



Colegio de  
Ingenieros Civiles  
de México A.C.

---

RESUMEN DEL DICTAMEN DEL COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES  
DE MÉXICO A.C. SOBRE LAS OPCIONES PARA LA SOLUCIÓN DEL  
PROBLEMA DE SATURACIÓN DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL  
DE LA CIUDAD DE MÉXICO

---

# **Comité Técnico de Infraestructura del Transporte**

## I. COMITÉ DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE

El pasado 06 de agosto de 2018 en el desayuno Diálogo con Ingenieros al cual fue invitado el Lic. Andrés Manuel López Obrador Presidente electo de los Estados Unidos Mexicanos, solicitó al Colegio de Ingenieros Civiles de México a través de nuestro Presidente del XXXVII Consejo Directivo, Ing. Ascensión Medina Nieves, realizar una revisión en la cual indicáramos los Pros y los Contras de:

a) Proyecto actual del Nuevo Aeropuerto Internacional de México (NAIM)

Vs.

b) Conservar al actual Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM) y ampliar su capacidad con uno nuevo en la base aérea militar de Santa Lucía.

El informe con las *“opciones posibles para la solución del problema de la saturación del AICM”* nos fue entregado el 20 de agosto del 2018 para la posterior convocatoria de mesas de trabajo según la especialidad de los Comités Técnicos que en nuestro caso aplica para la Infraestructura del Transporte.

Desde hace varias décadas se ha venido analizando las distintas opciones de como solucionar el problema de saturación del AICM, considerandose las opciones de Texcoco y Santa Lucía en la cual inclusive se llegó a considerar un tren rápido que saliera del monumento a la Madre hacia dicho nuevo aeropuerto.

Sin embargo, derivado de todos los estudios de factibilidad realizados en cada opción, al día de hoy, siempre se ha considerado técnicamente la opción de Texcoco como la más viable -a pesar de tener un costo mayor- debido al retorno y bienestar que generará dicha infraestructura del Transporte, no sólo para la zona oriente de la zona metropolitana, sino para la zona centro y para el País en su conjunto.

A continuación, presentamos el análisis solicitado.

## **CONDICIONES DEL SUELO:**

### **COMPARATIVA DE ALTERNATIVAS DEL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DEL NAIM EN TEXCOCO Y SANTA LUCÍA, DESDE EL PUNTO DE VISTA GEOTÉCNICO**

Los días 28 al 30 de agosto del 2018 fue convocado el Comité de Infraestructura (CI) del Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM), para darle a conocer las condiciones en que se encuentran el proyecto y construcciones de las dos alternativas para el AICM; una totalmente nueva situada en el Lago de Texcoco (NAIM), y la otra consistente en aprovechar el actual aeropuerto para vuelos nacionales y construir nuevas instalaciones para vuelos internacionales, en los terrenos de la base aérea ubicada en Santa Lucía, Edo. de México.

Para lo anterior, los equipos desarrolladores de ambas alternativas hicieron sus respectivas presentaciones al CI, que por razones de escasez de tiempo fueron muy breves y resumidas. El objeto de estas presentaciones fue informar y normar el criterio del CI respecto a los dos proyectos, de manera que el CICM pudiera emitir su opinión profesional, a efecto de orientar la consulta pública que ha sido convocada el próximo mes de octubre por el Presidente Electo Andrés Manuel López Obrador (AMLO), para decidir cuál de ellos será el que se desarrollará en definitiva.

El objeto de este escrito es proporcionar la opinión consensada de geotecnia sobre este tema. Se aclara que en el caso del NAIM en Texcoco, además del avance presentado por el Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México (GACM), se tomaron en cuenta los estudios y planos entregados por éste para la licitación en el año 2016 de la supervisión del Edificio Terminal y de las pistas. Para la alternativa de Santa Lucía, la presentación hecha por el Grupo de Asesores fue muy escueta, por lo que se trató de recopilar algo de la información disponible en la bibliografía, así como experiencias personales, sobre el subsuelo y comportamiento de las instalaciones existentes.

## **1. EDIFICACIONES**

### **1.1 Edificios del NAIM en Texcoco**

Durante su presentación, el GACM describió la gran cantidad de exploraciones e instrumentaciones del subsuelo que han llevado a cabo para estudiar el subsuelo en el sitio del NAIM. A partir estos trabajos se construyeron perfiles estratigráficos detallados con propiedades, a lo largo de distintos ejes longitudinales y transversales de los edificios y pistas en construcción, los cuales muestran la disposición típica del subsuelo de la Zona del Lago o Zona III definida en el Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México y sus Normas Técnicas Complementarias (NTC), compuesta por: Costra Superficial (CS), Formación Arcillosa Superior (FAS), Primera Capa Dura (PCD), Formación Arcillosa Inferior (FAI) y Depósitos Profundos (DP).

Otras características son que los suelos de los 30 m superiores presentan baja permeabilidad, una inusual alta salinidad y agresividad química severa hacia los concretos y el acero.

Es bien conocido y documentado que en la zona tiene lugar un proceso de hundimiento regional, debido a la extracción de agua de los acuíferos profundos en pozos de bombeo, que en la superficie alcanza valores de hasta 20 cm/año. En consecuencia, la presión de poro intersticial es casi hidrostática en los primeros 20 m, pero presenta abatimientos hacia abajo de la PCD.

Cabe hacer notar que en la presentación no se mencionó que se hubiera tomado en cuenta la existencia en la zona de otros dos fenómenos asociados a la extracción de agua freática: la aparición de Grietas de Tensión, que afectan el subsuelo desde la superficie hasta profundidades significativas, y la generación de Mantos Colgados de agua, contenidos por lentes más impermeables al descender los niveles piezométricos locales. Asimismo, la presencia de montículos arenosos superficiales llamados “tlateles”, capaces de inducir asentamientos diferenciales locales de terraplenes para las pistas.

A continuación se tratará por separado lo que corresponde a la cimentación de cada una de las principales edificaciones en construcción.

### *1.1.1 Edificio Terminal (ET) y Centro de Transporte Terrestre (CTT)*

El ET es un complejo de 4 niveles y un sótano, con una superficie del orden de 743,000 m<sup>2</sup>, inscrito en un rectángulo de 1,600 m de largo y 600m de ancho, que en planta se asemeja a una “X”. Por su dificultad constructiva, destaca el sótano excavado al nivel -7.0 m, que alojará el servicio del APM y Sistema de Manejo de Equipaje, con una superficie del orden de 70,275 m<sup>2</sup>.

Por su parte, el CTT es un edificio de cuatro plantas, con una superficie total aproximada del orden de los 130,000 m<sup>2</sup>, situada al sur del núcleo central del ET, que integrará un estacionamiento de corta estancia con capacidad aproximada de 5,250 cajones, área de operaciones para conexión de autobuses, estación del autobús interurbano, estación del Metrobus, una estación del Metro, estacionamiento para alquiler de vehículos y áreas comerciales.

Tanto el ET como el CTT estarán cimentados con una placa de concreto monolítica para compensación, cuyo objetivo es lograr que la nueva carga total bajo la losa sea igual a la carga total del suelo antes de la construcción (sin losa presente). La losa trabajará en conjunto con pilotes de fricción distribuidos espaciados bajo ella, para ayudar a controlar posibles movimientos diferenciales. Se espera que los pilotes y la losa se asienten al mismo tiempo, siguiendo el hundimiento regional del sitio.

Con fines de investigación previa, el GACM diseñó y ejecutó un programa de pruebas de pilotes, de excavación y de construcción del elemento placa de cimentación. Los resultados de estas pruebas han permitido ajustar las consideraciones hechas respecto a la constructividad y el comportamiento del suelo.

En primer lugar, debe resaltarse que no se conocen antecedentes de la construcción en la zona del Lago de Texcoco, de una cimentación compensada de las dimensiones y características de la proyectada para el NAIM: i), abarcando un espacio de 1600 x 600 m; ii), a base de una losa de cimentación de concreto monolítica; e iii), con zonas totalmente, parcialmente y sobre-compensadas, excavadas a profundidades variables de hasta 6.5 m.

Dadas las dimensiones del ET y del CTT, la hipótesis de diseño de que, por tratarse de una cimentación “rígida” las deformaciones de la losa serán uniformes, puede no ser del todo aplicable. Llama la atención que en la presentación del GACM no se mencionó nada acerca de haber considerado en el diseño la colocación de juntas de la losa de cimentación estratégicamente dispuestas, para tomar en cuenta diferencias en la magnitud de la compensación, y de las deformaciones verticales o contracciones/dilataciones de la misma que pudieran presentarse.

Para el monitoreo de las excavaciones se ha instalado una importante cantidad de instrumentos de control. Hasta donde sea posible, esta instrumentación se deberá proyectar y preservar a fin de que pueda seguirse midiendo después de la construcción, para monitorear el comportamiento de la cimentación de los edificios ya en la etapa de operación, complementándola con los instrumentos adicionales que sean necesarios para ello.

Dada la inusual alta salinidad y agresividad química del subsuelo y agua freática, en todos los elementos que estarán en contacto con ellos, como son los pilotes, losa de cimentación y muros perimetrales de cajones de compensación, se han adoptado medidas de protección especiales, como son recubrimientos de 7.5 cm y concretos de baja permeabilidad.

En planos de construcción de las losas de cimentación, se prevé que conforme se vaya terminando la cimentación en las diferentes zonas de los edificios, se utilicen lastres para mantener los esfuerzos transmitidos al subsuelo lo más cercanos posible al esfuerzo efectivo original, pero siempre por debajo del Esfuerzo Crítico o Carga de Preconsolidación. Los lastres se reducirán a medida que se avance en la construcción de la superestructura, y se incrementen sus descargas hasta la condición de compensación final prevista en el proyecto.

Un aspecto que resulta esencial asegurar en el proyecto es que bajo ninguna circunstancia, en las condiciones más críticas que pudieran ocurrir durante la construcción de los edificios, y a lo largo de la vida útil de éstos, se presente la flotación de alguna parte de la cimentación compensada ante Eventos Extremos de inundaciones o escurrimientos de agua.

Otro punto a vigilar para cumplir con las previsiones del proyecto, son los pesos volumétricos de los materiales ligeros (Tezontle) que se usarán como parte de la compensación del peso de los edificios. En caso necesario, puede ser conveniente usar como complemento otros materiales ligeros tales como poliestireno de alta densidad, cuyo peso volumétrico es del orden de 30 kg/m<sup>3</sup>.

Respecto a los pilotes, éstos se distribuirán según una retícula regular con ejes separados a unos 9 m, y su cabeza estará desconectada de la losa de cimentación, aproximadamente a un metro abajo del lecho inferior de ésta. La longitud de los pilotes se tratará de mantener constante en la medida de lo posible, tomando en cuenta que la elevación de la losa es variable, y su punta se dejará al menos 2 m por encima de la PCD, para que los pilotes trabajen esencialmente por fricción lateral más que por soporte de punta.

Cabe señalar que por la forma en que está previsto que trabajen los pilotes, constituirán un sistema cerrado en el cual no es posible tener algún control externo de sus desplazamientos, ni por su cabeza en la parte superior, ni por su punta en el extremo inferior. La experiencia local en las condiciones del subsuelo y de hundimiento regional de la Ciudad de México, reporta diversos casos en los que los pilotes de fricción, con holguras del orden de 2 a 3 m entre su punta y la Primera Capa Dura (PCD), han alcanzado a apoyarse en ésta con el paso del tiempo, contraviniendo lo dispuesto en las NTC y dando lugar a comportamientos inadecuados de las cimentaciones de edificios, como es el caso de la Terminal 2 del actual aeropuerto. No debe olvidarse que el hundimiento regional de la superficie medido en el sitio del NAIM es del orden de 20 cm/año, y que se han hecho estimaciones por los mismos proyectistas de éste, de que el hundimiento de la superficie será de unos 17 m en el horizonte de 75 años del proyecto.

Para tomar en cuenta lo anterior, se han desarrollado algunos sistemas que permiten controlar el movimiento de los pilotes sujetos a hundimiento regional, sea en su extremo inferior como los de “punta penetrante”, o bien en su parte superior como los pilotes de control, usando éstos un dispositivo ajustable semejante al propuesto en el proyecto para los puentes fijos. Más recientemente, se ha desarrollado otro sistema que permite perforar a través de un tubo dejado al centro de los pilotes, para permitirles atravesar la PCD y continuar trabajando por fricción hacia abajo de ésta.

### 1.1.2 Torre de Control (TC)

Se cimentará mediante pilotes sobre una plataforma circular de concreto, en la que a su vez se apoyará la TC a través de dispositivos antisísmicos especiales.

Tratándose de una cimentación relativamente convencional en la Cd. de México, es poco lo que puede agregarse sobre el diseño y construcción de la cimentación. Si acaso destacar que dada la altura y masa elevada de la TC, que genera un efecto de péndulo invertido durante sismos, es un acierto del GACM el instalar los dispositivos antisísmicos.

### CONCLUSIONES

Las condiciones del subsuelo en el sitio seleccionado para el NAIM no son las más favorables para su construcción. Tomando en cuenta lo anterior, el GACM ha tenido que contratar a consultores internacionales y nacionales, con amplia experiencia en el proyecto y construcción de aeropuertos en subsuelos difíciles.

En consecuencia, para elaborar el proyecto y los procedimientos con los que se construyen actualmente las cimentaciones de las edificaciones, el GACM ha efectuado gran cantidad de exploraciones e instrumentaciones del subsuelo en el sitio del NAIM, en base a cuyos resultados diseñó y ejecutó un programa de pruebas previas de pilotes, de excavación y de construcción de una cimentación consistente en una losa corrida para compensación del peso de las estructuras, combinada con pilotes de fricción.

Las pruebas anteriores permitieron ajustar las consideraciones hechas respecto a la constructividad de la cimentación y el comportamiento del suelo. Esto es importante porque no se tienen antecedentes de la construcción en la zona del Lago de Texcoco, de una cimentación compensada de las dimensiones y características de la proyectada para el NAIM.

Los avances presentados por el GACM en la construcción de las cimentaciones de los edificios del ET, CTT y TC son notables, y demuestran que con los ajustes hechos al proyecto se están logrando las metas en él fijadas.

Sin embargo, la complejidad del proyecto y del subsuelo en que se está construyendo, hacen necesario monitorear el comportamiento de los edificios durante todo el tiempo en el horizonte de 75 años previsto, mediante una instrumentación apropiada para tal fin. En función de los resultados así obtenidos podrán analizarse y definirse los trabajos de mantenimiento que sean necesarios para asegurar la buena operabilidad de las instalaciones, cuyo costo no fue comentado por los presentadores.

### *1.2 Edificios de la base aérea militar de Santa Lucía*

El Grupo de Asesores del Presidente electo, señaló que debido a la secrecía militar de la información, no había podido conseguir ningún estudio geotécnico efectuado para el proyecto de las edificaciones y pistas existentes en la base aérea militar de Santa Lucía (SL).

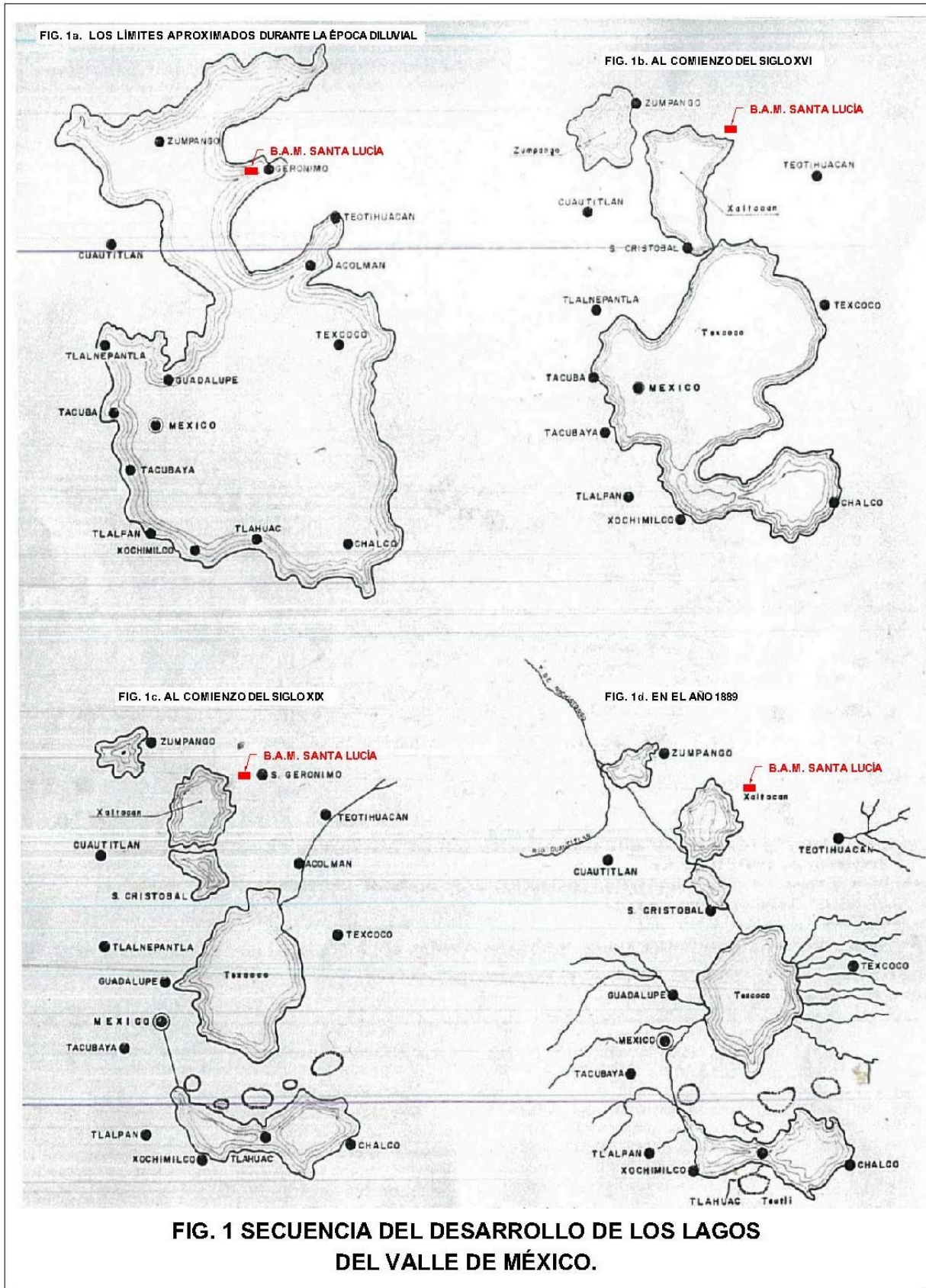
La única información que pudo proporcionar fue que al parecer el comportamiento de la pista construida en los años 1950's ha sido satisfactorio a la fecha, y que tiene conocimiento de la existencia de una capa superficial de arcillas expansivas en un espesor máximo del orden de 7 m.

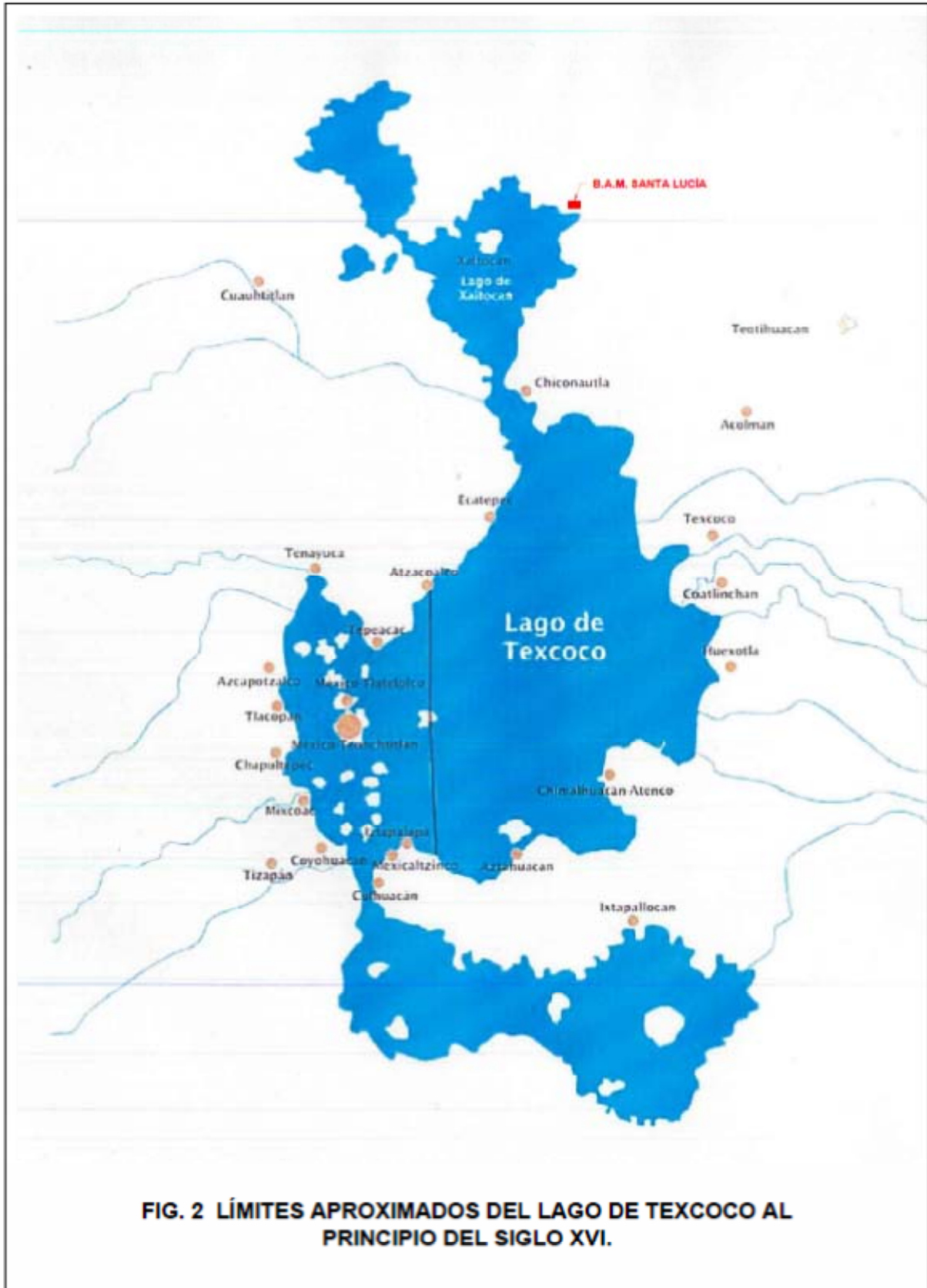
Comentó que ahora ya tienen permiso para consultar la información geotécnica disponible de SL, por lo que procederán a estudiarla para poder emitir un reporte fundado sobre las condiciones del subsuelo prevalecientes en la zona. Aun así, adelantó que prevén que estas condiciones serán mejores que las del NAIM en Texcoco.

Ante la falta de información, el área de geotecnia, se efectuó una rápida investigación sobre las características geológicas de la zona de SL, encontrando lo siguiente:

- a) De acuerdo a la secuencia histórica de desarrollo del sistema lacustre del Valle de México (Fig. 1a), los terrenos de SL quedan alojados dentro de los límites aproximados de un gran lago único durante la Época Diluvial.
- b) Al comienzo del Siglo XVI, el lago único sufrió desecación que lo separó en cinco lagos menores, de Norte a Sur: Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Xochimilco y Chalco (Fig. 1.b). SL quedó ya fuera de los límites del Lago de Xaltocan (Figs. 1b y 2).
- c) La sobreposición de los límites aproximados del gran lago único original en una imagen satelital obtenida de Bing, indica que con las reservas del caso, SL está alojada en lo que fuera la orilla de dicho lago (Figs. 3 y 4).
- d) De confirmarse con los estudios lo expuesto en el punto c) anterior, es posible que en el sitio de SL existan superficialmente depósitos de arcillas de origen lacustre.



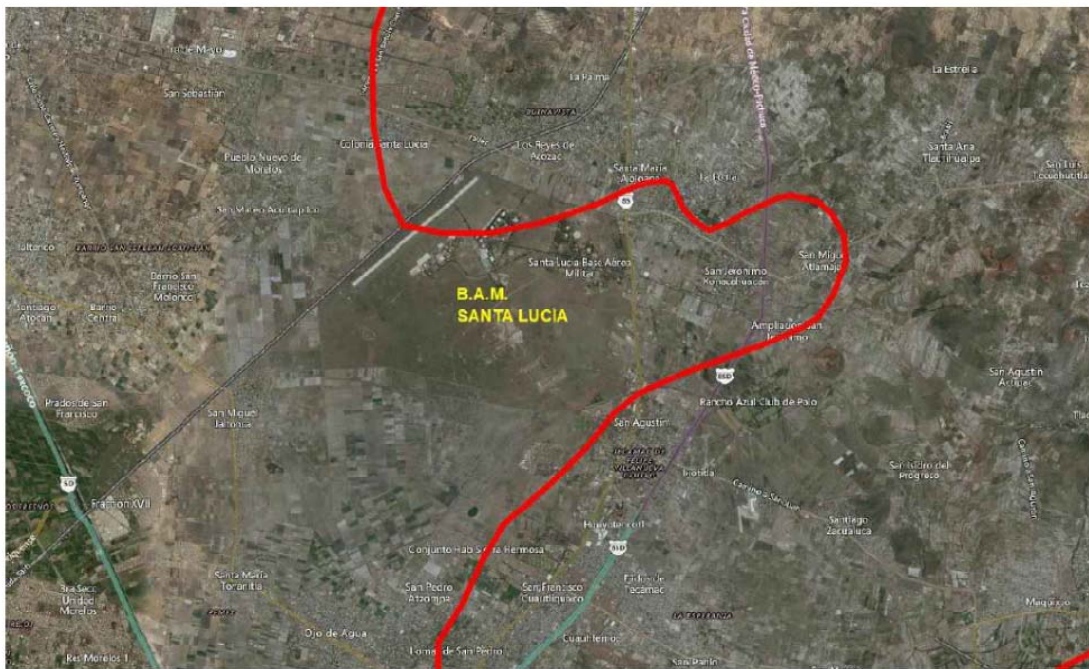




**FIG. 2 LÍMITES APROXIMADOS DEL LAGO DE TEXCOCO AL PRINCIPIO DEL SIGLO XVI.**



**FIG. 3 SOBREPOSICIÓN DE LA FIGURA 1a EN LA IMAGEN SATELITAL DE BING.**



**FIG. 4 ZOOM DE LA FIGURA 3.**

## CONCLUSIONES

Al momento no se cuenta con información suficiente y confiable sobre las condiciones del subsuelo en SL.

De acuerdo a una investigación geológica rápida, es posible que existan en la superficie del terreno de SL depósitos de arcillas lacustres.

De cualquier forma, tal como lo apuntó el Grupo Asesor del Presidente electo, es de esperar que estas condiciones sean mejores que las del NAIM en Texcoco.

## 2. PISTAS

### 2.1 Pistas del NAIM en Texcoco

Para la construcción de las pistas del NAIM se estudiaron diversas alternativas de construcción, a fin de tomar en cuenta las deformaciones que su peso producirá en el subsuelo, compuesto principalmente por arcillas de origen lacustre, de muy alta compresibilidad y baja resistencia al corte. De este modo, se escogió una consistente en el uso de precargas, complementadas con subdrenes verticales del tipo conocido como “mechas”.

Como su nombre lo indica, este sistema consiste en aplicar previamente al subsuelo una carga, mayor a la que se le transmitirá en definitiva, con objeto de adelantar los asentamientos diferidos por consolidación que experimentará la estructura que se proyecta construir, debidos a la expulsión del agua intersticial de los suelos compresibles blandos, bajo incrementos de la presión efectiva actuantes en periodos prolongados. Como ayuda para acelerar este proceso de flujo del agua freática es que se propuso la instalación de los subdrenes.

A grandes rasgos, el planteamiento del proceso se ilustra en la Figura 5 y se describe a continuación:

- a) Se calcula el asentamiento diferido por consolidación final ( $\Delta H_{df}$ ) bajo la presión transmitida ( $P_d$ ), que tendría lugar en un tiempo  $t_{df}$  luego de que la estructura proyectada sea construida sobre el suelo sin tratamiento alguno.
- b) Se determina mediante análisis la magnitud de la presión de sobrecarga ( $P_s$ ) que es necesario aplicar, para obtener el asentamiento final teórico ( $\Delta H_{df}$ ) en el tiempo  $t_{d+s}$  ( $\ll t_{df}$ ) que se busca, para poder retirar la sobrecarga.
- c) Se verifica que bajo la carga  $P_d + P_s$  se tenga un factor de seguridad adecuado contra una falla de capacidad de carga por cortante del suelo.
- d) En caso de que esta última condición no se cumpla, constituirá el límite admisible del valor de la sobrecarga que es posible aplicar y, por tanto, del tiempo que puede adelantarse el asentamiento por consolidación mediante este proceso.

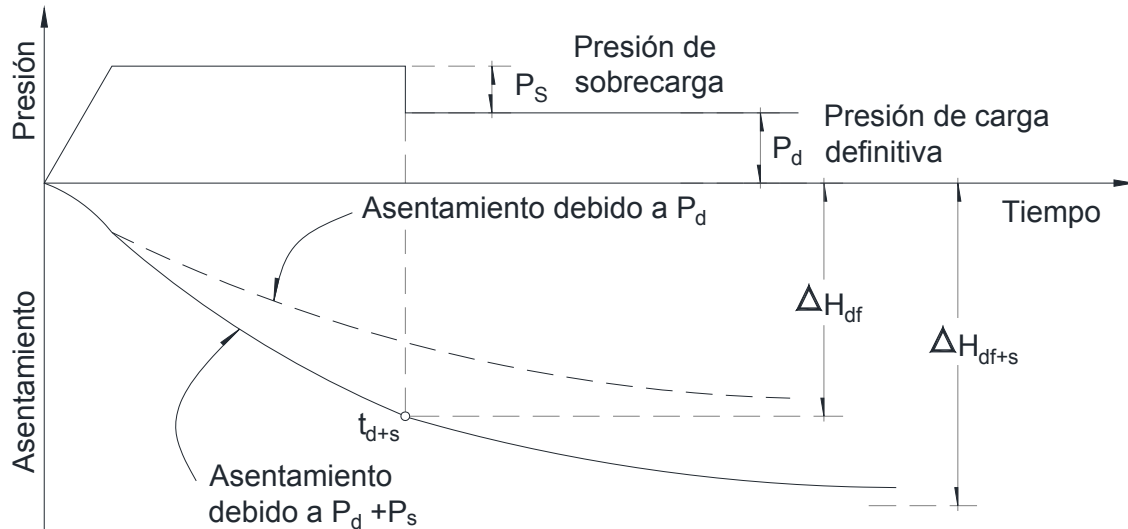


Figura 5. Procedimiento de precarga para adelantar los asentamientos debidos a la consolidación primaria

La aplicación exitosa de este procedimiento requiere tomar en cuenta precauciones especiales, como son:

- 1) Efectuar una exploración e instrumentación del subsuelo intensivas, para poder conocer y caracterizar con el mayor detalle posible, las propiedades índice y mecánicas de los diferentes estratos que lo componen, a efecto de elaborar modelos de análisis que representen las condiciones reales del comportamiento de los terraplenes y pavimentos de las pistas, tanto durante su construcción como a lo largo del horizonte de proyecto previsto. Este requerimiento ya ha sido acertadamente atendido por el GACM.
- 2) Construir terraplenes de prueba instrumentados, para poder observar y medir a escala real su comportamiento, con objeto de ajustar los parámetros y procedimientos que intervienen en el proyecto de los terraplenes y pavimentos definitivos de las pistas. Esta medida también ya ha sido implementada por el GACM.
- 3) El proyecto considera que con las precargas se logrará adelantar prácticamente el 100 % de los asentamientos inmediatos, más lo que se alcancen a asentar los terraplenes precargados por consolidación en el periodo previsto de 9 a 12 meses, y una parte menor de los asentamientos diferidos secundarios que tendrán lugar a largo plazo.
- 4) Tener cuidado de que la magnitud de las sobrecargas aplicadas no rebase las cargas críticas que puede soportar el subsuelo sin sufrir una falla local o asentamiento superficial excesivo, que genere efectos contraproducentes de dislocamiento de la estructura natural de los suelos, con una reducción importante de su resistencia al corte original.

- 5) Las pistas y sus precargas se asemejarán a rectángulos flexibles cargados de gran longitud, por lo que en una sección transversal sus asentamientos tendrán forma de “plato”, con valores mayores al centro que en las orillas. Para tratar de uniformizar dichos asentamientos, podría ser conveniente colocar a los lados de los terraplenes materiales más pesados que en el centro.
- 6) En el proyecto de los terraplenes se considera usar material ligero llamado “tezontle”, del cual existen bancos en la zona y es empleado en la industria de la construcción en el Valle de México, e incluso en otras obras del propio NAIM; igual es el caso de materiales pesados tipo basaltos, que se están usando para constituir las precargas y luego como agregados de concretos hidráulicos y asfálticos. Por su naturaleza volcánica, el tezontle suele presentar una porosidad y tamaño de partículas muy variable, aun en un mismo frente de explotación de un banco, por lo que es recomendable llevar un adecuado control de sus características y compactación, a fin de cumplir con los requerimientos del proyecto.
- 7) Para el monitoreo de los terraplenes, precargas y pavimentos, se ha instalado una instrumentación adecuada, a base de inclinómetros, piezómetros de respuesta rápida, celdas de presión, bancos de nivel superficiales y profundos, y niveles de manguera de alta precisión, entre otros instrumentos. Hasta donde sea posible, es deseable que esta instrumentación se proyecte y preserve para que pueda seguirse midiendo después de la construcción, a fin de monitorear el comportamiento de las pistas y calles de rodaje ya en la etapa de operación.
- 8) Aun cuando se han instalado sistemas de subdrenes verticales para acelerar el proceso de consolidación de los suelos, es probable que en el periodo previsto de aplicación de la precarga de 9 a 12 meses, se alcance una preconsolidación mayor en las fronteras de los estratos compresibles que en la parte central de los mismos, de manera que al aplicar la carga definitiva incluyendo los pavimentos, puedan presentarse todavía asentamientos posteriores de cierta consideración. Para prevenir esto se llevan gráficas de control de la evolución con el tiempo de los asentamientos y de la disipación de las presiones de poro en el subsuelo.
- 9) Los pavimentos asfálticos de las pistas, que se colocarán posteriormente al retiro de la precarga, tendrán un espesor de proyecto de 1.0 m (carpeta de 20 cm, base tratada con cemento de 65 cm y sub-base de 15 cm). Con base en la experiencia, se considera que el uso de una base semi-rígida no es indicado en las condiciones del subsuelo de alta compresibilidad, sujeto a hundimientos regionales del orden de 20 cm/año.

## CONCLUSIONES

Para elaborar el proyecto y los procedimientos con los que se construyen actualmente las pistas, el GACM ha efectuado exploraciones e instrumentaciones exhaustivas del subsuelo, construido y monitoreado terraplenes de prueba, y seleccionado una alternativa a base de precargas combinada con subdrenes verticales, que se ha usado con éxito en otras obras similares y se considera adecuada para lograrlo en este caso.

En nuestra opinión, el buen comportamiento futuro de las pistas dependerá de la medida en que se respeten las previsiones del proyecto, como fueron mostradas en la presentación hecha por el GACM, tomando en cuenta las precauciones arriba enumeradas, en algunas de las cuales nos permitimos hacer algunos comentarios pertinentes.

El procedimiento elegido mediante precargas requiere tiempo, así como un seguimiento estrecho y un control permanente por parte de los proyectistas y supervisores, factores que no deben ser influenciados por aspectos políticos ni económicos, que dificulten o impidan alcanzar los resultados esperados. Por ejemplo, sería contraproducente que, por cumplir con una fecha de inauguración prefijada, se retirara la precarga antes de que hubiera cumplido con su cometido de adelantar los asentamientos diferidos, hasta lograr el grado de consolidación previsto en el proyecto.

Al igual que los edificios, también el comportamiento de las pistas deberá monitorearse todo el tiempo mediante una instrumentación apropiada. Así podrán analizarse y definirse los trabajos de mantenimiento que sean necesarios.

### 2.2 Pistas del aeropuerto de Santa Lucía

Por los años 1960-1970, a petición de la Secretaría de la Defensa Nacional, la Secretaría de Obras Públicas, (hoy SCT) comisionó algunos de sus técnicos para revisar las instalaciones de SL. El motivo de la solicitud de la SEDENA era que se presentaban algunas anomalías geotécnicas en el sitio, caracterizadas por movimientos diferenciales, tanto en la pista como en algunas de sus edificaciones. En la pista se pudieron observar algunos escalones de hasta unos 30 en la superficie del pavimento.

Esto da mayor probabilidad de ocurrencia a la hipótesis planteada en el Subinciso 1.2, de que el subsuelo en la zona de la BAMSL se encuentre en una zona de transición, entre suelos arcillosos deformables cercanos a la superficie y suelos más resistentes subyacentes.

## RESUMEN FINAL CONDICIONES DEL SUELO

Es probable que las condiciones del subsuelo sean más desfavorables en el sitio donde se construye el NAIM en Texcoco que en la base aérea militar de Santa Lucía. Sin embargo, esto no puede confirmarse dada la escasa información geotécnica disponible sobre el subsuelo en esta última.

Para fines de comparación de las dos alternativas consideradas, salta a la vista una gran diferencia entre el nivel de desarrollo de los estudios, el proyecto y el proceso constructivo de ambas.

En el NAIM de Texcoco se han efectuado gran cantidad de exploraciones, ensayos de laboratorio, pruebas de campo y medición de instrumentaciones, que han servido para desarrollar y ajustar el proyecto y los procedimientos constructivos de las cimentaciones de edificios y pistas que se han ejecutado a la fecha, con buenos resultados. Sin embargo, la complejidad del proyecto y del subsuelo hacen necesario monitorear el comportamiento de los edificios y pistas durante todo el horizonte del proyecto, mediante una instrumentación apropiada; así podrán analizarse y definirse los trabajos de mantenimiento que sean necesarios para asegurar la buena operabilidad de las instalaciones, cuyo costo no fue comentado pero a priori consideramos puede ser importante, pero mitigado con el control de la instrumentación.

Por el contrario, puede decirse que el avance del anteproyecto de las cimentaciones de los edificios y pistas, presentado para la alternativa del aeropuerto en la base aérea militar de Santa Lucía, es muy preliminar y aproximado, no utilizable para su construcción y evaluación confiable de costos. Siendo así, el proyecto tendrá que arrancarse prácticamente desde el principio, para efectuar primero los estudios geotécnicos, y luego los diseños y pruebas que resulten procedentes según sus resultados.



## CONECTIVIDAD:

Para iniciar este ejercicio, a continuación presentamos una imagen que muestra las 2 alternativas en lo que se refiere a conectividad, considerando como centroide del pasaje el Zócalo capitalino.



Como se puede observar claramente las distancias son del Centroides a:

- AICM → 6.38 Km (1.0 veces) (\*)
- NAIM → 17.85 Km (2.79 veces) (\*)
- SANTA LUCÍA → 38.26 Km (5.99 veces) (\*)

Realizando un rápido ejercicio encontramos un factor de proporcionalidad (\*) que afecta cuando menos a los siguientes rubros:

- Costos de transporte,
- Costos del tiempo de los usuarios, Ver Tabla Evaluación Costo de Transporte Pasajeros (Valor social del tiempo)
- Costos de construcción y conservación de la infraestructura para el transporte terrestre
- Impacto social y ambiental



**EVALUACIÓN COSTO TRANSPORTE PASAJEROS  
(VALOR SOCIAL DEL TIEMPO)**

\$ 285,000.00	MDP
\$ 63,000.00	MDP
\$ 100,000.00	MDP
\$ 163,000.00	MDP

COSTO NAIM
COSTO INCOMPLETO
TRANSFERENCIA COSTO
COSTO DE SL + AICM

DATOS IMT

\$ 122,000.00 MDP

DIFERENCIAL COSTOS

	DISTANCIA CENTROIDE CDMX A EN	KM	UNIDAD BASE AICM	2017 VIAJES ANUALES PPAX	HR HOMBRE/AÑO VIAJE HACIA AEROPUERTO	COSTO HR/VIAJE	COSTO ANUAL HH HOMBRE/TRASLADO	
AICM	6.38	1.00	44,732,418	44,732,418	\$ 120.30	5,381,309,885	\$ 5,381,309,885	

\$ 122,000,000,000.00 **17.48 años**

Tiempo de amortización de sobrecostos NAIM  
\* Sin contar el costo de transporte

**ACTUAL 2017**

	AICM (CASI TOPADO)	KM	UNIDAD BASE AICM	2017 VIAJES ANUALES PPAX	HR HOMBRE/AÑO VIAJE HACIA AEROPUERTO	COSTO HR/VIAJE	COSTO ANUAL HH HOMBRE/TRASLADO	
AICM (CASI TOPADO)	6.38	1.00	28,979,063	28,979,063	\$ 123.30	3,486,181,279	\$ 14,851,012,076	AICM + SL
NAIM	17.85	2.80	44,732,418	125,152,611	\$ 123.30	15,055,859,162	\$ 15,055,859,162	NAIM
AISL	38.26	6.00	15,753,355	94,470,746	\$ 123.30	11,364,830,797		
							\$ (204,847,086.00)	MAS BARATO NAIM

(\*\* )INCREMENTO PPAX TENDRÍA QUE SER EN SANTA LUCIA PARA 70 M PPAX DE LA SIGUIENTE MANERA

**FUTURO PARA INICIO DE OPERACIONES 2022**

	AICM (CASI TOPADO)	KM	UNIDAD BASE AICM	2017 VIAJES ANUALES PPAX	HR HOMBRE/AÑO VIAJE HACIA AEROPUERTO	COSTO HR/VIAJE	COSTO ANUAL HH HOMBRE/TRASLADO	
AICM (CASI TOPADO)	6.38	1.00	30,000,000	30,000,000	\$ 123.08	3,609,000,000	\$ 28,858,800,940	AICM + SL
NAIM	17.85	2.80	65,000,000	181,857,367	\$ 123.08	21,877,441,223	\$ 21,877,441,223	NAIM
AISL	38.26	6.00	35,000,000	209,890,282	\$ 123.08	25,249,800,940		
							\$ 6,981,359,718	MAS BARATO NAIM

(sin contar el costo del transporte)



**Pasajeros**

	2017			2018			VAR. %		
	NAL	INT	Total	NAL	INT	Total	NAL	INT	Total
ENE	2,350,477	1,263,032	3,613,509	2,384,398	1,445,790	3,830,188	1.4	14.5	6.0
FEB	2,115,415	1,016,715	3,132,130	2,182,951	1,179,142	3,362,093	3.2	16.0	7.3
MAR	2,420,395	1,199,502	3,619,897	2,503,383	1,414,406	3,917,789	3.4	17.9	8.2
ABR	2,430,948	1,274,541	3,705,489	2,536,990	1,343,245	3,880,235	4.4	5.4	4.7
MAY	2,523,577	1,239,106	3,762,683	2,580,126	1,382,537	3,962,663	2.2	11.6	5.3
JUN	2,472,205	1,332,941	3,805,146	2,482,445	1,435,450	3,917,895	0.4	7.7	3.0
JUL	2,638,665	1,572,666	4,211,331	2,762,304	1,686,296	4,448,600	4.7	7.2	5.6
AGO	2,526,005	1,478,356	4,004,361						
SEP	2,121,745	1,225,712	3,347,457						
OCT	2,444,206	1,273,064	3,717,270						
NOV	2,461,475	1,347,917	3,809,392						
DIC	2,473,950	1,529,803	4,003,753						
Subtotal	16,951,682	8,898,503	25,850,185	17,432,597	9,886,866	27,319,463	2.8	11.1	5.7
Total	28,979,063	15,753,355	44,732,418						

**cuadro 4 valor del tiempo del personal ocupado con ingresos superiores a los 5 salarios minimos generales promedio 2018**

Estructura Regional	Factores para POI > 5 SMGP		2018	
	FIP	HTP	Viaje de trabajo	Viaje de trabajo
Region 1	8.242	41.172	123.82	74.29
Region 2	8.236	41.697	122.17	73.30
Region 3	8.157	41.043	122.93	73.76
Region 4	8.392	41.248	125.84	75.50
Region 5	8.175	42.030	120.30	72.18
NACIONAL	8.247	41.444	123.08	73.85
SMGP				\$88.36

Fuente elaborado propia con base en el Censo de Población y Vivienda 2010 [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx) y el salario promedio publicado por la CONASAMI para el año 2018 [www.conasami.gob.mx](http://www.conasami.gob.mx)

El análisis que llevamos a cabo es en base a la experiencia de los miembros del CIT en lo relativo a Infraestructura del Transporte. Debido al poco tiempo con el que se cuenta, debemos partir de la base de que “es prioritario contar con un nuevo aeropuerto ya que el actual representa un riesgo mayor de accidentes al normal debido al tráfico aéreo de alta intensidad” además de que cada vez más costosa e incómoda su operación, tanto para los pasajeros como para la economía de las líneas comerciales que lo operan.

Con base en las mesas de trabajo llevadas a cabo en el CICM con la participación del equipo de trabajo del Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México (GACM) y documentos entregados por el Secretario propuesto de Comunicaciones y Transportes en el Palacio de Minería, el CIT se permite llevar a cabo los siguientes comentarios, acotados a los aspectos de conectividad terrestre al Nuevo Aeropuerto:

1. Estudios preliminares. En lo que correspondiente a este tema, al llevar a cabo una revisión se concluye que se cuenta con los estudios factibilidad, pre-inversión, espacio aéreo, plan maestro del aeropuerto y de conectividad de accesos terrestres e ingeniería básica, necesarios para llevar a cabo la construcción del NAIM. Cabe mencionar que todos estos están avalados por expertos a nivel nacional e internacional en el ámbito de sus competencias, mientras que en el AICM-SL no cuenta con ningún estudio avalado, al contrario, fue descartado por MITRE, quien opinó que no pueden convivir en el espacio aéreo. Sin descartar que, no se recibieron estudios de prefactibilidad en la documentación presentada, además se indica que se tiene que llevar a cabo un estudio solicitado a la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) por el gobierno de transición, mismo que se estima concluir en aproximadamente 6 meses.
2. Estudios y proyectos. El NAIM cuenta con estudios aeronáuticos avalados por MITRE, además la SCT, Gobierno del Estado de México y CDMX ya cuentan con los proyectos ejecutivos de conectividad vial. Es importante destacar que se cuenta con Derecho de Vía histórico para la ejecución de la mismos y, para las obras nuevas que requieren Liberación de Derecho de Vía, se tiene un avance del 90%, y el 10 % restante se encuentra en proceso de liberación. Con relación al AICM-SL, solo se cuenta con proyecto conceptual de un segundo piso, sin que exista proyecto ejecutivo con todos los elementos, resaltando que las vías actuales se encuentran saturadas.
3. Construcción de vías de acceso terrestre. Actualmente existen vías de acceso libre y de cuota hacia el NAIM por donde se suministran los materiales e insumos, y adicionalmente se están construyendo dos autopistas. Adicionalmente, existe una espuela de acceso que actualmente opera para acarrear materiales para la construcción y que permanecerá como servicio permanente, dando un importante valor agregado a la parte multimodal y logística de carga. Ver anexo 1

En el AICM-SL las vías de acceso se encuentran totalmente saturadas y sin derecho de vía disponible para posible ampliación o modernización.

4. Operación y mantenimiento. El NAIM permite plenamente la creación de un *HUB*, mientras que el AICM-SL no.

Adicionalmente, el NAIM admite llevar a cabo interconexiones con tiempos y costos mínimos, mientras que el AICM-SL tendría el inconveniente de la distancia entre aeropuertos de aproximadamente 32 km, además de que como ya se comentó anteriormente, las vías existentes se encuentran saturadas, lo que representan un costo-tiempo mayor.

## RECOMENDACIONES

Una vez analizada la información existente, el CIT considera oportuno se revise el plan maestro e ir haciendo ajustes conforme la demanda lo vaya requiriendo, además de revisar el catálogo de insumos del edificio terminal, en específico a los materiales, con fin de evaluar si en el mercado existen insumos equivalentes que cumplan ampliamente con las condiciones de calidad planteadas, con la posibilidad de tener ahorros significativos.

También se recomienda realizar un monitoreo de los edificios y pistas en el horizonte previsto de 75, años mediante una instrumentación apropiada para tal fin.

Por último, revisión y ampliación de la estructura existente y de la conformación del Grupo que permita una mejor control y administración de los trabajos por ejecutar.

## CONCLUSIÓN

Teniendo en consideración los **avances de la obra** y reconociendo que los costos de mantenimiento de pavimentos serán elevados por lo que la ingeniería mexicana de aeropuertos deberá enfrentar; no obstante los retrasos incurridos y al mismo tiempo los compromisos adquiridos por México al obtener los créditos sindicados, tanto nacionales como extranjeros y que hay que cumplir, consideramos que el proyecto del NAIM debe continuarse, bajo las recomendaciones arriba descritas.

Desde el punto de vista de la **conectividad terrestre**, los resultados y avances físicos globales del 30% de la opción NAIM superan ampliamente los que podría presentar la opción AICM-SL; además la primera opción generará beneficios significativos a la movilidad de la zona oriente del Valle de México y presentará, como casi todas las obras, algunos efectos negativos, que se pueden atender y mitigar adecuadamente.

Desde el punto de vista **Geotécnico**, la información de Santa Lucía es muy preliminar y aproximada, no utilizable para su construcción y evaluación confiable de costos lo que obliga a que el proyecto tendrá que arrancarse prácticamente desde el principio, para efectuar primero los estudios geotécnicos, y luego los diseños y pruebas que resulten procedentes según sus resultados.

Por su lado, la opción de Santa Lucia no es válida por numerosas razones, entre las cuales se pueden anotar: Las longitudes de las dos pistas propuestas son diferentes y están ajustadas a las limitaciones del terreno. La separación entre las pistas, si bien permite operaciones simultáneas, no es suficiente para un desarrollo adecuado de la zona de enlace (Edificio de pasajeros y la liga vial). No se contemplan terrenos para los sistemas de las luces de aproximación, por lo cual no se podría incluir las instalaciones de ILS en las 4 aproximaciones. No se observa una buena distribución de calles de rodaje, lo cual reduciría la capacidad de operaciones incrementando los recorridos en tierra con aumentos en tiempos improductivos de avión y tripulaciones.

La Base militar deberá ubicarse en otro sitio, aún no determinado, ya que no podría operar en un aeropuerto comercial de esa magnitud. El número de posiciones simultáneas está limitado y podría ser insuficiente, incluyendo las del actual AICM, para la demanda que debe preverse en un horizonte de planeación a largo plazo. La zona alrededor de los terrenos actuales de la Base Militar se encuentra altamente poblada y a la cual se le someterá a niveles de ruido no admisibles.

Por lo anteriormente expuesto, el Comité de la Infraestructura del Transporte del Colegio de Ingenieros Civiles de México se pronuncia definitivamente a favor de

***CONTINUAR CON LA CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MÉXICO EN TEXCOCO***

**ANEXO 1. RELACIÓN DE VIALIDADES DE ACCESO AL NAIM**

RUTA	No. de Vialidades	VIALIDADES	LONG.	CONCLUYE EN	RUTA	No. de vialidades	VIALIDADES	LONG.	CONCLUYE EN
<b>RUTA 1</b>	5	Mejora del Boulevard Puerto Aéreo Circuito Interior y Av. Aceanía	5.5	2020	<b>RUTA 3</b>	12	Entronque CEM de acceso a Terminal de Carga del NAICM	-	2020
	1	Acceso Av. 602.	4.5	2019		11	Ampliacion CEM Poniente	7.0	2020
	3	Ampiación Autopista Peñon- Texcoco (Via Express)	8.4	2019	<b>RUTA 4</b>	10	Modernización del CEM Suroeste	40.0	2020
	17	Acceso Sur a Terminal Principal:	-	2020	<b>RUTA 5</b>	6	Vialidad de conexión, libre de cuota, del ramal CEM a la Av. Central, incluido su entronque	5.0	2020
	7	Acceso Sur a Hangares (zona militar)	-	2020		13	Ramal CEM, de Acceso a la Terminal de Carga del NAIM (incluye entronque)	1.5	2020
<b>RUTA 2</b>	16	Anillo Periférico (Vaqueritos-Muyuguarda-Calz. Ignacio Zaragoza)	16.0	2020	<b>RUTA 6</b>	4	Autopista Piramides- Texcoco	17.0 5.0 en Operación	2018
	8a	Segundo Piso y ampliacion a nivel del Anillo Periferico, en la Ciudad de Mexico.	7.0	2020		<b>RUTA 7</b>	18	Autopista Siervo de la Nación	13.5
	8b	Ampliacion a nivel y segundo piso del Anillo Periférico, en el Estado de México.	3.0	2020	14		Autopista Naucalpan- Ecatepec	8.5	2020
	15	Distribuidor Periferico- (Peñon- Texcoco)	-	2020					
	9	Entronque CEM Poniente	-	2020					

**LONGITUD TOTAL DE VIALIDADES 137.3**

