

MTR 00W0000090

---

MITRE TECHNICAL REPORT

**El Futuro Aeroportuario  
de la Ciudad de México**  
*Estudios de Factibilidad Técnica*

**Future Airport Development  
for Mexico City**  
*Studies of Technical Feasibility*

**Octubre/October 2000**

Dr. Bernardo Lisker-Melman,  
*Director del Proyecto/Project Leader*

Ing. William J. Swedish,  
*Coordinador Técnico/Principal Investigator*

Ing. Frank A. Amodeo

Ing. Marc S. Friedman

Ing. Martin E. Heffron

Ing. Mary Kay Higgins

Ing. Robert W. Kleinhans

Dr. S. Vincent Massimini

Ing. Robert M. Tarakan

**Sponsor:** Secretaría de Comunicaciones y  
Transportes  
Aeropuertos y Servicios Auxiliares  
México

**Contract No.:** 02-CAASD-015

The views, opinions and/or findings contained in this report are those of The MITRE Corporation and should not be construed as an official Government position, policy, or decision, unless designated by other documentation.

This document is authorized for public and unlimited release as long as it is distributed in its entirety.

Queda autorizada la distribución pública e ilimitada de este documento siempre y cuando se distribuya en forma íntegra.

©2000 The MITRE Corporation

**MITRE**  
Center for Advanced Aviation System Development  
McLean, Virginia

Aprobación departamental:



Edward P. Carrigan  
Gerente de Diseño  
Aeroespacial – MITRE

Aprobación general del proyecto:



Dr. Bernardo Lisker-Melman  
Ingeniero Principal Ejecutivo y  
Gerente Internacional – MITRE

Queda autorizada la distribución pública e ilimitada de este documento, siempre y cuando se distribuya en forma íntegra.

This document is authorized for public and unlimited release as long as it is distributed in its entirety.

© 2000 The MITRE Corporation. Todos los derechos reservados.

Este es un trabajo de The MITRE Corporation, cuyos derechos de autor han sido registrados. El trabajo fue producido para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Aeropuertos y Servicios Auxiliares, de México (“el Patrocinador”). No se autoriza ningún uso distinto al uso contractualmente otorgado al Patrocinador, o a aquellos que actúen a nombre del Patrocinador, sin el permiso expreso y por escrito de The MITRE Corporation. Para mayor información, favor de ponerse en contacto con The MITRE Corporation, Contracts Office, 1820 Dolley Madison Blvd., McLean, VA 22102, Tel.: (703) 883-6000. Para información técnica o en español, llamar al Dr. Bernardo Lisker-Melman al Tel.: (703) 883-6970, FAX: (703) 709-0911, Internet: [bernard@mitre.org](mailto:bernard@mitre.org).

## Sumario

El Centro para el Desarrollo de Sistemas Avanzados de Aviación de la Corporación MITRE, institución estadounidense de investigación y desarrollo sin fines de lucro, realizó un análisis detallado de cuatro sitios potenciales de desarrollo aeroportuario futuro para la Ciudad de México. El enfoque del análisis fue el de factibilidad técnica aeronáutica en áreas disponibles, si bien también consideró materias tales como demanda operacional, estudios ecológicos por expertos prominentes externos a MITRE, y la problemática general de localización. Las autoridades que tomen la decisión necesitan considerar vastas cantidades de información que van más allá de este análisis, tales como financiamiento, desarrollo urbano y social, retroalimentación de las aerolíneas y la opinión de diversos usuarios. Los cuatro sitios considerados por MITRE fueron (ordenados del más cercano al más lejano): el sitio del aeropuerto actual, con mejoras; el área adyacente en el límite noreste del aeropuerto (sitios de rellenos sanitarios en su mayoría); el área norte en el vaso del ex-lago de Texcoco; y un área en las inmediaciones del pueblo de Zapotlán de Juárez, estado de Hidalgo. Así pues, a lo largo de tres años todas las alternativas realistas han sido evaluadas con el mismo grado de detalle e imparcialidad. Las primeras dos alternativas deben ser eliminadas de toda consideración por no ser factibles operacionalmente o en el largo plazo. En cuanto a Texcoco o Zapotlán, si bien es cierto que las autoridades enfrentan una decisión compleja, MITRE recomienda la alternativa en Texcoco debido a que este sitio permitiría la construcción de un aeropuerto que podría todavía continuar creciendo ya bien entrada la segunda mitad del Siglo XXI, no obstante que el actual aeropuerto tendría que ser cerrado por razones aeronáuticas. Por otra parte, la solución de combinar el aeropuerto actual con uno en Zapotlán forzaría finalmente el cierre de la Base Aérea Militar de Santa Lucía y no permitiría ya crecimiento aeroportuario razonablemente cercano a la Ciudad de México más allá de 2020–2025, aún bajo escenarios de crecimiento relativamente moderados. La Ciudad de México enfrentaría entonces una severa situación de saturación aeroportuaria sin alternativas razonables.

## Overview

The Center for Advanced Aviation System Development of The MITRE Corporation, a U.S. not-for-profit research and development institution, performed a detailed analysis of four potential locations for future airport development for Mexico City. The analysis focused on airside technical feasibility in available land areas, yet also considered matters such as operational demand, ecological studies by prominent non-MITRE experts, and location-specific issues. The decisionmakers need to consider vast amounts of information beyond the scope of this analysis, such as financing, urban and social development, airline feedback, and the opinion of diverse users. The four locations considered by MITRE were (ordered from closest to farthest from the current airport): an enhanced current airport site; the area adjacent to the airport's northeastern boundary (mostly landfill sites); the northern area in the basin of former Texcoco Lake; and an area next to the town of Zapotlán de Juárez, in Hidalgo state. Thus, this 3-year analysis evaluated all realistic alternatives, each with the same degree of detail and impartiality. The first two alternatives should be eliminated from all consideration as being infeasible either operationally or in the long term. While it is true that the decisionmakers face a complex decision regarding Texcoco or Zapotlán, MITRE recommends the Texcoco alternative. This location would allow the construction of an airport that may still be growing well into the second half of the twenty-first century. The alternative solution, a combined operation of the current airport and one in Zapotlán, would ultimately force the closing of Santa Lucía Air Force Base and would not allow any further airport growth reasonably close to Mexico City beyond 2020–2025 even under relatively moderate growth scenarios. Mexico City would then face a situation of severe airport saturation without reasonable alternatives.

## Reconocimientos

Los autores agradecen la colaboración del gobierno mexicano y su disposición a considerar todas las alternativas sugeridas por MITRE. Asimismo, los autores desean asentar que el trabajo de MITRE hubiera sido imposible sin la dedicación de numerosos profesionales e instituciones cuyas aportaciones se detallan en la Sección 1.1, *Antecedentes e historia del proyecto*. En particular, MITRE da las gracias a los ejecutivos y técnicos que, en orden alfabético, se mencionan a continuación: Ing. Agustín Arellano, Ing. Juan Antonio Bargés, Lic. Patricio Chirinos, Dr. Aarón Dychter, Ing. Alfredo Elías, Ing. Roberto Kobeh, Ing. Jorge Mandri, Ing. Alba Luisa Martínez, Lic. Carlos Ruiz Sacristán, C.T.A. Raymundo Sánchez, Ing. Ricardo Tapia y Lic. Bulmaro Utrera. Se agradece también el apoyo de Kathleen Menéndez, quien realizó la laboriosa tarea de editar este reporte y prepararlo para publicación.

Siendo MITRE una institución cuyo objeto central es trabajar en favor del interés público, los autores expresan la esperanza de que este esfuerzo de tres años sea premiado mediante su utilización en la que bien podría ser la decisión más compleja e importante de la aviación mexicana desde que el Presidente Carranza creó las primeras instituciones de aviación en México.

Este trabajo está dedicado a la memoria del Dr. Moisés Lisker R. El cariño del Dr. Lisker hacia México jugó un papel significativo en la decisión de su hijo de dedicar estos años de trabajo por el bien del futuro de la aviación de su querida patria.

## Acknowledgments

The authors wish to thank the Mexican government for its cooperation and willingness to consider all alternatives suggested by MITRE. Moreover, the authors wish to express that MITRE's work would have been impossible without the dedication of countless professionals and institutions whose contributions are detailed in Section 1.1, *Project Background and History*. MITRE thanks in particular the executives and technical experts listed here in alphabetical order: Ing. Agustín Arellano, Ing. Juan Antonio Bargés, Lic. Patricio Chirinos, Dr. Aarón Dychter, Ing. Alfredo Elías, Ing. Roberto Kobeh, Ing. Jorge Mandri, Ing. Alba Luisa Martínez, Lic. Carlos Ruiz Sacristán, C.T.A. Raymundo Sánchez, Ing. Ricardo Tapia, and Lic. Bulmaro Utrera. Thanks should also go to Kathleen Menéndez, who went through the laborious work of thoroughly editing this report and preparing it for publication.

Since MITRE is an institution chartered to work in the public interest, the authors express their hope that this three-year effort is rewarded by being used in what may be the most complex and important Mexican aviation decision since President Carranza created the first Mexican aviation institutions.

This work is dedicated to the memory of Dr. Moisés Lisker R. The senior Dr. Lisker's love of Mexico played a significant role in his son's decision to dedicate these years of work in the interest of the future of aviation in their beloved country.

## Versión en Español

La presente es una traducción libre, no literal, de la versión original en inglés del trabajo de MITRE. No obstante que no es la versión original y que existen algunas diferencias menores en su contenido, refleja en general los principios, ideas y conclusiones de este estudio. En caso de duda, se le recomienda al lector consultar la versión en inglés en este mismo volumen. En cuanto a aclaraciones técnicas, puede consultarse el Suplemento Técnico al final del original en inglés, ya que éste no fue traducido.

Para efectos de consistencia y comparación, la mayor parte de las abreviaturas técnicas y nombres propios han sido mantenidos en inglés en esta versión en español, incluidos los nombres de los laboratorios y modelos utilizados en este estudio (ver Glosario).

MITRE tomó la decisión de proporcionar esta traducción a fin de facilitar la comunicación de ideas ante un auditorio diverso en México, en su propio lenguaje. Sin embargo, aunque este reporte fue preparado para distribución pública, MITRE advierte que, en un tema tan complejo como el del control de tránsito aéreo y la aeronáutica aeroportuaria, cualquier simplificación del presente análisis o el uso de extractos que contengan sólo secciones aisladas, es potencialmente engañosa y debe evitarse.



# Índice

<b>Sección</b>	<b>Página</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1-1</b>
1.1 Antecedentes e historia del proyecto	1-2
1.2 Objetivos del proyecto	1-3
1.3 Alcance, auditorio del proyecto y advertencias	1-4
1.4 Organización del reporte	1-6
<b>2. Antecedentes</b>	<b>2-1</b>
2.1 Metodología	2-1
2.2 Entorno	2-2
2.3 Descripción del AICM (1996)	2-3
<b>3. Análisis</b>	<b>3-1</b>
3.1 Análisis de demanda	3-1
3.2 Análisis de capacidad	3-5
3.2.1 Definición y factores	3-5
3.2.2 Resultados de capacidad aeroportuaria (1996)	3-7
3.2.3 Nuevas salidas de pista	3-8
3.2.4 Dos pistas con mayor separación	3-11
3.2.5 Tres pistas paralelas	3-14
3.2.6 Resultados generales de capacidad	3-14
3.3 Análisis de beneficios de alternativas de configuraciones de pistas	3-16
3.3.1 Metodología y suposiciones generales para la medición de demoras	3-16
3.3.2 Suposiciones sobre capacidad	3-18
3.3.3 Suposiciones sobre demanda	3-19
3.3.4 Resultados de demoras	3-19
<b>4. Alternativas de solución</b>	<b>4-1</b>
4.1 Ampliación del aeropuerto actual	4-1
4.2 Selección del sitio para un nuevo aeropuerto	4-1
4.3 El espacio aéreo en el Valle de México	4-2
4.4 Sitio Rellenos Sanitarios	4-5
4.5 Sitio Texcoco	4-8
4.6 Sitio Hidalgo	4-12
<b>5. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>5-1</b>
5.1 Conclusión general (independiente de los sitios)	5-1

5.2 Alternativa A: Construcción de un nuevo aeropuerto en el sitio Rellenos Sanitarios	5-2
5.3 Alternativa B: Expansión del AICM	5-2
5.4 Alternativa C: Combinar el AICM con un nuevo aeropuerto en Hidalgo (Zapotlán de Juárez)	5-3
5.5 Alternativa D: Construcción de un nuevo aeropuerto en el sitio Texcoco	5-4
5.6 Recomendaciones	5-5
5.7 Actividades siguientes	5-6
<b>Bibliografía</b>	<b>BI-1</b>
<b>Glosario</b>	<b>GL-1</b>

**Nota:** La versión en inglés al final de este volumen contiene un Suplemento Técnico

## Lista de Figuras

Figura	Página
2-1. Plano general del AICM (1996)	2-4
2-2. Uso de terrenos alrededor del AICM	2-5
3-1. Ciudad de México: Escenarios de crecimiento de tránsito aéreo	3-3
3-2. Operaciones de salida de la pista 05R (1996)	3-9
3-3. Alternativas para nuevas salidas de pista	3-10
3-4. Plano general actual del AICM (2000)	3-11
3-5. Aproximaciones escalonadas a pistas paralelas (normas estadounidenses)	3-12
3-6. Aproximaciones simultáneas a pistas paralelas	3-13
3-7. Capacidades en VMC	3-17
3-8. Capacidades en IMC	3-17
3-9. Demoras promedio de llegadas modeladas para la Ciudad de México	3-20
4-1. Ubicación de sitios analizados	4-3
4-2. Vista en perspectiva del espacio aéreo de la Ciudad de México	4-4
4-3. Ejemplo de una imagen de <i>Out-the-Window</i> —Valle de México, hacia el norte	4-6
4-4. Sitio Rellenos Sanitarios: presentación conceptual	4-7

4-5. Sitio Texcoco: presentación conceptual	4-10
4-6. Sitio Texcoco: aproximaciones a las pistas 01L/C/R	4-11
4-7. Sitio Hidalgo: presentación conceptual	4-13

## **Lista de Tablas**

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
3-1. Resumen de las características de aeronaves	3-7
3-2. Resumen de capacidades (1996)	3-8
3-3. Resumen—Capacidades en VMC	3-15
3-4. Resumen—Capacidades en IMC	3-15

## Sección 1

# Introducción

La demanda de transporte aéreo en la Ciudad de México está creciendo rápidamente. Durante más de tres años, MITRE ha ayudado a las autoridades federales mexicanas a determinar la mejor forma de satisfacer esa demanda. En particular, MITRE llevó a cabo una extensa investigación de alternativas para el desarrollo aeroportuario de esa zona metropolitana. Este documento es el reporte final correspondiente a esa investigación. La meta del reporte es explicar, de una manera clara y directa, teniendo presente un auditorio diverso, lo que MITRE hizo y las conclusiones a las que llegó.

MITRE es un centro estadounidense de investigación avanzada independiente, sin fines de lucro, que opera instalaciones de investigación y desarrollo, principalmente para el gobierno de los Estados Unidos. MITRE fue establecida en 1958, cuando la fuerza aérea estadounidense solicitó que el Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) creara una organización nueva, utilizando parte de un laboratorio de investigación en electrónica, a fin de completar el desarrollo del primer sistema de defensa aérea semiautomático de la nación. Poco después de su establecimiento, MITRE comenzó a aplicar estas mismas técnicas al desarrollo de sistemas de control de tránsito aéreo civil.

Hoy en día, MITRE opera dentro de una estructura de supervisión gubernamental estricta, lo que asegura que pueda prestar asesoramiento técnico libre de conflictos de interés. El Acta Constitutiva de MITRE establece como objeto central de la institución trabajar en favor del interés público, fuera de toda relación comercial. En general (salvo raras excepciones), sus más de 4,500 ingenieros, matemáticos y otros profesionales no pueden aceptar contratos con empresas que tengan fines de lucro, construir equipos comerciales o prestar servicios rutinarios.

El Center for Advanced Aviation System Development (Centro para el Desarrollo de Sistemas Avanzados de Aviación—CAASD) es la división de MITRE encargada de investigación en Control de Tránsito Aéreo (ATC) e ingeniería de sistemas aeroportuarios. CAASD es fácilmente la organización más grande del mundo en su tipo. Sus instalaciones y laboratorios en un suburbio de Virginia, cerca de Washington, D.C., albergan bajo un solo techo prácticamente todas las especialidades requeridas para la investigación en ATC. Muchos de los procedimientos y tecnología avanzada de los Estados Unidos en ATC tuvieron su origen en MITRE. Durante más de 40 años, MITRE ha sido uno de los principales brazos de investigación en ingeniería de sistemas de la Federal Aviation Administration (Administración Federal de Aviación—FAA) de los Estados Unidos, operando conforme a acuerdos de exclusividad. Aunque su patrocinador principal es el gobierno de los Estados Unidos, MITRE ha asistido además a docenas de naciones alrededor del mundo.

## 1.1 Antecedentes e historia del proyecto

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México inició conversaciones con MITRE en julio de 1996 a través de su Subsecretario, el Dr. Aarón Dychter. Preocupado por contar con apoyo técnico objetivo y robusto que fuera más allá de los diversos estudios de factibilidad que se habían realizado anteriormente, el Dr. Dychter determinó que el gobierno federal necesitaba un análisis discreto e imparcial de las perspectivas aeroportuarias de la Ciudad de México.

En diciembre de 1996, el Subsecretario Dychter envió una delegación a MITRE que incluía miembros de la autoridad aeronáutica nacional (la Dirección General de Aeronáutica Civil—DGAC), la operadora aeroportuaria nacional (Aeropuertos y Servicios Auxiliares—ASA) y la operadora de ATC nacional (Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano—SENEAM) para conocer MITRE e investigar la posibilidad de una relación entre ésta y el gobierno federal mexicano.

En enero de 1997, el entonces Director General de ASA, Ing. Alfredo Elías, inició conversaciones que llevaron a una relación de trabajo formal con MITRE sobre el desarrollo aeroportuario futuro de la Ciudad de México. Inicialmente se pretendía tener resultados para 1998. Sin embargo, la investigación se prolongó debido a factores técnicos complejos, tales como el que MITRE se percató que sería necesario investigar procedimientos de aproximación simultánea por instrumentos a pistas paralelas triples (los cuales están autorizados hoy en día solamente en dos aeropuertos de los Estados Unidos y fueron desarrollados en parte por MITRE). Además, el Secretario de la SCT, Lic. Carlos Ruiz Sacristán, solicitó una evaluación completa y detallada acerca de la factibilidad de varios sitios aeroportuarios adicionales, incluyendo uno en el estado de Hidalgo.

MITRE puede afirmar, sin vacilación alguna, que todas las interacciones tuvieron lugar siempre en un ambiente abierto y profesional, a todos los niveles. No se ejerció nunca presión sobre MITRE, y el gobierno mexicano permitió que MITRE trabajara sin impedimento de ningún tipo. El Director General del SENEAM, Ing. Roberto Kobeh (hasta fines de 1997), participó directamente desde el principio, junto con su colega, el Ing. Juan Antonio Bargés, Director General de la DGAC. El sucesor del Ing. Kobeh en el SENEAM, Ing. Agustín Arellano, continuó la participación de aquél y prestó a MITRE apoyo crítico y oportuno durante todo el proyecto. Por último, pero no por eso menos importante, el enlace formal de MITRE se realizó a través del Director General Adjunto de Nuevos Proyectos de ASA, Ing. Ricardo Tapia. El Ing. Tapia estuvo encargado de la coordinación técnica con MITRE así como con otras entidades mexicanas, con el apoyo del Director General, Ing. Elías (durante los años 1997–1998) y posteriormente, de su sucesor, el Lic. Patricio Chirinos.

La mayor parte del estudio se completó a principios de 1999 cuando MITRE entregó resultados por escrito. En ese momento, el gobierno mexicano inició consultas con organizaciones profesionales de ingenieros y pilotos, entre otras. En consecuencia, el

gobierno recibió diversas cartas y estudios técnicos como respuesta. La mayor parte de las mismas fueron apoyadas con análisis de calidad, pero, sin embargo, a veces parecían contradecir los resultados de MITRE. Por lo tanto, la SCT solicitó a MITRE que analizara esta nueva información y le diera respuesta. Muchas de las diferencias surgieron debido a que los analistas no habían podido llevar a cabo un estudio a largo plazo como el que MITRE había hecho. En otros casos, estos analistas habían utilizado normas diferentes que, aunque eran técnicamente correctas, no eran aplicables a este estudio. Por último, en algunos de los estudios se analizó un solo sitio, en vez de la gama completa de alternativas.

Durante este período de revisión intensiva de análisis externos, el cual comenzó a principios de 1999 (fuera de relación contractual), MITRE estudió las investigaciones llevadas a cabo por otros grupos y suministró datos y explicaciones adicionales a ASA, cuando fue necesario. Este documento considera en sus conclusiones finales todos los trabajos realizados por MITRE durante el período 1999–2000. Cabe destacar, durante este período, la valiosa cooperación en cuanto a información, puntos de vista, y, sobre todo revisión técnica, por parte de los Ings. Ricardo Tapia y Jorge Mandri de ASA, así como el C.T.A. Raymundo Sánchez, la Ing. Alba Luisa Martínez, y los C.T.A.s Adalberto Gutiérrez y Carlos Iriondo del SENEAM.

## **1.2 Objetivos del proyecto**

En primer lugar, es importante precisar que este es principalmente un análisis aeronáutico. Los análisis incluyen diseño de espacio aéreo, compatibilidad de espacios aéreos, procedimientos de aproximación (hasta triples, área en la que sólo existe experiencia en la FAA y MITRE), cuestiones operacionales de pistas, análisis de capacidad de pista y pronósticos de impactos de demoras basados en múltiples escenarios de demanda de tránsito y capacidad de sistemas de pistas. El estudio suministra también información pertinente basada en estudios de otros aeropuertos realizados por MITRE, tales como la experiencia internacional con respecto a la distancia entre aeropuertos y los centros a los que éstos prestan servicio y la experiencia con aeropuertos múltiples que prestan servicio a una misma ciudad. Sin embargo, en el análisis no se consideraron cuestiones relativas a edificios terminales, posiciones de salida y llegada o instalaciones para manejo de carga. En la Sección 1.3 se especifican otras áreas que no fueron consideradas en este reporte.

Tres premisas fundamentales orientaron los objetivos globales del análisis de MITRE:

- MITRE estudió los servicios aéreos futuros para una ciudad entera, la Ciudad de México, no sólo un sitio aeroportuario
- El horizonte de planeación fue de largo plazo. Se consideraron como temporales las soluciones a corto plazo (menores a 15 años)

- En el estudio, se consideró que las soluciones temporales que pueden darle cabida a la expansión futura son aceptables; sin embargo, soluciones temporales, sobre todo las costosas (cientos de millones de dólares), que no le dan cabida a la expansión futura son apenas medidas provisionales que pueden aumentar los costos y, lo que es quizás aún más importante, impedir otras opciones una vez que la solución temporal se sature

Por lo tanto, con base en esas premisas, los objetivos generales del proyecto fueron los siguientes:

- Investigar el crecimiento del tránsito aéreo de la Ciudad de México y soluciones potenciales para darle cabida a tal crecimiento durante el período de tiempo más largo posible
- Determinar el potencial de crecimiento de capacidad de las pistas en el aeropuerto actual
  - Bajo el diseño y los procedimientos actuales
  - A través de modificaciones dentro de los linderos del aeropuerto
  - A través de una expansión moderada más allá de los linderos actuales del aeropuerto
- Si la vida esperada del aeropuerto actual, incluso después de las modificaciones propuestas, es menor de 15 años y las modificaciones son potencialmente difíciles de instrumentar, entonces, determinar la factibilidad de un aeropuerto o sistema de aeropuertos (aeropuertos múltiples) para prestar servicio a la Ciudad de México, utilizando un horizonte de planeación de largo plazo
  - Investigar sitios alternativos
  - Considerar tecnología de vanguardia y normas internacionales; considerar tecnología futura (tales como navegación satelital y grandes aviones de nueva generación—NLA)

### **1.3 Alcance, auditorio del proyecto y advertencias**

Este estudio es principalmente un análisis aeronáutico de las instalaciones aeroportuarias potenciales que puedan servir a la Ciudad de México y por tanto no se consideraron los siguientes renglones:

- Financiamiento
- Desarrollo urbano, económico y social
- Tenencia de la tierra

- Hidrología
- Ingeniería civil (tal como el análisis de suelos)
- Costos de las aerolíneas

La selección del sitio para un nuevo aeropuerto es pocas veces obvia. Sin embargo, al tomar una decisión de localización, ciertos elementos son esenciales. La mayoría de tales elementos son componentes de lo que se denominó y describió en la sección anterior como análisis aeronáutico. Siguiendo la práctica mexicana, MITRE utilizó normas estadounidenses en el diseño de procedimientos de aproximación. Es inconcebible diseñar y planificar un aeropuerto haciendo caso omiso de los factores aeronáuticos. MITRE además estudió cuestiones relativas a distancia, acceso aeroportuario y necesidades operacionales de las aerolíneas.

Asimismo, ciertos factores ecológicos, tales como el de poblaciones de aves en las cercanías de un aeropuerto y su relación con la seguridad, son importantes. Aunque ésta no es especialidad de MITRE, la SCT contrató a prominentes expertos estadounidenses y a un distinguido grupo mexicano para que estudiara este tema. Sus conclusiones acerca de las poblaciones de aves y las soluciones sugeridas se incluyen en este reporte.

Aunque MITRE ha tratado de redactar este reporte de manera que pueda ser generalmente comprendido por un auditorio diverso, está dirigido principalmente a los profesionales de la aviación. Como tal, se presumen ciertos conocimientos previos fundamentales. Además, este es un campo en el cual los detalles acerca de los equipos (tales como radares) y las normas operacionales (tales como los procedimientos de aproximación) cambian constantemente. Por lo tanto, **MITRE considera que cualquier simplificación adicional de este reporte, o el uso de extractos que contengan sólo secciones aisladas, es potencialmente engañoso y debe evitarse.**

Por último, es preciso señalar dos advertencias adicionales:

- En este análisis, se abordaron tres áreas distintas de investigación: capacidad de pistas, impacto de demoras y diseño aéreo (por ejemplo, aproximaciones y aproximaciones fallidas). Estas tres áreas fueron investigadas mediante estudios independientes, cada uno de los cuales se aborda por separado. La tarea final del análisis fue la integración de todos los estudios, para alcanzar una visión global de las perspectivas actuales y futuras de la Ciudad de México. Los detalles de esta integración van más allá del alcance de este reporte. Se advierte a terceros contra la práctica de tratar de integrar resultados por su cuenta.
- Muchos de los resultados del análisis se basan en modelos de computadora sofisticados. No obstante, incluso estos modelos no pueden reproducir lo complejo del mundo real. Por lo tanto, la autoridad que tome la decisión debe utilizar los resultados de los modelos para *comparar* en lugar de *cuantificar* los resultados

numéricos producidos por diferentes alternativas y conceptos. Las simplificaciones utilizadas en los modelos han sido documentadas en este reporte o pueden obtenerse consultando a MITRE.

## **1.4 Organización del reporte**

En esta sección, se han descrito los eventos que llevaron al desarrollo del proyecto, sus objetivos, limitaciones y la razón por la que se seleccionó a MITRE para este trabajo. En la Sección 2 se proporcionan algunos antecedentes técnicos. En la misma, se incluye un resumen de la metodología del estudio, al igual que información general acerca del aeropuerto actual de la Ciudad de México.

En la Sección 3, se analiza el futuro del tránsito comercial de la Ciudad de México: niveles futuros de tránsito, niveles alternativos de capacidad aeroportuaria y los niveles de demora resultantes. Una vez definido el problema, se examinaron las soluciones potenciales. Los resultados de estos análisis son presentados en la Sección 4.

La Sección 5 presenta el curso de acción recomendado para atender el crecimiento futuro del tránsito aéreo en la Ciudad de México.

Por último, se incluye al final un Suplemento Técnico (éste no fue traducido al español pero puede hallarse al final del reporte en inglés).

## Sección 2

# Antecedentes

## 2.1 Metodología

MITRE llevó a cabo este análisis mediante una combinación de:

- Trabajo de campo:
  - Consultas en México a todos los niveles; controladores de tránsito aéreo, ingenieros, meteorólogos y administradores
  - Un extenso reconocimiento aéreo y terrestre de las jurisdicciones del Distrito Federal y los estados de México e Hidalgo, donde existe potencial para construir nuevos aeropuertos
- Consultas a un gran número de especialistas de MITRE, además de los investigadores vinculados formalmente al estudio; revisiones a cargo de equipos internos de MITRE (“peer reviews”)
- Revisiones a cargo de asesores externos a MITRE y analistas mexicanos que se familiarizaron también con nuevos procedimientos y técnicas a partir de su análisis del trabajo de MITRE (la mayor parte de los conocimientos especializados del mundo con respecto a procedimientos de aproximación doble y triple se encuentra en la FAA y MITRE)
- Utilización de *laboratorios* y *herramientas computarizadas* sofisticadas, la mayor parte de las cuales fueron desarrolladas o mejoradas en MITRE. El uso coordinado de modelos computarizados es algo relativamente único de MITRE. Cabe mencionar los siguientes modelos o laboratorios:
  - Modelo de capacidad de pista (mejorado significativamente por MITRE)
  - Modelo de impacto de demoras (originado en M.I.T.)
  - Modelo de aproximación simultánea por instrumentos (originado en MITRE)
  - Modelo de localización de salidas de pista de alta velocidad (originado en el Virginia Polytechnic Institute and State University—“Virginia Tech”)
  - Herramienta para diseño de procedimientos “Wavionix” (desarrollada por una firma privada)
  - Diversos modelos basados en AutoCad (desarrollados por firmas privadas)

- Herramienta de visualización de espacios aéreos terminales “TAVT” (originada en MITRE)
- Laboratorio de Integración e Interacción de MITRE

En relación a los dos últimos puntos: TAVT es un modelo tridimensional, desarrollado por MITRE, que ayudó a investigar e ilustrar cambios potenciales en las rutas de llegada y salida en el espacio aéreo terminal de la Ciudad de México. Por otra parte, el Laboratorio de Integración e Interacción produjo una visualización dinámica para estudiar la respuesta de pilotos ante nuevos procedimientos. Se suministrarán más detalles acerca de estas herramientas al presentarse los resultados de su uso en secciones posteriores de este reporte.

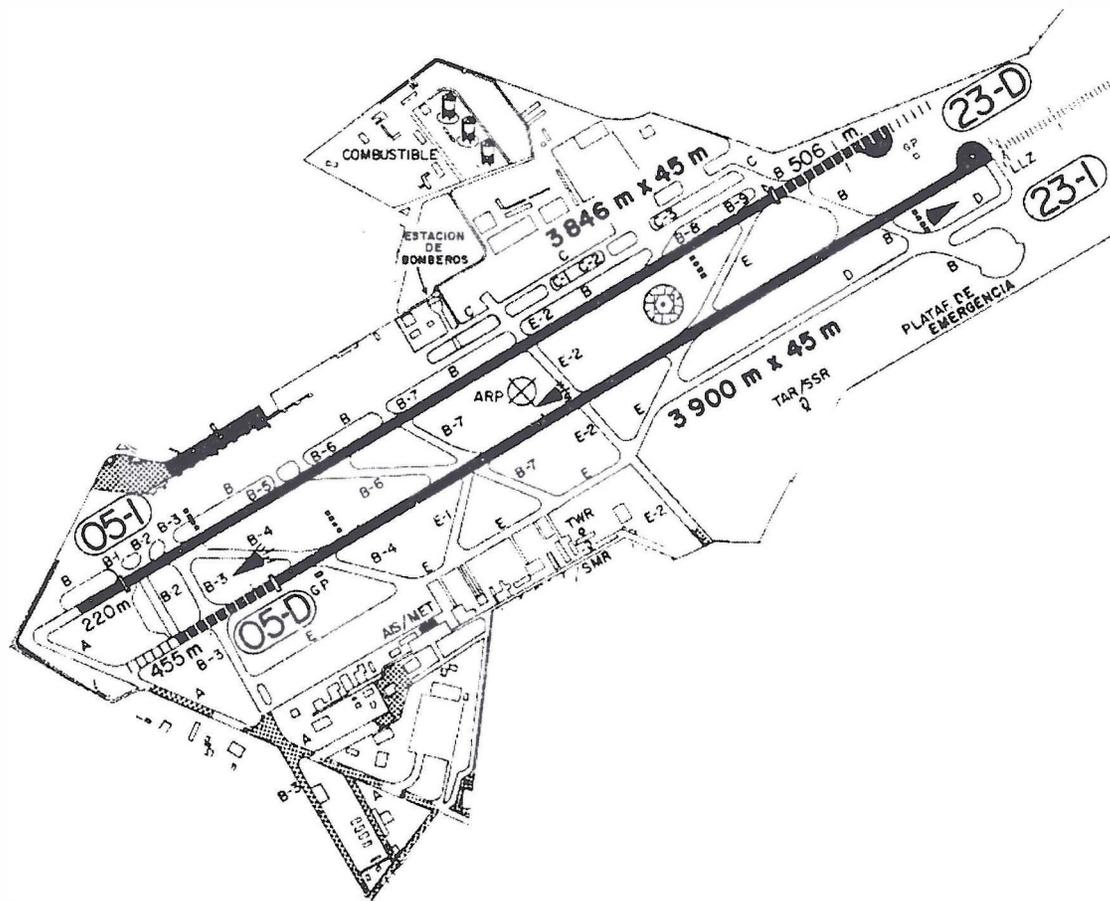
## 2.2 Entorno

A una elevación de 2237.5 m (7341 pies) sobre el Nivel Medio del Mar (MSL), el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM) es uno de los aeropuertos comerciales importantes de mayor elevación en el mundo. Al igual que en el caso de muchos otros aeropuertos que fueron construidos durante la primera mitad del Siglo XX, la capacidad de su sistema de pistas está acercándose a su punto de saturación. Además, el aeropuerto se ha visto rodeado poco a poco por áreas residenciales que impiden la expansión fácil de sus pistas y edificio terminal. El propio campo de aviación, conocido inicialmente como *Puerto Aéreo Central de la Ciudad de México*, comenzó a operar irregularmente en 1928 y fue inaugurado formalmente en 1931, hace casi 70 años. El área en donde está construido el aeropuerto era un gran campo abierto en 1931. Fotografías aéreas tomadas durante los 1960s muestran todavía grandes espacios vacíos que rodeaban aproximadamente 70 por ciento del campo de aviación. La Torre de Control actual fue construida a fines de los 1970s, mientras que el Centro México, una instalación de tecnología de punta, fue terminado en los 1990s, y constituye el Centro de Aproximación (APP) y Centro de Control de Tránsito Aéreo (ACC) para el área central de México. Ambos están situados dentro de los linderos del campo de aviación. En cuanto a las características de la zona terminal, el actual edificio terminal fue inaugurado en el año 1952. A pesar de varias ampliaciones y mejoras, la terminal sigue siendo principalmente un edificio lineal de un solo piso. Las pistas y las instalaciones generales actuales no pueden dar cabida a la demanda de tránsito aéreo prevista más allá de los primeros años del Siglo XXI. De hecho, ya para 1994, el aeropuerto había alcanzado un nivel crítico en las demoras de los vuelos, después de varios años de crecimiento económico sumamente rápido y la desregulación de las aerolíneas en México. Estas demoras sirvieron para advertir que era necesario mejorar el aeropuerto. La recesión económica posterior, al igual que la transferencia de la Aviación General al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de Toluca provocó una disminución de la demanda en el AICM. A su vez, este respiro brindó una oportunidad para que las autoridades mexicanas evaluaran la situación del tránsito aéreo y determinaran el mejor curso de acción para el desarrollo aeroportuario futuro de la Ciudad de México.

En este reporte, se presentan los resultados de un análisis extenso y objetivo de las necesidades aeroportuarias futuras de la Ciudad de México, al igual que recomendaciones acerca de la mejor manera de satisfacer esas necesidades de una manera eficiente y técnicamente factible.

### **2.3 Descripción del AICM (1996)**

El campo aéreo en sí es compacto y contiene dos pistas paralelas, muy cerca una de la otra, con una separación entre ejes de pista de 305 m. Ver Figura 2-1; el diagrama del aeropuerto y esta descripción reflejan la configuración del aeropuerto en 1996. Las pistas están orientadas en dirección noreste-suroeste. La pista 05R/23L o, en español, 05D/23I (los dos extremos de una sola pista física) tiene una longitud de 3900 m y ambos umbrales están equipados con Sistemas de Aterrizaje por instrumentos (ILS) de Categoría I (CAT I) que permiten aproximaciones durante condiciones meteorológicas relativamente adversas. La pista 05L/23R tiene una longitud de 3846 m. Aproximadamente 80 por ciento de todas las operaciones ocurren (sean llegadas o salidas) hacia el noreste, utilizando las pistas 05R y 05L. Las operaciones segregadas son comunes, con llegadas en una pista y salidas en la otra. Las operaciones simultáneas verdaderas, que casi duplicarían la capacidad de aproximación de las pistas del AICM, son una imposibilidad debido a la proximidad de las pistas.



**Figura 2-1. Plano general del AICM (1996)**

El AICM está situado hacia la parte oriental de la Ciudad de México. Como se indicó anteriormente, cuando se inauguró el aeropuerto en 1931, el área a su alrededor no estaba urbanizada. Hoy en día, el aeropuerto está casi rodeado por completo por áreas urbanizadas (Figura 2-2). Los límites del aeropuerto se definen por las zonas residenciales y comerciales al norte, sur y oeste y por un ferrocarril activo y una viabilidad importante (el *Periférico*) al este. La única zona adyacente no urbanizada queda al noreste del aeropuerto, en la dirección de los ejes de las pistas, en un área de rellenos sanitarios.

Al igual que gran parte de la Ciudad de México, el AICM está situado en el vaso de lo que fue un lago hoy seco, rodeado por montañas que alcanzan una elevación de hasta 3200 m (más de 10,000 pies) sobre el nivel del aeropuerto. Las rutas de llegada y salida deben diseñarse con cuidado de proporcionar una separación adecuada del elevado terreno y permitir todavía que los pilotos aterricen a tasas de descenso razonables (o para que las salidas asciendan lo suficientemente rápido para librar el terreno). El diseño de las rutas de

llegada y salida se complica debido a la gran elevación del AICM, lo que lleva a velocidades más altas relativas a tierra en la aproximación final y reduce la capacidad de las aeronaves para ascender durante las salidas.

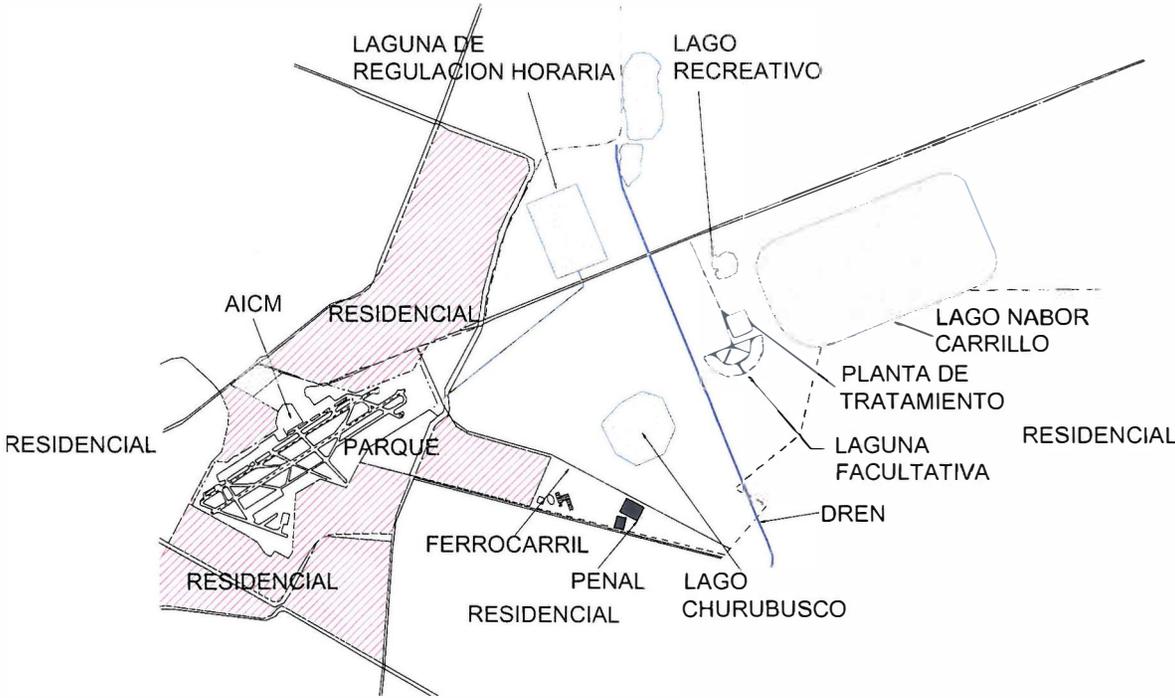


Figura 2-2. Uso de terrenos alrededor del AICM



## Sección 3

# Análisis

### 3.1 Análisis de demanda

El primer paso para determinar las necesidades aeroportuarias futuras de la Ciudad de México fue entender las características de demanda de tránsito en el AICM, al igual que los escenarios potenciales de crecimiento. Una vez que se determinaron los niveles de la demanda esperada, fue posible proyectar las instalaciones aeroportuarias necesarias para satisfacer ese nivel de demanda. Aunque MITRE ha analizado las necesidades del AICM a través de un trabajo de simulación computarizada sofisticada, el historial de demanda de los últimos años, según se describe en las líneas a continuación, brinda una convalidación de sentido común para todo el proceso de planeación.

En 1994, el tránsito anual en el AICM alcanzó su nivel más alto, 347,000 operaciones, (también llamadas “movimientos”, o sea, salidas más llegadas). Para el verano de 1994, la carga de trabajo de los controladores, el congestionamiento en el sistema de pistas y calles de rodaje del aeropuerto y los incipientes cuellos de botella en el espacio aéreo se convirtieron rápidamente en una preocupación creciente, primero para SENEAM y luego para ASA. Por lo tanto, en un esfuerzo por aplazar el congestionamiento en el AICM, la mayor parte del tránsito de Aviación General (del 17 al 20 por ciento del total) fue eliminada permanentemente del AICM y fue enviada al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de Toluca en el otoño de 1994. Hoy en día, sólo 4 a 5 por ciento de las operaciones en el AICM corresponden a Aviación General. Aunque debido a la naturaleza de este estudio, el número de pasajeros no es utilizado (se utiliza el número de operaciones), vale la pena mencionar que éste se ha duplicado en sólo 11 años, de 10 millones de pasajeros en 1988 a 20 millones en 1999.

El congestionamiento cesó abruptamente cuando ocurrió una crisis monetaria en México a finales del año 1994, llevando a una severa recesión que hizo que el tránsito comercial regresara a los niveles más manejables experimentados años atrás.

Los años que siguieron le dieron un respiro al AICM. Para 1996, en el punto más profundo de la recesión, las operaciones anuales totales habían disminuido a 236,000. Desde esa época, se ha reanudado el crecimiento del tránsito. Ahora (año 2000), el tránsito aéreo del AICM se aproxima rápidamente a 300,000 operaciones anuales y probablemente sobrepasará en el año 2002 el volumen del año pico 1994. Es importante decir, sin embargo, que aquellas 347,000 operaciones de 1994 no pueden ser comparadas a un mismo número (o aún uno mucho menor) en 2001–2002, dado que hoy en día 90 a 95 por ciento de las operaciones son de aviones turboreactores que tienden a causar mayor congestión que el 80 u 85 por ciento que se manejaba en 1994.

MITRE presentó estos resultados a diversas audiencias en el medio de la aviación mexicana en 1997, antes de la actual recuperación económica, en un esfuerzo por lograr un consenso acerca de las tasas de crecimiento futuro.

En la Figura 3-1 se muestra una familia de curvas que ilustran seis escenarios de crecimiento promedio, empezando con las 236,000 operaciones manejadas por el AICM en 1996. Diversas autoridades y personal de aviación que estudiaron con MITRE estos datos en 1997, influidos todavía por una economía que se recuperaba lentamente de una recesión, concluyeron que la Ciudad de México experimentaría un crecimiento de tránsito aéreo de 5 a 6 por ciento a largo plazo. Sin embargo, algunos funcionarios y MITRE recordaron los períodos de índices de alto crecimiento (desde 7.5 por ciento hasta incluso 18.6 por ciento anual). Consideraron también el hecho de que la población de la Ciudad de México incluye todavía un amplio sector que no hace uso del transporte aéreo pero que podría aumentar rápidamente con el crecimiento económico de la población, aumentando considerablemente la demanda de vuelos hacia y desde la Ciudad de México. De ahí que se tomara la decisión de que, para *finés de planeación* a largo plazo, se debían considerar también tasas de crecimiento de 6 a 7 por ciento. Estas tasas deben ser consideradas para dar cabida a aumentos de tránsito súbitos. De lo contrario, bajo tasas de 5 a 6 por ciento, podrían presentarse situaciones de saturación antes de lo previsto.

Bajo el escenario moderado de una tasa de crecimiento promedio anual de 5 a 6 por ciento, para el año 2016, la Ciudad de México experimentará tres veces el número de operaciones que se registraron en 1996, un nivel de tránsito similar al que el aeropuerto principal de Chicago (O'Hare International—ORD) manejaba en los 1980s, cuando ORD era consistentemente la operación aeroportuaria más grande de los Estados Unidos. Para manejar este tránsito, para ese entonces ORD había comenzado a utilizar *tres pistas para aproximaciones simultáneas* bajo ciertas condiciones meteorológicas favorables. A la misma tasa de crecimiento, para el 2020 el tránsito aéreo de la Ciudad de México ascenderá a 900,000 operaciones anuales, un nivel de demanda similar al que experimenta hoy en día el Aeropuerto de Dallas-Fort Worth—DFW. Bajo ese nivel anual, las operaciones diarias promediarían casi 2500 (1250 llegadas y 1250 salidas). Hoy en día, DFW opera rutinariamente aproximaciones simultáneas triples en la mayoría de las condiciones meteorológicas.

En vista de la alta probabilidad de que estos niveles de tránsito sucedan durante las próximas dos décadas, MITRE enfocó sus estudios en torno a conceptos tales como *aproximaciones simultáneas triples* que prevendrían que el congestionamiento regresara a niveles actuales antes de 30 años, cuando es muy probable que nuevos conceptos técnicos hayan sido aprobados.

Mientras tanto, después de 1996, el AICM comenzó una vez más a experimentar altas tasas de crecimiento, llegando hasta 11 por ciento al año. Esto debería ser muy preocupante, ya que la demanda podrá crecer a niveles que excederían la capacidad del sistema de pistas

actual del aeropuerto, antes de que se pueda ejecutar cualquier solución. Para evitar comprometer la seguridad, tendrían que imponerse restricciones de cupo adicionales. Estas restricciones llevarían a coeficientes de ocupación más altos (o sea, aeronaves con menos asientos vacíos disponibles) y, finalmente, el público sufriría a través de demoras severas y pasajes más costosos.

Las consecuencias del anterior análisis de demanda se pueden resumir de la manera siguiente:

- En primer lugar, con base en la experiencia pasada en el AICM y otros aeropuertos en los Estados Unidos y alrededor del mundo, dentro de muy poco tiempo los niveles de tránsito aéreo de la Ciudad de México alcanzarán los límites de capacidad del sistema de pistas actual del AICM (para mayor detalle ver Sección 3.3.4)
- En segundo lugar, y debido a lo anterior, deberían efectuarse estudios de modelado de capacidad y demora que determinen cuándo ocurrirán demoras severas y qué puede hacerse para aliviarlas a corto y largo plazo.

La manera en que la demanda de tránsito aéreo de la Ciudad de México puede satisfacerse se describe en las secciones siguientes.

## **3.2 Análisis de capacidad**

### **3.2.1 Definición y factores**

La *capacidad de un sistema de pistas* se define como el número horario promedio de operaciones de llegada y salida que una determinada configuración de pistas puede manejar durante períodos de demanda constante en un aeropuerto. Las diversas capacidades en el AICM fueron calculadas utilizando el modelo de MITRE *Enhanced Airfield Capacity Model* (E-ACM). El E-ACM es una versión actualizada del frecuentemente referido Modelo de Capacidad de Campo de Aviación de la FAA [Swedish, 1981]. Aunque la capacidad real puede ser superior a la capacidad calculada por el modelo en una hora determinada debido a las variaciones a corto plazo en la mezcla de aeronaves, los procedimientos de control, etc., la capacidad teórica es válida para comparaciones entre aeropuertos o entre alternativas de desarrollo.

Los cálculos de capacidad se basan en diversos supuestos, incluidos los siguientes:

- Oferta continua de llegadas y salidas
- Controladores y pilotos, ambos grupos, trabajando a un alto nivel de rendimiento
- Se observan todas las reglas de ATC, aunque pueden ocurrir desviaciones menores
- Operaciones normales; por ejemplo, ausencia de aproximaciones fallidas o despegues abortados

**Tabla 3-2. Resumen de capacidades (1996)**

Condiciones Meteorológicas	Operaciones por Hora <sup>2</sup>			
	Sólo Llegadas	Sólo Salidas	Salidas y Llegadas (50% – 50%)	Máximo Número de Operaciones
VMC	27	51	54	78
IMC	23	48	47	61

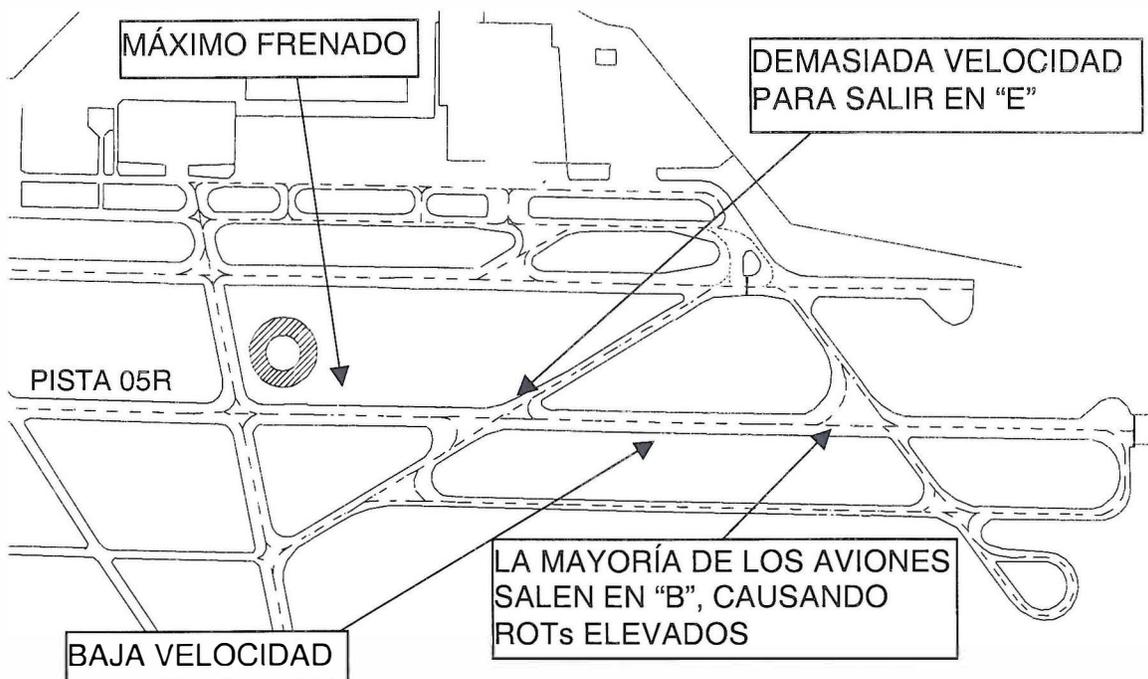
### 3.2.3 Nuevas salidas de pista

MITRE evaluó varios cambios potenciales en el AICM que podrían mejorar la capacidad del aeropuerto. El primero, mejorar las salidas en las pistas, estaba destinado a aliviar un problema muy específico en el AICM. Muchas de las aeronaves que aterrizan en la pista 05R pueden desacelerar y salir en la calle de rodaje “E”—Echo (ver Figura 3-2). Sin embargo, a veces, las aeronaves no pueden desacelerar con suficiente rapidez como para utilizar esta salida, debido a las altas velocidades de aproximación en el Valle de México, y ruedan lentamente hasta la próxima salida (“B”—Bravo).

Ya que el tiempo de ocupación de las pistas de llegada puede variar impredeciblemente, se requiere una separación adicional entre todas las llegadas. Una o más salidas nuevas en la pista 05R, debidamente situadas, permitirán que las llegadas salgan de la pista más rápida y consistentemente. Se esperaría con esto que la separación entre llegadas de 5.0 nmi podría ser reducida confiablemente a 4.0 nmi para la mayoría de las aeronaves (en ciertos casos seguiría siendo necesaria una separación de 5.0 nmi; en particular para evitar la estela turbulenta dejada atrás por aeronaves pesadas). En general, sin embargo, esta reducción en la separación debe generar mayor capacidad en el sistema de pistas.

---

<sup>2</sup> Las cifras mostradas han sido redondeadas. Esto puede causar la impresión de que existen discrepancias menores al compararlas contra otras cifras.



**Figura 3-2. Operaciones de salida de la pista 05R (1996)**

Se analizaron varias ubicaciones y diseños alternativos utilizando un modelo de computadora del comportamiento de aterrizaje de las aeronaves. Estas alternativas se muestran en la Figura 3-3. Con posterioridad al análisis de MITRE, se construyó en el AICM una nueva salida similar a uno de los diseños sugeridos (ver Figura 3-4).

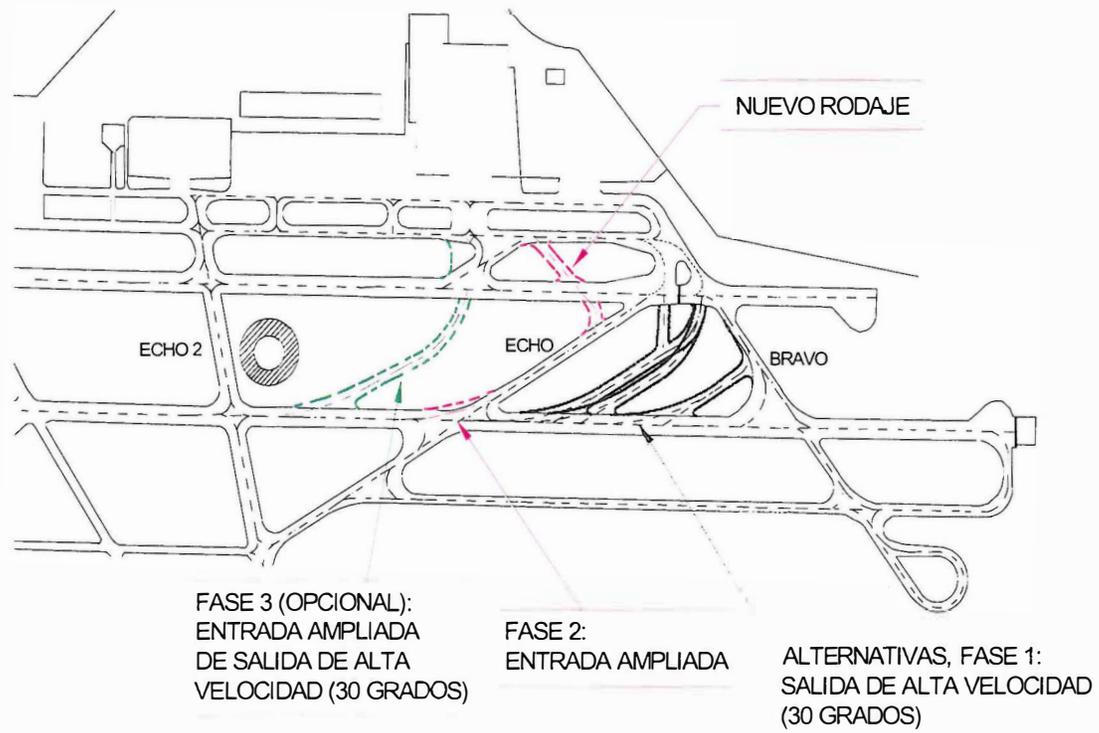
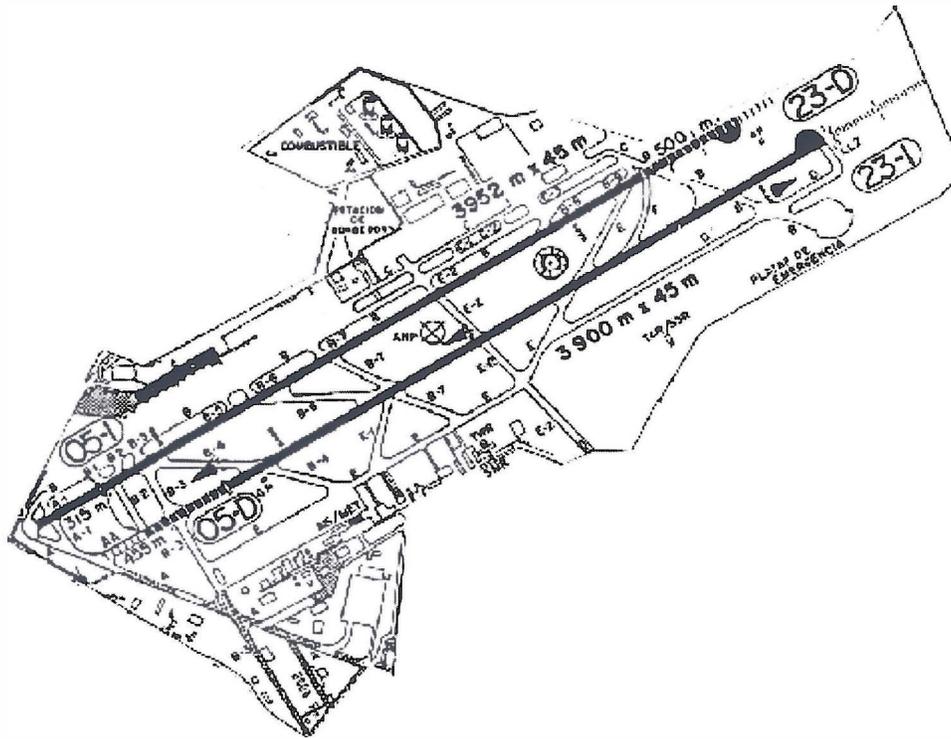


DIAGRAMA CONCEPTUAL,  
NO PARA DISEÑO DETALLADO

**Figura 3-3. Alternativas para nuevas salidas de pista**

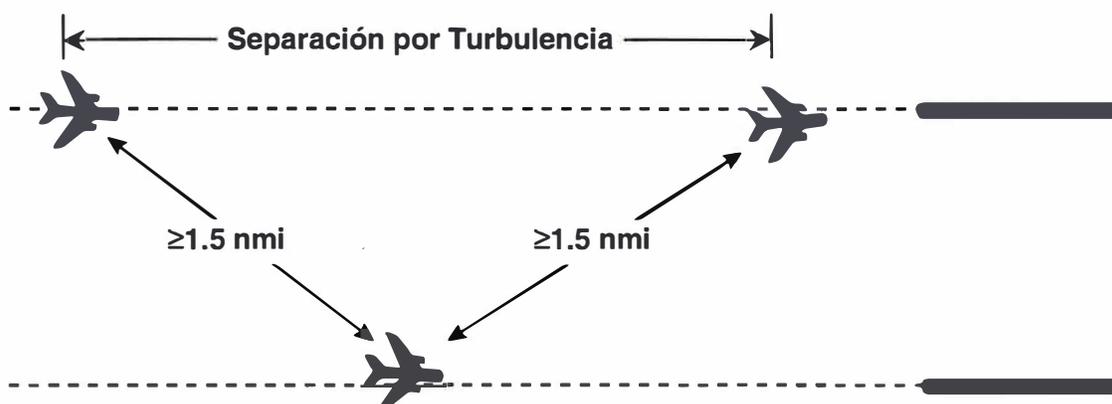


**Figura 3-4. Plano general actual del AICM (2000)**

### **3.2.4 Dos pistas con mayor separación**

Otras mejoras de capacidad alternativas implican una o más pistas nuevas, con mayor separación que entre las pistas actuales. Para construir tales pistas en el AICM, sería necesario expropiar zonas residenciales alrededor del aeropuerto actual y, por lo tanto, sería difícil y costoso hacerlo.

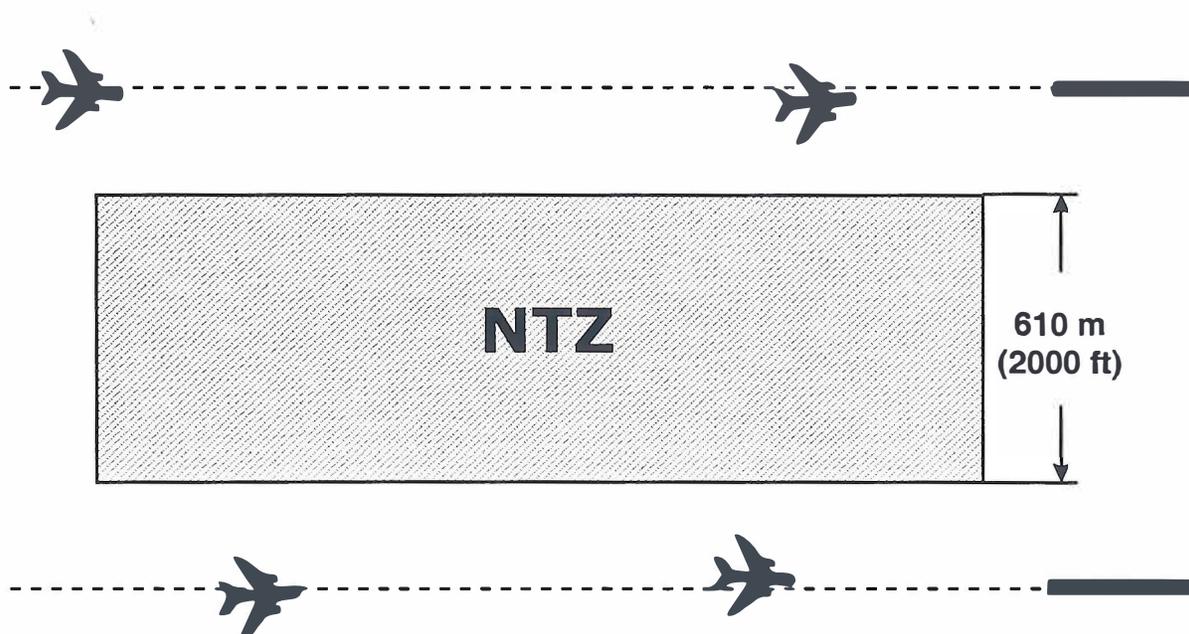
Por ejemplo, conforme a las normas estadounidenses para *aproximaciones paralelas escalonadas* (“*dependientes*”), es necesario que los ejes de las pistas tengan una separación de por lo menos 760 m (2500 pies); las pistas en el AICM tienen una separación de apenas 305 m (1000 pies). Las aproximaciones paralelas escalonadas requieren una separación *diagonal* mínima entre las aeronaves que se aproximan a pistas adyacentes (ver Figura 3-5). El requisito en los Estados Unidos es una separación diagonal mínima de 1.5 nmi para pistas con una separación entre 760 y 1310 m (2500–4300 pies).



**Figura 3-5. Aproximaciones escalonadas a pistas paralelas (normas estadounidenses)**

Dadas las separaciones de pista especificadas, la capacidad en IMC es superior a la de dos pistas con la separación actual de 305 m en el AICM. Además, la capacidad de llegada en VMC de esta configuración es significativamente superior a la capacidad de IMC porque, en este caso, se permiten aproximaciones simultáneas durante VMC.

Con una mayor separación entre las pistas y algunos procedimientos especiales, es posible realizar *aproximaciones paralelas simultáneas* (“*independientes*”) a dos pistas en IMC. Las aproximaciones paralelas simultáneas difieren de las aproximaciones paralelas escalonadas, ya que no es necesaria la separación longitudinal entre las aeronaves en localizadores adyacentes. En vez de eso, dos controladores adicionales monitorean las aproximaciones a fin de asegurar que las aeronaves no se desvíen de sus trayectorias de aproximación hacia una “Zona de No Transgresión” (NTZ) definida entre las pistas (Figura 3-6).



**Figura 3-6. Aproximaciones simultáneas a pistas paralelas**

Las normas estadounidenses para operaciones paralelas simultáneas exigen por lo menos 1310 m (4300 pies) entre los ejes de pistas cuando se utilizan un sistema de radar y pantalla convencionales (el radar con un intervalo de actualización de 4.8 seg.). Esta separación puede ser reducida a 1035 m (3400 pies) si se utiliza un radar de alta precisión con un intervalo de actualización de 1.0 seg. y una pantalla digital de color de alta resolución con algoritmos de alerta—Final Monitor Aid (FMA).

Ya que las llegadas a cada pista no son afectadas por las operaciones en la otra pista, la capacidad de pistas operadas simultáneamente en IMC será superior a la capacidad de las mismas pistas operadas de manera escalonada. En VMC, las capacidades serán iguales, ya que se pueden llevar a cabo aproximaciones simultáneas a la separación de pista menor en VMC.

La mayor parte de la experiencia operacional con aproximaciones paralelas simultáneas dobles ha sido obtenida en aeropuertos cerca de o al nivel del mar. Ya que el AICM tiene una elevación de 2237.5 m (7341 pies) MSL, es posible que los requisitos de separación de pistas estándar no sean suficientes. En un análisis de separación de pistas realizado por MITRE a tales elevaciones, se encontró que con un radar de aproximación aeroportuario convencional y un FMA, una separación mínima entre las pistas de 1585 m (5200 pies) es necesaria para llevar a cabo sin riesgos las aproximaciones simultáneas duales a dos pistas. Sin embargo, la separación entre las pistas podría ser reducida hasta 915 m (3000 pies) si se satisfacen requisitos adicionales, como son un radar especializado, con una tasa alta de

La demora de llegadas, tal como se modela en este análisis, es básicamente el producto de dos variables: la capacidad de aceptación de llegadas del sistema de pistas del aeropuerto (denominada *capacidad*), la cual puede medirse en intervalos horarios o sobre la base de otra segmentación de tiempo y el número de aeronaves que intentan llegar a tiempo (denominada *demanda*), también medida cada hora o durante los intervalos de tiempo correspondientes a los utilizados en capacidad. El modelo permite que el analista haga variar la capacidad, la cual depende de la configuración de pistas y de las condiciones meteorológicas, y la demanda, la cual depende del mercado, durante todo el período que se analiza (normalmente 24 horas).

El modelo fue aplicado partiendo del supuesto de que no existe ninguna cola de aeronaves al principio del período de 24 horas. El día fue designado para comenzar a la media noche, hora local, cuando, normalmente, no hay colas. El día fue dividido en 24 períodos de una hora. Una limitante de estos cálculos es el hecho de que existen variaciones de demanda y condiciones meteorológicas dentro del lapso de cada hora y esto podría cambiar los resultados (ligeramente). Sin embargo, generalmente no hay disponibilidad de suficiente información acerca de demanda o condiciones meteorológicas para períodos de menos de una hora.

### **3.3.2 Suposiciones sobre capacidad**

Como se ha mostrado en secciones anteriores, no existe un valor único de capacidad de pista para toda condición meteorológica. La capacidad de un sistema de pistas es afectada por fluctuantes relaciones llegadas-salidas y por también fluctuantes condiciones meteorológicas; para fines de simplicidad, se supone que la capacidad puede cambiar cada hora y permanece estable durante los siguientes 60 minutos.

La experiencia de MITRE ha demostrado que para fines de cálculo de demoras y planeación, es justificable utilizar la capacidad de llegadas cuando existen relaciones de salidas y llegadas 50 por ciento – 50 por ciento; en otras palabras, utilizar la capacidad de horas durante las cuales el número de llegadas y salidas es el mismo. Esta idealización implica que, durante la mayoría de las situaciones meteorológicas y a lo largo del tiempo, los aeropuertos asignarán el 50 por ciento de su capacidad de pista total a llegadas y el 50 por ciento a salidas. Ciertamente, esto se cumple para un ciclo completo de 24 horas y se aproxima a la realidad durante muchas horas del día. Por lo tanto, la capacidad para el caso denominado en tablas anteriores *Salidas y Llegadas (50% – 50%)* fue utilizada e ingresada en el modelo de demoras. En lo que se refiere a la variación en las condiciones meteorológicas (independiente de la relación de salidas y llegadas), se diseñó un día meteorológico mixto, utilizando datos meteorológicos para un número de días representativos proporcionados por SENEAM. Entonces, este diseño fue presentado al SENEAM y, en particular, a personal de la Torre de Control del AICM, el cual suministró retroalimentación adicional y ajustó el diseño para que representara una situación

meteorológica ligeramente más adversa que la situación promedio (como debe ser para efectos de planeación), en el AICM.

Así pues, utilizando los resultados de capacidad de llegada (según se indicó anteriormente, de acuerdo a la relación de número igual de salidas y llegadas) mostrados en secciones anteriores, MITRE mezcló las capacidades de VMC e IMC, asignando una capacidad específica a cada hora del día, en conformidad con el análisis y las conversaciones mencionadas anteriormente. Se utilizaron los cuatro escenarios y las cifras de capacidad de *llegadas* siguientes (llegadas por hora):

	<u>VMC</u>	<u>IMC</u>
• Sistema de pistas del aeropuerto actual	27.2	23.4
• Aeropuerto actual con salidas de pista mejoradas	32.4	27.2
• Sistema de dos pistas para aproximaciones independientes	46.0	41.9
• Sistema de tres pistas para aproximaciones independientes	69.0	62.8

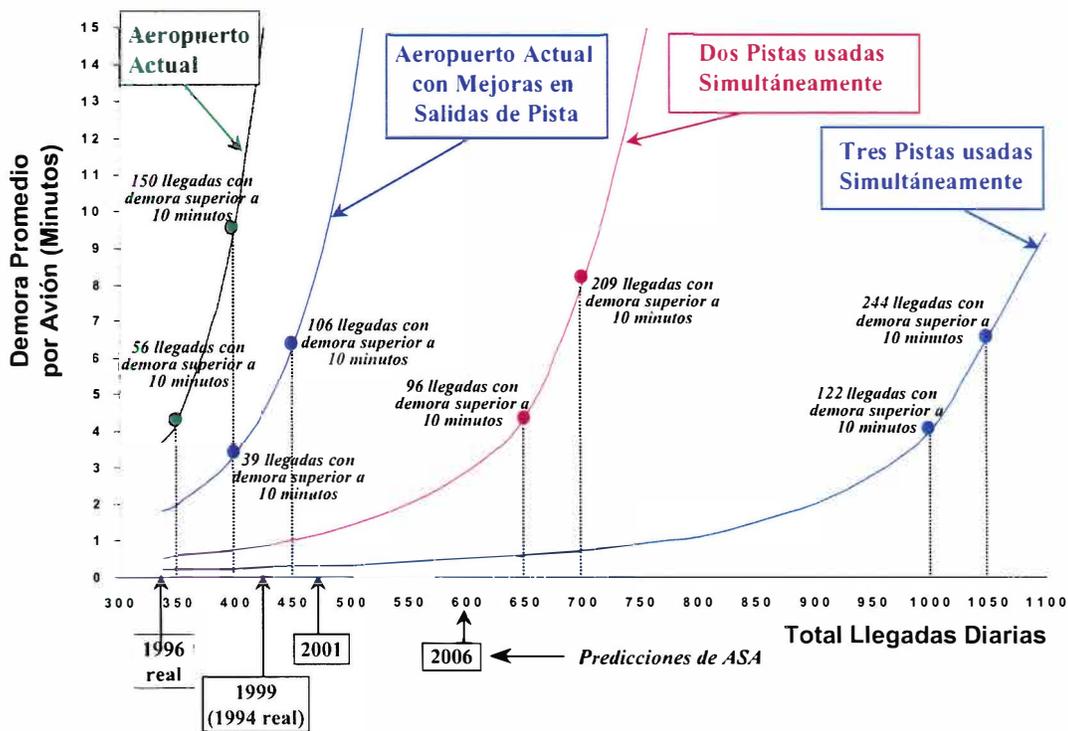
### 3.3.3 Suposiciones sobre demanda

Para fines de planeación, el sistema de pistas de un aeropuerto debe ser diseñado para períodos pico. Éstos pueden ser estacionales, semanales, diarios, incluso horarios. MITRE utilizó la distribución diaria de vuelos para un día con una demanda superior al promedio—o sea, un día pico—(viernes, 19 de julio de 1996). Se permitió que este nivel de demanda creciera, siguiendo su distribución horaria original, comenzando con 336 llegadas comerciales y terminando en 1100. Este nivel de tránsito podría ser alcanzado antes del año 2020.

### 3.3.4 Resultados de demoras

En la Figura 3-9 se ilustran los resultados de demoras para cuatro configuraciones de pistas. El eje vertical del diagrama muestra la demora promedio para las aeronaves *que llegan*, en minutos, para un nivel de demanda en aumento (en el eje horizontal), mostrado como el número total de llegadas diarias *en un día pico*. Ya que el eje horizontal representa la demanda diaria pico (no promedio), uno no puede multiplicar estas cifras por 365 para determinar la demanda anual.

La experiencia con el modelo de computadora específico utilizado para generar las curvas de la Figura 3-9 ha demostrado que demoras promedio por aeronave que exceden de 4 a 5 minutos son sintomáticas de un sistema de pistas que está seriamente congestionado. Demoras promedio de 6 a 8 minutos o más son un indicio claro de saturación severa en el sistema de pistas.



**Figura 3-9. Demoras promedio de llegadas modeladas para la Ciudad de México**

La curva “Aeropuerto Actual” muestra que, a 336 llegadas diarias (el día base de 1996), la demora promedio fue calculada en 3.7 minutos/aeronave. En 1996, los controladores de tránsito aéreo informaban de niveles de congestión en aumento, aunque manejables. El resultado del modelo, tan cerca al criterio de 4 a 5 minutos mencionado anteriormente, tiende a convalidar la habilidad de predicción del modelo, en el caso del AICM. La curva muestra que el aeropuerto habría llegado a severos niveles de saturación poco después de 1997. Sin embargo, en 1998, se construyeron nuevas salidas en las pistas, las cuales fueron recomendadas por MITRE en el transcurso de este análisis, y las mismas ayudaron a aplazar temporalmente estos niveles de congestión.

La curva “Aeropuerto Actual con Mejoras en Salidas de Pista” muestra los beneficios de la nueva salida en una pista del AICM y la reducción resultante en la separación entre llegadas. Por lo tanto, a pesar del crecimiento continuo del tránsito aéreo, en base a los resultados del modelo, los niveles de demora experimentados en 1996 no se volvieron a observar sino hasta finales de 1999. Sin embargo, para cuando el tránsito horario pico corresponda a 450 llegadas diarias, se calcula que la demora promedio ascenderá a 6.4 minutos/aeronave, una cifra más alta que la demora experimentada por los controladores

de tránsito aéreo durante el año pico 1994. De acuerdo a información reciente, esto sucederá en el transcurso de 2001, luego de lo cual la situación puede tomarse en muy crítica.

La tercera curva muestra que las aproximaciones simultáneas a dos pistas resultarían en niveles tolerables de demoras hasta que el volumen de tránsito aéreo en la ciudad llegue a 650 llegadas diarias durante los días pico. En ese punto, la demora promedio se calcula en 4.4 minutos/aeronave, y 96 llegadas (el 14.8 por ciento de todas las llegadas) experimentarán una demora de 10 minutos o más. Si las 650 llegadas diarias son un valor promedio, no sólo un pico, entonces las operaciones anuales se acercarán a 475,000. Es probable que se alcance este nivel de tránsito antes del año 2012 (a una tasa de crecimiento anual promedio de 4 por ciento) y es posible, incluso que ocurra durante el período de 2008–2010 (a tasas de crecimiento de 5 a 6 por ciento).

Por lo tanto, entre los años 2009 y 2014, es posible que la Ciudad de México necesite un sistema de tres pistas capaz de operar aproximaciones por instrumentos simultáneas. Los resultados del modelo, como muestra la cuarta curva, indican que se regresaría a los niveles de demora que se esperan actualmente para el año 2001, sólo cuando la demanda de la Ciudad de México ascienda a 1,050 llegadas diarias, es decir, cerca de 800,000 operaciones al año. Este nivel podrá ser alcanzado entre los años 2016 y 2020, en cuyo momento es posible que las aproximaciones simultáneas triples no sean suficientes y sean necesarios procedimientos adicionales, para entonces técnicamente disponibles, para aumentar la capacidad del aeropuerto (por ejemplo, pistas adicionales sólo para salidas operando junto con aproximaciones simultáneas triples, o incluso aproximaciones simultáneas cuádruples).

**La experiencia ha demostrado que es necesario construir pistas adicionales antes de que sean realmente necesarias para evitar congestionamiento. De lo contrario, cualquier accidente o problema de mantenimiento menor causaría trastornos considerables al tránsito. Esto sería cierto sobre todo si no todas las pistas están ubicadas en el mismo sitio, ya que los trastornos en un aeropuerto podrían resultar en el desvío de vuelos a otro aeropuerto. Típicamente, el segundo aeropuerto no estaría preparado para manejar un aumento súbito de tránsito adicional, sobre todo en lo que se refiere a plataformas, posiciones de abordaje y otros recursos del edificio terminal.**



## Sección 4

# Alternativas de solución

### 4.1 Ampliación del aeropuerto actual

La capacidad del sistema de pistas existente no podrá dar cabida a la demanda operacional esperada en el AICM dentro de un período de corto plazo. El espacio libre disponible en el aeropuerto no es suficiente para satisfacer requisitos aeronáuticos futuros, tales como el cambio de *ambas* pistas más allá del edificio terminal, separándolas lo suficiente para permitir aproximaciones escalonadas.

Fuera de los terrenos del aeropuerto, zonas residenciales y comerciales han ido creciendo alrededor del mismo, ocupando terrenos adyacentes que podrían utilizarse para su expansión. La expropiación de terrenos alrededor del aeropuerto para la expansión sería sumamente costosa e implicaría la reubicación de numerosas viviendas, instalaciones y vialidades existentes. Para la reubicación de las pistas, sería necesario también reubicar la Torre de Control y el Centro México. Incluso si se diera el caso improbable de que el costo de un proyecto como ese fuera aceptable (cientos de millones de dólares, incluida la construcción de las pistas), MITRE estima que las aproximaciones escalonadas no añadirían más de 7 a 10 años de vida al AICM.

Las mejoras recientemente hechas a las salidas de la pista 05R (realizadas por ASA en base a cálculos de MITRE) han prolongado brevemente la vida útil del AICM. Aunque esto puede proporcionar algún alivio temporal, es importante recordar que la construcción de un gran aeropuerto, incluida la planeación del mismo, así como la elaboración de los paquetes de licitación y su adjudicación, puede tomar entre cinco y diez años.

### 4.2 Selección del sitio para un nuevo aeropuerto

Dado que esencialmente no es factible ampliar el AICM en forma satisfactoria, será necesario construir y operar un nuevo aeropuerto para atender el tránsito aéreo adicional. En estudios anteriores, se han investigado numerosos sitios alrededor de la Ciudad de México para un posible nuevo aeropuerto comercial. Después de analizar estos estudios y de muchas conversaciones con SCT y ASA, se seleccionaron tres sitios para su análisis detallado en este proyecto. A estos sitios (se presentan ordenados, del más cercano al más alejado del AICM) se les denominará:

- Sitio Rellenos Sanitarios
- Sitio Texcoco
- Sitio Hidalgo

Estos sitios se muestran en la Figura 4-1.

El **sitio Rellenos Sanitarios** queda adyacente al límite noreste del AICM y por tanto es el sitio más cercano al mismo. En la actualidad, la zona no está habitada, pero se utiliza para enterrar y eliminar basura de la ciudad. Lagos y canales, parte de un complejo sistema para regular las aguas superficiales y pluviales del Valle de México, se encuentran en esa zona.

El **sitio Texcoco**, cercano a la población del mismo nombre, se encuentra prácticamente deshabitado y es la zona no urbanizada más grande dentro del Valle de México que permite la ubicación de un gran aeropuerto.

Por último, el **sitio Hidalgo** es el que más lejos queda del AICM, estando ubicado cerca del pueblo de Zapotlán de Juárez y la ciudad de Pachuca, al norte de la Ciudad de México. Las tierras del sitio Hidalgo se encuentran en un valle entre dos zonas montañosas que en la actualidad se utilizan principalmente para la agricultura.

### 4.3 El espacio aéreo en el Valle de México

En los análisis de los sitios individuales se explicarán las características de las rutas propuestas para las llegadas y las salidas y el proceso mediante el cual se diseñaron las rutas. El espacio aéreo resultó ser uno de los factores más significativos en la recomendación definitiva de un sitio para un nuevo aeropuerto. En consecuencia, fue necesario estudiarlo para apoyar los análisis que siguieron.

## Sección 4

# Alternativas de solución

### 4.1 Ampliación del aeropuerto actual

La capacidad del sistema de pistas existente no podrá dar cabida a la demanda operacional esperada en el AICM dentro de un período de corto plazo. El espacio libre disponible en el aeropuerto no es suficiente para satisfacer requisitos aeronáuticos futuros, tales como el cambio de *ambas* pistas más allá del edificio terminal, separándolas lo suficiente para permitir aproximaciones escalonadas.

Fuera de los terrenos del aeropuerto, zonas residenciales y comerciales han ido creciendo alrededor del mismo, ocupando terrenos adyacentes que podrían utilizarse para su expansión. La expropiación de terrenos alrededor del aeropuerto para la expansión sería sumamente costosa e implicaría la reubicación de numerosas viviendas, instalaciones y vialidades existentes. Para la reubicación de las pistas, sería necesario también reubicar la Torre de Control y el Centro México. Incluso si se diera el caso improbable de que el costo de un proyecto como ese fuera aceptable (cientos de millones de dólares, incluida la construcción de las pistas), MITRE estima que las aproximaciones escalonadas no añadirían más de 7 a 10 años de vida al AICM.

Las mejoras recientemente hechas a las salidas de la pista 05R (realizadas por ASA en base a cálculos de MITRE) han prolongado brevemente la vida útil del AICM. Aunque esto puede proporcionar algún alivio temporal, es importante recordar que la construcción de un gran aeropuerto, incluida la planeación del mismo, así como la elaboración de los paquetes de licitación y su adjudicación, puede tomar entre cinco y diez años.

### 4.2 Selección del sitio para un nuevo aeropuerto

Dado que esencialmente no es factible ampliar el AICM en forma satisfactoria, será necesario construir y operar un nuevo aeropuerto para atender el tránsito aéreo adicional. En estudios anteriores, se han investigado numerosos sitios alrededor de la Ciudad de México para un posible nuevo aeropuerto comercial. Después de analizar estos estudios y de muchas conversaciones con SCT y ASA, se seleccionaron tres sitios para su análisis detallado en este proyecto. A estos sitios (se presentan ordenados, del más cercano al más alejado del AICM) se les denominará:

- Sitio Rellenos Sanitarios
- Sitio Texcoco
- Sitio Hidalgo

Estos sitios se muestran en la Figura 4-1.

El **sitio Rellenos Sanitarios** queda adyacente al límite noreste del AICM y por tanto es el sitio más cercano al mismo. En la actualidad, la zona no está habitada, pero se utiliza para enterrar y eliminar basura de la ciudad. Lagos y canales, parte de un complejo sistema para regular las aguas superficiales y pluviales del Valle de México, se encuentran en esa zona.

El **sitio Texcoco**, cercano a la población del mismo nombre, se encuentra prácticamente deshabitado y es la zona no urbanizada más grande dentro del Valle de México que permite la ubicación de un gran aeropuerto.

Por último, el **sitio Hidalgo** es el que más lejos queda del AICM, estando ubicado cerca del pueblo de Zapotlán de Juárez y la ciudad de Pachuca, al norte de la Ciudad de México. Las tierras del sitio Hidalgo se encuentran en un valle entre dos zonas montañosas que en la actualidad se utilizan principalmente para la agricultura.

### 4.3 El espacio aéreo en el Valle de México

En los análisis de los sitios individuales se explicarán las características de las rutas propuestas para las llegadas y las salidas y el proceso mediante el cual se diseñaron las rutas. El espacio aéreo resultó ser uno de los factores más significativos en la recomendación definitiva de un sitio para un nuevo aeropuerto. En consecuencia, fue necesario estudiarlo para apoyar los análisis que siguieron.

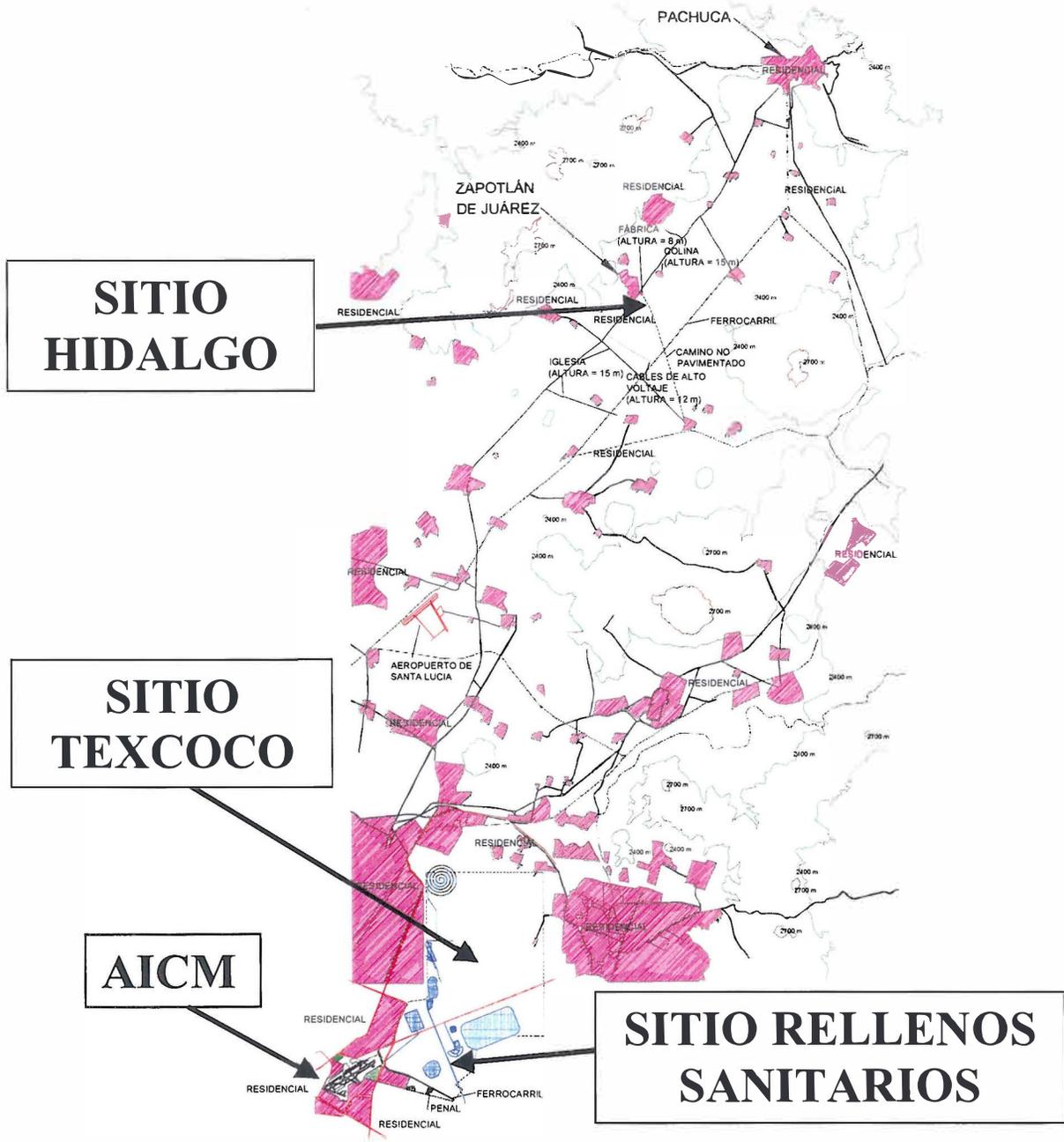
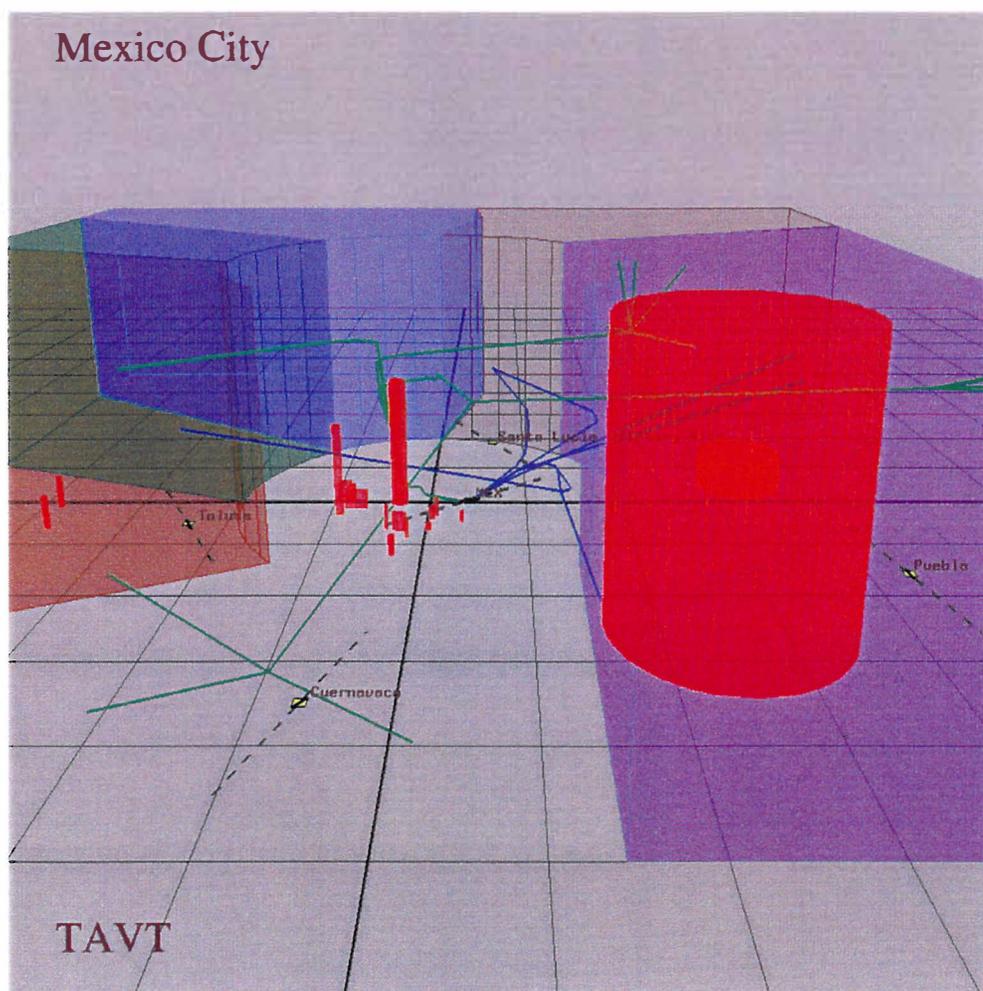


Figura 4-1. Ubicación de sitios analizados

La ilustración mostrada en la Figura 4-2 fue preparada utilizando una herramienta computacional desarrollada por MITRE denominada Terminal Airspace Visualization Tool (TAVT). Para este proyecto, TAVT fue utilizado para preparar una representación tridimensional del espacio aéreo actual de la Ciudad de México. Luego, este modelo fue utilizado como ayuda para investigar y entender el espacio aéreo actual. Aunque la mayoría de las cartas aeronáuticas muestran sólo el espacio aéreo desde arriba, las imágenes tridimensionales producidas por TAVT pueden visualizarse desde cualquier ángulo, produciendo vistas en perspectiva, como en la Figura 4-2.



**Figura 4-2. Vista en perspectiva del espacio aéreo de la Ciudad de México**

Esta vista, hacia el norte, muestra al AICM (designado “MEX”) en el centro de la imagen. El espacio aéreo restringido se muestra en color rojo, y los sectores de control de radar aparecen como volúmenes tridimensionales en colores múltiples. El cilindro grande de color rojo a la derecha es un Área Restringida temporal alrededor del Volcán Popocatepetl, con una nube de ceniza que se muestra adentro. Las rutas nominales para las llegadas al AICM aparecen como líneas azules, y las rutas de salida son verdes.

En esta vista (al igual que en la mayoría de las imágenes de TAVT), la escala vertical se exagera considerablemente. Los límites superiores de los sectores de radar están a 20,000 pies por encima del plano del terreno; la misma distancia medida en el plano del terreno se extendería aproximadamente 30 nmi. Aunque la diferencia en la escala vertical distorsiona la precisión y la imagen, ayuda a entender mejor las relaciones verticales entre las rutas, las áreas restringidas y los sectores de radar.

Se efectuó una visualización mucho más extensa a través del Laboratorio de Integración e Interacción de MITRE, un laboratorio con tecnología de punta. Ahí, se combinó un simulador de cabina de piloto electrónica, con un algoritmo de visualización altamente avanzado para producir una vista proyectada sobre tres pantallas, cada una con un ancho de 2.1 m y una altura de 1.5 m. Esta herramienta de visualización, conocida en MITRE como *Out-the-Window* (“*Por la Ventana*”), combina información proveniente de satélites, fotografía digital aérea y equipamientos de tecnología de punta. Esta herramienta, desarrollada por MITRE, permitió que los investigadores y pilotos “vieran” el terreno esencial y las estructuras artificiales de la Ciudad de México, mientras realizaban simulaciones exploratorias de aproximaciones y salidas, dinámicamente y en tiempo real. La Figura 4-3 es una imagen producida por la herramienta *Out-the-Window*; desafortunadamente, un dibujo tan pequeño no puede hacerle justicia a la imagen original.

Aunque tal visualización de sitio está más allá del alcance original del acuerdo ASA-MITRE, MITRE decidió emplear la herramienta *Out-the-Window* como parte de la investigación cuando resultó ser evidente que sería útil. Autoridades y controladores de tránsito aéreo mexicanos asistieron a demostraciones extensas en el laboratorio y en la Ciudad de México se hizo también una demostración reducida de la herramienta ante autoridades superiores.

#### **4.4 Sitio Rellenos Sanitarios**

La configuración conceptual del campo aéreo consiste en tres pistas paralelas orientadas en la misma dirección que las pistas en el AICM y designadas 05L/23R, 05C/23C y 05R/23L. Las pistas propuestas tienen una separación de 1320 m (05C/23C–05L/23R) y 1710 m (05C/23C–05R/23L) (ver Figura 4-4). Las pistas 05R/23L y 05C/23C tienen una longitud de 4000 m, mientras que la pista 05L/23R tiene una longitud de 4800 m. El análisis de MITRE indicó que esta separación entre las pistas es aceptable para aproximaciones simultáneas triples en el Valle de México si se instala un radar denominado Precision

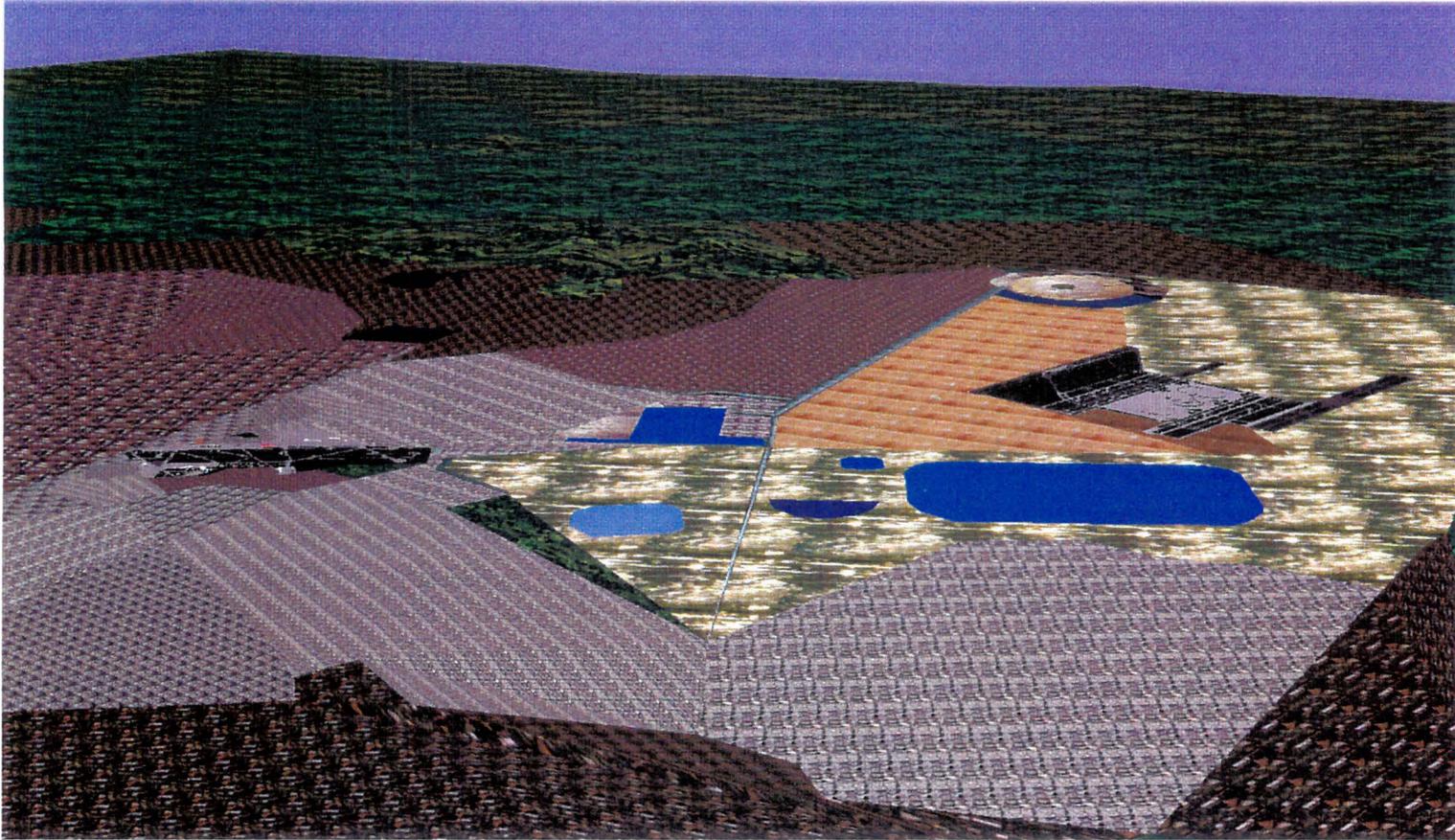
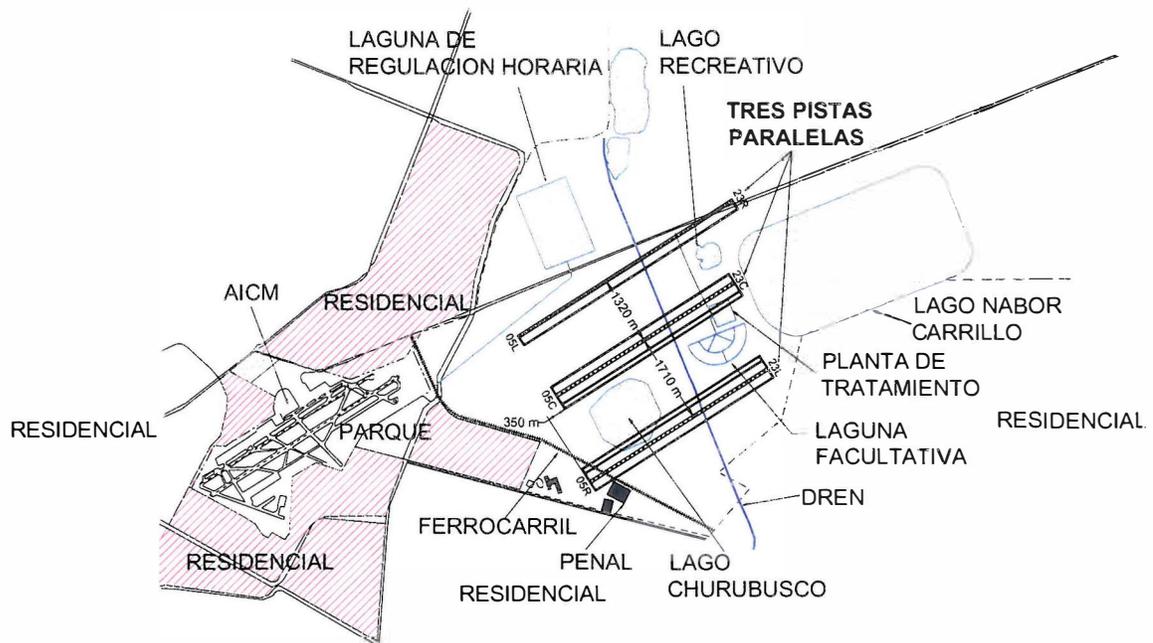


Figura 4-3. Ejemplo de una imagen de *Out-the-Window*—Valle de México, hacia el norte

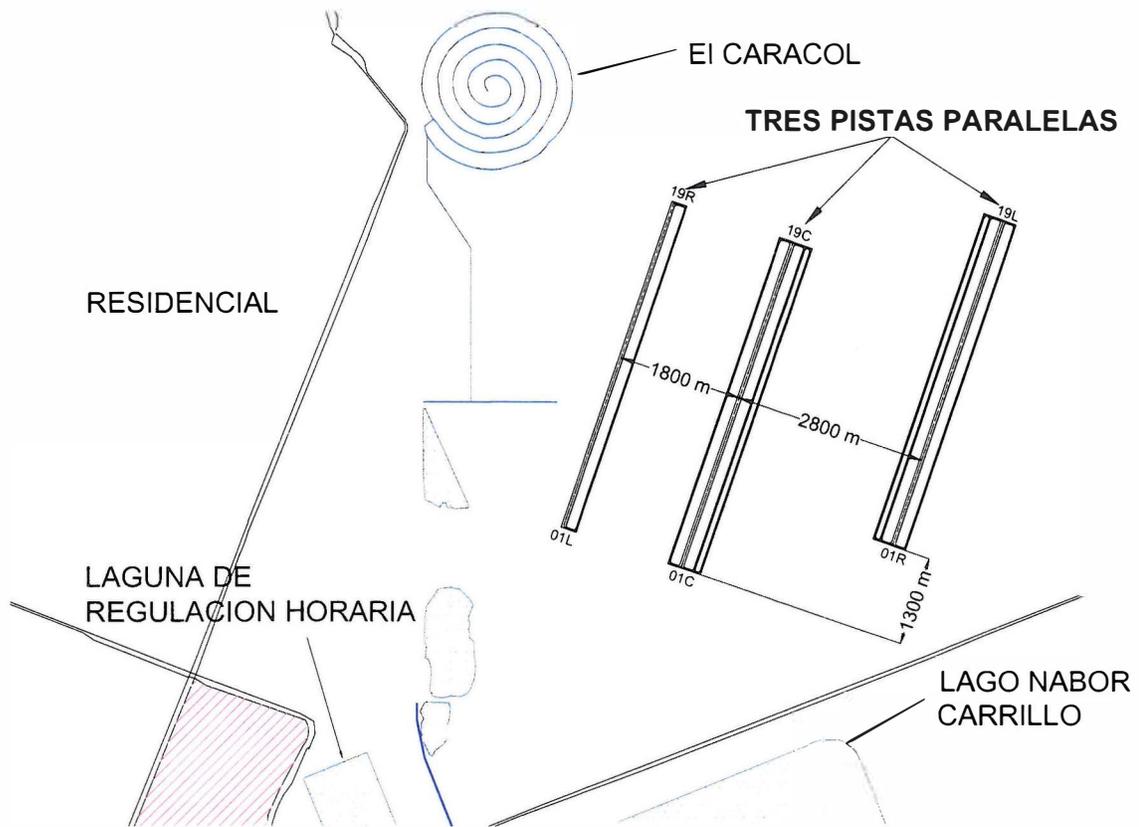


**Figura 4-4. Sitio Rellenos Sanitarios: presentación conceptual**

Runway Monitor (PRM): aunque la separación entre las pistas es inferior a 1433 m entre un par de pistas, esto es compensado por la separación adicional entre el otro par de pistas.

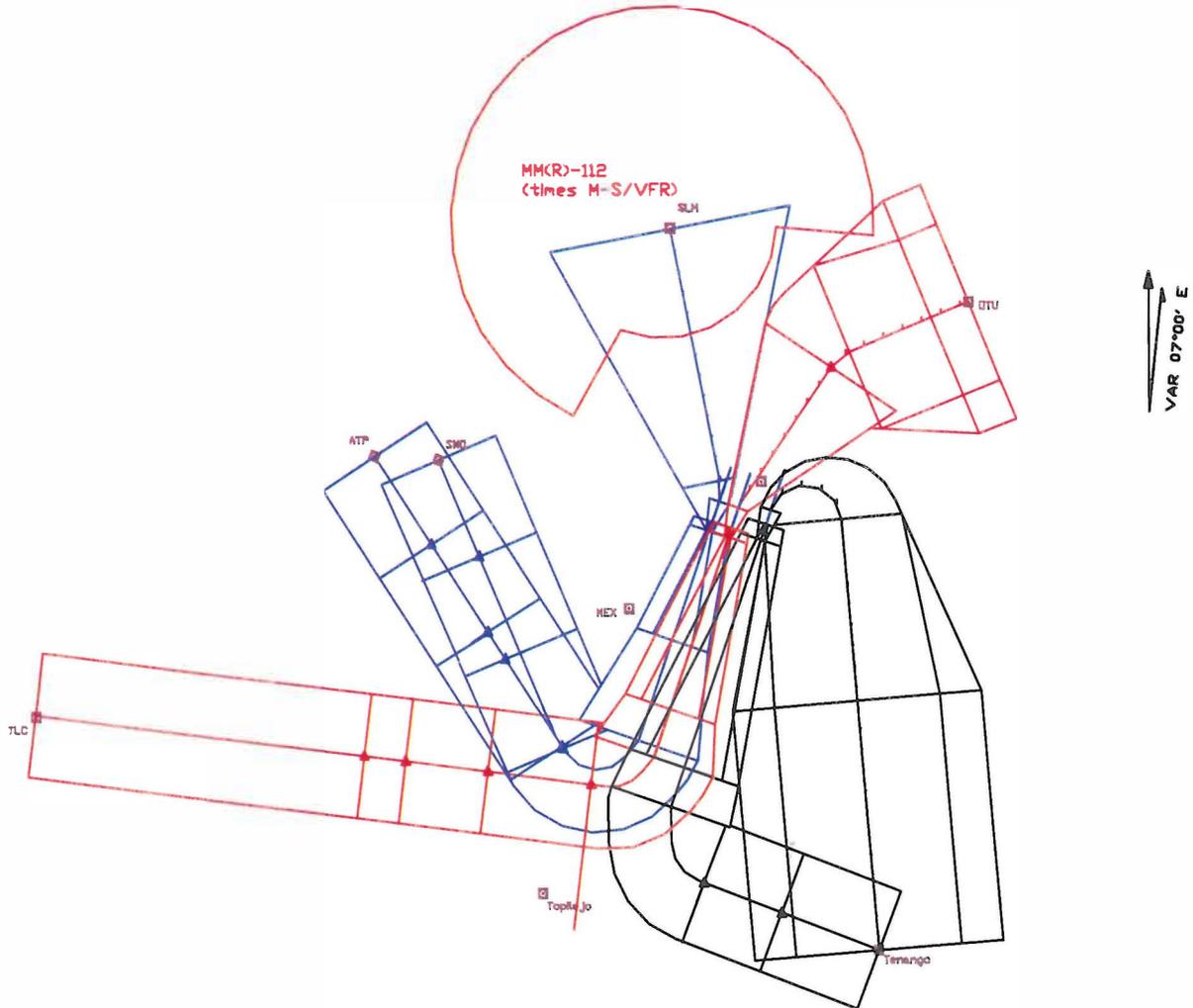
Como se mencionó anteriormente, de los tres sitios potenciales que se examinaron, éste es el más cercano al AICM. En consecuencia, para la mayoría de los viajeros, la distancia adicional para llegar al aeropuerto sería mínima. Además, muchas de las instalaciones alrededor del aeropuerto existente, tales como los hoteles y otros servicios vinculados al aeropuerto, seguirían siendo potencialmente funcionales.

Aunque sería posible ubicar el nuevo aeropuerto en este sitio, hay algunas desventajas significativas que limitarían la eficacia de cualquier aeropuerto ubicado aquí. El sitio Rellenos Sanitarios está también sujeto a muchas de las deficiencias que sufre el AICM, principalmente respecto a otros usos existentes del terreno. A fin de construir las pistas, algunas zonas residenciales cerca del sitio tendrían que ser expropiadas para proveer zonas de seguridad de pista y espacio amortiguador. Asimismo, los rellenos sanitarios tendrían que ser desenterrados y reubicados. El Lago Churubusco tendría que ser drenado y rellenado con tierra, y tendría que construirse un embalse sustituto en otro lugar. El embalse de reemplazo tendría que estar lo suficientemente alejado del sitio para que las aves que fueran atraídas al mismo no presentaran peligro para las aeronaves. Por otra parte, el nuevo embalse tendría que estar lo suficientemente cerca para que se pudiera conectar al sistema de drenaje existente y cumpliera la misma función de control hidráulico anterior.



**Figura 4-5. Sitio Texcoco: presentación conceptual**

La Figura 4-6 ilustra las trayectorias nominales de las aproximaciones propuestas a las pistas 01L/C/R. Las aproximaciones comienzan en la parte inferior del diagrama, al sur del aeropuerto y proceden hacia el norte, después de alinearse con las pistas. Las figuras geométricas en la parte superior del diagrama representan las trayectorias de las aproximaciones fallidas y sus volúmenes de protección correspondientes. MITRE diseñó también las tres aproximaciones para la dirección contraria.



**Figura 4-6. Sitio Texcoco: aproximaciones a las pistas 01L/C/R**

Aunque el espacio aéreo ha sido analizado exhaustivamente, los procedimientos de aproximación que han sido presentados aquí no son los diseños definitivos. Es posible que sea necesario modificar los procedimientos si las ubicaciones definitivas de las pistas son diferentes, o si se identifican nuevas obstrucciones, tales como antenas o edificios que no aparecen en los diagramas básicos que se utilizaron en este análisis. Será necesario realizar un levantamiento detallado de las obstrucciones para verificar los datos sobre los obstáculos. Asimismo, se deben reunir datos meteorológicos y de vientos en el sitio Texcoco, a fin de verificar que las orientaciones de pista supuestas sean correctas. Los procedimientos de

aproximación definitivos, diseñados en base a datos más actualizados, pueden ser llegar a ser mejores que los que MITRE ha diseñado hasta ahora.

La ICAO no ha emitido ningún reglamento acerca de procedimientos de aproximaciones simultáneas triples por instrumentos. Al igual que en muchos otros casos, la necesidad de mayor capacidad aeroportuaria y mayor flexibilidad ha llevado a los Estados Unidos a asumir el liderazgo en el desarrollo de nuevos procedimientos de ATC. En consecuencia, procedimientos de aproximación triple (y las reglas de diseño) fueron emitidos hace varios años por la FAA (MITRE participó en el desarrollo de los mismos). Dos aeropuertos estadounidenses, Dallas-Fort Worth y Denver International, operan actualmente procedimientos de aproximación simultáneos por instrumentos a tres pistas paralelas. A pesar de que México es miembro de la ICAO, el país ha optado por seguir utilizando las normas estadounidenses en su diseño de procedimientos de aproximación (utilizando “TERPS” en lugar de “PANS-OPS”—para las definiciones, ver el Glosario). Ninguno de estos dos conjuntos de normas de diseño es, en su integridad, “mejor” que el otro. Sin embargo, los resultados pueden a menudo ser diferentes en un aspecto u otro (por ejemplo, los mínimos de aproximación). MITRE utilizó las normas TERPS porque es lo que México utiliza; porque son normas bien comprobadas que se utilizan en todo los Estados Unidos; y porque es potencialmente peligroso utilizar normas diferentes dentro del mismo país. Además, la única forma de diseñar aproximaciones triples es utilizando normas estadounidenses.

Con base en el análisis y la revisión exhaustiva llevada a cabo hasta la fecha por MITRE, el sitio Texcoco es adecuado para un nuevo aeropuerto para la Ciudad de México.

## **4.6 Sitio Hidalgo**

El sitio Hidalgo está ubicado aproximadamente 80 km al norte de la *Fuente de Petróleos*. Como se mencionó antes, este monumento es considerado centroide nominal de la demanda de pasajeros aéreos de la Ciudad de México. El pueblo de Zapotlán de Juárez está situado inmediatamente al oeste del sitio Hidalgo y la ciudad de Pachuca queda aproximadamente 22 km al norte. Ver Figura 4-7. El sitio propuesto tiene forma rectangular y es relativamente plano y seco. En la actualidad, el sitio es utilizado principalmente para fines agrícolas. Los límites del sitio están definidos por la vía del ferrocarril y varias montañas hacia el este, una carretera hacia el oeste y líneas de fuerza eléctrica y un camino secundario hacia el sur. Al oeste, más allá de Zapotlán de Juárez, al igual que hacia el norte, hay elevaciones prominentes.



**Figura 4-7. Sitio Hidalgo: presentación conceptual**

Todo parece indicar que si se llegara a construir, el Aeropuerto de Zapotlán quedaría a una distancia mayor de la ciudad a la que le presta servicio que cualquier otro aeropuerto importante del mundo. En un análisis realizado por MITRE de 80 aeropuertos internacionales importantes, se determinó que la distancia promedio en los Estados Unidos desde el centro de la ciudad es de 17 km. El promedio fuera de los Estados Unidos es de 20 km.

El diseño conceptual del campo aéreo consiste en dos pistas paralelas con orientación aproximada noreste/suroeste (03/21). Ambas pistas tienen una longitud de 5000 m y una separación de 2800 m. Este sitio potencial para un nuevo aeropuerto está limitado por el terreno, de manera que no puede apoyar aproximaciones paralelas triples. A fin de darle cabida a los niveles de tránsito futuros en el Valle de México, fue necesario considerar que el AICM seguiría operando aún si se construyera un nuevo aeropuerto en el sitio Hidalgo.

El terreno disponible en el sitio Hidalgo es suficiente para las instalaciones terrestres para tal aeropuerto. Sin embargo, a los analistas de MITRE les preocupa que una operación de dos aeropuertos como ésta, aunque factible, no sería aceptada por las aerolíneas y los

pasajeros. Ha sucedido recientemente en París (entre los aeropuertos Orly y Charles de Gaulle) y Milán (entre los aeropuertos Linate y Malpensa) que las presiones de mercado han obligado a los gobiernos a promulgar reglamentos que parecen discriminar a otras naciones y aerolíneas. Estas acciones han llevado a conflictos en relación a acuerdos bilaterales y otras reglas internacionales. Otras ciudades han tratado de operar dos aeropuertos muy separados, pero sin éxito. El Aeropuerto Mirabel de Montreal es el ejemplo más notable de un aeropuerto grande que fue cerrado a operaciones programadas de pasajeros debido a demanda insuficiente.

Aunque *sí* hay grandes zonas metropolitanas con dos, incluso tres aeropuertos, el caso de la Ciudad de México no es necesariamente comparable a, por ejemplo, Nueva York. Presentamos algunos planteamientos al respecto:

- París, Nueva York y Los Ángeles tienen varios aeropuertos *alrededor* de su periferia. El AICM y Zapotlán no están alrededor de la periferia de la Ciudad de México, sino que ambos están al norte de la misma. Las áreas del sur de la Ciudad de México quedarían a más de 100 km de un aeropuerto en Zapotlán. El público viajero en, por ejemplo, Nueva York, está esparcido por toda la región, a diferencia del caso de la Ciudad de México. La contaminación automotriz y el tiempo de viaje aumentarían significativamente debido a las grandes distancias y las transferencias aeroportuarias.
- En los Estados Unidos, por lo común, las ciudades con dos aeropuertos tienen un nivel muy alto de demanda que permite que las aerolíneas tengan vuelos desde ambos aeropuertos hacia la mayoría de los destinos.
- Tokio, Hong Kong, Osaka y otras ciudades han construido aeropuertos lejanos, incluso en el mar. Han hecho eso, no porque tales sitios sean preferidos, sino porque—a diferencia de la Ciudad de México—esas ciudades *no disponen de otra alternativa*.

El análisis de espacio aéreo conceptual realizado por MITRE mostró algunos problemas con las aproximaciones al sitio Hidalgo. Se prevé que la modalidad de operación dominante sería la de llegar y partir hacia el noreste (pistas 03). En esta dirección, las aproximaciones a la pista 03L volarían directamente por encima de la Base Aérea Militar de Santa Lucía, creando una interferencia significativa con las operaciones originadas en esa base militar y, por lo tanto, una disminución general de capacidad tanto en la base como en el nuevo aeropuerto en el sitio Hidalgo. Las aproximaciones a la pista 03R pasarían directamente sobre un sitio turístico importante, en Teotihuacán, creando ruido y molestias visuales.

Los problemas de espacio aéreo importantes del sitio Hidalgo tienen que ver con el terreno y conflictos con otros aeropuertos, de la manera siguiente:

- Debido al problema de terreno, no puede haber un diseño aeroespacial razonable para aproximaciones ILS simultáneas a pistas paralelas triples en el sitio Hidalgo, aún si el

terreno diera cabida a la disposición de pistas con la separación necesaria. No hay mucho espacio para casi ninguna expansión de cualquier tipo.

- Sin embargo, no hay conflictos serios entre los procedimientos de llegada y salida entre el AICM y el sitio Hidalgo.
- Hay problemas serios de compatibilidad aeroespacial con la Base Aérea Militar de Santa Lucía y su Área Restringida correspondiente, MMR-112. Con base en la información disponible, es poco probable que Santa Lucía pueda operar simultáneamente con el aeropuerto en el sitio Hidalgo debido a conflictos entre las aproximaciones y las aproximaciones fallidas en Hidalgo y Santa Lucía, sobre todo en la dirección suroeste. En Hidalgo, las operaciones en cualquiera de las direcciones de pista, infringirían la sección noreste del Área Restringida MMR-112. Sería necesaria coordinación por ATC, pero la capacidad de pista disminuiría.
- Debido a la elevación del terreno bajo las trayectorias de las aproximaciones fallidas, dos de las aproximaciones tienen *Alturas de Decisión* (DH) muy elevadas: la pista 03L (DH de 600 pies AGL) y la pista 21R (DH de 660 pies AGL). Aunque techos bajos no parecen ser un factor importante en los alrededores, visibilidad baja puede ser un problema. Las DHs más altas causan que las aeronaves estén más lejos de la pista cuando están en la DH. En los dos casos citados arriba, las aeronaves están a una distancia de aproximadamente 2.0 millas (millas terrestres) del extremo de la pista cuando llegan a su DH. Las DHs elevadas podrían causar una menor capacidad aeroportuaria global, operaciones menos confiables y mayores cargas de trabajo para los pilotos y los controladores causadas por aproximaciones fallidas. Una vez más, como se mencionó en las Secciones 1.3 y 4.5, estos resultados se basan en la aplicación de normas estadounidenses (TERPS), las cuales son la norma aceptada en México.

Las DHs de 660 pies y 600 pies son factibles de lograr sólo si se aprueba una dispensa para permitir que la divergencia entre los cursos de aproximaciones fallidas se reduzca a 40 grados. De lo contrario, las DHs serán aún más elevadas. El efecto de estas DHs en las operaciones reales es desconocido en este momento, ya que hay pocos datos meteorológicos disponibles para el sitio Hidalgo. Ya que la otra pista en cada dirección retendría una DH de 200 pies, un aeropuerto en el sitio Hidalgo mantendría por lo menos la capacidad de una sola pista de aterrizaje hasta los mínimos meteorológicos normales CAT I.

Un aeropuerto en el sitio Hidalgo tendría desventajas significativas, no obstante que su operación es factible. En particular, preocupan su distancia del centro de la Ciudad de México y su interferencia con las operaciones de la Base Aérea Militar de Santa Lucía.



## Sección 5

# Conclusiones y recomendaciones

Como se mencionó anteriormente, la localización de un nuevo aeropuerto es pocas veces obvia. Sin embargo, al tomar la decisión sobre la selección de un sitio, algunos elementos pueden ser más importantes en ciertos lugares. En zonas como el Valle de México, con su terreno difícil y gran elevación, la mayoría de tales elementos son componentes de lo que se ha denominado y descrito como análisis aeronáutico. Sería inconcebible diseñar y planificar un aeropuerto haciendo caso omiso de factores aeronáuticos. Así pues, en el caso específico del Valle de México, junto con los niveles de demanda, los factores aeronáuticos son las consideraciones más importantes para la toma de la decisión.

En esta sección, se reiteran los motivos principales por los cuales dos de las alternativas (el AICM y el sitio Rellenos Sanitarios) no ameritan una consideración seria. Después de eso, se presentan las conclusiones principales con respecto a las otras dos alternativas (Texcoco e Hidalgo). Finalmente se enuncian las recomendaciones de MITRE.

### 5.1 Conclusión general (independiente de los sitios)

En el supuesto de que la tasa histórica de 5 a 6 por ciento anual en el crecimiento del tránsito aéreo de la Ciudad de México continuara, el número de operaciones de las aerolíneas hacia y desde la ciudad se triplicaría en menos de 20 años. En base a la historia del crecimiento de la aviación en otras partes del mundo, MITRE está convencida, no sólo de que éste es un escenario probable, sino de que tal tasa de crecimiento es inferior a la que debe ser utilizada para fines de planeación.

Para evitar congestión aérea, la Ciudad de México necesita contar con las siguientes capacidades:

- Aterrizar dos aeronaves simultáneamente entre 2002 y 2005. Aún así, es probable que sucedan condiciones de demora significativas tan pronto como durante el período 2001–2002.
- Aterrizar tres aeronaves simultáneamente hacia el período 2009–2014.
- Aterrizar tres aeronaves simultáneamente, con una cuarta pista a ser utilizada para salidas y durante el mantenimiento de cualquiera de las otras tres, hacia el período 2016–2020.

Pistas adicionales permitirán mayor flexibilidad. En ese sentido, vale la pena señalar que la experiencia técnica de los últimos 25 años demuestra que la tecnología avanzada por sí sola no ha mantenido el paso con el crecimiento del tránsito aéreo. Así pues, **no obstante los**

Otra preocupación importante con respecto al sitio Hidalgo es el hecho de que la Base Aérea Militar de Santa Lucía tendría que ser trasladada a otro lugar. Sin esto, los problemas de coordinación entre Santa Lucía y Zapotlán reducirían la capacidad potencial del nuevo aeropuerto. Otra preocupación secundaria es que los mínimos de aproximación del nuevo aeropuerto tenderían a ser restrictivos. Esto quiere decir que cuando la visibilidad se reduzca lo suficiente, la capacidad del aeropuerto de dos pistas disminuiría en un 50 por ciento. No se conoce suficientemente bien la meteorología de la zona. En Santa Lucía (en donde se conoce bien la visibilidad), la niebla baja es algo que ocurre comúnmente. *Por último, otro problema es que algunas rutas de aproximación al sitio Hidalgo pasarían sobre la zona arqueológica de Teotihuacán, por lo que el ruido de las aeronaves así como la molestia visual podrían causar problemas.*

En el sitio Hidalgo posteriormente, se podrían construir dos pistas separadas para salidas (para completar un total de cuatro pistas), *pero estas pistas de apoyo estarían limitadas por el difícil terreno inmediatamente adyacente a la zona.* Esto podría afectar a la flexibilidad operacional del aeropuerto y llevar a un mayor congestionamiento bajo ciertas condiciones. Por lo tanto, aunque la combinación AICM-Hidalgo podría finalmente tener un total de seis pistas, esta distribución de capacidad entre los dos aeropuertos podría resultar en niveles de demora totales mayores que si todas las pistas prestaran servicio en un solo aeropuerto. Por lo tanto, aún sin Santa Lucía, es probable que la combinación AICM-Hidalgo sea sólo una solución a 20 años (y es posible que no le sea fácil a la Fuerza Aérea Mexicana reubicar su base principal en el país). *Entonces, en algún momento, ninguna solución nueva en el Valle de México sería factible y se tendría que construir un tercer aeropuerto en sitios sumamente distantes.* Esto se debe a que un aeropuerto en Texcoco (la única zona libre restante) no sería compatible, ni con el AICM ni con un aeropuerto en el sitio Hidalgo. “Compatible” aquí se refiere a no ser afectado por restricciones de capacidad o coordinación.

**En conclusión, la alternativa AICM-Hidalgo no es una solución de largo plazo para el crecimiento del tránsito aéreo de la Ciudad de México, a pesar de que es técnicamente factible. Su operación causaría problemas logísticos importantes de toda clase. Además, su activación implicaría, finalmente, el cierre de la Base Aérea Militar de Santa Lucía, la más importante del país.**

## **5.5 Alternativa D: Construcción de un nuevo aeropuerto en el sitio Texcoco**

El sitio Texcoco, ubicado a una distancia por vía terrestre de 34 km de la *Fuente de Petróleos*, permitiría el diseño de un Plan Maestro flexible y resistente al tiempo, para un nuevo aeropuerto para la Ciudad de México. Sería *flexible* ya que permitiría la construcción de pistas, instalaciones de tránsito aéreo y grandes edificios terminales dentro de un solo sitio, brindando así economías de escala, tanto a los operadores del aeropuerto como a las aerolíneas. Sería *resistente al tiempo* ya que permitiría la construcción de seis o más pistas, y

contar eventualmente con la capacidad para operar aproximaciones cuádruples cuando se desarrollen y publiquen nuevos procedimientos. Esto permitiría que el nuevo aeropuerto prestara servicio a la Ciudad de México hasta ya bien entrada la segunda mitad del Siglo XXI, lo que constituye una vida de más de 50 años (el AICM ha operado durante aproximadamente 70 años).

Si se planifica hoy un aeropuerto como el sugerido, se puede evitar la necesidad futura de tener que construir otro aeropuerto para la Ciudad de México en sitios a distancias de más de 100 km, que es donde se encuentran las zonas libres más cercanas que permitirían tal crecimiento adyacente al Valle de México.

El sitio es un campo libre, sin zonas de vivienda ni zonas industriales y, a pesar de eso, queda suficientemente cerca como para conectarlo a las redes de electricidad y servicios públicos. Con respecto a la población de aves, algunos de los expertos estadounidenses más reconocidos en el tema del manejo del riesgo que representa la vida silvestre para los aeropuertos, junto con un equipo de expertos mexicanos importantes, han declarado que el riesgo de las aves en el sitio es manejable [Cleary, 1998]. MITRE no participó en esta investigación y, por lo tanto, lo único que puede hacer es proveer la opinión de asesores reconocidos. Además, MITRE no tiene conocimiento directo acerca de otras cuestiones que fueron estudiadas por SCT/ASA, tales como hidrología e ingeniería de suelos. MITRE ha sido enterado que las condiciones en Texcoco son similares a las del sitio del AICM, en donde ingenieros mexicanos han mantenido operando un aeropuerto durante 70 años.

Un aeropuerto en Texcoco no puede coexistir con el AICM o con un aeropuerto grande en Hidalgo. Sin embargo, la Base Aérea Militar de Santa Lucía sí puede coexistir con un aeropuerto en Texcoco, aunque es posible que sean necesarios cambios menores a una de las áreas restringidas de Santa Lucía.

**En conclusión, la alternativa Texcoco es tanto factible como deseable. Proveería una solución de largo plazo para el crecimiento del tránsito aéreo de la Ciudad de México sin causar trastornos significativos a las aerolíneas y al público usuario, manteniendo todo el tránsito aéreo civil de la Ciudad de México en un solo sitio. Al mismo tiempo, esta alternativa no causaría trastornos a las instalaciones militares existentes.**

## **5.6 Recomendaciones**

Después de más de tres años de análisis sumamente detallados y sofisticados, trabajos de campo extensos y una familiarización profunda con los principales intereses, temas y puntos de vista sobre aviación prevalecientes en México, **MITRE recomienda, sin reserva, que el sitio Texcoco sea seleccionado como el sitio para el próximo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.** El sitio puede contener no solo un aeropuerto sino también una zona comercial/hotelera grande y servir como la puerta de entrada aérea principal de una gran nación.

Dependiendo de la tasa de crecimiento y los avances tecnológicos, el nuevo aeropuerto podrá darle cabida al tránsito hasta ya comenzada la segunda mitad del Siglo XXI. Por supuesto, si la economía mexicana crece a un ritmo mucho mayor que su ritmo histórico, es posible que el aeropuerto alcance antes su nivel de saturación.

**MITRE recomienda también que se tome una decisión muy pronto y se inicie su ejecución tan pronto como sea posible.** Aún si sucede esto, es probable que ocurran demoras significativas y la calidad del servicio de las aerolíneas disminuya (debido a coeficientes de ocupación altos) antes de que el nuevo aeropuerto entre en operación.

## **5.7 Actividades siguientes**

Es necesaria la pronta elaboración de un Plan Maestro bien diseñado que debe contemplar la construcción por etapas de pistas e instalaciones, en forma tal que evite crear esquemas de *elefantes blancos*. Por otro lado, la falta de instalaciones construidas a tiempo puede llevar al congestionamiento, incluso de un nuevo aeropuerto, y hacer que, en poco tiempo, vuelvan a aparecer los cuellos de botella de tiempos pasados.

Independientemente de la decisión que se adopte, serán necesarios estudios aeronáuticos adicionales durante el trabajo de diseño del Plan Maestro. Por ejemplo, los análisis meteorológicos, en particular los análisis de viento, deben ayudar a refinar la colocación de las pistas. A su vez, esto llevará al desarrollo de los procedimientos definitivos de aproximaciones simultáneas triples por instrumentos. Por último, será necesario completar un rediseño significativo del espacio aéreo terminal de la Ciudad de México, incluyendo la colocación de nuevas ayudas de navegación y la modificación de las rutas de llegada y salida. Hoy en día, sólo unos cuantos aeropuertos *fuera* de los Estados Unidos llevan a cabo operaciones simultáneas duales durante condiciones meteorológicas por instrumentos (IMC), y no hay ningún aeropuerto *fuera* de los Estados Unidos en donde se llevan a cabo operaciones simultáneas triples durante IMC. Por lo tanto, tal planificación y rediseño de procedimientos deben realizarse con suma atención a través de personal experimentado en procedimientos estadounidenses poco comunes.

## Bibliografía

- Buckanin, D., and R. Biedrzycki, February 1987, *Navigation Performance of Aircraft Making Dependent Instrument Landing System (ILS) Approaches at Memphis International Airport*, DOT/FAA/CT-TN86/59, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Technical Center, Atlantic City International Airport, New Jersey.
- Cleary, E. C., R. A. Dolbeer, and P. Ramírez Bastida, January 1998, *Final Report, The Mexico City International Airport Project: Conclusions and Recommendations Regarding Bird/Aircraft Issues in Ex-Vaso de Texcoco*, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Washington, D.C.
- Dirección General de Aeronáutica Civil, 1999, *Publicación de Información Aeronáutica (PIA/AIP), República Mexicana*, updated through December 1996, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, D.F., México.
- Dorfman, Dr. G. A., and M. K. Higgins, August 1996, *Analysis of Aircrew Responses Affecting Simultaneous ILS Approaches*, MTR 96W0000048, The MITRE Corporation, McLean, Virginia.
- Federal Aviation Administration (FAA), February 1991, *Precision Runway Monitor Demonstration Report*, DOT/FAA/RD-915, Research and Development Service, Washington, D.C.
- Federal Aviation Administration (FAA), 18 February 1994, *United States Standard for Terminal Instrument Procedures (TERPS)*, FAA Order 8260.3B, Washington, D.C.
- Federal Aviation Administration (FAA), 15 September 1995, *Obstacle Assessment Surface Evaluation for Independent Simultaneous Parallel Precision Operations*, FAA Order 8260.41, Washington, D.C.
- Federal Aviation Administration (FAA), 25 August 1997, *ILS PRM Approaches: Information for Pilots*, Video, Washington, D.C.
- Federal Aviation Administration (FAA), 2 April 1999, *Air Traffic Control*, FAA Order 7110.65L CHG 3, Washington, D.C.
- Gladstone, C. X., and M. S. Friedman, September 1995, *Simultaneous Instrument Approach Model (SIAM) Version 2*, MTR 95W0000117, The MITRE Corporation, McLean, Virginia.
- Haines, Dr. A. L., June 1978, *Parameters of Future ATC Systems Relating to Airport Capacity/Delay*, MTR 77W0000066, Rev. 1, FAA-EM-78-8A, The MITRE Corporation, McLean, Virginia.

- Higgins, M. K., September 1995, *Pilot/Aircraft Response Time Analysis: July 1994 Simulation*, MP 95W0000264, The MITRE Corporation, McLean, Virginia.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), 1988, *Simultaneous Operations on Parallel or Near-Parallel Instrument Runways (SOIR)*, Circular 207-AN/126, Montréal, Quebec, Canada.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), 1993, *Procedures for Air Navigation Services—Aircraft Operations (PANS-OPS)*, Doc 8168-OPS/611 plus amendments, Montréal, Quebec, Canada.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), July 1995, *International Standards and Recommended Practices—Aerodromes—Volume 1: Aerodrome Design and Operations*, Annex 14 plus amendments, Montréal, Quebec, Canada.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), *Procedures for Air Navigation Services—Rules of the Air and Air Traffic Services (PANS-RAC)*, Doc 4444-RAC/501, 1996 plus amendments, Montréal, Canada.
- Kim, B. J. et al., 1992, *REDIM 2.0 User's Manual*, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- León, M., 1997, *Puertos del Aire*, Aeropuertos y Servicios Auxiliares, México, D.F., México.
- Lisker, Dr. B., 1989, *A Delay Analysis of New IFR Approach Procedures*, MP-89W00032, The MITRE Corporation, McLean, Virginia.
- Lisker, Dr. B., M. S. Alcabin, F. A. Amodeo, L. S. Askey, W. J. Swedish, X. P. Szebrat, September 1994, *An Analysis of Eastbound Operations at Paris Charles de Gaulle Airport—1993 through 1999*, MTR 94W0000040, The MITRE Corporation, McLean, Virginia.
- Massimini, Dr. S. V., August 1994, *Course Deviations During Simultaneous Instrument Approaches*, MP 94W0000075, The MITRE Corporation, McLean, Virginia.
- Ozmore, R, and K. DiMeo, June 1994, *Simulation of Triple Simultaneous Parallel ILS Approaches at the New Denver International Airport Using the Final Monitor Aid Display and a 4.8 Second Radar Update Rate*, DOT/FAA/CT-94/36, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Technical Center, Atlantic City International Airport, New Jersey.
- Ozmore, R. E. and S. L. Morrow, September 1996, *Evaluation of Dual Simultaneous Instrument Landing System Approaches to Runways Spaced 3000 ft Apart with One Localizer Offset Using a Precision Runway Monitor System*, DOT/FAA/CT-96/2,

Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center, Atlantic City International Airport, New Jersey.

Roth, E., 1979, *An Advanced Time-Dependent Queuing Model for Airport Delay Analysis*, FTL-R-79-9, Massachusetts Institute of Technology, Flight Transportation Laboratory, Cambridge, Massachusetts.

Ruiz Romero, M., 1999, *La Aviación Civil en México*, Universidad Nacional Autónoma de México y Secretaría de Comunicaciones y Transportes, México, D.F., México.

Swedish, W. J., February 1981, *Upgraded FAA Airfield Capacity Model—Volume I: Supplemental User's Guide*, MTR-81W16, Vol. I, The MITRE Corporation, McLean, Virginia.

Thomas, J., D. Timoteo, and P. Hoang, November 1993, *Los Angeles International Airport Instrument Landing System Approach Data Collection and Reduction Phase 1 Final Report*, DOT/FAA/CT-TN93/12, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Technical Center, Atlantic City International Airport, New Jersey.

<b>ICAO</b>	International Civil Aviation Organization
<b>IFR</b>	Instrument Flight Rules
<b>I-Lab</b>	(MITRE) Integration and Interaction Laboratory
<b>ILS</b>	Instrument Landing System
<b>IMC</b>	Instrument Meteorological Conditions
<b>kg</b>	kilogram(s)
<b>km</b>	kilometer(s)
<b>kt</b>	knot(s)
<b>lb</b>	pound(s) (in weight)
<b>m</b>	meter(s)
<b>MEX</b>	Mexico City navaid
<b>M.I.T.</b>	Massachusetts Institute of Technology
<b>MITRE</b>	The MITRE Corporation
<b>MLS</b>	Microwave Landing System
<b>MSL</b>	mean sea level
<b>MTOW</b>	maximum (certificated) take-off weight
<b>MVA</b>	Minimum Vectoring Altitude
<b>navaid</b>	navigational aid
<b>NLA</b>	New Large Aircraft
<b>nmi</b>	nautical mile(s)
<b>NTZ</b>	No Transgression Zone
<b>ORD</b>	O'Hare International Airport, Chicago, Illinois, U.S.A.
<b>OTW</b>	Out-the-Window
<b>OTU</b>	Otumba navaid
<b>Pan Am</b>	Pan American Airways
<b>PANS-OPS</b>	Procedures for Air Navigation Services—Aircraft Operations (PANS-OPS)
<b>PANS-RAC</b>	Procedures for Air Navigation Services; Rules of the Air and Air Traffic Services
<b>PAZ</b>	Poza Rica navaid
<b>PCA</b>	Pachuca navaid
<b>PRM</b>	Precision Runway Monitor
<b>REDIM</b>	Runway Exit Design Interactive Model
<b>REL</b>	Relleno navaid (conceptual)
<b>RESA</b>	Runway End Safety Area
<b>RMS</b>	root mean square

<b>ROT</b>	runway occupancy time
<b>RWYS</b>	Runways (shortened version)
<b>SCT</b>	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (Secretariat of Communications and Transportation, Mexico)
<b>sec</b>	second(s)
<b>SENEAM</b>	Servicios a la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (Mexico's Air Traffic Control Operator)
<b>SIGI®</b>	Silicon Graphics Incorporated®
<b>SIAM</b>	Simultaneous Instrument Approach Model
<b>SLM</b>	Santa Lucía (Airport and navaid)
<b>SMO</b>	San Mateo navaid
<b>STL</b>	Lambert St. Louis International Airport, St. Louis, Missouri, U.S.A.
<b>TAS</b>	true air speed
<b>TATCA</b>	Terminal Air Traffic Control Automation
<b>TAVT</b>	Terminal Airspace Visualization Tool
<b>TERPS</b>	United States Standard for Terminal Instrument Procedures
<b>TEX</b>	Texcoco navaid (conceptual)
<b>TLC</b>	Toluca navaid
<b>TMN</b>	Tamuín navaid
<b>TOP</b>	Topilejo navaid
<b>TNA</b>	Tenango navaid (proposed)
<b>UCB</b>	upper confidence bound
<b>VHF</b>	Very High Frequency
<b>VMC</b>	Visual Meteorological Conditions
<b>VOR</b>	VHF Omnidirectional Range

