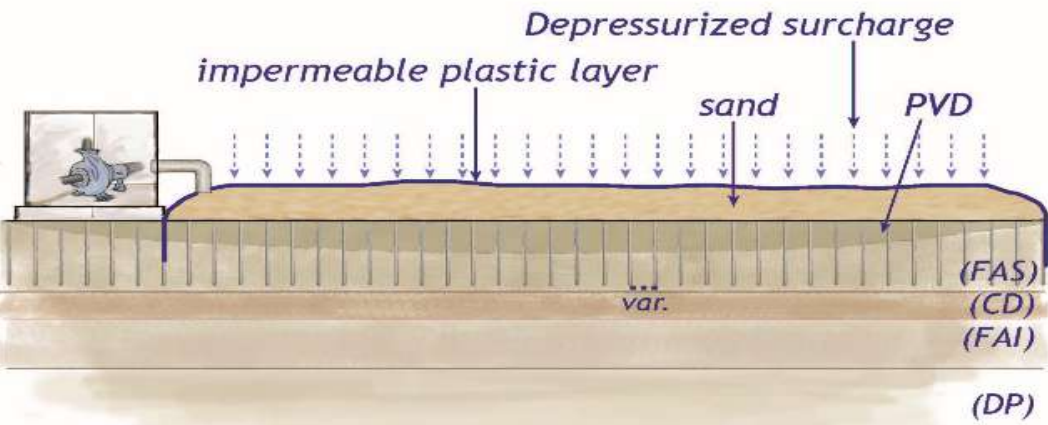


FAS = Formación de arcilla superior
 CD = Capa dura
 FAI = Formación de arcilla inferior
 DP = Depósitos profundos (arcilla/rigidez)
 PVD = Drenes Verticales prefabricados

Evaluación de alternativas

Vacío

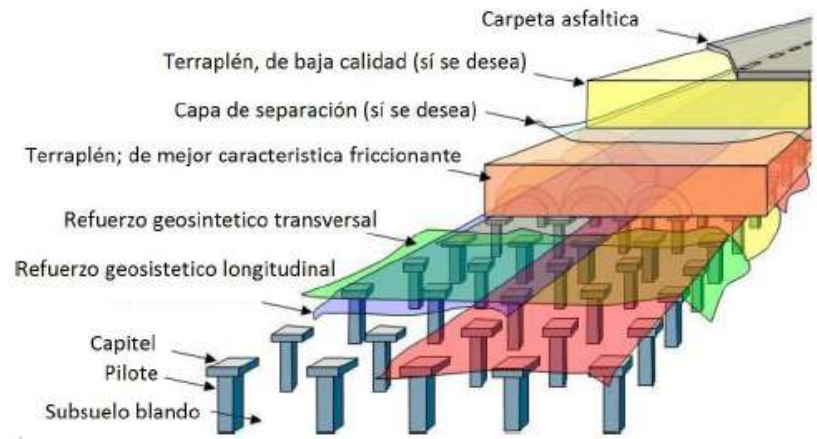
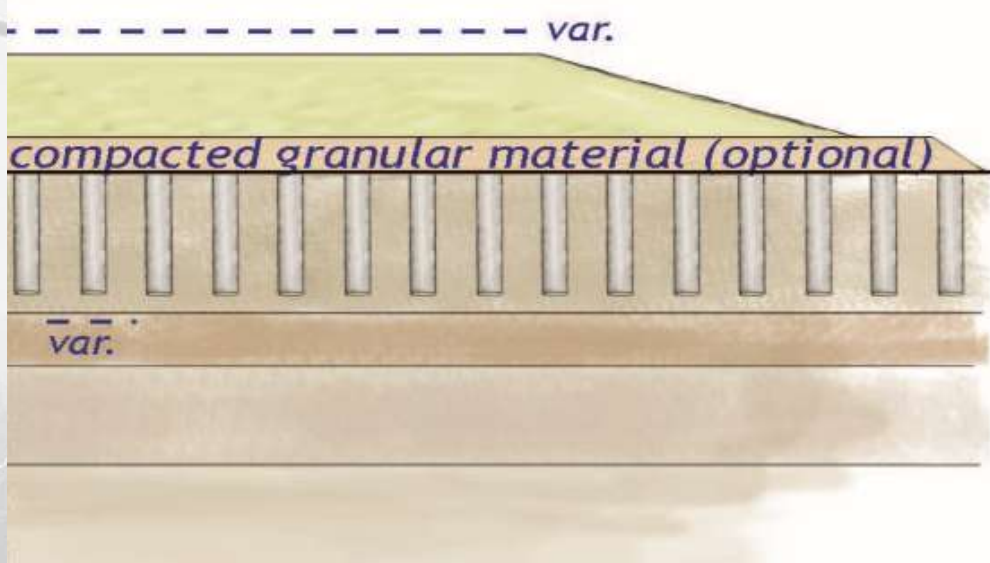
- Objetivo: mejorar la rigidez del subsuelo aplicando un esfuerzo mayor (Presforzar) al que aplicará el pavimento
- Presforzar al crear presión por vacío en el suelo
- Probado en tramos de prueba en el sitio del proyecto



Evaluación de alternativas

Inclusiones rígidas

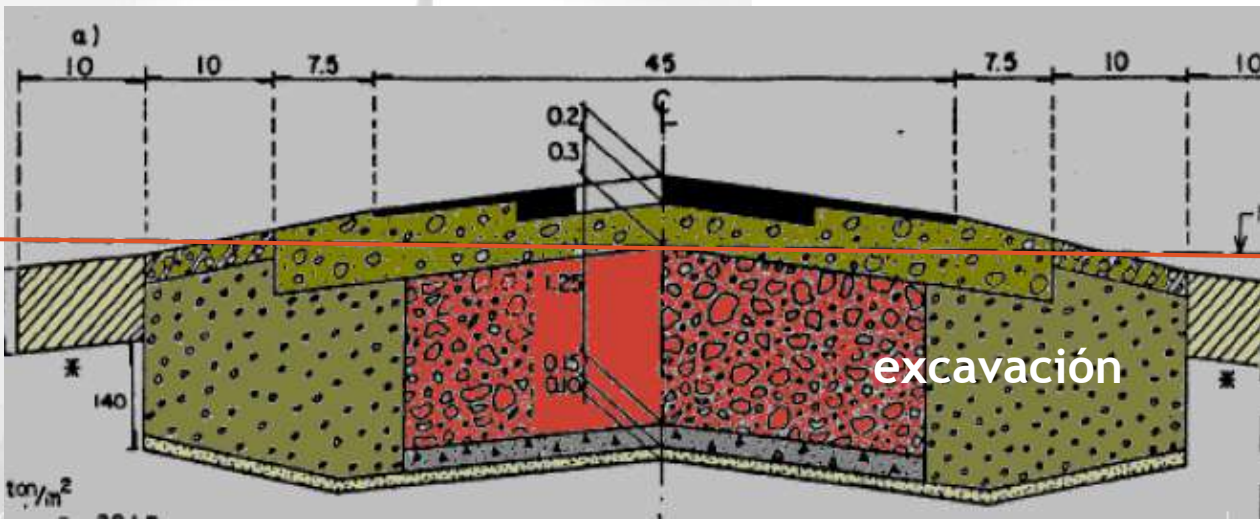
- Objetivo: transferir la carga de pavimento a capas del suelo más profundas y rígidas por medio de pilotes de fricción
- Probado en uno de los tramos de pruebas en el sitio del proyecto.



Evaluación de alternativas

Semi-compensada

- Limitar la carga de la estructura del pavimento para compensar el peso del mismo. Excavar el suelo y reemplazarlo con material ligero
- Probado en una de las áreas de pruebas en el sitio del proyecto



Nivel original de la superficie

Del reporte Geosol 2015

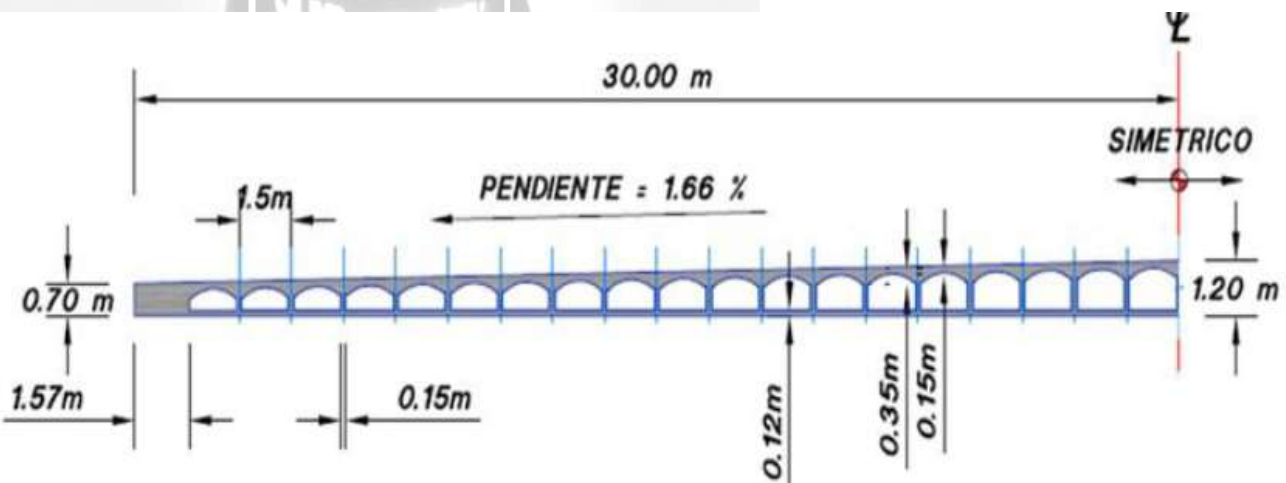
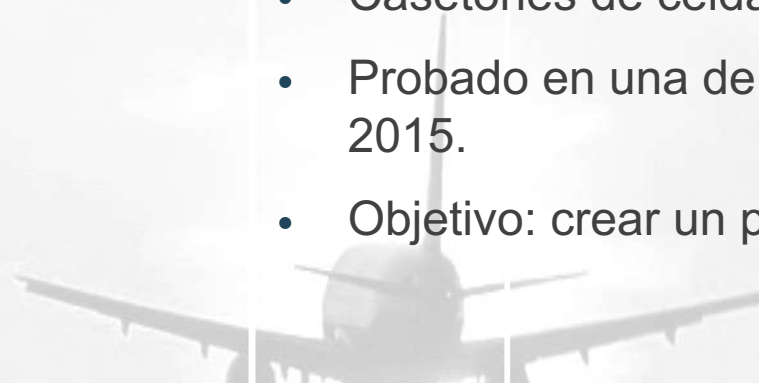


Del reporte II-UNAM (2015)

Evaluación de alternativas

Postensada

- Casetones de celdas postensados pre-forzados
- Probado en una de los tramos de prueba en el sitio del proyecto en 2015.
- Objetivo: crear un pavimento rígido flotante



Reporte del II-UNAM (2015))

Del reporte del II-UNAM (2015))

Evaluación de alternativas

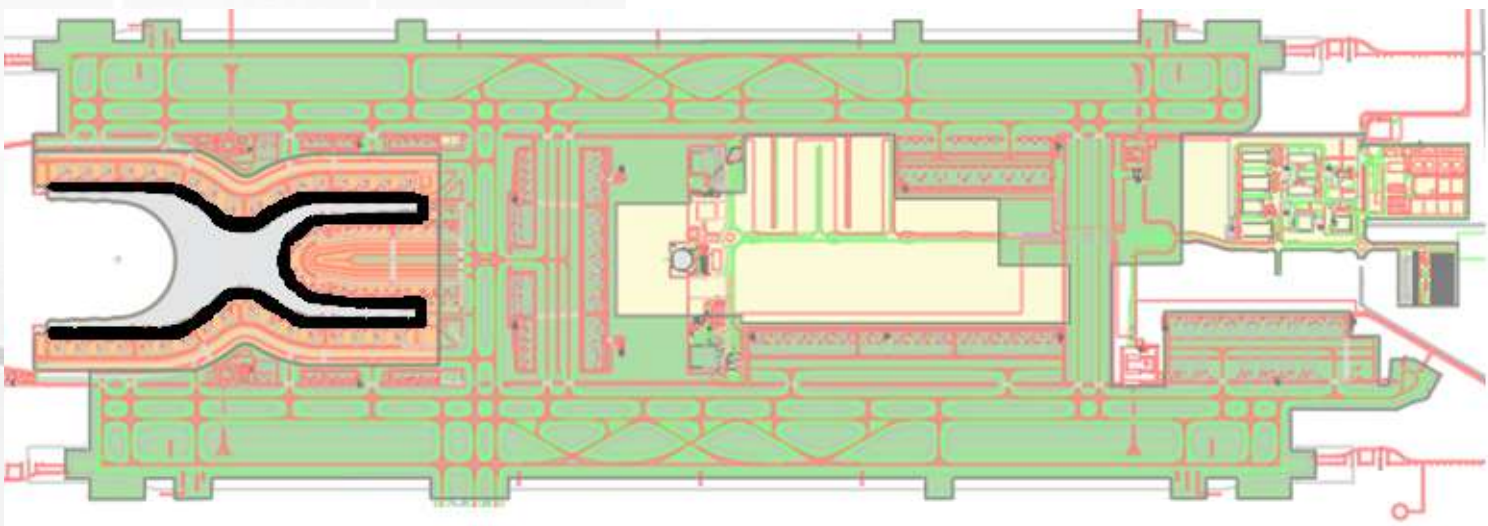
Matriz de evaluación





	Rendimiento respecto OACI	Robustez	Tecnología probada	Programa	Costo
Precarga	Bueno	Alto	Probado en aeropuertos	Comparado razonablemente con el proyecto entero	Material de recarga usado como agregado de construcción
Vacío	Bueno	Alto	Probado en aeropuertos para confirmar idoneidad en instalaciones en elevada altitud.	Reduce consolidación de tiempo	Reduce la cantidad de precarga pero mayor coto del sistema
Inclusiones Rígidas	Bueno	Alto	No probado en construcción de aeropuertos	Duraciones de construcción largas debido a complejidad en instalación	Alto costo de materiales e instalación
Semi-compensada	Mal	Alto	Probado en aeropuertos	Duraciones de construcción largas debido a excavaciones profundas	Alto costo de excavación y logística
Postensada	Mal	Baja	Resultados variados de diferentes aeropuertos, pero un número limitado	No periodo de consolidación y excavación limitada	Excavaciones limitadas y grandes cantidades de concreto

Buen desempeño Neutral Mal desempeño

Diseño Seleccionado

Aplicación de precarga y de vacío en el proyecto

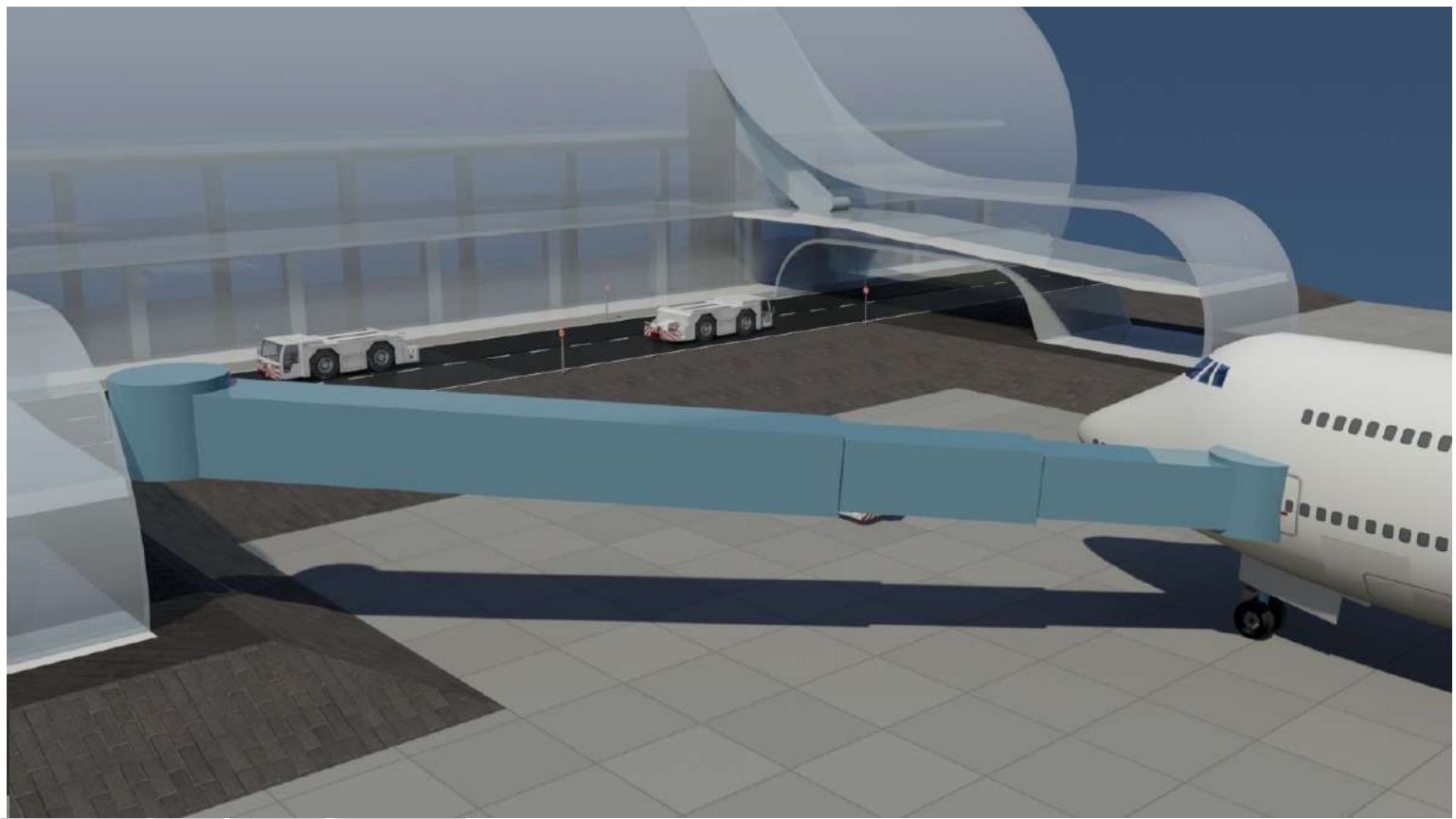


-  Precarga con material granular
-  Vacío
-  Pavimento Compensado (alrededor de la Terminal)
-  Otros pavimentos

Diseño Seleccionado

Vacío para la plataforma comercial

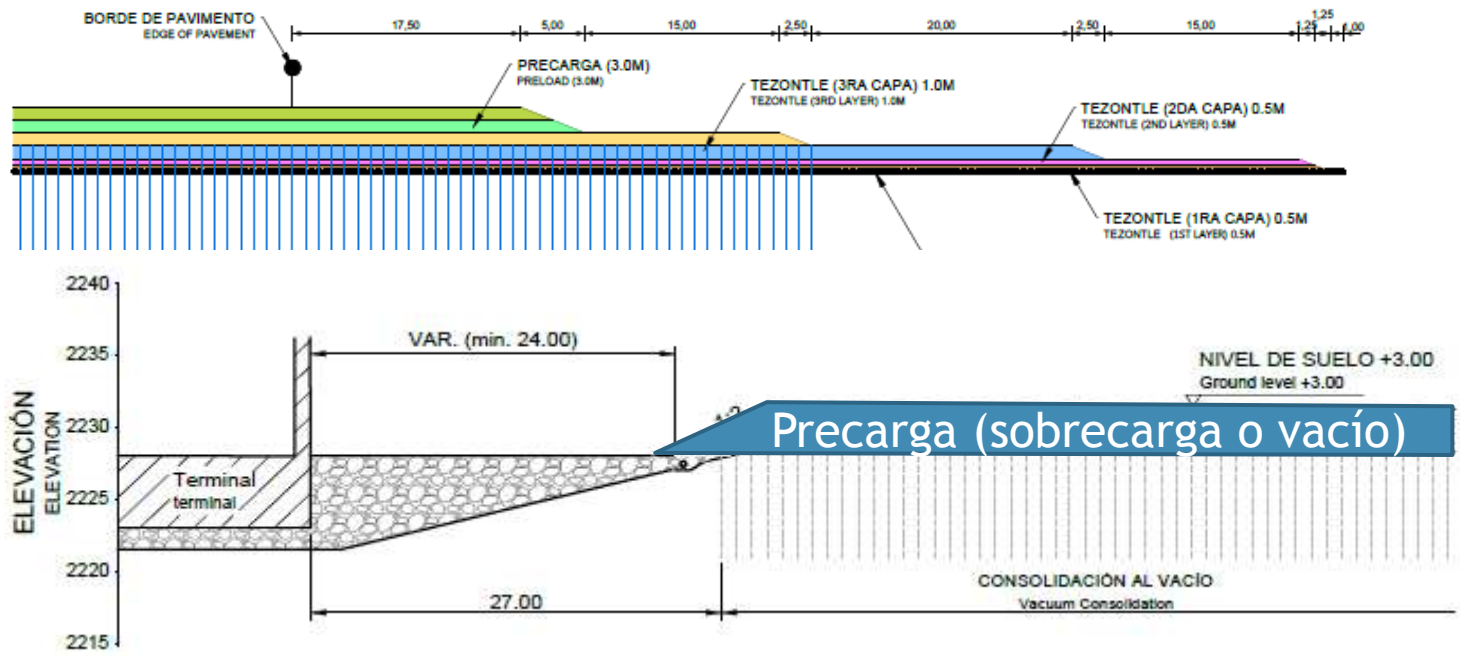
- Requisito de asentamientos residuales (después de la construcción) estricto para la conexión con la Terminal.



Diseño Seleccionado

Vacío para la plataforma comercial

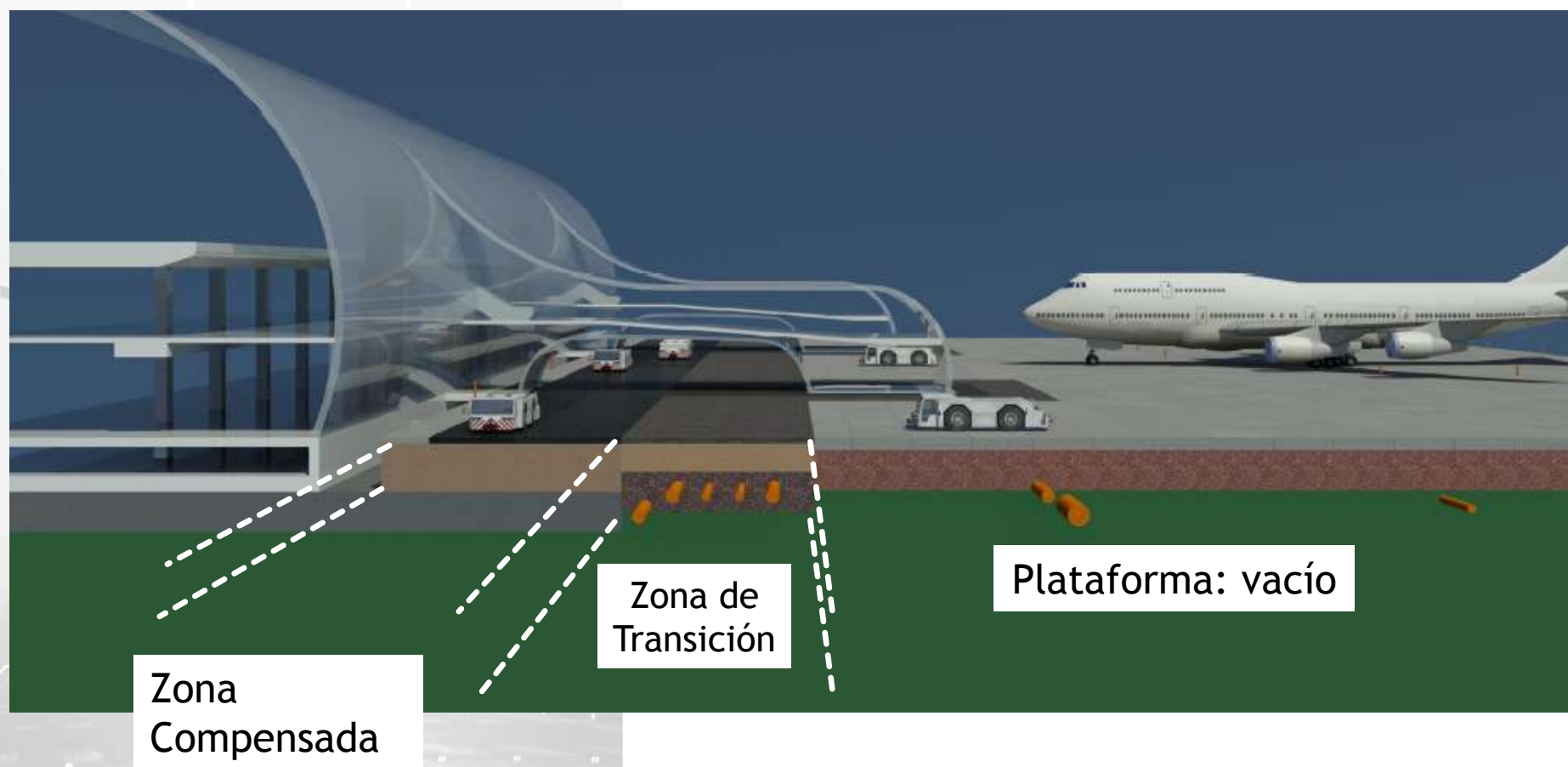
- En términos de estabilidad: limitado espacio disponible para sobrecargar en la interfaz con la terminal



- La consolidación por vacío reduce los desplazamientos laterales en relación con el edificio terminal

Diseño Seleccionado

Plataforma/Zona de transición/ compensada



Fase de construcción

Método observacional

- El método observacional se establece para valorar la variabilidad de las condiciones de suelo y el comportamiento en espacio y tiempo durante el proceso mejoramiento de suelo (sobrecarga y vacío)
- Se ha diseñado un programa de monitoreo exhaustivo para proporcionar bases al MO
- Los datos de monitoreo se evalúan y procesan a través de modelos geotécnicos
- Esto permite la toma de decisiones en tiempo real en cuanto a ajustes, donde se requiera, tanto para el diseño de precarga como de pavimento, a fin de cumplir con los requisitos de diseño.
- Proporcionar las bases para el establecimiento del tiempo más óptimo de remoción de precarga
- Colaboración con CFE y II-UNAM
- Consultas continuas con el cliente, Parsons y el contratista

Fase de Construcción

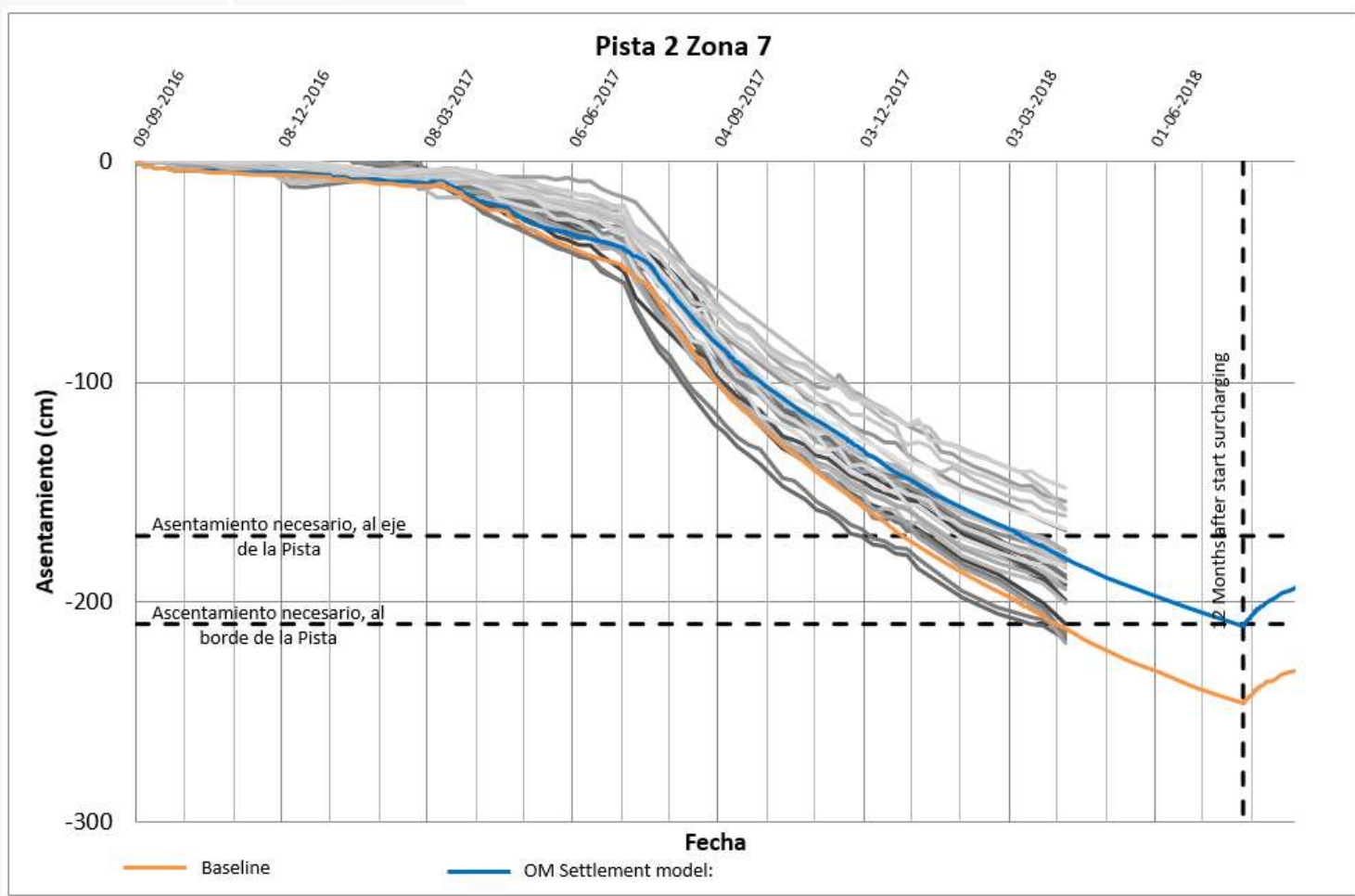
Método Observacional

Medidas de mitigación identificadas para implementarse en donde se observe que las condiciones de suelo difieren de aquellas anticipadas/modeladas, a fin de cumplir con los requisitos de diseño:

- Sobrecarga adicional
- Bombeo (disminuyendo el nivel freático)
- Extender el tiempo de precarga
- Espesor CTB
- Otras medidas, como excavación, en caso de ser requeridas

Fase de Construcción

Método observacional



Fase de construcción

Avance de la construcción



Fase de construcción

Avance de la construcción



Fase de construcción

Avance de la construcción



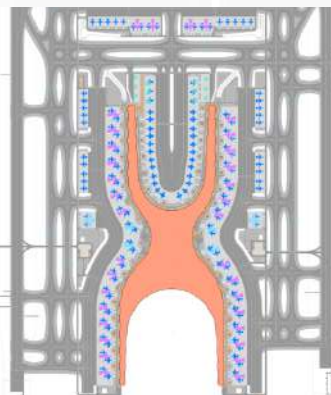
Fase de construcción

Avance de la construcción



Fase de construcción

Avance de la construcción



Conclusiones

- Se requiere la mejora de suelo para cumplir con los requisitos de aviación para el pavimento
- Después de realizar un estudio y evaluación, se identificaron las mejores opciones para el mejoramiento de suelo:
 - Precarga para pistas y calles de rodaje
 - Consolidación por vacío para plataformas comerciales
- La precisión de la predicción del comportamiento de asentamiento incrementa con la implementación del método observacional.
- El nuevo diseño representa una mejora significativa en comparación con el aeropuerto actual.