

96  
2 ejº

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



" ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA  
CONSTRUCCION DE UN NUEVO AEROPUERTO EN  
LAZARO CARDENAS, MICHOACAN "

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL -

P R E S E N T A

JORGE ALFONSO SANCHEZ PRATS /

DIRECTOR DE TESIS

ING. EMMANUEL ALCKERRECA COLUNGA

MEXICO, D. F.

1996

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-009/96

Señor  
**JORGE ALFONSO SANCHEZ PRATS**  
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. EMMANUEL ALCERRECA COLUNGA**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO  
AEROPUERTO EN LAZARO CARDENAS, MICHOACAN**

**INTRODUCCION**

- I. DEMANDA DEL TRANSPORTE AEREO**
- II. OFERTA DE INFRAESTRUCTURA**
- III. ANALISIS DE FACTIBILIDAD**
- IV. DISEÑO DE PAVIMENTOS**
- V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para susentar Examen Profesional.

Atentamente  
**"POR MI RAZA, HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria, a 22 de abril de 1996.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP\*jbr

<u>INDICE</u>	<u>Página:</u>
<b>-PRESENTACION</b>	<b>1</b>
<b>-INTRODUCCION</b>	<b>2</b>
<b>-CAPITULO I      DEMANDA DEL TRANSPORTE AEREO</b>	<b>4</b>
I.1 GENERALIDADES	4
I.2 CARACTERISTICAS DEL AREA DE INFLUENCIA DEL AEROPUERTO	4
I.3 ESTUDIO DE LA DEMANDA	11
I.4 PRONOSTICO DE LA DEMANDA ANUAL	32
I.5 PRONOSTICO DE LA DEMANDA HORARIA	39
<b>-CAPITULO II     OFERTA DE INFRAESTRUCTURA</b>	<b>55</b>
II.1 GENERALIDADES	55
II.2 INSTALACIONES ACTUALES	55
II.3 NECESIDAD PARA CONSTRUIR UN NUEVO AEROPUERTO	59
II.4 EL NUEVO AEROPUERTO	60
II.5 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL AEROPUERTO	64
II.6 NORMAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA	66
II.7 DISEÑO DE LA CAPACIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA DEL AEROPUERTO DE LAZARO CARDENAS, MICHOACAN	67
II.8 INVERSIONES REQUERIDAS	110

<b>-CAPITULO III "ANALISIS DE FACTIBILIDAD"</b>	<b>113</b>
III.1 GENERALIDADES	113
III.2 ESCENARIOS	114
III.3 RECAPITULACION DE DATOS	115
III.4 DETERMINACION DE INGRESOS Y GASTOS	121
III.5 INDICADORES FINANCIEROS	135
<b>-CAPITULO IV "DISEÑO DE PAVIMENTOS"</b>	<b>142</b>
IV.1 GENERALIDADES	142
IV.2 ELEMENTOS DE EVALUACION DE LOS PAVIMENTOS	142
IV.3 METODO DE LA ADMINISTRACION FEDERAL DE AVIACION (FAA) PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS	145
IV.4 PRINCIPIO DE CALCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	160
IV.5 DISEÑO DEL PAVIMENTO PARA EL AEROPUERTO DE LAZARO CARDENAS, MICHOACAN	163
<b>-CAPITULO V "CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"</b>	<b>176</b>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	176
<b>-BIBLIOGRAFIA</b>	<b>177</b>

## PRESENTACION

La presente tesis tiene como objetivo principal el estudio de factibilidad económica y financiera a fin de determinar la viabilidad de construir un nuevo aeropuerto para la atención de la Ciudad y el Puerto Industrial de Lázaro Cárdenas.

Esta zona constituye actualmente el complejo productivo y el polo de desarrollo más importante del Estado de Michoacán y de la costa del Pacífico Mexicano y se considera, por su puerto industrial, como una de las puertas principales de entrada y salida para el comercio internacional del país con los de la Cuenca del Pacífico.

A pesar de haberse iniciado los programas de desarrollo de la región desde hace 30 años y de contarse desde un poco antes con algunas instalaciones aéreas en la zona, hasta la fecha la infraestructura aeroportuaria de la ciudad es limitada, consistente en un aeródromo con una terminal rústica y facilidades mínimas, atendido, por restricciones aeronáuticas, sólo por líneas regionales con aeronaves menores, que sin embargo han experimentado en los últimos años un movimiento creciente.

Estudios realizados con anterioridad han demostrado la imposibilidad de expandir la infraestructura existente, y han definido el sitio para la ubicación de un nuevo aeropuerto para la región que permita la operación de turboreactores.

Debido a la situación económica actual es fundamental realizar el estudio financiero del proyecto a fin de promover la participación de la iniciativa privada en el mismo y determinar, si fuese necesario, las aportaciones que los distintos niveles de gobierno deben realizar en caso de decidir llevarla a cabo.

Para el desarrollo del estudio se ha empleado la metodología desarrollada con anterioridad en el país, específicamente orientada para el análisis de proyectos de inversión en infraestructura aeroportuaria.

Esta metodología estructura el estudio en tres fases: 1) *Demanda de Transporte Aéreo*, 2) *Oferta de Infraestructura Aeroportuaria* y 3) *Análisis de Factibilidad*, que encauzan el desarrollo hacia la obtención de indicadores que permitan visualizar la Factibilidad del proyecto en términos financieros.

## INTRODUCCION

La desembocadura del Río Balsas, en los límites de Michoacán y Guerrero y las costas alledañas, representan una región de enorme riqueza natural, por sus yacimientos feríferos, su potencial hidráulica y marítimo y su atractivo turístico.

Los planes gubernamentales para aprovechar esta riqueza en beneficio del país datan de antes de mediados de siglo, concretándose las primeras acciones para ello en la construcción, durante la década de los sesentas, de las presas y plantas hidroeléctricas El Infiernillo y José María Morelos (La Villita), junto con el distrito de riego La Villita.

El desarrollo urbano de Lázaro Cárdenas se inició en gran escala a principios de la década de los setentas, a partir de la construcción, por parte del Gobierno Federal, de la primera etapa del complejo industrial "Siderúrgica Lázaro Cárdenas-Las Truchas" (SICARTSA).

Para su desarrollo se constituyó en esa misma época el Fideicomiso Ciudad Lázaro Cárdenas (FIDELAC), encargado de la planeación, construcción, y funcionamiento de la nueva urbe, el cual realizó la construcción de la infraestructura urbana y coordinó las obras de infraestructura básica, como la carretera costera, el importante puerto industrial y el acceso ferroviario.

Posteriormente, otras importantes industrias se asentaron en la zona, como las plantas de FERTIMEX, Productora Mexicana de Tubos (PMT), NKS y una refinería de PEMEX. En los últimos años se construyó en la zona la planta termoeléctrica de Petacalco.

Lo anterior trajo consigo que durante el transcurso de los últimos 30 años, hayan ocurrido profundas transformaciones de carácter económico y social, tanto en las localidades conurbadas a Ciudad Lázaro Cárdenas, como en ella misma.

De esta forma, aún cuando han existido períodos de detención en los proyectos del desarrollo, la región de Lázaro Cárdenas ha pasado de ser una zona agrícola incipiente, a uno de los puntos neurálgicos de la producción nacional en materia siderúrgica.

Como se ha mencionado, la Ciudad y el Puerto Industrial de Lázaro Cárdenas constituyen actualmente el complejo productivo y el polo de desarrollo más importante del Estado de Michoacán y de la costa del Pacífico Mexicano y se considera una de las puertas principales de entrada y salida para el comercio internacional del país con los puertos de la Cuenca del Pacífico.

Sin embargo, la zona sintetiza el reto de equilibrar crecimiento económico con desarrollo social. Por una parte, existe una inmensa inversión en infraestructura, con plantas industriales de primer orden, que refleja la prioridad que ha tenido la región para los últimos gobiernos de la República (se considera que el 20% de la deuda externa de México fue utilizada para el desarrollo de la región) y por otra, es una región natural poco integrada por la falta de comunicaciones adecuadas.



## **CAPITULO I**

### **"DEMANDA DEL TRANSPORTE AEREO"**

#### **I.1 GENERALIDADES**

Este capítulo se encuentra dividido en cuatro temas. En el primero, subcapítulo 2, se define el área de influencia del aeropuerto, y se describen las características físicas, económicas y sociales de la región a la que atiende y del Estado donde se encuentra.

A continuación, en el subcapítulo 3, se determinan las bases para analizar las fuentes de la demanda de transporte aéreo de la región, considerando la que se atiende en el aeródromo actual, y obteniendo la demanda estimada de pasajeros para el futuro.

En seguida, en el subcapítulo 4, se obtiene el pronóstico de tránsito anual, tanto de pasajeros como de operaciones, desglosado en los dos niveles de aviación representativos (comercial y general), para cada año del período de análisis.

Por último, en el subcapítulo 5, se calculan los datos horarios, que serán determinantes para el dimensionamiento de las instalaciones requeridas.

#### **I.2 CARACTERISTICAS DEL AREA DE INFLUENCIA DEL AEROPUERTO**

Se llama "Área de Influencia" de un aeropuerto, al conjunto de localidades de donde fluye la clientela servida por él, es decir las personas que utilizan el avión en ese aeropuerto.

El análisis de esa "clientela", tiene como objeto, por un lado, conocer el volumen de pasajeros tratados por el aeropuerto y por otro lado, definir sus características (esencialmente socio-económicas).

Con ese panorama, en esta parte del estudio se procederá a describir las principales características del entorno socio-económico del aeropuerto, dando inicio por una referencia en el marco estatal y continuando con el municipal.

## 1.2.1 EL ESTADO DE MICHOACÁN

El Estado de Michoacán está situado en la parte Centro-Occidente de la República Mexicana, entre los paralelos 18°20'30" de Latitud Norte y los Meridianos 100°103'45" de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich.

Limita al Norte con los Estados de Jalisco y Guanajuato; al Noroeste con el Estado de Querétaro al Este con los Estados de México y Guerrero; al Sur con el Estado de Guerrero y con el Océano Pacífico y al Oeste con los Estados de Colima y Jalisco.

Michoacán tiene una superficie de 59,928 km<sup>2</sup>, que equivale al 3.04% del territorio nacional y lo ubica en el lugar número 16 entre los 31 Estados, respecto a su extensión territorial. Para efectos de organización política y administrativa, se divide en 113 municipios, entre los que destacan Arteaga, Apatzingán, Huetamo y Lázaro Cárdenas, siendo la ciudad de Morelia su capital y el lugar en que se asientan los poderes estatales.

La topografía del Estado presenta contrastes que van desde las planicies (Altiplano del Valle de Morelia, Queréndaro, Maravatio y Ciudad Hidalgo); montañas (Mil Cumbres, Sierra Madre Occidental) y Costas (Aquella, Lázaro Cárdenas y Coalhuayana).

La configuración Orográfica de la Entidad se encuentra dominada por las Sierras que la atraviesan (Sierra Madre del Sur, Sierra Madre Occidental, Cordillera Tarasco-Náhuatl) y que conforman los sistemas montañosos más importantes del Estado.

En el Estado se distinguen los siguientes tipos de climas: tropical lluvioso en el sur y suroeste; seco estepario, en la depresión del Balsas y Tepalcatepec; templado con lluvias en verano, en la parte norte y las zonas altas de la entidad y templado con lluvias todo el año en las áreas más elevadas del sistema montañoso.

Por las características señaladas, el Estado se divide en nueve regiones que son: Pacífico y Bajos; Sierra Madre del Sur; Plan de Tierra Caliente; Depresión del Balsas, Ladera Sur; Mil Cumbres, Montañas Occidentales, Valles de Zamora y Región Central a Moreliana.

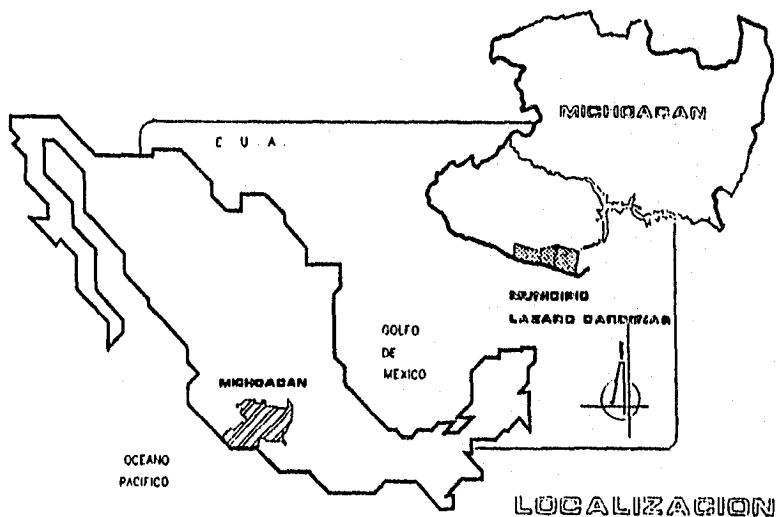
Respecto a su hidrografía, el Estado está drenado por varios sistemas fluviales, entre los que destacan las Cuencas de los ríos Lerma y Balsas. Las corrientes fluviales más importantes en la costa michoacana la conforman un gran número de ríos (Cupatitzio, Cutzamala, Curácurato, Tepalcatepec, etc.) y sus lagos más importantes son los de Cuitzeo, Pátzcuaro y Zirahuén. Cuenta con 221 manantiales de agua dulce, mineral y termal, que le han dado fama a nivel nacional e internacional.

Cabe hacer mención que las Presas de Infiernillo y la Villita, constituyen el vaso de agua artificial más grande de América Latina.

En 1990, de acuerdo a los datos del XI Censo General de Población y Vivienda, vivían en el Estado de Michoacán 3,548,199 personas, que representaron el 4.4% de la población total del país, ocupando así el séptimo lugar nacional. El 62% de esa población se ubicó en el sector urbano (2,186,354 habitantes) y el restante 38% (1,361,845 habitantes), en el medio rural.

La Población Económicamente Activa (PEA) del Estado en 1990 fue de 920,154 habitantes (39.1% de la población en edad de trabajar). De esa población se encontraba ocupada el 96.9% (891,873 personas), correspondiendo el 34% (333,224), al sector primario; el 23.2% (206,491), al secundario; el 37.4% (333,788), al terciario y el 5.4% (48,370), en actividades insuficientemente especificadas.

FIGURA 1.1 "UBICACION GENERAL DEL ESTADO DE MICHOACAN"



## 1.2.2 EL MUNICIPIO DE LAZARO CARDENAS

La decisión del Gobierno de la República de desarrollar la región de la desembocadura del Río Balsas, en los límites de Michoacán y Guerrero, sentó las bases para impulsar el aprovechamiento, en beneficio de la Nación, de los importantes recursos mineros existentes en la zona denominada "Las Truchas".

Con esta acción se ha alentado el poblamiento de las costas de los Estados de Michoacán y Guerrero, y se refuerza al inicio de la década de los setentas cuando el Gobierno Federal dispone de la construcción de la Planta Siderúrgica Lázaro Cárdenas-Las Truchas S.A. (SICARTSA).

A esta disposición la complementan otras de gran importancia como la construcción del Puerto Industrial en la misma desembocadura del Río Balsas, el tendido de la línea férrea desde Coróndiro, la construcción de Ciudad Lázaro Cárdenas y el alojamiento de grandes industrias que a partir del acero incrementan la actividad en la zona.

### **1.2.2.1 Localización Geográfica y Superficie**

El Municipio de Lázaro Cárdenas, cuya cabecera es la ciudad del mismo nombre, se ubica en la costa del Océano Pacífico, al sur del Estado de Michoacán, en las coordenadas 17°57'45" de latitud norte y 102°11'00" de longitud oeste y a una altura media sobre el nivel del mar de 10 metros (tomando como referencia la cabecera municipal).

Se conforma de 18 localidades, correspondiendo 109 a las de condición rural y solo 9 de características netamente urbanas, entre las que destacan Ciudad Lázaro Cárdenas, Guacamayas, La Orilla, La Mira, Buenos Aires y Playa Azul, que es donde se concentra la mayor proporción de la población del municipio.

La superficie total del municipio es de 1,091.52 km<sup>2</sup> (aunque en algunos documentos se señalan 1,509 km<sup>2</sup>), lo que representa el 1.83% de la superficie estatal y el 0.00055% del total a nivel nacional.

Limita al Norte con el municipio de Artesga, al Este con el Estado de Guerrero (delimitado por la desembocadura del Río Balsas hacia el Océano Pacífico) y al Oeste con el municipio de Aguililla.

Del total de la superficie municipal, el área urbana actual de Ciudad Lázaro Cárdenas es de aproximadamente 118 hectáreas, constituida principalmente por áreas de uso habitacional, baldías, hotelero, comercial, industrial y recreativo.

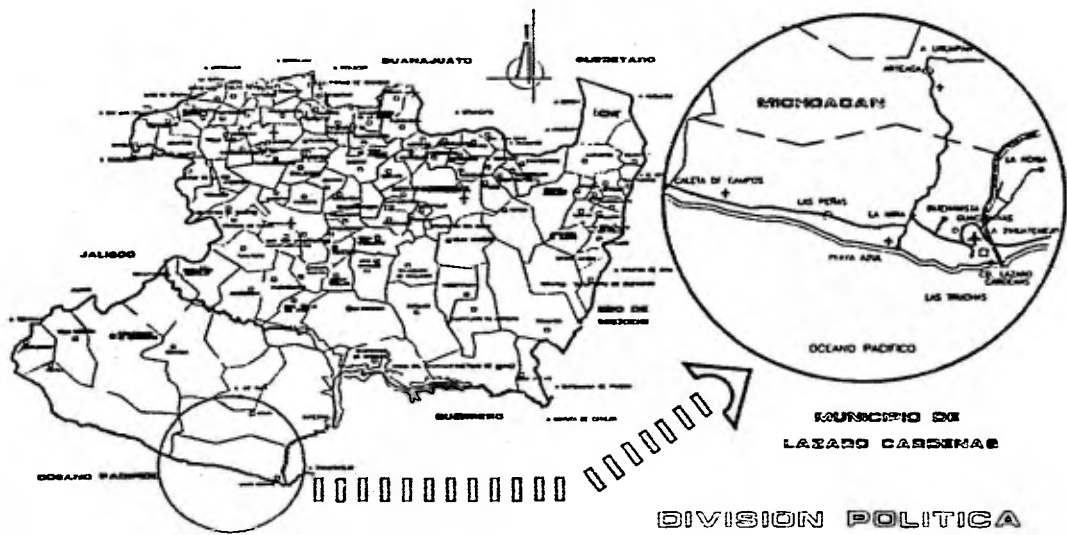


FIGURA 1.2 "UBICACION GENERAL DEL MUNICIPIO DE LAZARO CARDENAS"

### **I.2.2.2 Topografía, Orografía y Suelos**

El 80% de la superficie del municipio es de tipo montañoso y el 20% restante es terreno plano, el cual constituye el Delta del Río Balsas.

A este respecto, el Río Balsas aporta sedimentos del continente, así como otros arroyos que bajan de la sierra, construyendo el Delta, el cual tiene una superficie sensiblemente plana, con elevaciones que van de 0 a 3 msnm.

El tipo de suelo es de calizas y alivión predominando el primero en un 80% de la extensión del municipio.

### **I.2.2.3 Hidrología e Hidrografía**

El municipio es atravesado por el Río Balsas, el cual es el límite estatal natural entre Guerrero y Michoacán.

Este importante río pertenece a la cuenca hidrográfica número 18 del país, que drena gran parte de los Estados de Puebla, Tlaxcala, Morelos, México, Michoacán y Guerrero.

Dentro del municipio existen otras corrientes importantes que forman pequeños cauces independientes que desembocan al Océano Pacífico, como son el Nexpa, Chila, Carrizal y el Arroyo Acalpican.



### **I.3 ESTUDIO DE LA DEMANDA**

El objetivo del Estudio de la Demanda consiste en analizar las características de la demanda estadística y establecer, mediante el modelo de llamadas telefónicas, que forma parte de la metodología para analizar proyectos de inversión en infraestructura aeroportuaria, las previsiones de tráfico aéreo para el horizonte analizado.

#### **I.3.1 DEMANDA ESTADISTICA**

La desembocadura del Río Balsas ha contado con servicio aéreo desde 1930, con la presencia de Francisco Sarahía como uno de los pioneros en ligar por vía aérea la zona con Uruapan.

En 1940, junto con la dotación de ejidos se tienen noticias de la construcción del "nuevo" campo aéreo. Para 1960 dos compañías aéreas conectaban el poblado con Uruapan y Acapulco. Más adelante, en la época de la construcción de Ciudad Lázaro Cárdenas y el complejo industrial SICARTSA (1972), Aeronómexico proporcionaba vuelos diarios a la Ciudad de México, utilizando las instalaciones actuales, que fueron suspendidas al concluirse la construcción de la siderúrgica.

No se cuenta con registros estadísticos del movimiento en todo este período. Adicionalmente, al no formar parte estas instalaciones del patrimonio de Aeropuertos y Servicios Auxiliares, no se incorporó su movimiento al registro de la red federal de aeropuertos. Los datos más recientes obtenidos son los reportados por el TAF (Transporte Aéreo Federal), empresa pública que inició operaciones en 1987, atendiendo del orden de 17,000 pasajeros en ese año.

Los registros estadísticos de los últimos años (1989-1993), que se comentan más adelante, fueron obtenidos de las autoridades de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

La demanda estadística que se ha tenido en el aeródromo de Lázaro Cárdenas, se caracteriza por no representar la totalidad del tráfico aéreo potencial de la zona, ya que debido a las condiciones de operación actual (equipo de vuelo inadecuado, tarifas excesivas, inseguridad en la operación, carencia de una instalación adecuada para procesar a los pasajeros, superficie específica para alojar los vehículos, etc.), han provocado la reducción y desviación de un importante volumen de usuarios potenciales.

Lo anterior provoca que la demanda potencial no se exprese en su totalidad en las instalaciones actuales y se derive en busca de otras opciones de transporte, principalmente hacia la terminal aérea de Zihuatanejo y otra que lo realice por vía terrestre.



En base a datos recabados, se pudo detectar que al menos un 30% de la demanda registrada en 1992 y a principios de 1993, elige la opción de realizar un viaje por avión dirigiéndose hacia Zihuatanejo, en donde es factible elegir entre varias aerolíneas, a un precio que le implica (con la inclusión del costo del viaje por carretera Lázaro Cárdenas-Zihuatanejo), un costo menor que el viaje directo desde Lázaro Cárdenas, si su destino es la Ciudad de Monterrey vía Ciudad de México.

A pesar de lo anterior, la demanda ha registrado un volumen significativo a partir de los datos registrados desde 1989, en donde se atendieron 26 mil pasajeros en 6 mil vuelos, con un promedio de 4 pasajeros por avión.

Al siguiente año, 1990, las cifras registradas fueron de 53 mil pasajeros y cerca de 8 mil operaciones, incrementando el factor de pasajeros por operación a 7.

Lo anterior representó un incremento absoluto del 104% en pasajeros y 23% en operaciones con respecto al año anterior, generado por el inicio de operaciones de nuevas líneas aéreas en el aeropuerto.

En los siguientes años, 1991, 1992 y 1993, se volvieron a registrar incrementos en los volúmenes de pasajeros atendidos, con tasas de crecimiento de 14, 21, y 7% respectivamente para cada año.

En cuanto a las operaciones, durante los periodos 1990-91 y 1991-92 se registraron incrementos con tasas de 23 y 32% respectivamente, pero hacia el periodo 1992-93, se presentó un decremento del -35%, motivado por la drástica disminución de las operaciones de aviación privada.

Los datos de la estadística del movimiento registrado en el aeródromo actual se muestran mediante las tablas 1.1 y 1.2 "Estadística del Movimiento Anual de Pasajeros" y "Estadística del Movimiento Anual de Operaciones".

PASAJEROS TRANSPORTADOS				
AÑO	SALIDAS	LLEGADAS	TOTAL	
1989	14,420	11,659	26,087	
1990	27,221	26,014	53,235	
1991	32,449	28,290	60,739	
1992	38,630	34,690	73,320	
1993	39,546	39,403	78,949	

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)

TABLA 1.2 "ESTADISTICA DEL MOVIMIENTO ANUAL DE OPERACIONES"

OPERACIONES AERONAUTICAS REALIZADAS					
AÑO	COMERCIALES	PARTICULARES	OFICIALES	EXTRANJEROS	TOTAL
1989	3,552	1,446	1,048	40	6,086
1990	4,888	1,613	965	43	7,509
1991	4,958	2,521	1,784	8	9,271
1992	6,630	4,189	1,405	30	12,254
1993	6,313	756	856	8	7,933

*Fuente:* Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)

El fenómeno de disminución de los volúmenes atendidos en las operaciones de aviación privada se considera que fue producto del receso en la economía en la zona, derivado del reacomodo en gran parte de las industrias que fueron transferidas al sector privado y las que, por motivos económicos, realizaron ajustes, tanto en su planta de personal como en sus niveles de actividad,

Si bien es cierto que las cifras registradas de movimiento aéreo no son impresionantes comparadas con los aeropuertos más importantes de la Red, es también cierto que, a pesar de no contar con las facilidades adecuadas, el aeropuerto ha seguido prestando sus servicios en forma ininterrumpida.

### 1.3.2 DEMANDA POTENCIAL

Para determinar la demanda potencial de la zona y dado que los datos estadísticos no son representativos de la totalidad de la demanda que se genera en la región, se ha aplicado la metodología ampliamente probada en casos anteriores en México y otros países, que indica la existencia de una relación directa entre las llamadas de larga distancia realizadas en el área de influencia del aeropuerto y la necesidad de utilizar el transporte aéreo.

Esta metodología basada en la aplicación de modelos de llamadas telefónicas, si bien es compleja y laboriosa, permite generar estudios de previsión de tráfico aéreo, tanto en ciudades en las que se cuenta con un aeropuerto, como en aquellas en las que se planea construir una nueva terminal aérea.

Sus resultados reflejan correctamente la demanda de transporte aéreo en función de los volúmenes de intercambios telefónicos y de la tipología de las relaciones entre pares de ciudades, correspondiendo ésta última a la realidad geográfica de la República Mexicana.

La metodología se divide en dos partes, inicialmente (Parte I), se obtiene el tránsito aéreo del año base y posteriormente (Parte II), en función a indicadores de evolución, se genera la proyección del tránsito en el tiempo.

En el proceso de la Parte I se realizan los cálculos que determinan la demanda potencial de transporte aéreo para un año base, a partir de los volúmenes telefónicos registrados en el año de partida del estudio.

La información sobre tráfico telefónico fue solicitada y proporcionada por TELMEX para 1992, año que fue definido como año base. Estos valores fueron trasladados al año de referencia del modelo (1980), por medio de un factor decremental. En seguida por medio de la aplicación del modelo se obtiene un tránsito potencial que es ajustado por medio de un factor genérico para obtener el tráfico de referencia absoluto y posteriormente se ajusta nuevamente por medio de factores de competencia carretera que afectan la utilización de este medio de transporte.

En la Parte II se procede a evaluar la evolución de la población y de la oferta hotelera en las ciudades de destino, en función de indicadores básicos de la economía nacional y local que contemplan las expectativas de crecimiento previstas, lo que arroja como resultado factores de crecimiento que, al ser aplicados, proyectan la demanda base estimada en la Primera Parte del estudio, a los diferentes periodos del análisis.

A continuación se describe de manera detallada el proceso de cálculo y los resultados obtenidos de cada parte.

### **I.3.2.1 Parte I: Determinación del Tránsito Aéreo del Año Base**

#### **Determinación del Area de Influencia**

El proceso parte de determinar el área de influencia del sitio en estudio. Para ello, se utiliza un mapa de carreteras, ubicando el sitio de la terminal aérea (en este caso se consideró la ubicación de la terminal actual de Lázaro Cárdenas), a partir del cual se señalan los límites de las dos zonas que determinan el área de influencia, en base al siguiente criterio:

- Zona 1 para localidades situadas a menos de 40 minutos
- Zona 2 para localidades situadas entre 40 y 60 minutos

Considerando las siguientes velocidades:

- 100 km/h para carreteras federales con cuatro carriles
- 75 km/h para carreteras federales con dos carriles
- 60 km/h para todas las demás

Si una localidad es más cercana a otro aeropuerto existente, se suprime de la estudiada, en este caso la localidad de "La Unión", que se encuentra más cercana al aeropuerto de Zihuatanejo, cayó bajo esta consideración.

Enseguida se traza la poligonal con los puntos obtenidos sobre las vialidades existentes, lo que delimita nuestra área de influencia.

Al haber sido delimitadas las zonas que abarca el área de influencia, se obtienen las poblaciones de cierta importancia dentro de ellas y que probablemente cuenten con central telefónica dentro de la misma. Los registros de estas centrales deben considerarse en conjunto para determinar la demanda.

Las localidades así obtenidas son las siguientes:

Arteaga, Buenavista, Guacamayas, La Mira, La Noria, Las Peñas, Lázaro Cárdenas y Playa Azul, en el Estado de Michoacán y la localidad de La Unión, en el Estado de Guerrero (la cual como se indico fue eliminada por su mayor cercanía al aeropuerto de Zihuatanejo).

Para este caso, TELMEX informó que la única población con central telefónica era precisamente Ciudad Lázaro Cárdenas, desde la cual se canaliza la comunicación de todas las poblaciones del área de influencia, por lo que la información sobre llamadas ya era consolidada.

#### **Ciudades de Destino**

La información proporcionada por TELMEX consiste en la estadística de 1992 del número de conferencias de larga distancia punto a punto desde la central de Ciudad Lázaro Cárdenas a todas las poblaciones del país y al extranjero. El total de localidades enlistadas fue de 620 y 33 países (ver Anexo No. 1).

Para obtener las ciudades destino, las localidades y su número de conferencias se agruparon y seleccionaron bajo dos criterios: a) Que representaron un tráfico significativo (más de 200 llamadas en el año); b) Que la población destino contase con transporte aéreo o se encontrase dentro del radio de influencia de un aeropuerto, y c) Que en su caso, actualmente se cuente con servicio de transporte aéreo desde Lázaro Cárdenas.

Las conferencias al extranjero, que no fueron muy numerosas, se agruparon con las correspondientes a la Ciudad de México, por considerarse que el nuevo aeropuerto no prestaría servicios internacionales en el año inicial.

ANEXO 1				
"ESTADISTICA I.D. PUNTO A PUNTO 1992"				
NUMERO	POBLACION DESTINO	EDO	CONF	MIN
1	MEXICO	D.F.	27,524	119,201
2	MORELIA	MICH	12,294	53,603
3	GUADALAJARA	JAL	7,674	34,502
4	URUPAN	MICH	7,344	31,875
5	MONTERREY	N.L.	5,579	26,510
6	ACAPULCO	GRO	3,433	13,969
7	ZIHUATANEJO	GRO	3,174	10,452
8	LA MIRA	MICH	2,531	9,021
9	APATZINGAN	MICH	1,695	8,440
10	MONCLOVA	COAH	886	4,651
11	ZAMORA	MICH	885	3,786
12	ARTEAGA	MICH	838	3,457
13	PLAYA AZUL	MICH	810	2,589
14	PUEBLA	PUE	779	3,280
15	QUERETARO	QRO	684	3,094
16	COLIMA	COL	662	3,044
17	MANZANILLO	COL	628	2,843
18	IXTAPA	GRO	620	2,181
19	CUERNAVACA	MOR	610	2,661
20	VERACRUZ	VER	515	2,729
21	TOLUCA	MEX	505	2,032
22	CELAYA	GTO	478	2,365
23	PETATLAN	GRO	436	1,691
24	NUEVA ITALIA	MICH	423	1,892
25	IRAPUATO	GTO	400	2,052
26	LEON	GTO	394	1,821
27	ZACAPU	MICH	377	1,807
28	SALTILLO	COAH	360	1,759
29	CHILPANCINGO	GRO	357	1,453
30	SALAMANCA	GTO	311	1,753
31	SAN LUIS POTOSI	SLP	292	1,544
32	TAMPICO	TAMP	275	1,470
33	TORREON	COAH	263	1,370
34	PATZCUARO	MICH	252	1,155
35	CUAUTITLAN	MEX	252	1,155
36	SALINA CRUZ	OAX	251	1,438
37	CIUDAD ALTAMIRANO	GRO	244	1,069
38	IGUALA	GRO	236	987
39	SAN LUIS	GRO	233	870
40	SAHUAYO	MICH	220	829
41	COATZACOALCOS	VER	219	1,376
42	SAN LORENZO TEZON	D.F.	219	934
43	TIJUANA	BCN	217	1,009
44	TACAMBARO	MICH	215	973
45	LOS REYES	MICH	214	1,146
46	TECOMAN	COL	211	726
47	AGUASCALIENTES	AGS	209	846
48	ATOYAC DE ALVAREZ	GRO	190	595
49	CIUDAD GUZMAN	JAL	189	1,005
50	LA PIEDAD	MICH	184	818

Fuente: Teléfonos de México (TELMEX)

De esta forma se obtuvo la relación de ciudades de la Tabla No. 1.3 "Tránsito aéreo del año base", en el cual aparece anotada la cantidad de conferencias anuales correspondientes a cada uno de los destinos (Columnas "A", "B", y "D" de dicha tabla). Como se observa, el número de conferencias anuales consideradas es de 151 mil.

Ya que la metodología aplica modelos diferentes para los destinos turísticos y para los no turísticos, a cada localidad seleccionada debe indicársele su categoría, lo cual se muestra en la columna "C", de la misma tabla.

Cabe señalar que la columna "D" de la tabla contiene el total de la estadística de las conferencias telefónicas registradas en 1992 multiplicadas por 2, ya que la información de TELMEX solo se refiere a las llamadas originadas en el área de influencia y es necesaria esta duplicación para considerar las efectuadas hacia ella, lo cual es validado por la metodología.

A continuación, y como ya se indicó anteriormente, en la columna "E" se anota el valor absoluto de las llamadas de 1992, trasladadas al año de referencia del modelo, por medio de un factor cuyo valor resultó ser de 0.34242 y que representaría la proporción en que el tráfico telefónico se decrementó en ese periodo. La obtención de este factor se realizó comparando el resultado del tránsito real obtenido por medio del modelo de llamadas telefónicas a los valores estadísticos existentes para 1992 en las principales rutas.

TABLA 1.3 "TRANSITO AÉREO DEL AÑO BASE"								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
Ciudad Origen	Ciudad de Destino	Categoría	Conferencias Telefónicas	Conferencias en Año Modelo (1980)	Tránsito Potencial	Tránsito Potencial Absoluto	Factor de Reducción	Tránsito Real Año Base (1992)
Lázaro Cárdenas	Cd. de México	No turístico	55,048	18849.54	36473	38296	1	38296
"	Morelia	No turístico	24,588	8419.42	15734	16521	0.6	9912
"	Guadalajara	No turístico	15,348	5255.46	10197	10707	1	10707
"	Uruapan	No turístico	14,688	5029.46	9802	10292	0.33	3396
"	Monterrey	No turístico	11,158	3820.72	7686	8071	1	8071
"	Acapulco	Turístico	6,866	2351.06	22359	23477	0.47	11034
"	Zihuatanejo/Ixtapa	Turístico	7,588	2598.28	24386	25605	0.1	2561
"	Apatzingán	No turístico	3,390	1160.80	3031	3183	0.16	509
"	Monclova	No turístico	1,772	606.77	2062	2165	1	2165
"	Puebla	No turístico	1,558	533.49	1934	2030	1	2030
"	Querétaro	No turístico	1,368	468.43	1820	1911	1	1911
"	Colima	No turístico	1,324	453.36	1793	1883	0.55	1036
"	Manzanillo	Turístico	1,256	430.08	5281	5545	0.61	3383
"	Cuernavaca	No turístico	1,220	417.75	1731	1818	1	1818
"	Veracruz	Turístico	1,030	352.69	4043	4245	0.19	807
"	Toluca	No turístico	1,010	345.84	1605	1685	1	1685
"	León	No turístico	788	269.83	1472	1546	1	1546
"	San Luis Potosí	No turístico	584	199.97	1350	1417	1	1417
"	Torreón	No turístico	526	180.11	1315	1381	1	1381
"	Tijuana	No turístico	434	148.61	1260	1323	1	1323
TOTAL			151,544		155334	163101		104987

### **Cálculo del Tránsito Potencial (TP)**

Con los valores anteriores de llamadas telefónicas anuales, se procede a obtener el Tránsito Potencial del año de referencia (TP), aplicando los siguientes modelos:

#### **a) Modelo Telefónico No. 1, para OD=1 (turístico)**

Si el No. de llamadas telefónicas es 100, el TP=0

Si el No. de llamadas telefónicas es  $> 100$  y  $< 600$ ,

el TP=16 \* No. de llamadas - 1,600

Si el número de llamadas es  $> 600$ ,

el TP=8.2 \* No. de llamadas + 3,080

#### **b) Modelo Telefónico No. 2, para OD=2 (no turísticos)**

Si el No. de llamadas telefónicas es 12,000,

el TP=1.75 \* No. de llamadas + 1,000

Si el No. de llamadas telefónicas es  $> 12,000$  y  $< 30,000$ ,

el TP=2.11 \* No. Llamadas - 3,300

Si el No. de llamadas telefónicas es  $> 45,000$ ,

el TP=1.6 \* No. Llamadas + 68,000

El resultado de la aplicación de los modelos para cada destino se muestra en la columna "F" de la Tabla No. 1.3. Como se observa, la aplicación de los modelos nos indica que el tránsito potencial sería del orden de 155 mil pasajeros para el año base.



Al tránsito potencial obtenido (TP), se le aplica, conforme a la metodología, un factor de incremento de 1.05, por cada origen-destino, para tomar en cuenta la clientela difusa que existe más allá de los 60 minutos de recorrido que delimita el área de influencia. Lo anterior es resultado de las encuestas que determinaron que para todos los aeropuertos muestreados, el 94.1% de la clientela estaba situada a menos de 40 minutos del aeropuerto y el porcentaje de clientela más allá de ese tiempo es muy bajo y puede ser cifrado globalmente en 5%. Al ser aplicado este factor se obtiene el "*tránsito potencial absoluto*", mismo que aparece en la columna "G" de la Tabla No. 1.3., con un valor de 163 mil pasajeros.

#### **Corrección de Competencia por Carretera (CC)**

La metodología contempla la posibilidad de realizar un determinado viaje por carretera, en lugar de utilizar el transporte aéreo, lo cual representa una competencia significativa. Para considerar el impacto en la demanda de esta competencia, el tránsito potencial absoluto (TPA) es afectado por medio de un factor denominado "Corrección de Competencia por Carretera".

Para obtener el factor de corrección por carretera, se procede a estimar el tiempo de recorrido hacia cada destino por vía terrestre, considerando una velocidad promedio de 75 km/h. Para el caso de este estudio, estos tiempos se muestran en la Tabla No. 1.4 "Competencia Carretera".

TABLA 1.4		"COMPETENCIA CARRETERA"			
Ciudad Origen	Ciudad de Destino	Distancia entre ciudades (km)	Velocidad Promedio (km/h)	Tiempo (min)	Factor de Reducción
Lázaro Cárdenas	Cd. de México	723	75	578.4	1.0
"	Morelia	414	"	331.2	0.60
"	Guadalajara	734	"	587.2	1.0
"	Uruapan	300	"	240	0.33
"	Monterrey	1351	"	1080.8	1.0
"	Acapulco	361	"	288.8	0.47
"	Zihuatanejo/Ixtapa	122	"	97.6	0.1
"	Apatzingán	223	"	178.4	0.16
"	Monclova	1580	"	1264	1.0
"	Puebla	849	"	679.2	1.0
"	Querétaro	938	"	750.4	1.0
"	Colima	393	"	314.4	0.55
"	Manzanillo	400	"	320	0.61
"	Cuernavaca	808	"	646.4	1.0
"	Veracruz	1465	"	1172	0.19
"	Toluca	657	"	525.6	1.0
"	León	627	"	501.6	1.0
"	San Luis Potosí	824	"	659.2	1.0
"	Torreón	1329	"	1063.2	1.0
"	Tijuana	1444	"	1155.2	1.0

El paso siguiente consiste en calcular el coeficiente de reducción (R) establecido en la metodología, para cada tipo de destino (turístico o no turístico) con las siguientes consideraciones:

**a) Coeficiente de Corrección para OD=1 (turístico)**

Tiempo por Carretera (t) Coeficiente de reducción

Si  $t < 180$  minutos:  $R = 0$

Si  $t > 180$  minutos y  $1,440$  minutos:

$R =$  rango entre  $0.05$  y  $1$  (en base a la curva de reducción)

Si  $t > 1,440$  minutos:  $R = 1$

**b) Coeficiente de Corrección para OD=2 (no turístico)**

Tiempo por Carretera (t) Coeficiente de Reducción

Si  $t < 120$  minutos  $R = 0$

Si  $t > 120$  minutos y  $< 300$  minutos  $R = 0.002777 (t - 120)$

Si  $t > 300$  minutos y  $< 450$  minutos  $R = 0.003333 (t - 150)$

Si  $t > 450$  minutos  $R = 1$

Como se observa, la metodología considera que se deberían eliminar los destinos que se encuentran a menos de 180 minutos de recorrido para destinos turísticos, y aquellos a menos de 120 minutos para destinos no turísticos, ya que considera que es más atractivo el viaje puerto a puerto por carretera.

En el ejemplo, el único destino que llega a ser eliminado por la consideración mencionada anteriormente es Zihuatanejo, sin embargo, al revisar el volumen reportado de llamadas realizadas, se determinó conservarlo con un factor de reducción importante (0.1), ya que se consideró que siempre existirá un cierto tránsito entre estos dos sitios.

El factor de reducción para cada destino se muestra en la Tabla No. 1.4, el cual se repite en la columna "H" de la Tabla No. 1.3, para ser aplicado al tránsito potencial absoluto.

### **Cálculo del Tránsito Real del Año Base (tr)**

Al ser aplicado el coeficiente de reducción por competencia carretera (CC) al tránsito potencial absoluto (TPA), se obtiene el tránsito real para el año base de estudio (en este caso 1992), para cada uno de los destinos el cual es indicado en la columna "T" de la Tabla No. 1.3.

El tránsito total de pasajeros que podrían demandar transporte aéreo desde y hacia Lázaro Cárdenas para el año 1992 resulta ser de 104,987 pasajeros. Se ha mostrado en la misma tabla la estadística real de las rutas actualmente servidas en Lázaro Cárdenas en 1992 y 1993. Como se observa, para 1992 se atendieron 73,328 pasajeros lo cual indica que existe una demanda no satisfecha del orden de 31,659 pasajeros anuales que utilizarían de inmediato el transporte aéreo de contar con mejores servicios.

#### **1.3.2.2 Parte 2: Determinación de la Proyección del Tránsito Aéreo**

La segunda parte de la metodología para estimar la demanda potencial consiste en la obtención de un pronóstico de la evolución de la demanda. Para ello, se debe determinar un factor de crecimiento (Fc) para cada destino y para cada año de análisis.

Este factor de crecimiento involucra variables indicativas de los crecimientos esperados en las actividades económicas y en la población tanto en las ciudades destino, como la de origen.

Para ello, se aplican modelos para obtener valores de Generación Global de Tránsito Aéreo (T) de cada destino, el Coeficiente Global de Crecimiento del origen y un Coeficiente de Tráfico (A) que los relaciona, como se detalla a continuación.

#### **Generación Global de Tránsito (T) Ciudades de Destino**

En este inciso, se procederá a estimar el tránsito global absoluto generado por cada ciudad de destino, en base a las tasas de proyección de su oferta hotelera, en caso de destinos turísticos (OD=1), o de su población, en caso de destinos no turísticos (OD=2).

#### **Destinos Turísticos (OD=1)**

En el caso de los destinos turísticos, el indicador es el número de cuartos de hotel ofrecidos en el año base y en cada año de proyección. Para determinarlos se obtuvieron los datos de oferta hotelera de cada destino correspondientes a 1980, 1985 y 1990, calculándose sus tasas de crecimiento, como se muestra en la Tabla No. 1.5 "Oferta Hotelera Destinos Turísticos".

TABLA 1.5 "OFERTA HOTELERA DESTINADA A TURISTAS EXTRANJEROS"											
CIUDAD	TASAS DE CRECIMIENTO										
	CUARTOS 1980	CUARTOS 1985	CUARTOS 1990	(1980-1985)	(1985-1990)	promedio %	CUARTOS 1992	CUARTOS 1994	CUARTOS 2000	CUARTOS 2005	CUARTOS 2010
Acapulco	14087	16290	17001	0.029	0.0086	1.9033	17654	18333	20529	22558	24788
Zihuatxtap	1764	4008	4169	0.178	0.0079	0.0931	4177	4185	4208	4228	4247
Manzanillo	1500	2322	2987	0.091	0.0517	0.0715	2991	2996	3008	3019	3030
Veracruz	3172	4157	4269	0.056	0.0053	0.0305	4272	4274	4282	4289	4295

Para proyectar la oferta hotelera, se procedió a utilizar la tasa media de crecimiento anual del período 80-90, decreméntándola en el tiempo, por considerar que en el horizonte del estudio disminuirán las tasas de crecimiento paulatinamente.

Con la oferta hotelera proyectada de esta forma para cada destino, se procede a estimar la generación de tránsito, por medio de la siguiente expresión formulada en la metodología:

$$T(N) = 0.881 + 0.059 (N - 1980) * H(N) ^ 0.75$$

en donde:

$T(N)$  = Tránsito global generado en al año analizado

$H(N)$  = Oferta hotelera en el año analizado

El resultado obtenido se muestra en la Tabla No. 1.5.1 "Cálculo de la Generación Global de Tránsito OD = 1"

TABLA 1.5.1 \*CALCULO DE LA GENERACION GLOBAL DE TRANSITO OD = 1\*

TRANSITOS GLOBALES					
CIUDAD	T(N) 1992	T(N) 1994	T(N) 2000	T(N) 2005	T(N) 2010
Acapulco	2434	2689	3535	4337	5237
Zihuatlxtapa	826	888	1077	1235	1395
Manzanillo	643	691	837	960	1083
Veracruz	840	902	1091	1249	1406

### Destinos No Turísticos (OD = 2)

El cálculo del tránsito global de destinos no turísticos se basa en datos de población. Por ello, el primer paso es estimar el crecimiento poblacional de cada una de las ciudades destino. Para el efecto se tomaron los datos de población del censo de 1970, 1980 y 1990, y posteriormente se calcularon las tasas de crecimiento poblacional utilizando el método del interés compuesto para cada destino, como se muestran en la Tabla No. 1.6, "Proyección de población". Cabe señalar que se incluye en esta tabla también los datos de Lázaro Cárdenas, por ser necesario la misma proyección para la ciudad origen en la metodología.

Las proyecciones de población para cada ciudad se obtuvieron aplicando las tasas de crecimiento a cada año de estudio, lo cual podría considerarse una hipótesis "alta" de crecimiento poblacional, con los resultados que se muestran en la misma tabla.

TABLA 1.6 "PROYECCION DE POBLACION"											
CIUDAD	POB 1970	POB 1980	POB 1990	TASAS DE CRECIMIENTO POBLACIONAL			POB 1992	POB 1994	POB 2000	POB 2005	POB 2010
				I (1970-1980)	I (1980-1990)	I promedio (%)					
Cd. de México	9115774	12587944	15047685	0.033	0.018	2.54	15821946	16636046	19338408	21922811	24852595
Morelia	218083	353055	492901	0.049	0.034	4.16	534807	580276	741221	908953	1114643
Guadalajara	1480472	2244715	2870417	0.043	0.025	3.37	3067121	3277306	3998296	4718890	5569354
Uruapan	102649	146998	217068	0.037	0.040	3.82	233949	252143	315661	380657	459036
Monterrey	1242207	1987817	2531667	0.048	0.024	3.63	2718845	2919862	3616561	4322554	5166365
Apatzingán	68870	75805	100926	0.013	0.029	2.08	105174	109601	124031	137497	152425
Monclova	81878	119609	178606	0.039	0.041	3.98	193094	208758	263793	320587	389610
Puebla	532744	835759	1057454	0.046	0.024	3.49	1132625	1213139	1490678	1769885	2101389
Querétaro	163063	293586	456458	0.061	0.045	5.28	505975	560863	763907	988235	1278439
Collima	72977	100428	116505	0.032	0.015	2.37	122093	127950	147259	165558	186131
Cuernavaca	160804	232355	281294	0.037	0.019	2.84	297496	314631	372188	428118	492452
Toluca	278063	390090	487612	0.036	0.023	2.94	516743	547615	651744	753491	871123
León	420150	655809	867920	0.046	0.028	3.70	933290	1003584	1247858	1496263	1794117
San Luis Potosí	267951	406630	525733	0.043	0.026	3.43	562424	601676	736647	871980	1032176
Torreón	250524	363886	464825	0.038	0.025	3.14	494483	526033	633285	739186	862797
Tijuana	340583	481257	747381	0.031	0.049	4.01	808554	874733	1107583	1348321	1641384
Lázaro Cárdenas	24319	62355	134969	0.099	0.080	8.95	160212	190175	318078	488297	749607

Para obtener el tránsito global, la metodología señala que deben calcularse indicadores de rango de población  $S(N)$ , para el año base y los de proyección, ya que servirán para aplicar dos distintos modelos como se verá más adelante.

La expresión que define los indicadores del rango de población es:

$$S(N) = (2.12 + 0.172 * (N - 1980) / 9.8 * 10^{-5})^{0.529}$$

en donde:

$N$  = año futuro

$S(N)$  = indicador de rango de población

Sustituyendo valores para los años de análisis tenemos:

$$S(1992) = 281.4 \text{ en miles}$$

$$S(1994) = 293.5 \text{ en miles}$$

$$S(2000) = 327.2 \text{ en miles}$$

$$S(2005) = 353.0 \text{ en miles}$$

$$S(2010) = 377.3 \text{ en miles}$$

Los rangos de población obtenidos se comparan contra la población estimada para cada destino en cada año de proyección lo que determina qué modelo de generación global de tránsito ( $T$ ) se habrá de utilizar, de acuerdo a los siguientes modelos:

$$\text{Si } P < S(N); T(N) = 9.8 * 10^{-5} * P(N)^{2.75}$$

$$\text{Si } P > S(N); T(N) = 2.12 + 0.172 (N - 1980) * P(N)^{0.86}$$

en donde:

$S(N)$  = Indicador de Rango de Población (en miles)

$T(N)$  = Tránsito global generado en el año analizado (en miles)

$P(N)$  = Población del año analizado (en miles)



El resultado del volumen absoluto del tránsito global generado por los destinos no turísticos, al aplicar estos modelos se muestra en la Tabla No. 1.6.1 "Cálculo de la Generación Global de Tránsito OD = 2".

TABLA 1.6.1 \*CALCULO DE LA GENERACION GLOBAL DE TRANSITO OD = 2\*

CIUDAD	TRANSITOS GLOBALES (en miles)				
	T(N) 1992	T(N) 1994	T(N) 2000	T(N) 2005	T(N) 2010
Cd. de México	6501	7345	10266	13204	16670
Morelia	353	410	621	855	1155
Guadalajara	1586	1817	2647	3524	4608
Uruapan	321	394	731	1224	2048
Monterrey	1429	1645	2420	3260	4320
Apelzingán	36	40	56	74	99
Monclova	189	235	446	763	1305
Puebla	673	773	1133	1516	1993
Querétaro	337	398	638	919	1300
Colima	54	61	90	124	171
Querevaca	213	242	344	447	572
Toluca	343	390	556	727	935
León	570	657	972	1312	1740
San Luis Potosí	369	423	610	825	1081
Torreón	330	377	543	716	927
Tijuana	504	583	877	1200	1611
Lázaro Cárdenas	113	182	244	501	724

#### Cálculo de los Factores de Crecimiento (Fe)

Los factores de crecimiento se componen de tres valores (Ki, Ko y A), que se calculan, conforme a la metodología, como se describe a continuación:

##### a) Coeficiente Global de Crecimiento Ciudades de Destino (Ki (N))

El coeficiente global de crecimiento para cada ciudad de destino (Ki), se obtiene a partir de los valores de generación global de tránsito calculados con anterioridad, a partir de la población (para destinos no turísticos) o de la oferta hotelera (destinos turísticos).

Para calcular el coeficiente global de crecimiento del año (N) al año (O), bastará con hacer la relación del tránsito global del año (N) al del año (O), mediante la siguiente expresión:

$$K_i(N) = T(N) / T(O)$$

Así obtenemos que para obtener el factor de crecimiento O-D, solo se deberán dividir los T(N) y el T(O) de cada destino para cada año en análisis, con el resultado que se muestra en la Tabla No. 1.7 "Cálculo del Coeficiente Global de Crecimiento Ciudades Destino", que representa el crecimiento total absoluto esperado para cada uno de los destinos.

TABLA 1.7  
\*CALCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL CRECIMIENTO DE CIUDADES DESTINO\*

CIUDAD	Ki 1992	Ki 1994	Ki 2000	Ki 2005	Ki 2010
Cd. de México	1.0	1.13	1.58	2.03	2.57
Morelia	1.0	1.15	1.76	2.42	3.27
Guadalajara	1.0	1.15	1.67	2.22	2.91
Uruapan	1.0	1.12	1.58	2.10	2.80
Monterrey	1.0	1.15	1.70	2.29	3.02
Acapulco	1.0	1.10	1.45	1.78	2.15
Zihuatlango	1.0	1.08	1.30	1.50	1.69
Apetzincón	1.0	1.11	1.56	2.06	2.75
Manclova	1.0	1.24	1.88	2.78	4.12
Puebla	1.0	1.15	1.68	2.25	2.96
Querétaro	1.0	1.18	1.89	2.73	3.86
Colima	1.0	1.13	1.67	2.30	3.17
Manzanillo	1.0	1.07	1.30	1.49	1.68
Cuernavaca	1.0	1.14	1.62	2.10	2.69
Veracruz	1.0	1.07	1.30	1.49	1.67
Toluca	1.0	1.14	1.62	2.12	2.73
León	1.0	1.15	1.71	2.30	3.05
San Luis Potosí	1.0	1.15	1.67	2.24	2.93
Torreón	1.0	1.14	1.65	2.17	2.81
Tijuana	1.0	1.16	1.74	2.30	3.20
Total	20.0	22.72	32.32	42.74	56.02

#### b) Cálculo del Coeficiente de Crecimiento Ciudad de Origen (Ko)

El modelo de generación del tráfico involucra, como es lógico, el incremento global de tránsito en la ciudad de origen que fue calculado en la Tabla No. 1.6.1, por lo que, su coeficiente se determina de la siguiente expresión:

$$K_o(N) = T(N) / T(O)$$

El resultado de este cálculo se muestra en la Tabla No. 1.7.1 "Cálculo del Coeficiente Global de Crecimiento Ciudad de Origen".

**TABLA 1.7.1**  
**"CÁLCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE CRECIMIENTO CIUDAD DE ORIGEN"**

CIUDAD	Ko 1992	Ko 1994	Ko 2000	Ko 2005	Ko 2010
Lázaro Cárdenas	1.0	1.61	2.16	2.75	2.97

**c) Cálculo del Coeficiente de Tráfico (A)**

El coeficiente de tráfico indica una relación entre el total de tránsito global generado por las ciudades destino y el volumen de tránsito global de la ciudad de origen y que se obtiene de la siguiente expresión:

$$A(N) = \text{Suma } tr(0) / (\text{Suma } (K_i(N) * tr(0)))$$

en donde:

$A(N)$  = Coeficiente de tráfico para cada destino, en cada año en estudio

$tr(0)$  = Tránsito Real del año base (1992), mostrado en la columna "I" de la Tabla No. 1.3, de la primera parte.

$K_i$  = Coeficiente global de crecimiento ( $K_i(N)$ )

Con el resultado obtenido en las cifras para el coeficiente de tráfico (A), mostradas en la Tabla No. 1.8 "Cálculo del Coeficiente de Tráfico (A)"

**TABLA 1.8 "CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRAFICO (A)"**

A(1992)	A(1994)	A(2000)	A(2005)	A(2010)
1.00	0.66	0.61	0.46	0.34

**Cálculo del Factor de Crecimiento para cada Destino (Fc)**

Una vez obtenido el Coeficiente Global de Crecimiento de las Ciudades de Destino ( $K_i(N)$ ), el Coeficiente de Crecimiento de la Ciudad de Origen ( $K_o(N)$ ) y el Coeficiente de Tráfico (A), se procede a calcular el Factor de Crecimiento (Fc), para cada uno de los destinos en cada año de estudio, mediante la siguiente expresión:

$$F_c = A * K_o(N) * K_i(N)$$

donde:

$F_c$  = Factor Crecimiento para obtener el tránsito potencial futuro

$A$  = Coeficiente de Tráfico

$K_i(N)$  = Coeficiente Global de Crecimiento Ciudades de Destino

$K_o(N)$  = Coeficiente de Crecimiento Ciudad de Origen

El resultado se muestra en la Tabla No. 1.9 "Cálculo del Factor de Crecimiento para cada Escenario".

TABLA 1.9					
"CALCULO DEL FACTOR DE CRECIMIENTO PARA CADA ESCENARIO"					
CIUDAD	Fc(1992)	Fc(1994)	Fc(2000)	Fc(2005)	Fc(2010)
Cd. de México	1.0	1.60	2.12	2.68	2.82
Morelia	1.0	1.64	2.36	3.19	3.59
Guadalejara	1.0	1.63	2.24	2.93	3.20
Uruapan	1.0	1.59	2.12	2.77	3.08
Monterrey	1.0	1.63	2.28	3.02	3.32
Acapulco	1.0	1.56	1.94	2.35	2.36
Zihuatlaxtapa	1.0	1.53	1.74	1.98	1.86
Apatzingán	1.0	1.57	2.09	2.72	3.02
Manclova	1.0	1.76	2.52	3.67	4.53
Puebla	1.0	1.63	2.25	2.97	3.25
Querétaro	1.0	1.67	2.53	3.60	4.24
Colima	1.0	1.60	2.24	3.04	3.48
Manzanillo	1.0	1.52	1.74	1.97	1.85
Cuernavaca	1.0	1.62	2.17	2.77	2.96
Veracruz	1.0	1.52	1.74	1.97	1.84
Toluca	1.0	1.62	2.17	2.80	3.00
León	1.0	1.63	2.29	3.04	3.35
San Luis Potosí	1.0	1.63	2.24	2.96	3.22
Torreón	1.0	1.62	2.21	2.86	3.09
Tijuana	1.0	1.64	2.33	3.14	3.52
Total	20.0	32.19	43.30	56.43	61.57

Estos factores se aplican al Tránsito Real (Columna "I" de la Tabla No. 1.3), para obtener el Tránsito Potencial Futuro del año de proyección, con el resultado final que se muestra en la Tabla No. 1.9.1 "Proyección del Tráfico", en el cual se muestra el tráfico esperado para cada ciudad destino y el total, para los años en análisis del horizonte de planeación.

TABLA 1.9.1 "PROYECCION DEL TRAFICO"

CIUDAD	tr (1992)	tr (1994)	tr (2000)	tr (2005)	tr (2010)
Cd. de México	38296	61311	81032	102618	108155
Morelia	9912	16290	23363	31663	35618
Guadalajara	10707	17445	23946	31376	34239
Uruapan	3396	5309	7186	9414	10449
Monterrey	8071	13150	18375	24397	26785
Acapulco	11034	17196	21426	25925	26069
Zihuatlango	2561	3919	4459	5071	4756
Apatzingón	509	800	1063	1384	1538
Monclova	2165	3804	5451	7945	9882
Puebla	2030	3308	4567	6029	6603
Querétaro	1911	3195	4837	6886	8106
Colima	1036	1659	2317	3145	3609
Manzanillo	3383	5129	5890	6654	6246
Cuernavaca	1818	2936	3944	5039	5374
Veracruz	807	1223	1485	1587	1481
Toluca	1685	2722	3656	4715	5055
León	1546	2519	3548	4694	5182
San Luis Potosí	1417	2309	3169	4198	4562
Torreón	1381	2231	3052	3956	4264
Tijuana	1323	2174	3083	4156	4652
Total	104987	168708	225759	290044	312545

Como se ha comentado, el valor anual obtenido para el año base (1992), supera el registrado en la terminal para ese mismo año, sin embargo, se ha considerado válido en base a la experiencia presentada en otros aeropuertos de reciente creación, los que, al momento de iniciar la operación en una nueva instalación (sustituyendo a uno anterior), han registrado incrementos notables.

Los datos de dichos aeropuertos fueron debidamente analizados y comparados, arrojando como resultado que las condiciones eran equiparables con el presente estudio y que la diferencia entre los valores obtenidos por medio del cálculo y los valores estadísticos registrados, correspondían a una semejanza válida.

#### I.4 PRONOSTICO DE LA DEMANDA ANUAL

Considerando que los valores obtenidos por medio de la metodología anterior corresponden al movimiento total y por etapas específicas, en este inciso se desglosan estos valores en los distintos niveles de aviación y año por año del horizonte de estudio, datos que a su vez sirven de base para el cálculo de parámetros complementarios del movimiento aéreo, y posteriormente variables económicas (ingresos y egresos) que van ligadas en forma directa con los pasajeros y las operaciones.

#### 1.4.1 PRONOSTICO ANUAL DE PASAJEROS

Así tenemos que para el año del inicio del análisis, el movimiento total será de 104 mil pasajeros totales, correspondiendo 92 mil a la aviación comercial (88%) y 12 mil a la aviación general (12%).

Para el quinto año de operación los pasajeros comerciales serán de 163 mil y los de aviación general de 22 mil, para un total de 185 mil. El décimo año de operación implica cifras de 208 mil y 28 mil respectivamente y para el año final de estudio se estiman 275 mil pasajeros comerciales y 37 mil de aviación general.

La Tasa Media Anual de Crecimiento (TMAC), estimada para todo el período será de 6.48%, valor que se considera aceptable para la evolución de la demanda de pasajeros.

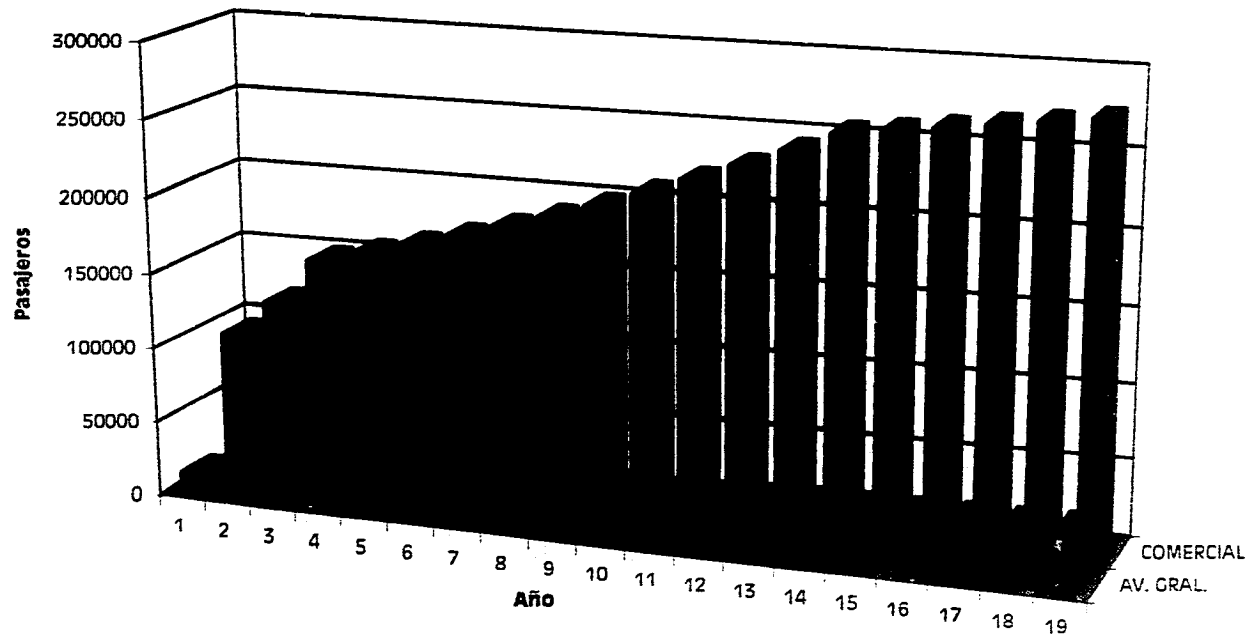
Los valores descritos se encuentran más detallados en la Tabla No. 1.10 "Pronóstico Anual de Pasajeros en Lázaro Cárdenas".

TABLA 1.10 "PRONOSTICO ANUAL DE PASAJEROS EN LZC"

AÑO	COMERCIAL	AV GRAL	TOTAL	%
1	92309	12598	104907	
2	117117	15970	133087	26.8%
3	148463	20245	168708	26.8%
4	155849	21252	177101	5.0%
5	163602	22309	185911	5.0%
6	171741	23419	195160	5.0%
7	180284	24584	204869	5.0%
8	189253	25807	215060	5.0%
9	198668	27091	225759	5.0%
10	208993	28499	237492	5.2%
11	219054	29980	249034	5.2%
12	231279	31538	262817	5.2%
13	243299	33177	276476	5.2%
14	255943	34901	290844	5.2%
15	259653	35487	295060	1.4%
16	263417	35920	299337	1.4%
17	267236	36441	303677	1.4%
18	271110	36969	308079	1.4%
19	275040	37505	312545	1.4%
TMAC	6.48%	6.48%	6.48%	

TMAC = Tasa Media Anual de Crecimiento

**Gráfica 1.10 Pronóstico Anual de Pasajeros**



#### 1.4.2 PRONOSTICO ANUAL DE OPERACIONES

En cuanto a las operaciones, los valores estimados se presentan en la Tabla No. 1.11 "Pronóstico Anual de Operaciones", en la que se aprecia que, para el último año de estudio, las operaciones comerciales serán del orden de 3,700; mientras que las operaciones de aviación general serán 3,643, con lo que se obtendrá un total de 7,343 en ese año.

TABLA 1.11 "PRONOSTICO ANUAL DE OPERACIONES EN LZC"

AÑO	COMERCIAL	AV. GRAL.	TOTAL	%
1	2098	1431	3529	
2	2258	1678	3936	0.7%
3	2430	1740	4171	0.7%
4	2513	1844	4357	4.5%
5	2599	1954	4553	4.5%
6	2687	2071	4758	4.5%
7	2779	2194	4973	4.5%
8	2874	2325	5199	4.5%
9	2972	2464	5435	4.6%
10	3055	2583	5638	3.7%
11	3140	2708	5848	3.7%
12	3228	2839	6067	3.7%
13	3318	2976	6294	3.8%
14	3411	3120	6531	3.8%
15	3467	3218	6685	2.4%
16	3524	3319	6843	2.4%
17	3582	3424	7005	2.4%
18	3640	3531	7172	2.4%
19	3700	3643	7343	2.4%
TMAC	3.20%	5.33%	4.15%	

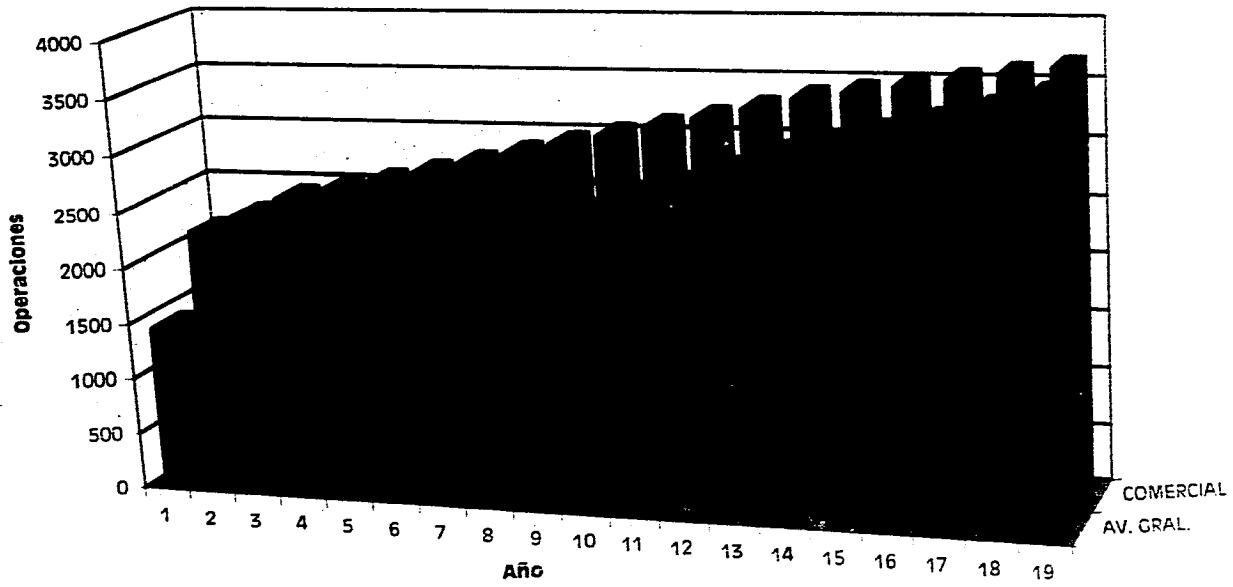
TMAC = Tasa Media Anual de Crecimiento

La TMAC estimada para el período es de 3.20% en aviación comercial y del 5.33% en la aviación general.

Cabe señalar que para el pronóstico de las operaciones comerciales se consideró en cierto momento del análisis (aproximadamente a partir del cuarto año de operación), la introducción gradual del equipo de mayor capacidad, lo que implicó la reducción de las mismas, al aumentar la oferta de lugares y en consecuencia el factor de ocupación promedio por avión, lo que a su vez redujo el valor de la TMAC en este nivel de aviación.



**Gráfica 1.11 Pronóstico Anual de Operaciones**



### 1.4.3 PRONOSTICO DE PASAJEROS POR AVION

Este indicador permite conocer a detalle la ocupación promedio de cada operación y la evolución adecuada del volumen operacional, cuando se aplican incrementos coherentes a su incremento.

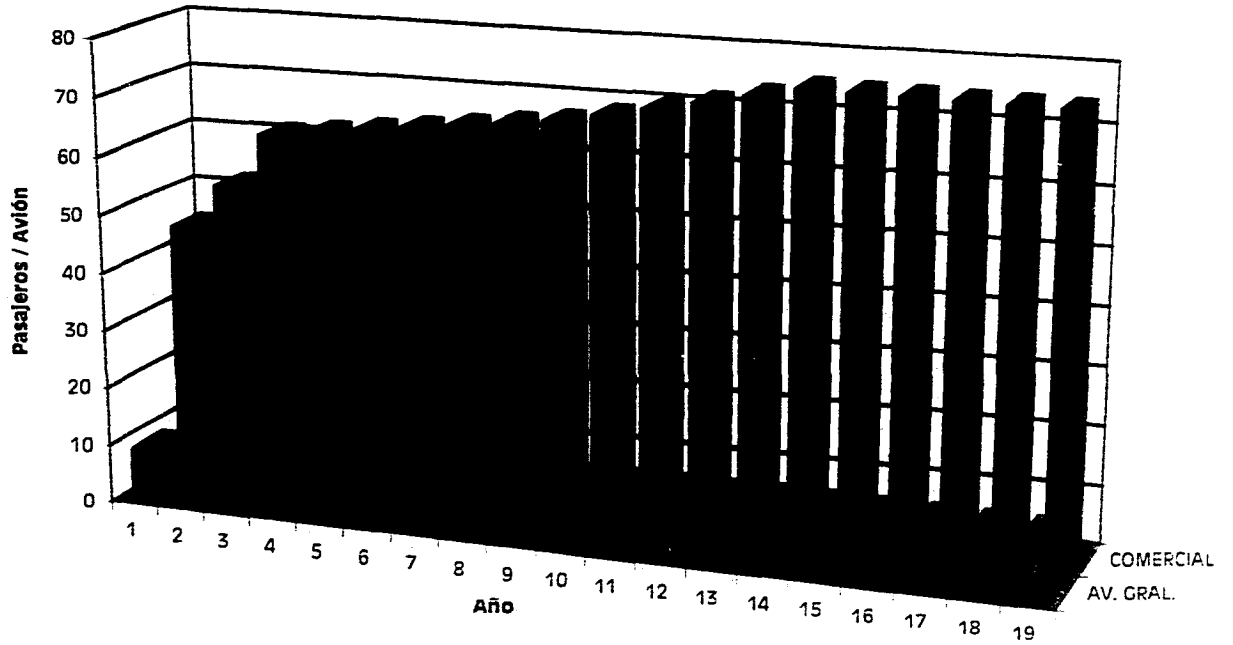
En este caso, y como ya se señaló en el estudio, plantea la operación básicamente con equipo similar al que opera en la actualidad (ATR-42), posteriormente se considera la introducción gradual de equipo de más capacidad (B-727-200 o similares), para que al final del horizonte se maneje un promedio de ocupación superior al 50% de la oferta de asientos por avión comercial.

En el caso de la aviación general, dada su limitación de capacidad de asientos, supone la estimación de un incremento poco significativo en los pasajeros por avión, lo que a su vez provoca un incremento sostenido del volumen anual.

Los datos descriptos se presentan en la Tabla No. 1.12 "Pronósticos de Pasajeros por Avión".

AÑO	COMERCIAL	AV. GRAL.	TOTAL
1	44	9	53
2	52	10	62
3	61	12	73
4	62	12	74
5	63	11	74
6	64	11	75
7	65	11	76
8	66	11	77
9	67	11	78
10	68	11	79
11	70	11	81
12	72	11	83
13	73	11	84
14	75	11	86
15	75	11	86
16	75	11	86
17	75	11	86
18	74	10	84
19	74	10	84

**Grafica 1.12 Pronóstico Anual de Pasajeros por Avión**



## **1.5 PRONOSTICO DE LA DEMANDA HORARIA**

La estimación de los parámetros de la demanda horaria permiten prever los volúmenes operacionales en los lapsos denominados "Hora Crítica", que a su vez definen en buena medida el dimensionamiento de los principales elementos de las facilidades aeroportuarias.

Para este caso, se contó con los datos recabados en el sitio actual y de las proyecciones de la demanda anual, los que procesados por medio de modelos específicos arrojaron cifras indicativas del movimiento horario crítico.

### **1.5.1 PRONOSTICO HORARIO DE PASAJEROS**

#### **a) Pasajeros Horarios Comerciales**

Se calculan con base en el modelo:

$$y = 0.16 * (x ^ 0.606)$$

donde:

$x$  = Pasajeros anuales comerciales

$y$  = Pasajeros horarios

obtenidos de aforos realizados en aeropuertos mexicanos por la Dirección General de Aeropuertos (DGA).

Otra forma es con base en los coeficientes de ocupación (generalmente se considera el 80%) que aplicados a las operaciones horarias o a las posiciones simultáneas y tipo de avión da como resultado los pasajeros horarios comerciales. También se pueden calcular los pasajeros horarios en base a los coeficientes de hora crítica calculados de una gráfica que proporciona la Federal Aviation Agency (FAA) para calcular las operaciones horarias.

#### **b) Pasajeros Horarios de Aviación General**

Una forma de cálculo es a base del número de pasajeros por avión, de aviación general que a continuación se indica:

Para aeropuertos turísticos:

$$PAG (i) = 3.38 * ((T/79) ^ 8.24)$$

con un máximo de 5.07

Para otros aeropuertos (como en el caso de Lázaro Cárdenas):

$$PAG(i) = 2.57 * ((T/79) ^ 8.24)$$

con un máximo de 5.17,

donde:

$$T = \text{año (i)} - 1900$$

$PAG(i)$  = Pasajeros de aviación general en el año (i) de estudio.

El valor así obtenido se multiplica por las operaciones horarias de aviación general y se obtienen los pasajeros horarios.

Como referencia, en los aforos realizados en el AICM se obtuvo un coeficiente de 0.00051, que al multiplicarlo por los pasajeros anuales de aviación general da pasajeros horarios.

#### **c) Pasajeros Horarios Totales (Comerciales + Aviación General) o Combinados**

Se calcula con base en el modelo obtenido de aforos realizados en aeropuertos mexicanos por la DGA:

$$y = 0.16 * (x ^ 0.606)$$

donde:

$x$  = Pasajeros anuales totales (comerciales + aviación general)

$y$  = Pasajeros horarios totales (comerciales + aviación general)

Así tenemos que al inicio de operación los pasajeros horarios comerciales serán del orden de 163 y los de aviación general 6, con un total combinado de orden de 177, los cuales serán procesados en la misma instalación.

Para el último año de análisis, los valores serán de 317 pasajeros comerciales y 18 de aviación general, con un combinado total de 342, como se muestra en la Tabla No. 1.13 "Pronóstico Horario de Pasajeros".

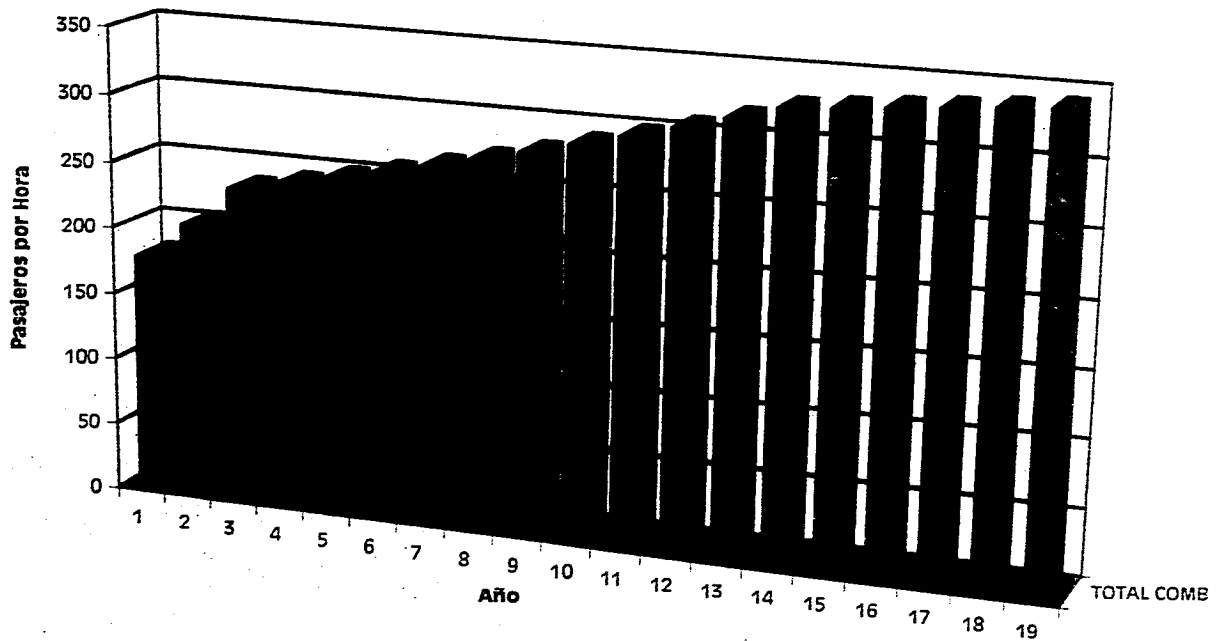
**TABLA 1.13:**  
**\*PRONOSTICO HORARIO DE PASAJEROS LZC\***

AÑO	COMERCIALES	AV. GRAL.	TOTAL COMB
1	163	6	177
2	189	6	204
3	218	7	235
4	224	8	242
5	231	8	250
6	236	9	257
7	245	9	265
8	252	10	273
9	260	11	281
10	268	11	290
11	276	12	299
12	285	13	308
13	294	14	318
14	303	14	327
15	306	15	330
16	308	16	333
17	311	16	336
18	314	17	339
19	317	18	342

**1.5.2 PRONOSTICO HORARIO DE OPERACIONES Y POSICIONES**  
**SIMULTANEAS**

En el caso de las operaciones horarias y las posiciones simultáneas en plataforma, de acuerdo a las consideraciones anteriores su crecimiento será muy discreto y lo único notable será la necesidad de contar con una longitud adecuada de pista y rodaje y de superficie suficiente en plataforma para la operación de aviones turbo reactores del tipo B-727-200, superiores en dimensiones a las que actualmente operan.

**Gráfica 1.13 Pronóstico Horario de Pasajeros**



### a) Operaciones Horarias Comerciales

La Dirección General de Aeropuertos a través de la Oficina de Estadística y Aforos, elaboro un modelo para obtener las operaciones horarias comerciales en función de las operaciones anuales comerciales que se presentaron en diferentes aeropuertos mexicanos y las relacionó con las operaciones horarias comerciales aforadas, en esos mismos aeropuertos, obteniendo la siguiente ecuación que se comporta de acuerdo con la ecuación potencial:

$$y = 0.0142 * (x ^ 0.65)$$

donde:

$x$  = Operaciones comerciales anuales

$y$  = Operaciones horarias comerciales

Existen otras formas para obtener operaciones horarias comerciales, por ejemplo el método analítico que se aplica cuando el aeropuerto corresponde a un área existente y el tránsito respecto al año estudiado es inferior a 300,000 pasajeros/año; para esto es necesario conocer el tipo de avión y las frecuencias del servicio para cada año de servicio.

$$(OP\ CM\ HC)\ (i) = (F\ (i) / 15) * 2 + (N\ (i) / 2) * 2$$

donde:

$(F\ (i) / 15) * 2$  se refiere a las frecuencias de operaciones horarias de aviones grandes en el año  $i$ .

$(OP\ CM\ HC)$  Operaciones comerciales en hora crítica.

Aquí se admite que las operaciones se distribuyen uniformemente entre las horas de apertura del aeropuerto (generalmente 15 horas) y que una frecuencia la constituyen dos operaciones.

El término  $(N\ (i) / 2) * 2$  se refiere a las operaciones de tercer nivel cuyo tránsito corresponde a una clientela local de tal modo que las salidas se concentren por la mañana y las llegadas por la tarde, esto durante dos horas.

Otra forma de cálculo es a base de valores estadísticos entre la razón de tránsito en hora crítica y tránsito anual en porcentaje.



En México todavía no hay estadísticas de este tipo. Por tanto se utiliza la relación establecida por la Federal Aviation Agency (FAA), se utiliza una gráfica, entrando con el tránsito anual de pasajeros comerciales para ubicar el coeficiente de hora crítica, se multiplica (dicho coeficiente obtenido) por las operaciones anuales y por los pasajeros anuales para obtener las operaciones y pasajeros en hora crítica.

Los valores estimados finalmente fueron obtenidos por el modelo de la DGA, ya que representan lo más próximo a la realidad de nuestro país, los cuales se muestran en la Tabla No. 1.14 "Pronóstico Horario de Operaciones".

#### **b) Operaciones Horarias de Aviación General**

Se calculan a base de un coeficiente global de hora crítica con respecto al tránsito anual deducido de análisis estadísticos relativos a la actividad de la aviación general en aeropuertos mexicanos.

Las estadísticas demostraron que el mes crítico corresponde al 10 por ciento del tránsito anual, que el día crítico corresponde al 5 por ciento del tránsito mensual y que la hora crítica corresponde al 14 por ciento del tránsito diario.

#### **c) Operaciones Horarias Totales (Comerciales + Aviación General)**

Se obtienen a base de la ecuación potencial:

$$y = 0.0128 * (x ^ 0.7014)$$

donde:

$x$  = Operaciones anuales totales (comerciales + aviación general)

$y$  = Operaciones horarias totales (comerciales + aviación general)

Obtenidas de valores registrados en los estudios de aforos realizados por la DGA en diferentes aeropuertos de la República Mexicana.

Existen otras formas; una de ellas está basada en estadísticas francesas:

$$OPHC (i) = 0.0185 (OPTOT (i)) ^ 0.65$$

siempre y cuando se cumpla la relación:

$$OPAG (i) / OPTOT < 50\%$$

donde:

*OPHC (i)* = Operaciones horarias comerciales en el año (i) de estudio

*OPAG* = Operaciones de aviación general

*OPTOT* = Operaciones totales (comerciales + aviación general)

Otra forma sería a base de la siguiente fórmula:

$$OPHC (i) = 0.0148 (OPTOT (i)) ^ 0.65$$

siempre que se cumpla la siguiente relación:

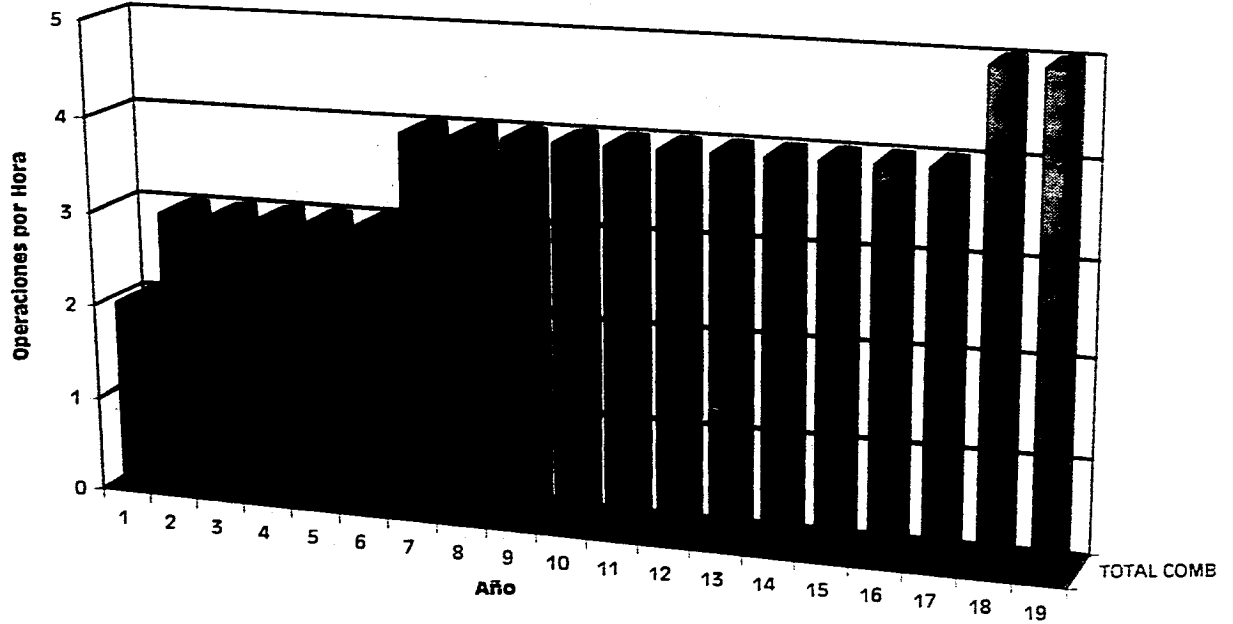
$$OPAG (y) / OPTOT (y) < 50\%$$

En el caso particular para este estudio de factibilidad se decidió usar el método de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), ya que es el más representativo para los aeropuertos de México.

Estos valores obtenidos también se muestran en la Tabla No. 1.14 "Pronóstico Horario de Operaciones".

AÑO	COMERCIALES	AV. GRAL	TOTAL
1	2	1	2
2	2	1	3
3	2	1	3
4	2	1	3
5	2	1	3
6	2	1	3
7	2	1	4
8	3	1	4
9	3	1	4
10	3	1	4
11	3	1	4
12	3	2	4
13	3	2	4
14	3	2	4
15	3	2	4
16	3	2	4
17	3	2	4
18	3	2	5
19	3	2	5

**Gráfica 1.14 Pronóstico Horario de Operaciones**



**d) Posiciones Simultáneas de Aviones en Plataforma de Operaciones Comerciales**

Hay tres procedimientos de cálculo:

1) Con base en datos estadísticos y posiciones simultáneas aforadas, en diferentes aeropuertos mexicanos, la Oficina de Estadística y Aforos ha obtenido una serie de rendimientos por medio de los cuales se obtiene el número de posiciones simultáneas en plataforma; en la Tabla No. 1.14.1, se indican dichos rendimientos.

TABLA 1.14.1	
"RENDIMIENTOS PARA POSICIONES SIMULTANEAS"	
OPERACIONES COMERCIALES	
<i>Fuente:</i> Oficina de Estadísticas y Aforos, México	
PASAJEROS ANUALES	RENDIMIENTO
100 000	40 000 a 60 000
100 000 a 200 000	65 000 a 75 000
200 000 a 500 000	110 000 a 150 000
500 000 a 1 000 000	165 000 a 200 000
1 000 000 a 3 000 000	230 000 a 250 000
3 000 000 a 5 000 000	260 000 a 300 000
5 000 000 a 8 000 000	300 000 a 350 000

Por ejemplo, si se tiene un aeropuerto que mueve 150 000 pasajeros anuales se tendrá un número de posiciones simultáneas igual a:  $150\ 000 / 65\ 000 = 2.3$ , es decir, dos posiciones simultáneas.

Existen otros rendimientos según cada país; por ejemplo, En Francia se utilizan los rendimientos que se muestran en la Tabla No. 1.14.2.

TABLA 1.14.2	
"RENDIMIENTOS PARA POSICIONES SIMULTANEAS"	
OPERACIONES COMERCIALES	
<i>Fuente:</i> Servicio Técnico de Bases Aéreas, Francia	
PASAJEROS ANUALES	RENDIMIENTO
200 000	40 000 a 60 000
200 000 a 700 000	100 000 a 150 000
700 000 a 1 500 000	100 000 a 150 000
500 000 a 1 000 000	150 000 a 250 000

2) Otra forma para determinar el número de posiciones simultáneas es siguiendo el método de la FAA el cual proporciona una gráfica que está en función del número total de pasajeros comerciales anuales de salida (Figura No. 1.4).

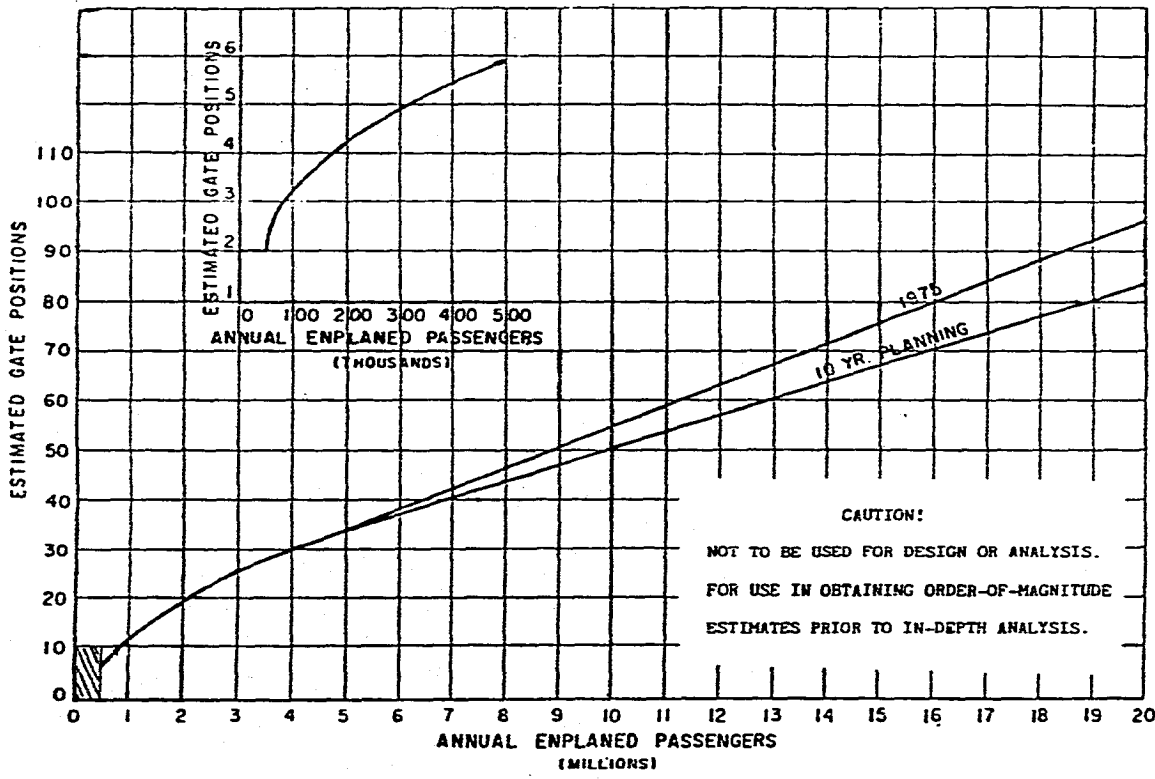


FIGURA 1.4 "GRAFICA DE LA FAA PARA DETERMINAR EL NUMERO DE POSICIONES SIMULTANEAS PARA OPERACIONES COMERCIALES"

El procedimiento para obtener el número de posiciones simultáneas de aviones en plataforma de operaciones comerciales se describe a continuación.

Después de haber obtenido el número total de pasajeros anuales comerciales se dividen estos entre dos, ya que en la gráfica sólo están considerados los pasajeros comerciales de salida; posteriormente se entra a la gráfica con este número y en donde se interseca a la curva, se traza una recta hacia el eje izquierdo y se lee en este eje el número de posiciones simultáneas para la aviación comercial.

3) En Francia por ejemplo se utiliza un método a partir del número de operaciones horarias suponiendo un tiempo medio de escala de 0.75 por hora y una proporción de llegadas del 65 por ciento del total. Bastará multiplicar las operaciones horarias por el tiempo de escala y por la proporción de llegadas para así tener el número de posiciones en plataforma; en vuelos internacionales se consideran escalas de una hora y 65 por ciento de llegadas.

Para el caso específico de la realización de este estudio, se usará el caso 2), debido a que es el procedimiento que más se asemeja al cálculo de las posiciones simultáneas de aviones en plataforma de operaciones comerciales para los aeropuertos mexicanos, incluido dentro de estos el aeropuerto de Lázaro Cárdenas.

#### **e) Posiciones Simultáneas de Aviación General**

El cálculo del número de posiciones se realiza mediante la aplicación de la fórmula siguiente:

$$Ns = 0.35 * no + (No / 800)$$

donde:

$Ns$  = Número de posiciones simultáneas

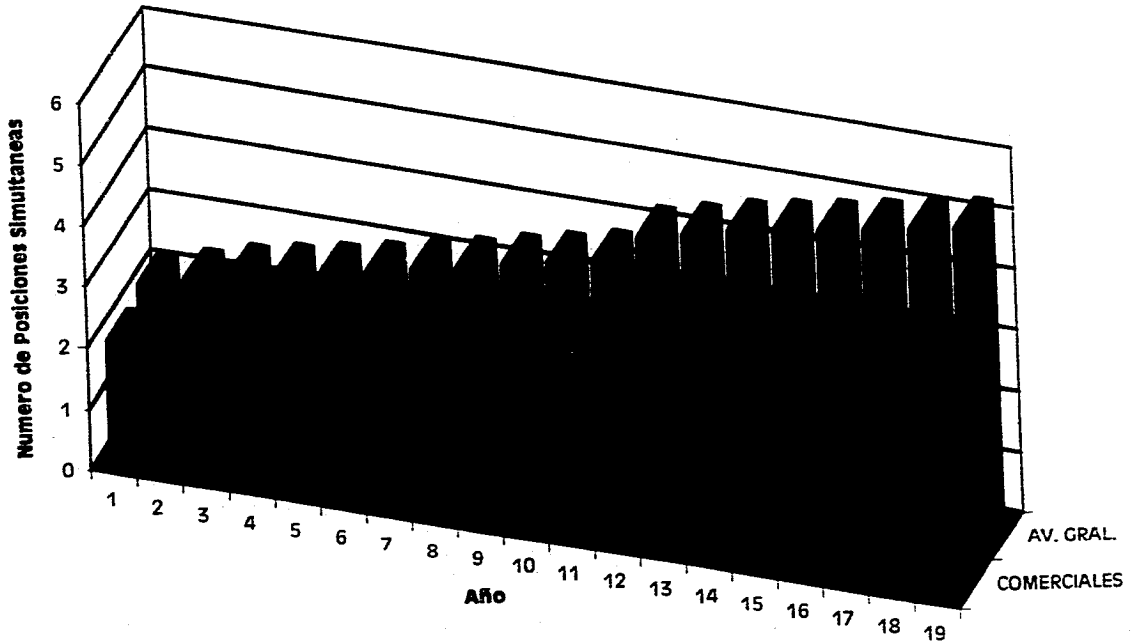
$no$  = Número de operaciones horarias

$No$  = Número de operaciones anuales

Los valores estimados se muestran en la Tabla No. 1.15 "Pronóstico Horario de Posiciones Simultáneas".

TABLA 1.15		
"PRONOSTICO HORARIO DE POSICIONES SIMULTANEAS"		
AÑO	COMERCIALES	AV. GRAL.
1	2	2
2	2	2
3	3	3
4	3	3
5	3	3
6	3	3
7	3	3
8	3	3
9	3	3
10	3	4
11	3	4
12	3	4
13	4	4
14	4	5
15	4	5
16	4	5
17	4	5
18	4	5
19	4	5

**Gráfica 1.15 Pronóstico Horario de Posiciones Simultaneas**





### 1.5.3 PRONOSTICO HORARIO DE VEHICULOS EN ESTACIONAMIENTO

Para la complementación adecuada de los servicios a los pasajeros, se deberá contar con una instalación para albergar a los automóviles que arriben a la terminal aérea, por lo que se ha estimado un volumen de esta variable, en base a la información directa y a indicadores específicos. El número de lugares para estacionamiento de vehículos es de tres tipos: Comerciales, Aviación General y Empleados. Para estos tres tipos existen tres formas diferentes de obtener los datos, los cuales se explican a continuación.

#### **a) Comerciales**

La Dirección General de Aeropuertos (DGA) por medio de la Oficina de Estadística y Aforos realizó en diferentes aeropuertos de la República aforos en los estacionamientos de automóviles y los realizó específicamente para los pasajeros horarios comerciales obteniendo así un coeficiente promedio (de 0.35 a 0.50 lugares/pasajeros horarios) el cual al multiplicarse por los pasajeros horarios da como resultado el número de lugares para estacionamiento de vehículos.

Otra forma para obtener el número de lugares es considerando el coeficiente de 1.5 a 2.0 lugares por pasajero en hora pico. Estos coeficientes sólo se utilizan en países como Estados Unidos y en Europa; para México son valores muy elevados.

#### **b) Aviación General**

Se considera un factor de 800 lugares por cada millón de pasajeros anuales.

#### **c) Empleados**

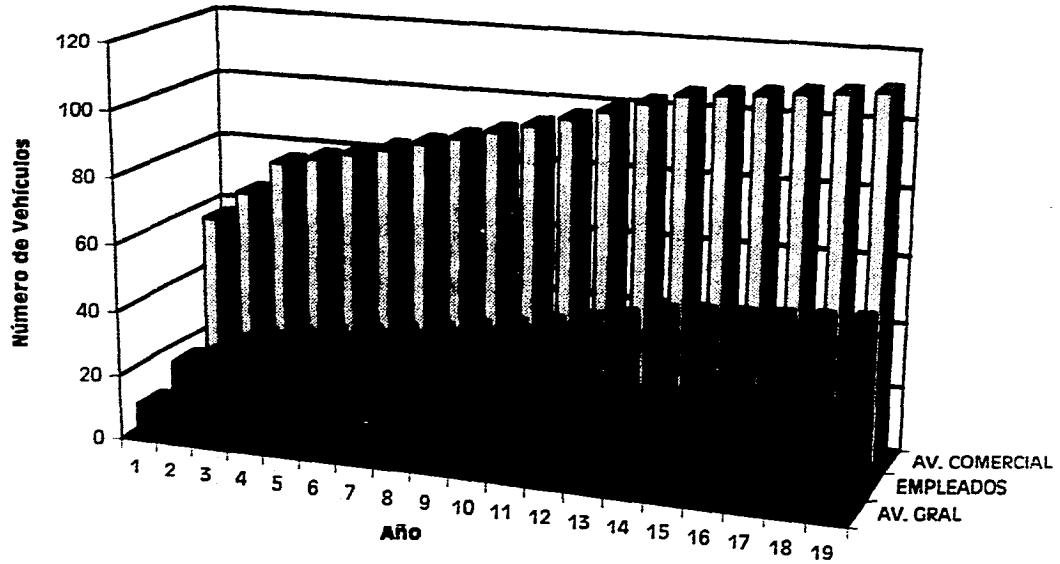
El número de empleados es variable de acuerdo a cada país; en México se consideran 80 empleados por cada 100 000 pasajeros anuales totales.

Para obtener el número de lugares de estacionamiento se considera un factor de 200 a 250 lugares por cada 1000 empleados.

Los datos de los vehículos en hora crítica estimados, se muestran en la Tabla No. 1.16 "Pronóstico Horario de Vehículos en Estacionamiento".

TABLA 1.16				
"PRONOSTICO HORARIO DE VEHICULOS EN ESTACIONAMIENTO"				
AÑO	COMERCIALES	AV. GRAL	EMPLEADOS	TOTAL
1	57	10	17	84
2	66	13	21	100
3	76	16	27	119
4	79	17	28	124
5	81	18	30	128
6	83	19	31	133
7	86	20	33	138
8	88	21	34	143
9	91	22	36	149
10	94	23	38	155
11	97	24	40	161
12	100	25	42	167
13	103	27	44	174
14	106	28	47	181
15	107	28	47	183
16	108	29	48	185
17	109	29	49	187
18	110	30	49	189
19	111	30	50	191

**Gráfica 1.16 Pronóstico Horario de Vehículos en Estacionamiento**



## **CAPITULO II**

### **"OFERTA DE INFRAESTRUCTURA"**

#### **II.1 GENERALIDADES**

**Este capítulo inicia con la descripción de las instalaciones del aeródromo actual, las condiciones en las que se encuentran y los aspectos operativos más relevantes de esta terminal, en base a la demanda que en él se procesa.**

**A continuación se justifica la necesidad para construir un nuevo aeropuerto y en base a esto se dan a conocer las normas internacionales referentes a la disposición, dimensión y características particulares de la infraestructura aeroportuaria, así como mostrar la secuencia lógica de planificación del Aeropuerto de Lázaro Cárdenas.**

**Adicionalmente a la planificación particular de un aeropuerto, es necesario considerar otros factores a nivel de la red aeroportuaria nacional que impactan en el desarrollo de un aeropuerto, tales como las rutas regionales, troncales e internacionales, así como el área de influencia, las perspectivas de la población, la actividad económica de la región y otros factores que se analizaron en el primer capítulo.**

**Posteriormente y en base a la demanda anual y horaria de pasajeros y operaciones definidas en el capítulo anterior "Análisis de la Demanda", se procede a estimar las dimensiones de las instalaciones aeroportuarias necesarias para satisfacerla conforme se vaya incrementando.**

**Para finalizar este capítulo, se realiza la estimación del costo que significaría desarrollar la infraestructura señalada, para cada una de las etapas que comprende el estudio.**

#### **II.2 INSTALACIONES ACTUALES**

##### **II.2.1 ANTECEDENTES**

**Como se indicó en la fase previa, el movimiento operacional que se observa en el aeródromo (clasificado así por la DGAC), es significativo, ya que si estuviese integrado a la Red administrada por ASA, en 1993 hubiera ocupado el lugar número 40 de los 58 aeropuertos de la red federal, por arriba de 18 terminales entre las que se encuentran Puerto Escondido, Guaymas, Nuevo Laredo y Campeche, entre otras.**

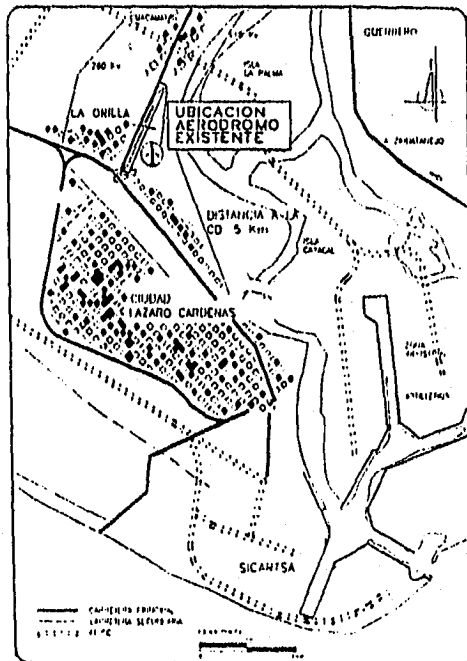
Lo anterior demuestra la importancia del movimiento que ha ido adquiriendo este sitio, a raíz de la operación regular de varias empresas entre las que destaca AEROMAR, la cual realiza vuelos diarios a la Ciudad de México con equipo ATR-42, de 48 plazas y atiende a más del 50% de la demanda generada de esta región.

## II.2.2 UBICACION

El aeródromo actual se localiza en el Sitio denominado "La Orilla", en el kilómetro 110.5 de la carretera federal La Mira-Zihuatanejo, a 5 kilómetros de la Ciudad de Lázaro Cárdenas.

Las coordenadas de ubicación geográfica del aeropuerto son 17°19' de latitud norte y 102°13' de longitud oeste y su superficie es de 28.5 hectáreas.

FIGURA 2.1 "UBICACION DEL AEROPUERTO ESTATAL DE LAZARO CARDENAS, MICHOACAN"



### II.2.3 DESCRIPCION DE INSTALACIONES ACTUALES

Las instalaciones de que se compone el aeródromo actual, se describen a continuación:

#### *a) Zona Aeronáutica*

El aeropuerto cuenta con una pista de 1,500 metros de longitud por 30 metros de ancho, con designación 01-19, construida con pavimento flexible. A finales de 1992 se realizó un encarpelado ligero en toda la longitud de la pista, con un espesor del orden de 3 cm. cuyo costo corrió a cargo en su mayor parte por la Secretaría de Comunicaciones y Obras Publicas (SCOP) del Estado de Michoacán.

Para el estacionamiento de los aviones, se dispone de una plataforma de 66 metros de largo por 42 metros de ancho, integrada a la pista por el lado oeste, sobre la cabecera 01. Esta situación provoca que el estacionamiento y operación de las aeronaves esté fuera de especificación, en lo que se refiere a la separación entre el eje de la pista y algún obstáculo, aún para el caso de los aeródromos.

Para abastecer de combustible (Turbosina), a las aeronaves, se dispone de un hidrante en la plataforma, utilizando para ello un dispensador remolcable.

A las avionetas se les surte combustible por medio de una bomba estacionaria ubicada frente a la zona de combustibles.

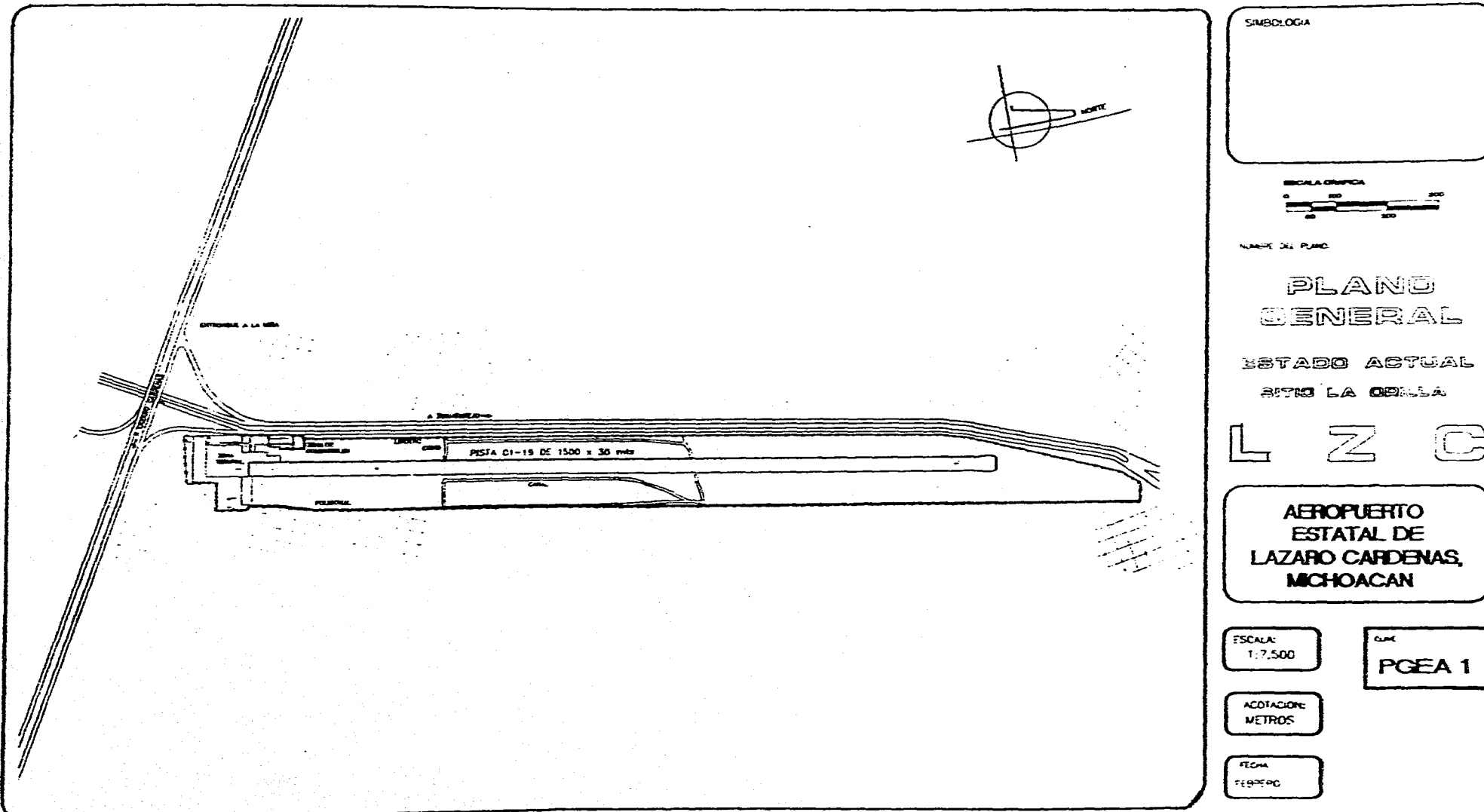
#### *b) Zona Terminal*

La zona terminal se compone de un edificio de aproximadamente 500 m<sup>2</sup>, en la que se ofrecen los servicios de documentación, renta de automóviles, restaurantes y sanitarios.

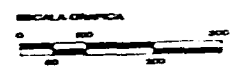
Cerca de la cabecera 01, del lado contrario al edificio terminal, se encuentra un hangar propiedad de SICARTSA, de 24.3 metros de largo por 19.2 de ancho.

No se dispone de estacionamiento para automóviles.

FIGURA 2.2 "AEROPUERTO ESTATAL DE LAZARO CARDENAS, MICHOACAN"



SIMBOLOGIA



NOMBRE DEL PLANO  
**PLANO GENERAL**  
ESTADO ACTUAL  
SITIO LA OBLLA

**L Z C**

**AEROPUERTO ESTATAL DE LAZARO CARDENAS, MICHOACAN**

ESCALA:  
1:7,500

CLAVE  
**PGEA 1**

ACOTACION:  
METROS

FECHA  
FEBRERO

### **II.3 NECESIDAD PARA LA CONSTRUCCION DE UN NUEVO AEROPUERTO**

La construcción de un nuevo aeropuerto para la ciudad de Lázaro Cárdenas es fundamental, ya que el aeropuerto actual no tiene la capacidad para satisfacer ni a la demanda actual y mucho menos a la demanda futura, que como se ha mencionado en esta tesis está incrementándose de manera significativa; sobre todo gracias al proceso de privatización del Puerto de Lázaro Cárdenas y al incremento tanto de producción como de exportación de acero por la Siderúrgica Lázaro Cárdenas-Las Truchas S.A de C.V. (SICARTSA).

SICARTSA es la empresa líder en la fabricación nacional de varilla corrugada (en 1995 produjo un millón 150 mil toneladas y 300 mil toneladas de alambón).

La exportación de varilla corrugada y alambón en 1995 ascendió a 681 mil toneladas, enviándose ésta a 18 países.

En el período 1996-2000 se invertirán 300 millones de dólares que elevarán la producción a dos millones 300 mil toneladas métricas de ambos productos.

Todo esto traerá un incremento significativo tanto de pasajeros como de operaciones.

Entre otras razones, el aeropuerto actual tiene serios problemas de operación ya que por ejemplo no se respetan las zonas libres de obstáculos (las cuales se describirán posteriormente en este capítulo), encontrándose edificios y zonas habitacionales en las inmediaciones del aeropuerto.

Y por último es importante mencionar que la pista actual sólo puede atender aviones pequeños, lo que ha traído como consecuencia la reducción de un volumen significativo de usuarios potenciales.



## **II.4 EL NUEVO AEROPUERTO**

En base a la demanda establecida en la fase anterior y partiendo de la necesidad de contar con una nueva terminal aérea, con características más apropiadas para la atención de la demanda y del equipo de vuelo, en esta parte de este capítulo se describen y dimensionan las facilidades que integrarían a este nuevo aeropuerto.

### **II.4.1 PLANIFICACION GENERAL DEL DESARROLLO DEL AEROPUERTO**

Para evitar que el crecimiento del aeropuerto se dé en forma anárquica y la infraestructura aeroportuaria se desarrolle con deficiencias e interferencias que ocasionen gastos innecesarios, se elabora el Plan Maestro cuyos objetivos son: planificar oportuna y cuidadosamente las ampliaciones de las instalaciones, garantizar mejores y adecuados servicios que permitan satisfacer la demanda de los usuarios, restringir el crecimiento urbano cuidando las áreas de aproximaciones y despegues con el fin de tener un espacio aéreo libre de obstáculos, y finalmente prever reservas de terrenos para futuras implicaciones.

En la planificación de un aeropuerto se deben considerar dos factores igualmente importantes y estrechamente unidos entre sí: por una parte, el aeropuerto debe contar con instalaciones que atiendan en forma segura y eficiente la demanda de tráfico aéreo, necesita buenas comunicaciones por tierra y estar dotado de un sistema interno para la atención de los pasajeros, equipaje y transportes, contar con zonas de mantenimiento, control de tráfico aéreo y protección contra incendios, así como su propia administración y la de las líneas aéreas y concesionarios.

Por otra parte, el servicio aéreo tiene repercusiones directas sobre los alrededores del aeropuerto, siendo de gran importancia el efecto sobre la población por contaminación y la modificación del entorno en su uso del suelo al ubicarse industria y apoyos externos como consecuencia del impacto económico en la región.

La planificación de un aeropuerto se logra a través de un equipo profesional interdisciplinario que abarca entre otros a arquitectos, ingenieros, economistas, sociólogos, urbanistas y ecólogos, los que en base a la demanda de actividad aérea, definen el futuro desarrollo del aeropuerto y su entorno.

Los aeropuertos han ido evolucionando a grandes pasos, tan rápido como la tecnología aeronáutica y se podría decir que han sido paralelos, y una consecuencia del otro.

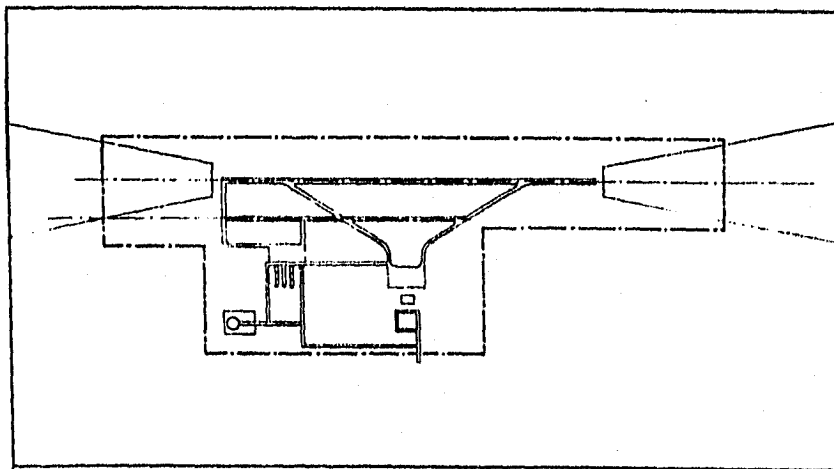
En los inicios de la aviación existían aviones de muy poco peso, gran suspensión alar y poca capacidad, los aeropuertos eran simples pistas de terracería compactada y los servicios al pasajero una pequeña caseta destinada a los servicios.

Con el tiempo los aviones fueron incrementando su velocidad, capacidad y peso que trajo como consecuencia que se adoptaran soluciones adecuadas como mayores longitudes de pista, mayor número de rodajes, y complejidad en la zona terminal, sobre todo en la atención de los pasajeros, equipaje, carga y correo.

En todos los países del mundo existen pequeñas pistas para la operación de aviación ligera, cuya operación está íntimamente ligada al desarrollo económico de la región y a su vez el desarrollo económico de la región, incrementa la actividad aérea. Por lo tanto, una planificación integral ciudad-aeropuerto es la finalidad que debe pretender todo estudio, para evitar incompatibilidad de uso del suelo tanto interno como externo al aeropuerto.

Con el fin de concientizarse sobre las posibilidades de desarrollo de un aeropuerto, se presenta a continuación el esquema propuesto para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas, siendo éste un aeropuerto de corto alcance, el cual servirá de ejemplo para poder familiarizarse con el manejo de términos y normas que se aplican en la planificación de un aeropuerto (Figura No. 2.3).

FIGURA 2.3 "AEROPUERTO DE CORTO ALCANCE"



#### II.4.2 SELECCION DEL SITIO PARA EL AEROPUERTO

Los factores que determinan la localización del aeropuerto son:

- Tendencias en la expansión urbana
- Consideraciones de espacio aéreo y meteorológicas
- Ubicación de los centros generadores de usuarios y empleos
- Compatibilidad con otros aeropuertos
- Uso del suelo
- Posibilidad de disponer de amplias superficies
- Baja perturbación por ruidos a habitantes de la ciudad
- Reducción de riesgos potenciales
- Costo de terrenos
- Inversión en infraestructura para ligar el sitio con la ciudad
- Superficie reservada para el desarrollo del Plan Maestro

Para el análisis es necesario hacer un estudio de campo preliminar, en el cual se contempla el reconocimiento aéreo y el terrestre, obteniéndose de esta manera la información necesaria de los terrenos propuestos.

Después de procesar la información cartográfica, se marcan las posibles opciones de localización de la pista tomando en cuenta los siguientes factores:

- La orientación de la pista
- La topografía y los obstáculos
- La orografía
- La elevación del aeropuerto sobre el nivel del mar
- La aeronave tipo que operará en el aeropuerto y los destinos seleccionados
- Peso máximo de despegue de los aviones
- La dirección y velocidad del viento sobre la superficie
- La pendiente de la pista
- La interferencia (límites ambientales)
- El tipo y categoría de la instalación
- La disponibilidad de los terrenos

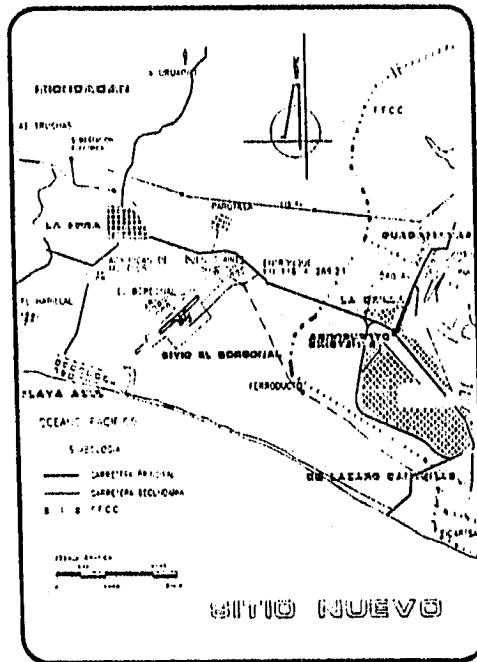
#### II.4.3 SITIO ELEGIDO

Diversos estudios anteriores han analizado y propuesto sitios alternativos para el emplazamiento de un nuevo aeropuerto que permita la operación de aeronaves de turbo-reacción comerciales para la región de Ciudad Lázaro Cárdenas. El sitio finalmente seleccionado para ubicar el nuevo aeropuerto y ratificado por ASA, para efectos de este estudio, se denomina "El Bordonal".

Este sitio se ubica próximo a la localidad del mismo nombre, aproximadamente a 15 kilómetros de la Ciudad de Lázaro Cárdenas y a 5 kilómetros del actual aeródromo. Entre sus características destaca la necesidad de realizar fuertes movimientos de tierra en corte y terraplén (los cuales se han estimado en tres millones de metros cúbicos) por lo accidentado de la orografía, razón por la cual se requerirán importantes inversiones. Sin embargo, la clasificación preliminar del material del terreno indica que será posible que pueda ser aprovechado en forma compensatoria, lo que disminuirá parcialmente el costo de obtención y traslado de las terracerías.

Adicionalmente, la mayor parte de la superficie del sitio seleccionado no es productiva, a diferencia del resto de los sitios alternos analizados, lo que, además de reducir el costo de adquisición de los terrenos, facilitará su obtención.

FIGURA 2.4 "SITIO PARA LA CONSTRUCCION DEL NUEVO AEROPUERTO DE LAZARO CARDENAS, MICHOACAN"



Para emplazar el nuevo aeropuerto, estudios previos han señalado la necesidad de contar con una superficie del orden de 366 hectáreas. De acuerdo a las estimaciones de dimensionamiento analizadas y en base a su representación en un plano topográfico, se considera que la superficie necesaria tanto para el desarrollo contemplado en este estudio, como para la posibilidad de un crecimiento posterior en su caso, será del orden de 260 hectáreas, superficie que se ha utilizado para efectos de costo.

A pesar del crecimiento de la zona, estos terrenos aún se encuentran disponibles a la fecha de la realización de este estudio y es necesario señalar que en el Plan de Desarrollo Urbano de esta región, elaborado por las autoridades estatales, con la participación de las municipales, ya contiene la indicación del uso del suelo como área del nuevo aeropuerto para los mismos. Dado que se encuentra en régimen de propiedad ejidal, será necesario en su momento hacer el trámite de expropiación correspondiente.

## **II.5 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL AEROPUERTO**

Un aeropuerto puede contener desde las más elementales instalaciones como pista, calle de rodaje, plataforma, caseta para equipo de radio y oficinas, estacionamiento, caminos de acceso y cono de vientos o ser un gran complejo aeroportuario.

Con el fin de presentar en forma ordenada las instalaciones con las que contará el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas, se han desglosado y agrupado sus elementos en cuatro zonas.

### **1o.- Zona de Operaciones**

La zona de operaciones, dedicada al movimiento exclusivo de las aeronaves, debe permitir el aterrizaje, despegues y circulación en dicha zona, en ella se localizan los siguientes elementos:

- a) Pista
- b) Calles de Rodaje
- c) Gotas de Retorno
- d) Plataforma de Aviación Comercial
- e) Plataforma de Aviación General
- f) Plataforma de Carga
- g) Infraestructura de Hangares

h) Ayudas Visuales:

- Sistema visual indicador de pendiente de aproximación (PAPI)
- Señalamientos horizontales y verticales
- Cono de vientos

i) Radioayudas:

- Control de tránsito aéreo (torre de control)
- Radio faro omnidireccional (VOR)
- Equipo de radio telemétrico (DME)

**2o.- Zona Terminal**

En esta zona se da atención a los usuarios de los vuelos en itinerario y cuando es necesario se da atención a los vuelos fuera de itinerario (Charter). También se da atención a pasajeros de aviación privada y a compañías comerciales regionales con vuelos de corto alcance.

Consta de los siguientes elementos:

- a) Edificio Terminal
- b) Estacionamiento para Automóviles
- c) Edificio Técnico

**3o.- Zona de Servicios de Apoyo a las Operaciones**

En esta zona se localizan instalaciones como:

- a) Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios (CREI)
- b) Zona de Combustibles
- c) Cercado Perimetral
- d) Torre de Control
- e) Casa de Máquinas
- f) Edificio de Carga

g) Sistema General

h) Sistema CREI

#### 40.- Vialidades

a) Camino de Acceso

b) Camino Perimetral

c) Camino CREI

d) Vialidad Interna

e) Liga de Vialidades de Plataforma

f) Vialidad de Hangares

g) Vialidad a Zona de Combustibles

h) Vialidad a Zona de Carga

i) Vialidad a Zona de Empleados

### **II.6 NORMAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA**

Para poder dimensionar la infraestructura aeroportuaria es necesario conocer las características de funcionamiento y operación así como las normas internacionales que rigen la planificación de los aeropuertos.

También es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Aplicar el pronóstico de la demanda de actividad aérea
- Infraestructura necesaria para atender la demanda
- Dimensionar cada elemento a base de parámetros
- Análisis de la demanda pronosticada y de capacidad de las instalaciones
- Hacer un estudio para la ubicación de cada elemento
- Conocimiento de precios unitarios
- Desarrollo de la etapa operativa para activar la economía
- Conocimiento de los diferentes tipos de avión (tamaño, alcance, capacidad, etc).

## **II.7 DISEÑO DE LA CAPACIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA DEL AEROPUERTO DE LAZARO CARDENAS, MICHOACAN**

### **10.- Zona Aeronáutica**

#### **-Normas para diseñar la Zona Aeronáutica**

Para poder diseñar la zona aeronáutica, es necesario conocer las normas establecidas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) ya que éstas son usadas por un gran número de países y México se encuentra dentro de éstos; dichas normas reglamentan la planificación, construcción, mantenimiento y operación en materia aeroportuaria.

Con este objeto la OACI ha incluido en su anexo 14 tablas que son de gran utilidad para poder diseñar los diversos elementos que constituyen a un aeropuerto, las cuales serán utilizadas en este estudio de factibilidad.

#### **1.1 Pista**

##### **-Ubicación y Orientación de la Pista**

La ubicación y orientación de la pista de un aeropuerto son dos conceptos estrechamente ligados en su proyecto o diseño. El primer paso que se lleva a cabo es el de encontrar la orientación de la pista, por medio de estudios sobre el comportamiento de los vientos en el sitio.

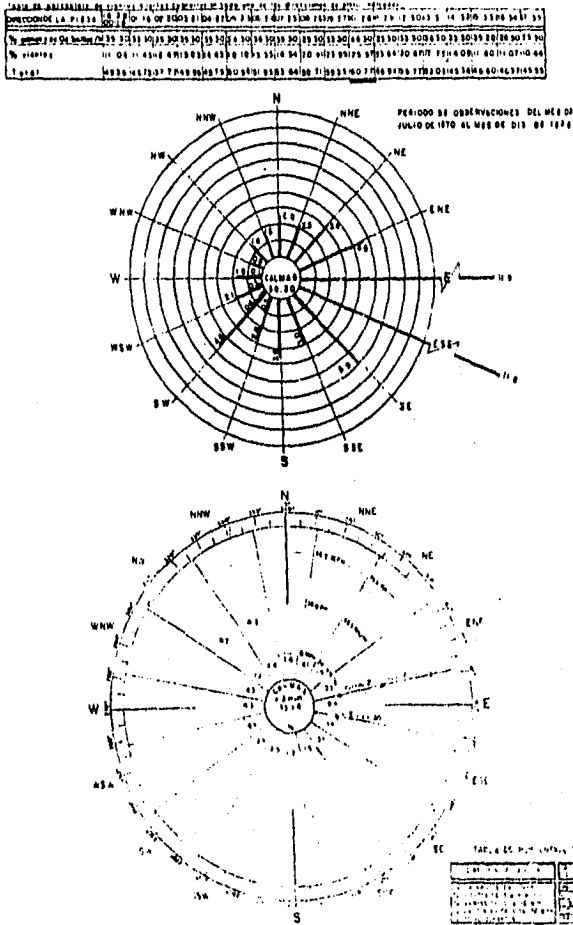
Estos estudios consisten en recabar y evaluar información estadística que se obtiene al medir la intensidad y la dirección predominante de los vientos en el lugar, en por lo menos cinco años. Para hacer este tipo de mediciones se utilizan dos rosas de vientos de 16 direcciones o picos; una para los vientos directos y otra para los vientos cruzados. En éstas se recopila la información del porcentaje de tiempo que predomina un viento para cada dirección y su intensidad.

Una vez que se tiene la información necesaria para determinar la orientación de la pista primero se procede a determinar la dirección en la que predominan los vientos cruzados. El criterio de diseño indica que la dirección va a ser preferente en caso de que ocupe más de 95% de ocurrencia. Si varias direcciones predominan y cumplen con más del 95% de las observaciones en la rosa de vientos cruzados, se procede a determinar la orientación en la rosa de vientos directos. En ésta se va a tomar la dirección que tenga el mayor porcentaje de ocurrencia



En la Figura No. 2.5 se muestran las rosas de vientos tanto para vientos directos como para vientos cruzados.

FIGURA 2.5 "EJEMPLO DE ROSAS DE VIENTOS DIRECTOS Y CRUZADOS PARA DISEÑO"



Después de haber definido la orientación de la pista en función de los estudios de vientos, se procederá a revisar que ésta cumpla con las especificaciones de *espacios aéreos*, tomando en cuenta que se van a presentar obstáculos físicos (cerros, montañas, construcciones).

#### -Espacios Aéreos

Los espacios aéreos son planos imaginarios que delimitan los obstáculos y la actividad aérea en la proximidad de un aeropuerto. Estas superficies delimitadoras están determinadas en normas de la OACI y sirven para darle seguridad a las operaciones aéreas.

Según el anexo 14 de la OACI, los espacios aéreos se clasifican de la siguiente forma:

*-Superficie Horizontal Interna.-* Es la superficie situada en un plano horizontal sobre un aeropuerto y sus alrededores que limita la altura de los obstáculos; ésta se mide sobre un punto de referencia que es el punto del terreno más elevado dentro del aeropuerto.

*-Superficie Horizontal Externa.-* Esta superficie no siempre se especifica, sólo en casos muy especiales de sitios con condiciones operativas difíciles y zonas próximas a zonas habitadas.

*-Superficie de Aproximación.-* Plano inclinado de forma trapezoidal que inicia a partir del borde de la cabecera de la pista y su ancho se incrementa de forma ascendente. Este plano se segmenta en tres secciones con diferente longitud y pendiente.

*-Superficie de Transición.-* Superficie compleja que se extiende a lo largo del borde de la franja y parte del borde de la superficie de aproximación de pendiente ascendente hacia afuera hasta la superficie horizontal interna.

*-Superficie Cónica.-* Superficie de pendiente ascendente que se extiende hacia afuera desde la superficie horizontal interna.

*-Superficie de Ascenso en el Despegue.-* Superficie opuesta a la superficie de aproximación de forma geométrica similar pero con diferentes especificaciones de pendiente y longitud.

En aeropuertos que cuenten con pistas con equipo de aproximación de precisión se tendrán otras superficies como la *Superficie de aproximación Interna*, *Superficie de Transición Interna* y *Superficie de Aterrizaje Interrumpido*.

En las figuras 2.6 y 2.7 se muestran las siguientes superficies: de ascenso en el despegue, de aproximación con umbral desplazado y de aproximación con zona libre de obstáculos, cuando de tiene un aeropuerto con una pista, como es el caso de este estudio de factibilidad para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas.

Para poder conocer las dimensiones de estas superficies es necesario asignar al aeropuerto una clave de referencia, la cual se analizará más adelante para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas.

**FIGURA 2.6 "SUPERFICIE DE ASCENSO EN EL DESPEGUE Y SUPERFICIE DE APROXIMACION CON UMBRAL DESPLAZADO"**

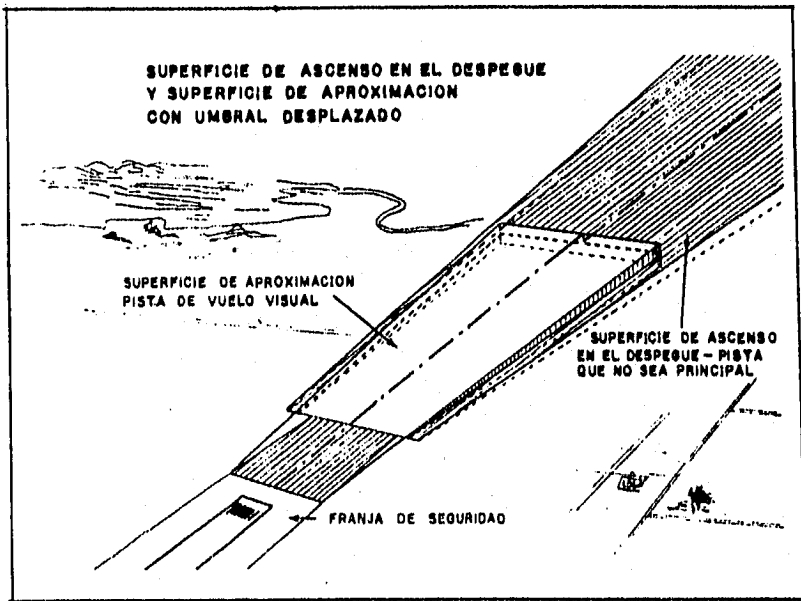
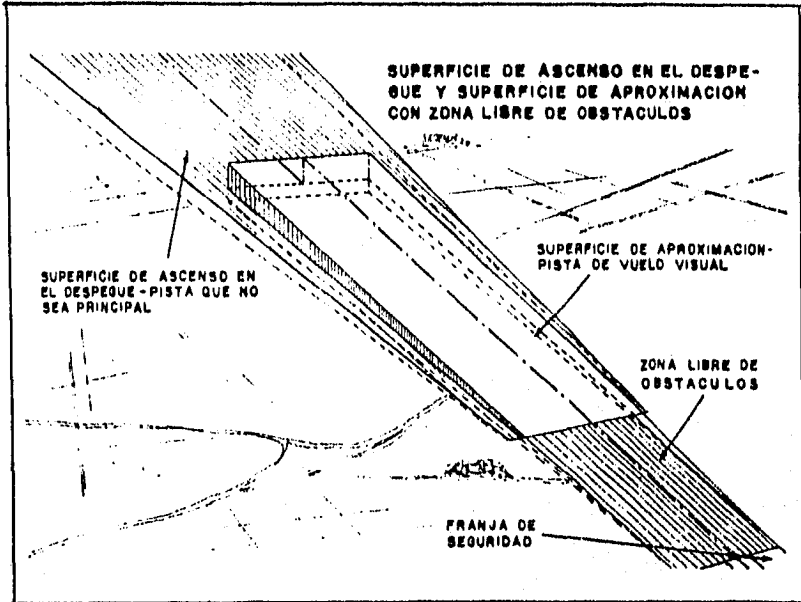


FIGURA 2.7 "SUPERFICIE DE ASCENSO EN EL DESPEGUE Y SUPERFICIE DE APROXIMACION CON ZONA LIBRE DE OBSTACULOS"



### -Equipos de Ayuda para la Navegación

Otro elemento que se considera para determinar las superficies es el tipo de aproximación con la que se guiarán las aeronaves hacia el aeropuerto. El tipo de aproximación depende del equipo de navegación aérea con que se cuente en éste.

Los equipos de ayuda a la navegación son instrumentos que auxilian a las aeronaves en las operaciones, sobretodo en condiciones meteorológicas extremas. El equipo va a depender directamente de la importancia del aeropuerto, en función de la actividad aérea y de la demanda que presente.

Los equipos se describen a continuación:

**-VOR/DME:** Faro electrónico que emite una señal radial que guía a los pilotos, además que les proporciona la dirección y la distancia a la que se encuentran del aeropuerto. Este equipo también se usa para indicar las rutas aéreas, por lo que también se instalan fuera de los aeropuertos.

**-ILS ó MLS:** Equipo electrónico que permita aterrizar por instrumentos a una aeronave. Estos equipos permiten aterrizar en condiciones meteorológicas extremas y de visibilidad mínima. La precisión de estos equipos varía según las necesidades del aeropuerto. Estos equipos son muy costosos y generalmente están instalados en aeropuertos grandes de mucha actividad aérea, como el de la Ciudad de México.

### **-Clasificación de las Pistas según la OACI**

Las pistas se clasifican dependiendo del equipo que éstas utilicen, así se tendrá una *pista de aproximación visual* si no cuenta con ningún equipo de ayuda para la navegación; mientras una *pista de aproximación que no sea de precisión* cuenta con un equipo VOR/DME y una *pista de aproximación de precisión* con un equipo ILS ó MLS.

### **-Especificaciones para la Pista del Aeropuerto de Lázaro Cárdenas**

En base a lo descrito anteriormente se tendrán las siguientes especificaciones para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas.

#### **-Pista: Única**

En el caso del Aeropuerto de Lázaro Cárdenas, para la demanda esperada se estimó que con una pista sería suficiente satisfacer sus necesidades.

**-Características Técnicas de la Pista**

**-Denominación y orientación de la pista: 05-23**

Esta denominación tiene dos números que significan su orientación de acuerdo a la rosa de vientos, cada número significa un rumbo y siempre los dos números van a indicar rumbos opuestos.

La denominación va a ser el valor en grados de los dos rumbos opuestos dividido entre diez. La orientación se mide de 0 a 360 grados, en el sentido de las manecillas del reloj, y el norte siempre se toma como origen.

**-Clasificación de la pista: Aproximación no de precisión**

**-Equipos de ayuda a la navegación: VOR/DME**

**-Dimensiones de la Pista**

La dimensión de la pista está estrechamente relacionada con el tipo de aeronaves que van a operar en ésta influyendo básicamente en su longitud, ancho, tipo y espesor de su pavimento, ya que se diseña de acuerdo a la aeronave más crítica para su operación en el aeropuerto.

Para esto, los fabricantes de aeronaves, proporcionan dentro de los manuales técnicos, las especificaciones de operación de éstas. Dentro de estas especificaciones, se encuentran unas en las que se indica la longitud de la pista que va a requerir para operar la aeronave para ciertas condiciones. Estas condiciones, están relacionadas directamente con la altitud sobre el nivel del mar del aeropuerto y con la temperatura ambiente de éste.

Para tal fin, la OACI presenta una clasificación de aeronaves en la cual se indica el modelo y la longitud de pista mínima necesaria en condiciones óptimas de despegue; asimismo, se indica la distancia entre extremo de las (envergadura) y la separación entre las ruedas del tren principal.

Como ya se mencionó anteriormente, la aeronave que se pretende introducir de forma gradual para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas y que se utilizo para diseño (ya que al inicio del estudio se plantea la operación de equipo similar al que opera en la actualidad, que es el modelo de avión ATR-42) es el modelo de avión Boeing B-727-200 cuya descripción técnica es la siguiente (Figura No. 2.8):

- Envergadura (Distancia entre extremo de alas): 32.92 m
- Longitud de la aeronave: 48.66 m

-Separación entre ruedas del tren principal:	6.9 m
-Altura de cola:	10.24 m
-Peso máximo en plataforma:	78000 kg
-Peso máxima de aterrizaje:	68100 kg
-Peso máximo de despegue:	94350 kg
-Número de asientos:	163
-Capacidad de combustible:	30980 lts
-Longitud de pista de despegue: (en condiciones especiales)	2410 m
-Longitud de pista de aterrizaje:	1550 m
-Velocidad máxima:	917 km/h

Una vez analizadas las características de esta aeronave y las condiciones del sitio, la pista del Aeropuerto de Lázaro Cárdenas se diseñó con las siguientes características:

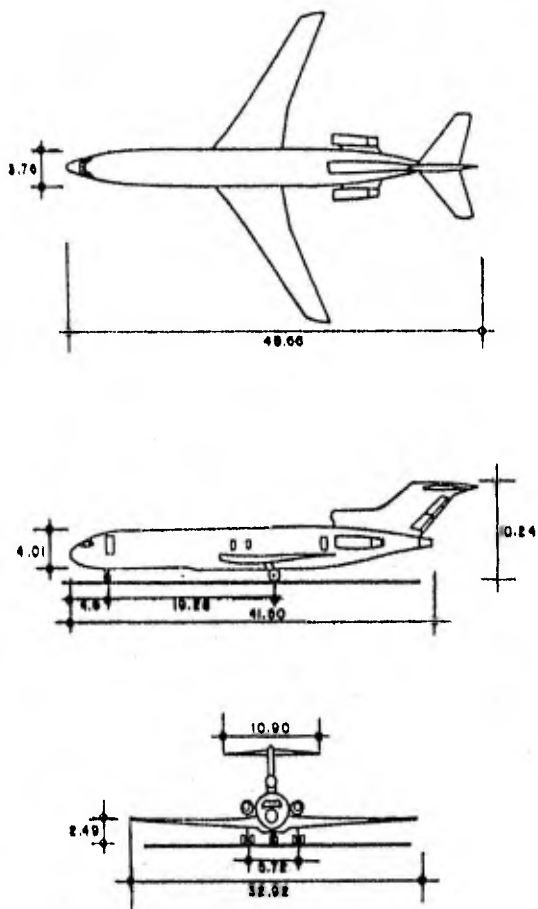
-Longitud de pista: 2,100 m

-Clave de referencia de aeródromos: 4 C

El propósito de clasificar el tipo de aeródromo así como el tipo de avión que opera, es para agrupar las características de un gran número de variables.

La clave de referencia de aeródromos sirve para analizar las necesidades de infraestructura aeronáutica que deberán estudiarse en las demás tablas.

FIGURA 2.8 "DESCRIPCION TECNICA DEL BOEING B-727-200"



Anotaciones en m

PESO MAXIMO EN PLATAFORMA	78 000 kg
PESO MAXIMO DE ATERRIZAJE	66 100 kg
PESO MAXIMO DE DESPEQUE	94 350 kg
NUMERO DE ASIENTOS	163
CAPACIDAD DE COMBUSTIBLE	30 980 L
LONGITUD DE PISTA DE DESPEQUE	2 410 m
LONGITUD DE PISTA DE ATERRIZAJE	1 650 m
VELOCIDAD MAXIMA	917 km/h



La Tabla No. 2.1 está dividida en dos partes, la de la izquierda determina un número de clave (1, 2, 3 y 4) en base a la longitud de pista y la del lado derecho define las claves A, B, C, D y E en base a las características de la aeronave por su envergadura y el ancho exterior entre las ruedas del tren de aterrizaje principal.

Por lo tanto para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas se tendrá la clave 4C, ya que contaría con una pista desde 1800 m de longitud en adelante, de acuerdo a la condición del número de clave 4 para la longitud de campo de referencia del avión; y en donde operaría un modelo de avión B727-200, que cumpliría con ambas condiciones de la letra de clave "C", las cuales son: una envergadura desde 24 m hasta 36 m (exclusive) y un ancho entre ruedas del tren de aterrizaje principal desde 6 m hasta 9 m (exclusive).

**-Ancho de pista: 45 m**

Los anchos de pista están reglamentados por la OACI en la Tabla No. 2.2. Esta tabla especifica los anchos para todos los tipos de pista definidos por el número de clave 1, 2, 3 o 4 y los diversos tipos de avión clasificados por las claves A, B, C, D y E.

TABLA 2.2		*ANCHURA DE PISTAS*				
		Letra de clave				
Número de clave	A	B	C	D	E	
1*	18 m	18 m	23 m	-	-	
2*	23 m	23 m	30 m	-	-	
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-	
4	-	-	45 m	45 m	45 m	

\*La anchura de toda pista de aproximación de precisión no deberá ser menor de 30 metros. Cuando el número de clave sea 1 o 2.

Como se puede observar para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas se tendría una pista de 45 m de ancho para la condición 4C.

TABLA 2.1		"CLAVE DE REFERENCIA DE AERODROMOS"		
<i>Elemento 1 de la clave</i>		<i>Elemento 2 de la clave</i>		
Número de clave	Longitud de campo de referencia del avión	Letra de clave	Envergadura	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal*
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m (exclusive)	Hasta 4.5 m (exclusive)
2	Desde 800 m hasta 1200 m (exclusive)	B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusive)	Desde 4.5 hasta 6 m (exclusive)
3	Desde 1200 m hasta 1800 m (exclusive)	C	Desde 24 hasta 36 m (exclusive)	Desde 6 hasta 9 m (exclusive)
4	Desde 1800 m en adelante	D	Desde 36 m hasta 52 m (exclusive)	Desde 9 hasta 14 m (exclusive)
		E	Desde 52 m hasta 60 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)

\*Distancia entre los bordes exteriores de las ruedas del tren de aterrizaje principal

#### -Pendientes longitudinales y transversales

Para la construcción de la pista se debe de tener un cuidadoso control de las pendientes longitudinales y transversales en ésta, las cuales deben de cumplir con una serie de especificaciones. Estas pendientes sirven principalmente para que se tenga un drenaje adecuado y para que las operaciones aéreas se lleven a cabo con seguridad.

Las especificaciones de pendientes longitudinales y transversales que debe tener la pista son indicadas en función de las claves de pista de la OACI y éstas son las siguientes:

#### -Pendientes longitudinales:

-Relación entre la elevación máxima y la mínima a lo largo del eje de la pista entre la longitud de la pista: **1% máximo**

-Pendiente longitudinal máxima en tramos de la pista:

**1.25% máximo**

Excepto en primero y último cuarto de la longitud de la pista que debe de ser: **0.8%**

-Cambio de pendiente entre dos pendientes consecutivas:

**1.5% máximo**

-La transición de una pendiente a otra deberá ser curva con variación máxima de **0.1%** por cada 30 metros, significa un radio mínimo de 30,000 metros.

-La distancia visible desde cualquier punto a 3 metros por encima de una pista debe ser visible otro punto a 3 metros por encima, dentro de una distancia igual, por lo menos, a la longitud de pista entre 2.

#### -Pendientes transversales:

-Limitaciones de pendiente del bombeo en la carpeta asfáltica:

**1.5% máximo; 1.0% mínimo**

Además la pista debe estar bordeada y delimitada por una serie de áreas que se conocen como *franjas de seguridad*, estas franjas son las superficies anexas a la pista las cuales deben de cumplir con una serie de especificaciones para las cuales deben tener cierto tratamiento o cierto proceso constructivo.

#### -Franjas de seguridad

La pista debe estar bordeada y delimitada por una serie de áreas que se conocen como *franjas de seguridad*, estas franjas son las superficies anexas a la pista las cuales deben de cumplir con una serie de especificaciones para las cuales deben tener cierto tratamiento o cierto proceso constructivo.

-*Longitud.*- Deben ser mayores que la pista o de la "zona de parada" en 60 metros.

-*Anchura.*- Para pistas con y sin aproximación de precisión: 150 metros.

-*Pendiente transversal de franjas.*- 2.5% máximo

-*Nivelación.*- Deberá estar nivelada para que no se dañe el avión en caso de que éste se salga, cuando menos 75 metros a cada lado del eje de la pista.

-*Pendiente longitudinal.*- La parte nivelada: 1.5% máximo

-*Pendiente transversal.*- La parte nivelada: 2.5% máximo

-*Pendiente transversal en toda la franja:* 5% máximo

-*Ancho de las franjas en que debe haber la resistencia necesaria para que no se dañe el avión en caso de que se salga de la pista.*- Aproximación por instrumentos o sin éstos: 75 metros a cada lado del eje de la pista.

#### -Márgenes o Acotamientos

La pista de operaciones deberá de estar delimitada por los siguientes márgenes o acotamientos:

-El ancho total de la pista y los márgenes o acotamientos debe ser 60 metros.

-Estos márgenes deben de soportar el peso de aviones y vehiculos

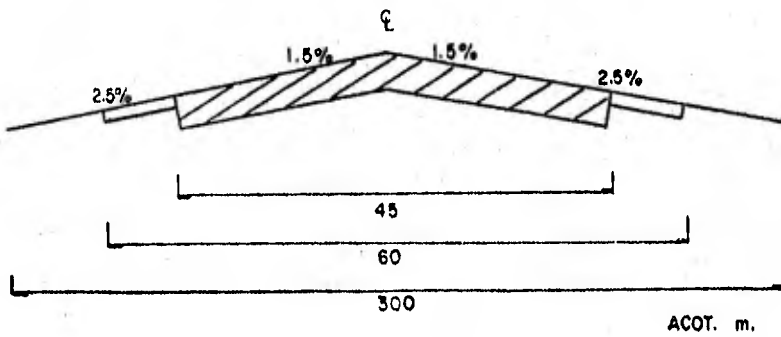
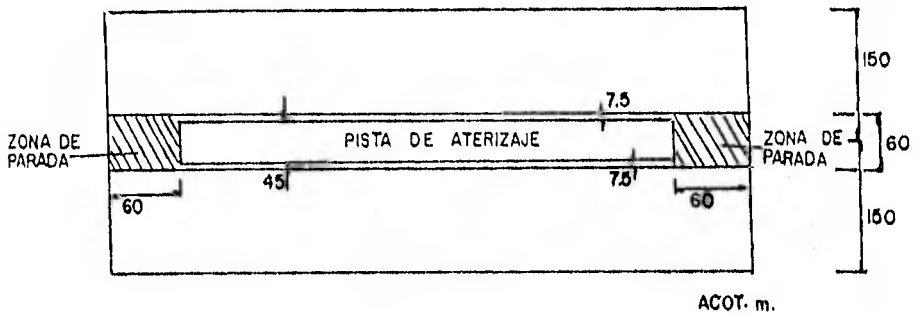
-La pendiente transversal máxima en las franjas laterales contiguas a la pista de aterrizaje deberá ser de 2.5%.

Todas estas delimitaciones de pendientes, franjas de seguridad y de los márgenes o acotamientos corresponden a las pistas de *clave 4* según la clasificación de pistas de la OACI.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

En la Figura No. 2.9 se muestran los márgenes de la pista para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas.

FIGURA 2.9 "MARGENES DE LA PISTA 05-23"



### -Dimensiones y pendientes de las superficies limitadoras de obstáculos de pistas

La Tabla No. 2.3 tiene como objetivo definir las superficies libres de obstáculos, necesarias para garantizar que las aeronaves se aproximen y despeguen con seguridad. Asimismo, se definen las características de la superficie cónica, horizontal interna, aproximación interna, aproximación de transición y transición interna para pistas con aproximaciones visuales, aproximaciones que no son de precisión y aproximación de precisión.

Con esta información es posible definir los linderos del aeropuerto y la separación necesaria entre la pista y los obstáculos físicos y no naturales construidos por el hombre.

Para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas se tendrían las superficies limitadoras de obstáculos correspondientes a un aeropuerto con aproximación que no sea de precisión con número de clave 4. Las dimensiones y pendientes se encuentran desarrolladas en la Tabla No. 2.3.

TABLA 2.3 DIMENSIONES Y PENDIENTES DE LAS SUPERFICIES LIMITADORAS DE OBSTÁCULOS <sup>a</sup> PISTAS DE ATERRIZAJE										
Superficies y dimensiones (a)	Clasificación de las pistas Aproximación Visual				Aproximación que no sea de precisión			Aproximación de precisión		
	Número de clave				Número de clave			Categoría I		Categoría II o III
	1	2	3	4	1,2	3	4	Número de clave	3,4	Número de clave
<b>CONCA</b>										
Pendiente	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Altura	35 m	55 m	75 m	100 m	60 m	75 m	100 m	60 m	100 m	100 m
<b>HORIZONTAL INTERNA</b>										
Altura	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m
Radio	2000 m	2500 m	4000 m	4000 m	3500 m	4000 m	4000 m	3500 m	4000 m	4000 m
<b>APROXIMACIÓN INTERNA</b>										
Anchura	-	-	-	-	-	-	-	90 m	120 m	120 m
Distancia desde el umbral	-	-	-	-	-	-	-	60 m	60 m	60 m
Longitud	-	-	-	-	-	-	-	900 m	900 m	900 m
Pendiente	-	-	-	-	-	-	-	2.50%	2%	2%
<b>APROXIMACIÓN</b>										
Longitud del borde interior	60 m	80 m	150 m	150 m	150 m	300 m	300 m	150 m	300 m	300 m
Distancia desde el umbral	30 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m
Divergencia (a cada lado)	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
<b>Primera sección</b>										
Longitud	1600 m	2500 m	3000 m	3000 m	2500 m	3000 m	3000 m	3000 m	3000 m	3000 m
Pendiente	5%	4%	3.33%	2.50%	3.33%	2%	2%	2.50%	2%	2%
<b>Segunda sección</b>										
Longitud	-	-	-	-	-	3600 m (b)	3600 m (b)	12000 m	3600 m (b)	3600 m (b)
Pendiente	-	-	-	-	-	2.50%	2.50%	3%	2.50%	2.50%
<b>Sección horizontal</b>										
Longitud	-	-	-	-	-	8400 m (b)	8400 m (b)	-	8400 m (b)	8400 m (b)
Longitud total	-	-	-	-	-	15000 m	15000 m	15000 m	15000 m	15000 m
<b>DE TRANSICIÓN</b>										
Pendiente	20%	20%	14.30%	14.30%	20%	14.30%	14.30%	14.30%	14.30%	14.30%
<b>DE TRANSICIÓN INTERNA</b>										
Pendiente	-	-	-	-	-	-	-	40%	33.30%	33.30%
<b>SUPERFICIE DE ATERRIZAJE</b>										
<b>INTERRUMPIDO</b>										
Longitud del borde interior	-	-	-	-	-	-	-	90 m	120 m	120 m
Distancia desde el umbral	-	-	-	-	-	-	-	(d)	1800 m (c)	1800 m (c)
Divergencia (a cada lado)	-	-	-	-	-	-	-	10%	10%	10%
Pendiente	-	-	-	-	-	-	-	4%	3.33%	3.33%

(a) Salvo indicación contraria, todas las dimensiones se miden horizontalmente  
(b) Longitud variable  
(c) O distancia hasta el extremo de la pista, si esta distancia es menor  
(d) Distancia desde el extremo de la franja

### **-Etapas Constructivas para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas**

En la estimación de costos para el nuevo Aeropuerto de Lázaro Cárdenas (la cuál se desarrollará en forma posterior, al final de este capítulo), sugiero la construcción del aeropuerto en dos etapas, estando estas etapas estrechamente ligadas con el incremento gradual de la demanda.

La *primera etapa* estaría en función de la demanda actual (Año 1), mientras que en la *segunda etapa* se estaría satisfaciendo a la demanda futura (Año 10).

Las inversiones para la *primera etapa* deberán de realizarse en el Año 0, mientras que las correspondientes a la *segunda etapa* deberán de realizarse en el Año 9.

Tanto las demandas actuales como las futuras (hasta el año 19), fueron analizadas y obtenidas en el capítulo anterior "Demanda del Transporte Aéreo".

Por lo descrito en los párrafos anteriores, la pista del Aeropuerto de Lázaro Cárdenas sería construida en la *primera etapa*,

#### **1.2 Calles de Rodaje**

Las calles de rodaje sirven para comunicar la pista con el área de estacionamiento de los aviones; ya sea el caso de la zona de hangares para la aviación general, o la plataforma central de operaciones para el caso de la aviación comercial.

El diseño de las calles de rodaje es determinado por el volumen del tráfico aéreo, la configuración de la pista de aterrizaje y de la localización del edificio terminal respecto a la pista. La OACI y la FAA tienen sus respectivas reglamentaciones para su diseño.

Dentro de su diseño, las calles de rodaje deben de cumplir con los siguientes requisitos para que operen eficientemente:

- 1o.- No deben facilitar el acceso del público a las áreas operativas.
- 2o.- Las aeronaves que circulen en ellas no deben interferir las ayudas a la navegación.
- 3o.- Todas las partes de las calles de rodaje deben ser visibles desde la torre de control.
- 4o.- No debe permitir que las aeronaves que circulen en ellas provoquen daños a las personas, vehículos o estructuras.



La geometría de las calles de rodaje es variable en cuanto a las necesidades del aeropuerto.

Una vez analizados los requisitos de las calles de rodaje descritos anteriormente, para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas se plantearía construir dos calles de rodaje, siendo éstas diseñadas con la siguiente geometría:

**-Geometría de las calles de rodaje; Inclınadas**

**-Dimensión calle de rodaje A:** 394\*23 m

**-Dimensión calle de rodaje B:** 394\*23 m

En cuanto a las etapas de construcción, la calle de rodaje A, sería construida en la primera etapa, mientras que la calle de rodaje B se construiría en la segunda etapa.

**-Dimensión calle de rodaje hangares:** 65\*18 m  
(primera etapa) (Año 1)

**-Dimensión calle de rodaje hangares:** 60\*18 m  
(segunda etapa) (Año 10)

**-Distancias mínimas de separación de las calles de rodaje:**

Los anchos de calle de rodaje también están reglamentados por la OACI (Tabla No. 2.4) y se ha considerado para dimensionar estos anchos, la separación entre el tren de proa y el centro geométrico de aterrizaje principal. El ancho mínimo de calle de rodaje en las partes rectas es de 7.5 m y el máximo de 23 m.

Letra de clave	Anchura de la calle de rodaje
A	7.5 m
B	10.5 m
C	15 m, si la calle de rodaje está prevista para aviones con base de ruedas inferior a 18 m
	18 m, si la calle de rodaje está prevista para aviones con base de ruedas igual u superior a 18 m
D	18 m, si la calle de rodaje está prevista para aviones cuya distancia entre las ruedas exteriores del tren de aterrizaje principal sea inferior a 9 m
	23 m, si la calle de rodaje está prevista para aviones cuya distancia entre las ruedas exteriores del tren de aterrizaje principal, sea igual o superior a 9 m
E	23 m

Teniendo para nuestro aeropuerto en estudio dos posibilidades de acuerdo a la letra de clave C:

- 1) 15 m, si la calle de rodaje está prevista para aviones con base de ruedas inferior a 18 m.
- 2) 18 m, si la calle de rodaje está prevista para aviones con base de ruedas igual o superior a 18 m.

Al tener nuestro avión tipo (B-727-200) una base de ruedas superior a 18 m (19.28 m), lo recomendado por la OACI sería escoger el ancho de la calle de rodaje de 18 m, pero al tener como máximo un ancho de 23 m en las partes rectas, este será el ancho para las calles de rodaje principales, mientras que las calles de rodaje de los hangares respetarán la separación recomendada por la OACI.

Con el fin de contar con terreno suficiente, en el Plan Maestro se ubican las calles de rodaje paralelas que en un futuro pudieran requerirse, para satisfacer la demanda.

La distancia mínima de separación entre el eje de una calle de rodaje y el eje de otra calle de rodaje o el eje de una pista no deberá ser menor que las dimensiones especificadas en la Tabla No. 2.5.

Por lo tanto de acuerdo a lo descrito en el párrafo anterior para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas se tendría una distancia entre el eje de una calle de rodaje y el eje de otra calle de rodaje de 46.5 m; entre el eje de una calle de rodaje que no sea calle de acceso a un puesto de estacionamiento de aeronaves y un objeto de 28.5 m, y entre el eje de una calle de acceso a un puesto de estacionamiento de aeronaves y un objeto de 24.5 m. Como se observa en la misma Tabla No. 2.5, para la clave en estudio (4C), no se especifica la distancia entre el eje de una calle de rodaje y el eje de una pista.

### **1.3 Gotas de Retorno**

La pista cuenta en ambos extremos con unas zonas que tienen la función de permitir a las aeronaves maniobrar de forma que puedan dar la vuelta 180 grados para facilitar las operaciones aéreas; estas zonas reciben el nombre de "Gotas de retorno", tienen una forma semicircular y el semicírculo inicia a partir del borde de la pista rematando en las esquinas. Estos semicírculos tienen un radio de 30 metros que se conjuntan con los 45 metros de ancho de pista y están diseñados para que opere el B-727-200.

**-Número de Gotas de Retorno: 2**

**-Área de Gotas de Retorno: 3,832.0 m<sup>2</sup>**

TABLA 2.5 "DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEPARACIÓN DE LAS CALLES DE RODAJE"														
Distancia entre el eje de una calle de rodaje y el eje de una pista, en m									Distancia entre el eje de una calle de rodaje y el eje de otra calle de rodaje		Distancia entre el eje de una calle de rodaje que no sea calle de acceso a un puesto de estacionamiento de aeronaves y un objeto		Distancia entre el eje de la calle de acceso a un puesto de estacionamiento de aeronaves y un objeto	
Letra de clave	Pistas de vuelo por instrumentos				Pistas de vuelo visual									
	Número de clave				Número de clave				rodaje		objeto		y un objeto	
	1	2	3	4	1	2	3	4	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
A	82.5	82.5	-	-	37.5	47.5	-	-	21	13.5	12	12	12	12
B	87	87	-	-	42	42	-	-	31.5	19.5	16.5	16.5	16.5	16.5
C	-	-	168	-	-	-	93	-	46.5	28.5	24.5	24.5	24.5	24.5
D	-	-	176	176	-	-	101	101	68.5	42.5	36	36	36	36
E	-	-	-	180	-	-	-	105	78.5	46.5	40	40	40	40

Para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas se construirían dos gotas de retorno, ubicadas en cada uno de los extremos de la pista. Se planea la construcción de éstas en la *segunda etapa* (Año 10).

Después de haber dimensionado la pista, las calles de rodaje y las gotas de retorno se procede a continuación a calcular en forma teórica la capacidad de este sistema (pista-calles de rodaje), para saber el número máximo de operaciones que el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas puede aceptar durante un intervalo de tiempo específico.

#### **-Capacidad del Sistema Pista-Calles de Rodaje**

Para poder analizar cada uno de los elementos que integran el aeropuerto es necesario conocer las características específicas de cada elemento; es decir, para analizar por ejemplo la pista se tiene que conocer la capacidad, la cual está en función del tipo de avión que opere, de la mezcla de salidas que se tengan (calles de rodaje) así como la disposición de éstas, las cuales deben ubicarse tomando en consideración los vientos dominantes, por ser estos los que afectan los aterrizajes y despegues.

Para analizar este elemento también es necesario conocer el pronóstico de operaciones horarias, el cual indica los tipos de avión que operarán y la combinación de éstos. Para ese fin se presenta a continuación una clasificación de aviones de acuerdo al tiempo de utilización de pista.

Dentro de la categoría I se encuentran los aparatos de gran envergadura y fuselaje ancho con gran capacidad de carga. Estos aviones están dotados de grandes turborreactores que provocan turbulencias considerables en las operaciones de aterrizajes y despegues.

Algunas de estas aeronaves son el B-747, DC-10, L-1011 y A-300.

En la categoría II se encuentran los aviones de peso máximo al despegue superior a las 40 toneladas, entre ellos el B-707, B-722, B-737, DC-8, DC-9, BAC-111 y L-100.

En la clasificación de la categoría III se encuentran las aeronaves con turbo-propulsión o con reactores de peso máximo al despegue hasta de 40 toneladas. Entre ellos, el Mystere 20, 30, 40; Fokker 27, 28, 614; Antonov 24; HS 145; Bréguet 763, 765; y Yack 40.

En la categoría IV se encuentran los aparatos de pistones equipados para realizar aproximaciones con instrumentos (IFR). En esta clasificación se encuentran los aviones Nord 262 y Beech 99.

Finalmente en la categoría V se incluyen los aparatos más comúnmente utilizados en la aviación general; en esta clasificación se han considerado aquellos equipos que solamente pueden operar visualmente o con señalamiento especial (VFR).

Con objeto de poder analizar en *forma teórica* la capacidad de la pista, se ha ideado combinar los diversos tipos de avión como se muestra en la Tabla No. 2.6 en donde se puede observar que están los cuatro tipos de categorías indicadas en porcentaje y a un lado cuatro poblaciones denominadas P1, P2, P3 y P4.

TABLA 2.6 "COMBINACIÓN DE AVIONES"

I en %	II en %	III en %	IV en %	
0	30	40	30	Población 1 (P1)
0	50	30	20	Población 2 (P2)
0	70	20	10	Población 3 (P3)
20	50	20	10	Población 4 (P4)

En el caso particular en estudio para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas, al tener como avión tipo el modelo Boeing B-727-200, se estaría manejando la categoría II y operando éste en un 50 por ciento, teniendo que el resto de los aviones que operarían serían de categorías III y IV (con un 30 y 20 por ciento de operación respectivamente), se tendrá, según la Tabla No. 2.6 una Población 2 (P2).

Para determinar la capacidad del sistema pista-rodaje, es necesario conocer la longitud de la pista, la ubicación de la salida o calle de rodaje y la dirección del viento. Estas características servirán para observar su comportamiento en las configuraciones 1 al 24 de pista y calle de rodaje que se muestra en la Figura No. 2.10.

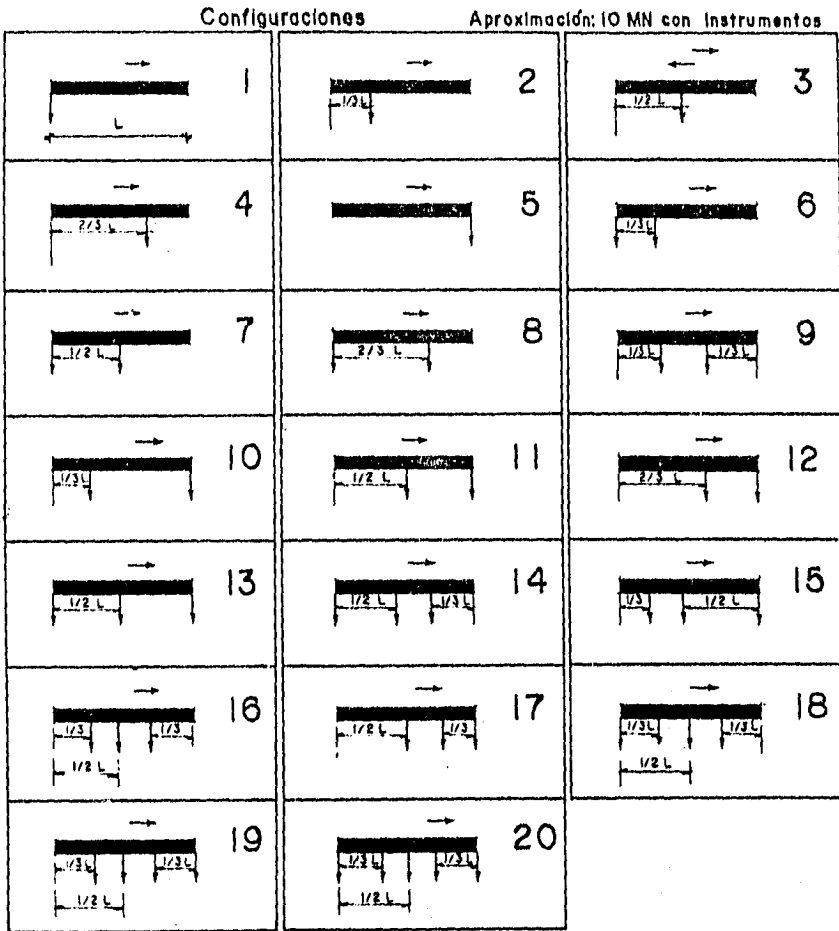
En la parte superior de cada configuración hay un recuadro que indica con una flecha el sentido de la operación de la aeronave, así como la calle de rodaje en el extremo de la pista, señalada con una línea gruesa.

En las configuraciones mencionadas se incluyen cuatro longitudes de pista: 3500 m, 3000 m, 2500 m y 2000 m.

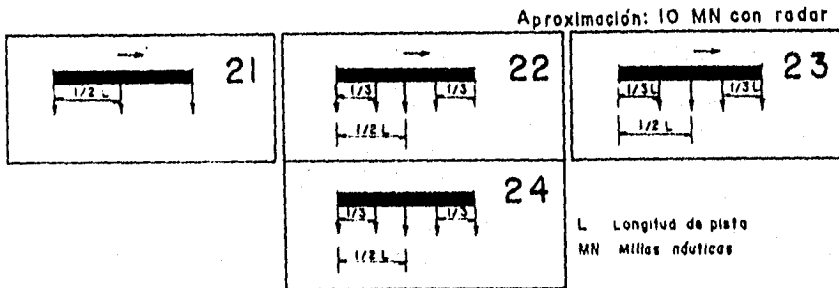
Para poder analizar la información correspondiente a la longitud de pista seleccionada se deberá tomar en cuenta el porcentaje de aterrizajes y despegues que aparece en el sentido horizontal con cifras correspondientes al 30, 40, 50, 60 y 70 por ciento y en el sentido vertical en porcentajes de operación por instrumentos o visual en cifras correspondientes al 0, 20 y 50 por ciento.

Para la pista del Aeropuerto de Lázaro Cárdenas se tendría una configuración similar a la #9 (Figura No. 2.11), con una longitud de pista de 2100 metros, una población P2 y un 50 por ciento de aterrizajes visuales y un 50 por ciento por instrumentos se tendrá un valor igual a 21 operaciones por hora.

FIGURA 2.10 "CONFIGURACIONES DE PISTA Y CALLES DE RODAJE"

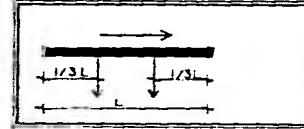


LAS FLECHAS INDICAN LA CANTIDAD Y POSICION DE LAS SALIDAS DE PISTA, ASI COMO LA CONFIGURACION



L Longitud de pista  
MN Millas náuticas

# CONFIGURACION 9



POBLACION	% Atarri.		LONGITUD DE PISTA														
			3500 m					3000 m					2500 m				
			30	40	50	60	70	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
IFR	VFR																
P1	100	0%	18	18	18	18	19	18	18	18	18	19	14	14	14	15	15
P1	80	20%	21	21	21	21	22	21	21	21	22	22	16	17	17	17	17
P1	50	50%	27	27	27	28	28	28	28	28	29	22	23	23	23	24	
P2	100	0%	14	15	16	16	17	15	15	16	17	17	13	13	13	13	13
P2	80	20%	17	18	18	19	20	18	18	19	19	20	15	15	15	15	15
P2	50	50%	23	24	24	25	26	24	24	25	26	27	20	20	21	21	21
P3	100	0%	12	12	14	15	16	13	13	14	15	16	12	12	12	12	12
P3	80	20%	15	15	16	17	18	15	16	17	18	19	14	14	14	14	14
P3	50	50%	20	21	22	22	25	21	22	23	24	25	19	19	19	19	19
P4	100	0%	12	13	14	15	16	12	13	13	14	14	12	12	12	12	12
P4	80	20%	15	15	16	17	18	14	15	15	16	17	14	14	14	14	14
P4	50	50%	20	21	22	23	24	20	20	21	22	22	18	18	18	18	18

FIGURA 2.11 "CONFIGURACIÓN DE PISTA PROPUESTA PARA EL AEROPUERTO DE LAZARO CARDENAS"

## 1.4 Plataformas

La plataforma es un área destinada para el estacionamiento de aeronaves.

Existen diversos tipos de plataformas en función del uso que éstas tengan. Los principales tipos de plataformas son:

1) *Plataformas para la Aviación Comercial o de Operaciones*: son las destinadas al movimiento de pasajeros y están ubicadas frente al edificio terminal.

2) *Plataformas para la Aviación General*: son en las que se estacionan generalmente aviones pequeños, de particulares, taxis aéreos, escuelas, etc.

3) *Plataforma de Carga*: son las destinadas al manejo de carga aérea.

4) *Hangares de Mantenimiento (Infraestructura de Hangares)*: en los hangares de mantenimiento se cuenta con plataformas destinadas a dar servicio a las aeronaves ya sea de mantenimiento o de compostura.

5) *Plataforma de Estacionamiento o de Pernocta*: en estas plataformas se permite tener estacionadas a las aeronaves cuando no van a realizar ninguna actividad.

### 1.4.1 CAPACIDAD DE PLATAFORMAS DE AVIACIÓN COMERCIAL

Las plataforma más importantes en un aeropuerto destinado al uso de la aviación comercial son las plataformas de operaciones o de aviación comercial; el dimensionamiento de éstas es de gran importancia para el proyecto aeroportuario.

#### a) Requerimientos

- Población de aviones y tipo de avión
- Características de operación de las aeronaves
- Número de posiciones simultáneas en hora crítica
  
- Indicadores por tipo de avión:
  - Entrada y salida por propio impulso, incluyendo circulaciones:
    - 5400 m<sup>2</sup>: Avión pequeño hasta B-727
    - 7000 m<sup>2</sup>: Avión mediano hasta DC-10
    - 8500 m<sup>2</sup>: Avión grande hasta B-747



-Entrada por propio impulso y salida con tractor, incluyendo circulación:

- 5000 m2: Avión pequeño hasta B-727
- 6000 m2: Avión mediano hasta DC-10
- 7500 m2: Avión grande hasta B-747

- Normas del anexo 14 OACI
- Características constructivas de la plataforma

***b) Procedimiento***

- Multiplicar el número de aviones por su índice o indicador.
- Utilizando normas OACI se procede a conocer los márgenes de separación en las plataformas, cuyo desarrollo se explica a continuación:

-Márgenes de separación en las plataformas: 4.5 m

Al analizar la plataforma, se deberán considerar las separaciones entre una aeronave y otra aeronave y los obstáculos que se encuentren en dicha plataforma o cerca de ésta.

Un puesto de estacionamiento de aeronaves deberá proporcionar los siguientes márgenes mínimos de operación entre la aeronave que utilice el puesto y cualquier estacionamiento u otros objetos adyacentes. Según la Tabla No. 2.7, para el caso de Lázaro Cárdenas, con una letra de clave C, se tendría un margen de 4.5 m.

Letra de clave	Márgen
A	3 m
B	3 m
C	4.5 m
D	7.5 m
E	7.5 m

De presentarse circunstancias especiales que lo justifiquen, estos márgenes pueden reducirse en los puestos de estacionamiento de aeronaves con la proa hacia adentro, cuando la letra de clave sea D o E.

***NOTA:*** En las plataformas también deben tomarse en consideración las calles de servicio y zonas para maniobras y depósito de equipo terrestre.

Para el estacionamiento de una aeronave que se sepa o se sospeche esté siendo objeto de indiferencia ilícita o que por otras razones necesita ser aislada de las actividades normales del aeródromo, se designará un puesto de estacionamiento aislado para aeronaves o se informará a la torre de control del aeródromo de un área o áreas adecuadas.

### c) Desarrollo

Tomando en cuenta que para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas el tipo de avión es el B-727-200, y que tanto la entrada como la salida la realizará por su propio impulso, se necesitarán 5400 m<sup>2</sup> para cada aeronave en plataforma (incluyendo circulaciones).

Y de acuerdo con el número de *posiciones simultáneas horarias* (las cuales se obtuvieron en función de los pasajeros horarios y operaciones horarias) obtenidas en el Capítulo I "Demanda del Transporte Aéreo" (Tabla No. 1.15), se procede a determinar el área de la plataforma de aviación comercial.

*Primera Etapa (Año 1): 2 posiciones simultáneas*

*Segunda Etapa (Año 10): 3 posiciones simultáneas*

Al multiplicar el número de posiciones simultáneas (2) por el área que necesita la aeronave en estudio (5,400 m<sup>2</sup>), se obtiene el área de la plataforma de aviación comercial (10,800 m<sup>2</sup>) para la *primera etapa* (año 1); mientras que para la *segunda etapa* (año 10) al tener una posición simultánea adicional (3 en total), será necesario hacer una ampliación a la plataforma de 5,400 m<sup>2</sup>, teniendo en total un área de 16,200 m<sup>2</sup>.

-Área de Plataforma de Aviación Comercial: 11,700 m<sup>2</sup>

Dimensiones: 130 \* 90 m

(*primera etapa*) (Año 1)

-Área de Plataforma de Aviación Comercial: 4,500 m<sup>2</sup>

Dimensiones: 50 \* 90 m

(*segunda etapa*) (Año 10)

## 1.4.2 CAPACIDAD DE PLATAFORMA DE AVIACIÓN GENERAL

### a) Requerimientos

- Tipo de aeronave y porcentaje
- Número de posiciones simultáneas en hora crítica
- Características de operación por aeronave
- Normas del anexo 14 OACI
- Características constructivas de la plataforma

b) Procedimiento

Se multiplica el número de aeronaves por el índice determinado.

Se revisan las normas OACI.

c) Desarrollo

Tomando en cuenta que el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas contará con una plataforma para la aviación general la cual dará servicio a diversos modelos de avionetas, se estima que cada aeronave en plataforma necesitará aproximadamente de 1,575 m<sup>2</sup>.

Como ejemplo de una aeronave tipo que pudiera utilizar esta plataforma se encuentra el modelo de avión Cessna Titan 404 con las siguientes especificaciones técnicas:

-Envergadura (Distancia entre extremo de alas): 14.10 m

-Longitud mínima de pista. 721 m

Y de acuerdo con el número de *posiciones simultáneas en hora crítica* (las cuales se obtuvieron en función de los pasajeros horarios y operaciones horarios) obtenidas en el Capítulo I "Demanda del Transporte Aéreo" (Tabla No. 1.15), se procede a determinar el área de la plataforma de aviación general.

*Primera Etapa* (Año 1): 2 posiciones simultáneas

*Segunda Etapa* (Año 10): 4 posiciones simultáneas

Al multiplicar el número de posiciones simultáneas para la *primera etapa* (Año 1), 2 por el área que necesita la aeronave en estudio (1,575 m<sup>2</sup>), se obtiene el área de la plataforma de aviación general (3,150 m<sup>2</sup>) mientras que para la *segunda etapa* (Año 10), al incrementarse el número de posiciones a 4, se requeriría ampliar la plataforma 3,150 m<sup>2</sup>, para así tener un total de 6,300 m<sup>2</sup>.

-Área de Plataforma de Aviación General: 3,150 m<sup>2</sup>

Dimensiones: 35 \* 90 m

(*primera etapa*) (Año 1)

-Área de Plataforma de Aviación General: 3,150 m<sup>2</sup>

Dimensiones: 35 \* 90 m

(*segunda etapa*) (Año 10)

### 1.4.3 CAPACIDAD DE PLATAFORMA DE CARGA

#### a) Requerimiento

- Tipo de aeronave y porcentaje
- Características de operación por aeronave
- Normas del anexo 14 OACI
- Características constructivas de la plataforma

#### b) Procedimiento

Se multiplica el número de aeronaves por el área que ocupará cada uno de éstos.

#### c) Desarrollo

La plataforma de carga para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas costaría con unas dimensiones de 15 \* 40 metros y ésta se planea construir en su totalidad en la *segunda etapa* (año 10).

- Área de Plataforma de Carga: 600 m<sup>2</sup>
- Dimensiones: 15 \* 40 m
- (*segunda etapa*) (Año 10)

## **1.5 Infraestructura de Hangares**

### 1.5.1 CAPACIDAD DE LA ZONA DE HANGARES

#### a) Requerimientos

- Tipo de aeronave y porcentaje
- Número de aeronaves bajo cobertizo
- Indicador del tipo de aeronaves
- Diseño de agrupamiento (Con acceso para autos independientes de la circulación de aeronaves. Sin acceso de autos.)
- Normas de OACI

#### b) Procedimiento

Al conocer el tipo de aeronave y el porcentaje de cada tipo, se procede a determinar el área de cobertizo para cada uno y así cuantificar el área total de los cobertizos.

Será necesario conocer el sistema de agrupamiento propuesto para calcular el área total para hangares.

### c) Desarrollo

Después de haber analizado tanto los requerimientos como el procedimiento para conocer la capacidad de la zona de hangares para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas, los resultados obtenidos son los siguientes (mencionándose también la construcción de esta zona por etapas):

-Área de Zona de Hangares: 675 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 15 \* 15 m \* 3 aeronaves  
(*primera etapa*) (Año 1)

-Área de Zona de Hangares: 900 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 15 \* 15 m \* 4 aeronaves  
(*segunda etapa*) (Año 10)

### **1.6 Ayudas Visuales para la Navegación**

Para el Aeropuerto Lázaro Cárdenas se proponen diversas ayudas visuales para apoyar a la navegación, como el sistema para aproximaciones de precisión conocido como PAPI para ambas cabeceras. También se propone la colocación de señalamientos horizontales y verticales en pista, rodajes, plataforma, así como en obstáculos, señalándose éstos con pintura reflejante y módulos de lámina con las dimensiones y colores reglamentarios. Por último se colocarían conos de viento para ambas cabeceras.

La totalidad de las ayudas visuales para la navegación serían colocadas durante la *primera etapa* a excepción de los señalamientos horizontales y verticales los cuales serían colocados en ambas etapas de la construcción del aeropuerto y la cantidad de éstas es la siguiente:

-Señalamientos horizontales y verticales: 1.0 lote  
(*primera etapa*) (Año 1)

-Señalamientos horizontales y verticales: 1.0 lote  
(*segunda etapa*) (Año 10)

-Sistema PAPI: 1.0 lote

-Conos de viento: 2.0 piezas

## 1.7 Radioayudas para la Navegación

Habiendo propuesto al Aeropuerto de Lázaro Cárdenas como un aeropuerto de aproximación que no sea de precisión (clasificación según la OACI), este deberá contar con un equipo para apoyo a la aeronavegación conocido como VOR-DME. La descripción de este equipo se mencionó al principio de este capítulo.

Este equipo de radioayuda para la navegación se instalará durante la *primera etapa* de la construcción del aeropuerto.

-Radio Faro Omnidireccional (VOR): 1.0 lote

-Equipo Radio-Telemétrico (DME): 1.0 lote

## 20.- Zona Terminal

### -Análisis de la Zona Terminal

La zona terminal de un aeropuerto, requiere un análisis detallado por cada elemento, principalmente en el conjunto plataforma-edificio-estacionamiento, debido a que esta zona presenta más dificultad en su solución por la complejidad de operación de aeronaves en plataforma, los servicios prestados a la aeronave y la infraestructura de apoyo. Por otra parte, el edificio terminal es el de mayor complejidad, al tener que ser flexible en su desarrollo, permitiendo atender la demanda con índices de nivel de servicio adecuados.

Finalmente el estacionamiento, íntimamente relacionado con el edificio terminal, debe ser capaz de alojar los diversos tipos de transporte terrestre.

Existen cuatro tipos básicos de concepto de terminal: lineal, muelle, satélite y vehicular. Para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas propongo la utilización del tipo de terminal lineal, procediendo a ilustrar las ventajas inherentes a esta configuración.

### -Concepto lineal

En el concepto lineal las aeronaves se estacionan frente a la fachada del edificio en forma perpendicular, paralela o en algún ángulo (Figura No. 2.12).

FIGURA 2.12 "CONCEPTO LINEAL DE TERMINAL"

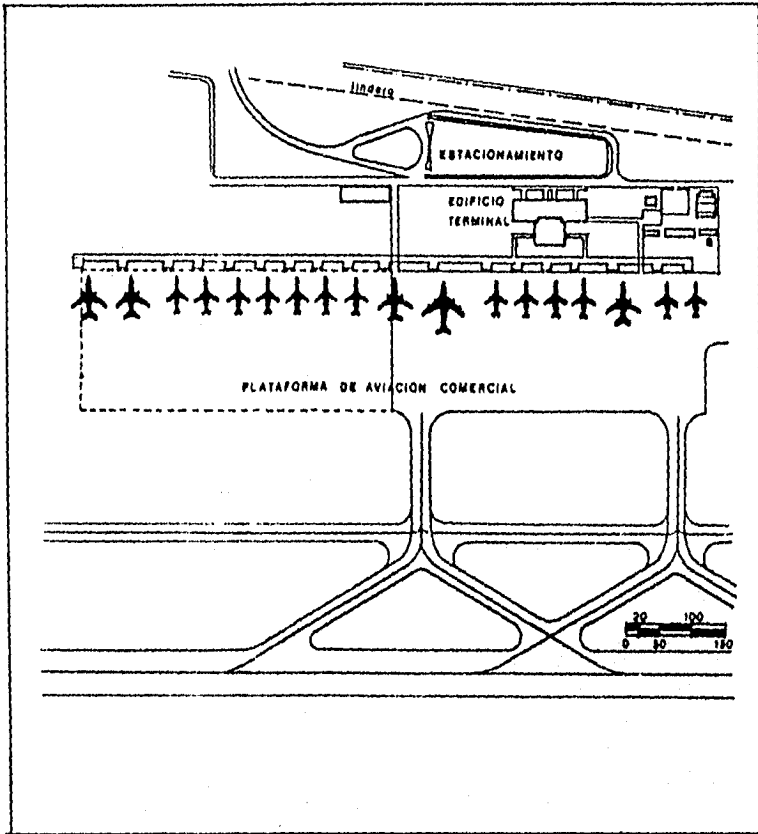
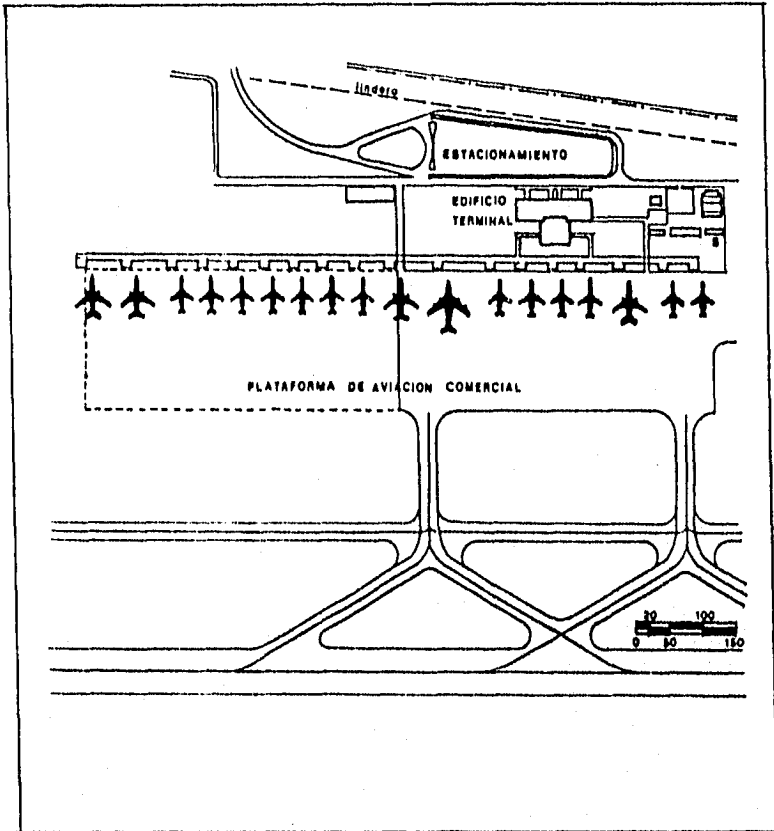


FIGURA 2.12 "CONCEPTO LINEAL DE TERMINAL"





La configuración lineal es adecuada cuando el número de aviones estacionados en plataforma no excede de cinco; cuando se rebasa esta cifra, las distancias de caminata se vuelven largas y disminuye la calidad del servicio. Sin embargo si se construye un edificio terminal que permita pasar del estacionamiento a la aeronave en forma lineal se mejora notablemente la capacidad de las instalaciones y el nivel de servicio, reduciéndose las distancias de caminata. Para lograr esto se tendrían que construir módulos que alojaran tanto los mostradores de documentación como las áreas de reclamo y documentación que tienen como consecuencia duplicidad de personal y un alto costo de operación.

## 2.1 Edificio Terminal

El edificio terminal de un aeropuerto constituye el elemento más importante para el pasajero de aviación comercial porque aquí realiza todos sus trámites ya sea para salir o para llegar. En el edificio el pasajero hace un intercambio del sistema terrestre al sistema aéreo, es la liga entre ambos medios.

En base al movimiento que el pasajero realiza en el edificio terminal, el sistema se clasifica en tres componentes principales.

1o.- *Acceso*: en éste el pasajero ingresa al sistema terminal para ser procesado; aquí el pasajero lleva a cabo las actividades de estacionamiento o descenso de un vehículo automotor y acceso al edificio terminal. En el caso de pasajeros de llegada el proceso es inverso.

2o.- *Procesado*: en éste el pasajero realiza una serie de trámites ya sea para iniciar o regresar de viaje. Entre las actividades que se llevan a cabo en esta etapa son la documentación, la entrega o reclamo de equipaje y el paso de las distintas inspecciones como son: seguridad, aduana, migración, etc.

3o.- *Intercambio al avión*: en éste el pasajero que ha sido procesado transborda de tierra a la aeronave, en el caso de pasajeros de llegada éstos pasan de la aeronave a la etapa de procesado.

En base a estos tres componentes, se definen las áreas que conforman al edificio terminal para que éste opere en forma eficiente, estas áreas se describen a continuación:

1o.- *Vestibulos de pasajeros*: vestíbulo de documentación, sala de espera general, salas de última espera, vestíbulo de bienvenida, y zonas de reclamo de equipaje.

2o.- *Áreas de servicio a los pasajeros*: circulaciones, sanitarios, manejo y selección de equipaje, teléfonos públicos, telégrafos, etc.

3o.- *Concesiones*: restaurantes, tiendas diversas, bancos, renta de automóviles, reservaciones de hoteles, etc.

4o.- *Puestas de observación y salones especiales:* inspecciones de seguridad, inspecciones de sanidad, migración y aduana, salones de uso oficial, salones VIP.

El edificio constituye uno de los principales elementos de infraestructura del aeropuerto en función del costo económico que tiene. Generalmente las terminales se hacen con proyectos arquitectónicos modernos que buscan dar una imagen de progreso y modernidad a la ciudad a la que pertenece el aeropuerto, además en el edificio se generan gran parte de los ingresos de éste.

## 2.1.1 CAPACIDAD DEL EDIFICIO TERMINAL

### a) Requerimientos

- Determinar el tipo de aeropuerto (nacional, internacional o fronterizo) y un indicador en m<sup>2</sup> / pasajero
- Conocer el número de pasajeros horarios
- Programa arquitectónico

### b) Procedimiento

Para obtener el área total del edificio se multiplica el indicador m<sup>2</sup> / pasajero por el número de pasajeros horarios.

Si fuera requerido cuantificar cada elemento del aeropuerto, se tendría que elaborar un análisis de áreas, aplicando la metodología de parámetros. Se consideran los pasajeros de salida y llegada en la hora crítica y el porcentaje de ocupación de cada elemento.

### c) Desarrollo

La obtención del área del edificio terminal para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas se obtuvo tomando en cuenta lo siguiente:

-Tipo de Aeropuerto: Nacional

-Indicador: 8 m<sup>2</sup> / pasajero horario

Es importante mencionar que el número de *pasajeros horarios* se obtuvo en el Capítulo I "Demanda del Transporte Aéreo" (Tabla No. 1.13).

A continuación se procede a determinar el área del edificio terminal.

*Primera Etapa* (Año 1): 163 pasajeros horarios comerciales

*Segunda Etapa* (Año 10): 268 pasajeros horarios comerciales

Al multiplicar el número de pasajeros horarios de aviación comercial (163) por el indicador en m<sup>2</sup> / pasajero (8), se obtiene el área del edificio terminal para la *primera etapa* (Año 1). Para la *segunda etapa* se multiplican los 268 pasajeros horarios comerciales del año 10 por el indicador en m<sup>2</sup> / pasajero (8).

Las áreas del edificio terminal son las siguientes:

-Área Total del Edificio Terminal: 1,304 m<sup>2</sup>

Dimensiones: 42.6 \* 30.6 m

(*primera etapa*) (Año 1)

-Área Total del Edificio Terminal: 2,144 m<sup>2</sup>

(*segunda etapa*) (Año 10)

## 2.2 Estacionamientos

### 2.2.1 CAPACIDAD DE ESTACIONAMIENTO

#### a) Requerimientos

- Número de lugares para automóvil
- Tipo de estacionamiento (aviación comercial, aviación general o empleados)
- Indicador por automóvil

#### b) Procedimiento

Se multiplica el indicador por el número de automóviles.

#### c) Desarrollo

Tomando en cuenta el *pronóstico horario de vehículos en estacionamiento* obtenido en el Capítulo I "Demanda del Transporte Aéreo" (Tabla No. 1.16), se procedió a multiplicar el número de automóviles por el indicador de automóviles de 36 m<sup>2</sup> por automóvil, obteniendo para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas las áreas respectivas para cada tipo de estacionamiento.

Así para el estacionamiento de aviación comercial se tienen 57 automóviles por 36 m<sup>2</sup>, resultando por lo tanto un total de 2,052 m<sup>2</sup> en la *primera etapa* (año 1); mientras que en la *segunda etapa* (año 10) la superficie del estacionamiento sería de 3,338 m<sup>2</sup> (94 automóviles por 36 m<sup>2</sup>).

En el caso del estacionamiento para empleados, el cual se construiría en el año 10 (*segunda etapa*), éste tendría una superficie de 1,368 m<sup>2</sup> ya que 38 automóviles ocuparían cada uno 36 m<sup>2</sup>.

Es importante mencionar que el estacionamiento del edificio terminal constará de dos estacionamientos, uno albergará a los vehículos de aviación comercial y general, mientras que el otro albergará a los vehículos para los empleados que laboren en el aeropuerto.

-Área Total del Estacionamiento (Av. Comercial): 2,052 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 50.5 \* 40.6 m  
(*primera etapa*) (Año 1)

-Área Total del Estacionamiento (Av. Comercial): 3,384 m<sup>2</sup>  
(*segunda etapa*) (Año 10)

-Área Total del Estacionamiento para Empleados: 1,368 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 91.2 \* 15 m  
(*segunda etapa*) (Año 10)

### 2.3 Edificio Técnico

El edificio técnico alberga a las autoridades del S.E.N.E.A.M., de la Dirección de Aeronáutica Civil, las oficinas técnicas de ASA y a las oficinas para la aviación general.

Para el caso del Aeropuerto de Lázaro Cárdenas, el edificio técnico sería construido en la *primera etapa*.

-Área del Edificio Técnico: 300 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 30 \* 10 m  
(*primera etapa*) (Año 1)

## 3.- Instalaciones de Apoyo

### 3.1 Edificio CREI

Este edificio es obligatorio para todo aeropuerto y es el que alberga al "Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios". En éste se aloja un cuerpo de bomberos y de rescate para apoyar en el caso que se presente un accidente dentro del aeropuerto.

Este edificio siempre debe tener acceso directo a la pista y en el caso de este aeropuerto, su construcción se llevaría a cabo en la *primera etapa*.

-Área del Edificio CREI: 450 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 25 \* 18 m  
(primera etapa) (Año 1)

En este edificio será necesario construir en la *segunda etapa* una cisterna para poder almacenar agua.

-Volumen de la Cisterna Edificio CREI: 50 m<sup>3</sup>  
Dimensiones: 4 \* 5 \* 2.5 m  
(segunda etapa) (Año 10)

### 3.2 Zona de Combustibles

Para estudiar esta área es necesario conocer la capacidad de almacenamiento. Ello implica conocer el tipo de avión crítico que va a operar en el aeropuerto y una vez definido éste conocer la clase de aeropuerto.

Es conveniente indicar las diferentes clases de aeropuertos a considerar:

Clase 1. Incluye la aviación ligera cuyo avión crítico es el monomotor y eventualmente el bimotor pequeño.

Clase 2. En esta clase se contempla la aviación general y por lo tanto la aviación de negocios, siendo el avión crítico el pequeño bimotor del tipo Learjet.

Clase 3. Aquí se incluye la aviación comercial pero para líneas regulares de poco tránsito; el avión crítico es el Beechcraft 99 o el Corvette.

Clase 4. Se permite el tránsito comercial pero de líneas regulares cuyo tránsito justifica la utilización de aviones del tipo Fokker 27 o HS 748.

Clase 5. La función principal del aeropuerto es recibir el tránsito comercial de líneas interiores regulares con aviones de tipo DC-9 y B-737 o similares.

Clase 6. El avión crítico es el B-727 o el A-300.

Clase 7. Se contempla el tránsito internacional es decir para atender líneas de larga distancia cuyo avión crítico es el B-747, DC-10 o similar.

La capacidad del depósito puede ser determinada en principio multiplicando el consumo diario por la duración del almacenamiento.

El consumo está en función de la intensidad del tránsito del aeropuerto y de su repartición según las diferentes categorías de aviones. A nivel de factibilidad existen capacidades de almacenamiento en función de la clase de aeropuerto, las cuales se indican en la Tabla No. 2.8 "Capacidad de Almacenamiento de Combustible".

TABLA 2.8  
"CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE"

Clase de Aeropuerto	Capacidad de Almacenamiento
1	3 a 30 m <sup>3</sup>
2	20 a 50 m <sup>3</sup>
3	50 a 200 m <sup>3</sup>
4	100 a 500 m <sup>3</sup>
5	100 a 500 m <sup>3</sup>
6	500 a 2000 m <sup>3</sup>
7	Más de 5000 m <sup>3</sup>

Una vez consultada la tabla, la capacidad para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas será en un principio de 100 a 500 m<sup>3</sup>, por tratarse de un aeropuerto Clase 4 o 5; al utilizarse en el futuro aviones tipo B-727-200 podría llegar a ser Clase 6, con una capacidad de almacenamiento de 500 a 2000 m<sup>3</sup>. Es importante señalar que el área de almacenamiento de combustible estará en función del tipo de depósito a utilizar.

Por lo tanto para el aeropuerto en estudio, la zona de combustibles constará con lo siguiente:

- 2 Tanques de turbosina de 150,000 litros cada uno
- 1 Tanque de gas-avión de 100/130 octanos de 60,000 lts c/u
- 1 Tanque de agua de 60,000 litros para seguridad de la zona

La construcción de la totalidad de estas instalaciones se realizaría en la *primera etapa*.

-Área de la Zona de Combustibles: 4,800 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 80 \* 60 m  
(*primera etapa*) (Año 1)

### 3.3 Cercado Perimetral

El cercado perimetral para este aeropuerto, se colocaría en la *primera etapa* y tendría una longitud de 10 000 metros.

-Longitud del Cercado Perimetral: 10,000 ml

### 3.4 Torre de Control

Esta es una edificación básica en todo aeropuerto que alberga en su cabina a los controladores aéreos cuya función es la de supervisar las operaciones aéreas, para garantizar la seguridad en las maniobras. El requisito principal de una torre de control, es que debe estar ubicada en una posición con la altura suficiente para tener visión sobre toda la zona aeronáutica.

Para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas se propone construir la torre de control en la *primera etapa*, teniendo la cabina una forma pentagonal con una superficie de 55 m<sup>2</sup> y una subcabina de 50 m<sup>2</sup>.

-Superficie de la Cabina de la Torre de Control: 55 m<sup>2</sup>

-Superficie de la Subcabina de la Torre de Control: 50 m<sup>2</sup>

### 3.5 Casa de Máquinas

En este edificio se encuentran dos subestaciones eléctricas y el equipo hidroneumático, una subestación sirve para apoyar al S.E.N.E.A.M., y la otra se usa para apoyar a los servicios generales y a las ayudas visuales.

Para el aeropuerto en estudio, la casa de máquinas tendría unas dimensiones de 30 \* 10 metros y su construcción también se llevaría a cabo en la *primera etapa*.

-Área de la Casa de Máquinas: 300 m<sup>2</sup>

Dimensiones: 30 \* 10 m

(*primera etapa*) (Año 1)

### 3.6 Edificio de Carga

Una terminal de carga aérea optimiza la actividad de un aeropuerto, ya que es de gran importancia separar el sitio donde se maneja la carga aérea de la zona donde se atiende a los pasajeros. En muchos aspectos las actividades que se llevan a cabo en una terminal de carga son similares a las que se llevan a cabo en una terminal de pasajeros, aunque las características de ambas terminales son muy diferentes.

En el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas el edificio de carga sería construido en la *segunda etapa*, ya que en la actualidad gran parte del movimiento de carga se realiza en el puerto de Lázaro Cárdenas.

-Área del Edificio de Carga: 160 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 8 \* 20 m  
(segunda etapa) (Año 10)

### **3.7 Cisterna General**

La construcción de una cisterna general para el aeropuerto, se realizaría en la primera etapa con unas dimensiones de 8 \* 5 \* 2.5 metros.

-Volumen Cisterna General Aeropuerto LZC: 100 m<sup>3</sup>  
Dimensiones: 8 \* 5 \* 2.5 m  
(primera etapa) (Año 1)

### **4.- Vialidades**

El desarrollo del transporte aéreo está condicionado por la factibilidad de acceso a los aeropuertos e inversamente, los equipos aeronáuticos sólo se utilizan plenamente en la medida en que las condiciones de acceso a los aeropuertos no se dañen.

A continuación se presentan las vialidades más importantes del Aeropuerto de Lázaro Cárdenas, incluyendo las áreas respectivas así como la etapa de construcción de cada una de ellas.

#### **4.1 Camino de Acceso**

-Superficie del camino de acceso: 22,020 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 3,670 \* 6 m  
(primera etapa) (Año 1)

-Superficie del camino de acceso: 22,020 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 3,670 \* 6 m  
(segunda etapa) (Año 10)

#### **4.2 Camino Perimetral**

-Superficie del camino perimetral: 30,000 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 10,000 \* 3 m  
(primera etapa) (Año 1)



#### **4.3 Camino CREI**

-Superficie del camino CREI: 1,950 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 300 \* 6.5 m  
(primera etapa) (Año 1)

#### **4.4 Vialidad Interna**

-Superficie de la vialidad interna: 1,514.50 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 233 \* 6.5 m  
(primera etapa) (Año 1)

-Superficie de la vialidad interna: 897 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 138 \* 6.5 m  
(segunda etapa) (Año 10)

#### **4.5 Liga de Vialidades de Plataforma**

-Superficie de la liga de vialidades de plataforma: 1,560 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 240 \* 6.5 m  
(primera etapa) (Año 1)

-Superficie de la liga de vialidades de plataforma: 325 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 50 \* 6.5 m  
(segunda etapa) (Año 10)

#### **4.6 Vialidad de Hangares**

-Superficie de la vialidad de hangares: 690 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 115 \* 6.5 m  
(primera etapa) (Año 1)

#### **4.7 Vialidad a Zona de Combustibles**

-Superficie de la vialidad a zona de combustibles: 2,600 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 400 \* 6.5 m  
(primera etapa) (Año 1)

#### 4.8 Vialidad a Zona de Carga

-Superficie de la vialidad a zona de carga: 1,149.50 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 223 \* 6.5 m  
(segunda etapa) (Año 10)

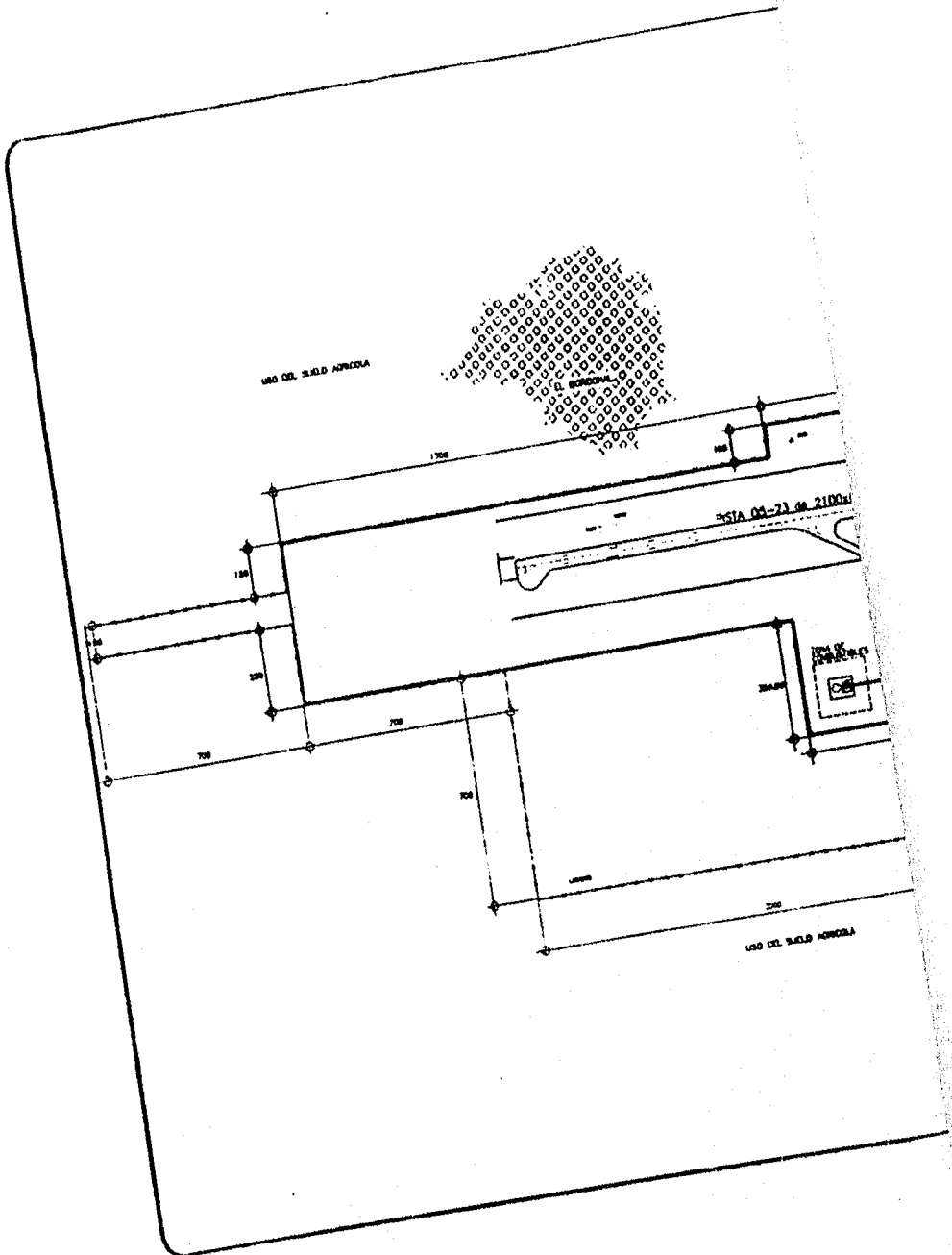
#### 4.9 Vialidad en Estacionamiento de Empleados

-Superficie de la vialidad en estacionamiento: 325 m<sup>2</sup>  
Dimensiones: 50 \* 6.5 m  
(segunda etapa) (Año 10)

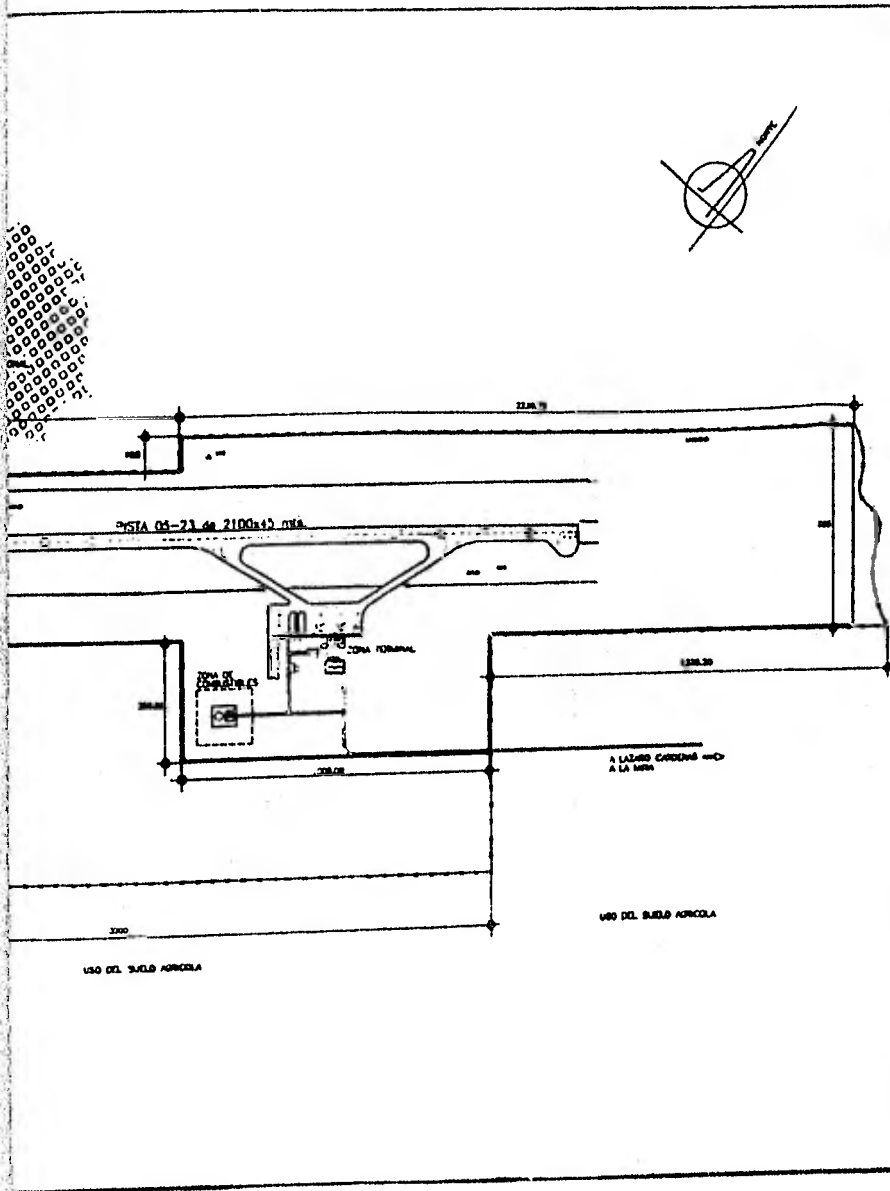
Nota: El resumen de los resultados a los procedimientos descritos anteriormente se presenta en la Tabla No. 2.9 "Estimación de Costos Nuevo Aeropuerto de Lázaro Cárdenas".

En la Figura No. 2.13 se muestra el Plano General para el nuevo Aeropuerto de Lázaro Cárdenas.

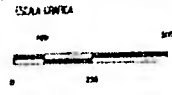
FIGURA 2.13 "NUEVO AEROPUE



# NUEVO AEROPUERTO DE LAZARO CARDENAS, MICHOACAN"



SIMBOLOGIA



NOMBRE DEL PLANO

## PLANO GENERAL

SITIO EL BORDOAL

# L Z C

**AEROPUERTO  
NUEVO DE  
LAZARO CARDENAS,  
MICHOACAN**

ESCALA:  
1:15.000

CLAVE  
**PGB 2**

ACOTACION:  
METROS

FECHA:  
FEBRERO

## **II.8 INVERSIONES REQUERIDAS**

La inversión estimada para desarrollar la infraestructura descrita en el inciso anterior, calculada con costos unitarios y índice, asciende a \$ 411.6 millones de pesos (MP), de los que \$ 332.8 MP (80.9% del total), se erogarían en la primera etapa y los restantes \$ 78.8 MP (19.1%), en la segunda, como se detallará más adelante.

El presupuesto para estimar la inversión se ha dividido en diversas partidas, cuyos conceptos y montos son:

### **1. Adquisición de Terrenos.**

Se refiere al monto estimado para la obtención de la superficie requerida que sería del orden de \$ 13.9 MP (3.4% del total). Este monto deberá ser erogado durante la primera etapa y previo a cualquier trámite u obra del aeropuerto nuevo.

### **2. Zona Aeronáutica.**

Que representa las obras de mayor importancia por su monto de \$ 209 millones de pesos, o sea del orden del 50.8% del total de la inversión.

De dicha inversión, \$176 MP se requerirían para la primera etapa y \$33 MP para la segunda.

### **3. Zona Terminal.**

La zona terminal, en donde se ubican las principales edificaciones del aeropuerto, requeriría de una inversión del orden de \$ 23.4 MP (5.7% del total).

De esa cifra, \$ 14.4 millones de pesos se destinarían a las obras de la primera etapa y \$ 9.0 MP a la segunda.

### **4. Instalaciones de Apoyo.**

Las instalaciones para apoyo de la actividad aeronáutica implicarían erogar del orden de \$ 30.9 MP (7.5% del total), de los que \$ 29.9 MP serían para las obras de la primera etapa y \$ 1.0 MP para la segunda.

### **5. Vialidades.**

Las vialidades para comunicar el aeropuerto con el exterior e interiormente, requerirán un monto de \$ 59.4 MP (14.4% del total), correspondiendo \$ 36.3 MP a la primera etapa y \$ 23.1 MP a la segunda.

#### **6. Ayudas Visuales y Radioayudas.**

Para los equipos y elementos que se destinen al servicio de control de tráfico terrestre y aéreo y apoyo a la operación de las aeronaves, será necesaria una inversión de \$ 4.5 MP (1.1% del total).

De esta inversión, la mayoría se erogaría en la primera etapa.

#### **7. Acometidas.**

Los servicios básicos necesarios para el funcionamiento del aeropuerto, tales como el agua potable, energía eléctrica, drenaje sanitario, red telefónica, etc., implicarían una erogación del orden de \$ 4.4 MP (1% del total), cantidad a erogar en su totalidad en la primera etapa.

#### **8. Equipamiento.**

Para dotar a las diversas instalaciones de los equipos y mobiliarios adecuados para su funcionamiento se habrá de requerir un monto del orden de \$ 3.1 MP (0.8% del total), de los que la mayoría se invertirían en la primera etapa.

#### **9. Estudios y Proyectos.**

Para efectuar los estudios y proyectos ejecutivos requeridos, se estima un monto de inversión del 8% del costo de las obras anteriores. Esto significa una inversión total por este concepto de \$ 27.9 MP, distribuidos proporcionalmente en cada etapa.

#### **10. Imprevistos.**

Por último, se ha considerado un monto para imprevistos, del orden de 10% del costo de las obras, lo que arroja una cifra de \$ 35.0 MP.

El desglose de los costos señalados se presenta en la (Tabla No. 2.9 "Estimación de Costos Nuevo Aeropuerto de Lázaro Cárdenas").

TABLA 2.9 ESTIMACION DE COSTOS NUEVO AEROPUERTO DE LAZARO CARDENAS										
Zona/Elemento	Unidad	P.U. \$	PRIMERA ETAPA			SEGUNDA ETAPA			TOTALES	
			Dimensión	Cantidad	Importe Mill \$	Dimensión	Cantidad	Importe Mill \$	Cantidad	Importe Mill \$
<b>TERRENOS</b>										
Adquisición	Ha	54,000.0		256.7	\$13,862				256.7	\$13,862
<b>Subtotal Terrenos</b>					\$13,862					\$13,862
<b>ZONA AERONAUTICA</b>										
Pista	m2	1468.0	2,100*45 m	94,500.0	\$138,726				94,500.0	\$138,726
Cotas de Retorno (2)	m2	1468.0				3,832.0		\$5,625	3,832.0	\$5,625
Rodaje A	m2	1468.0	394*23 m	9,062.0	\$13,303				9,062.0	\$13,303
Rodaje B	m2	1468.0				394*23 m	9,062.0	\$13,303	9,062.0	\$13,303
Rodaje Hangares	m2	1468.0	65*18 m	1,170.0	\$1,718	60*18 m	1,080.0	\$1,585	2,250.0	\$3,303
Plataf. Comercial	m2	1468.0	130*90 m	11,700.0	\$17,176	50*90 m	4,500.0	\$6,606	16,200.0	\$23,782
Plataf. Av. General	m2	1468.0	35*90 m	3,150.0	\$4,624	35*90 m	3,150.0	\$4,624	6,300.0	\$9,248
Plataforma de Carga	m2	1468.0				15*40 m	600.0	\$0,881	600.0	\$0,881
Infraestructura Hangares	m2	667.5	15*15 m*3	675.0	\$0,451	15*15 m*4	900.0	\$0,601	1,575.0	\$1,051
<b>Subtotal Zona Aeronáutica</b>					\$175,997			\$33,226		\$209,223
<b>ZONA TERMINAL</b>										
Edificio Terminal	m2	8,595.0	42.6*30.6 m	1,304.0	\$11,208		840.0	\$7,220	2,144.0	\$18,428
Estacionamiento Av. Comercial	m2	667.5	50.5*40.6 m	2,052.0	\$1,370		1,332.0	\$0,889	3,384.0	\$2,259
Estac. Empleados	m2	667.5				91.2*15 m	1,368.0	\$0,913	1,368.0	\$0,913
Edificio Técnico	m2	6,138.0	30*10 m	300.0	\$1,841				300.0	\$1,841
<b>Subtotal Zona Terminal</b>					\$14,419			\$9,022		\$23,441
<b>INSTALACIONES DE APOYO</b>										
CREI	m2	3,683.0	25*18 m	450.0	\$1,657				450.0	\$1,657
Zona de Combustibles	m2	4,910.5	80*60 m	4,800.0	\$23,570				4,800.0	\$23,570
Cercado Perimetral	ml	267.0	10,000 ml	10,000.0	\$2,670				10,000.0	\$2,670
Torre de Control	mh	61,380.0	21	21.0	\$1,289				21.0	\$1,289
Casa de Máquinas	m2	1,964.0	30*10 m	300.0	\$0,589				300.0	\$0,589
Edificio de Carga	m2	6,138.0				8*20 m	160.0	\$0,962	160.0	\$0,962
Cisterna General	m2	1,965.0	8*5*2.5 m	40.0	\$0,079				40.0	\$0,079
Cisterna CREI	m2	1,965.0				4*5*2.5 m	20.0	\$0,039	20.0	\$0,039
<b>Subtotal Instalaciones de Apoyo</b>					\$29,855			\$1,021		\$30,876
<b>VIALIDADES</b>										
Camino de Acceso	m2	934.0	3,670*6 m	22,020.0	\$20,567	3,670*6 m	22,020.0	\$20,567	44,040.0	\$41,133
Camino Perimetral	m2	267.0	10,000*3 m	30,000.0	\$8,010				30,000.0	\$8,010
Camino CREI	m2	934.0	300*6.5 m	1,950.0	\$1,821				1,950.0	\$1,821
Vialidad Interna	m2	934.0	233*6.5 m	1,514.5	\$1,415	138*6.5 m	897.0	\$0,838	2,411.5	\$2,252
Liga Vial Plataf	m2	934.0	240*6.5 m	1,560.0	\$1,457	50*6.5 m	325.0	\$0,304	1,885.0	\$1,761
Vialidad Hangares	m2	934.0	115*6.5 m	690.0	\$0,644				690.0	\$0,644
Vialidad a Zona de Comb.	m2	934.0	400*6.5 m	2,600.0	\$2,428				2,600.0	\$2,428
Vialidad a Zona de Carga	m2	934.0				223*6.5 m	1,149.5	\$1,074	1,149.5	\$1,074
Vialidad Estac. Empleados	m2	934.0				50*6.5 m	325.0	\$0,304	325.0	\$0,304
<b>Subtotal Vialidades</b>					\$36,342			\$23,085		\$59,428
<b>AYUDAS VISUALES Y RADIOAYUDAS</b>										
Senal. Hor. y Vert.	lote	260,000.0		1	\$0,260		1	\$0,032	2	\$0,292
Sistema PAPI	lote	1,700,000.0		1	\$1,700				1	\$1,700
VOR/DME	lote	2,500,000.0		1	\$2,500				1	\$2,500
Conos de Viento	pieza	4,300.0		2	\$0,009				2	\$0,009
<b>Subtotal A. Visuales y Radioayudas</b>					\$4,469			\$0,032		\$4,501
<b>ACOMETIDAS</b>										
Telefónica	lote	1,100,000.0		1	\$1,100				1	\$1,100
Eléctrica	lote	850,000.0		1	\$0,850				1	\$0,850
Hidráulica/Pozo	lote	1,300,000.0		1	\$1,300				1	\$1,300
Planta de Tratamiento	lote	1,100,000.0		1	\$1,100				1	\$1,100
<b>Subtotal Acometidas</b>					\$4,350					\$4,350
<b>EQUIPAMIENTO</b>										
Edificio Terminal	lote	1,100,000.0		1	\$0,683		1	\$0,384	2	\$1,067
Edificio Técnico	lote	215,000.0		1	\$0,215				1	\$0,215
CREI	lote	1,300,000.0		1	\$1,300				1	\$1,300
Torre de Control	lote	550,000.0		1	\$0,550				1	\$0,550
<b>Subtotal Equipamiento</b>					\$2,748			\$0,384		\$3,132
<b>Subtotal Obras</b>					\$282,041			\$86,770		\$368,811
EST. Y PROY. 10% Subtotal Obras	8.0%				\$22,563			\$5,342		\$27,905
RESERVA 110% de Imprevistos	10.0%				\$28,204			\$6,677		\$34,881
<b>Total</b>					\$332,809			\$78,789		\$411,598

## CAPITULO III

### *"ANALISIS DE FACTIBILIDAD"*

#### III.1 GENERALIDADES

Uno de los puntos que debe ser claramente demostrado al proyectar un nuevo aeropuerto o ampliar uno ya existente, es el de las posibilidades económicas y financieras que exigen las diferentes alternativas e incluso si la solución adoptada es económicamente factible. Es necesario demostrar que el plan adoptado producirá los suficientes ingresos para cubrir los costos anuales del capital invertido, la administración, funcionamiento y mantenimiento y todo ello debe de establecerse para cada paso que se realice en el plan maestro.

La evaluación de una posibilidad económica requiere un análisis costo-beneficio.

La comparación de los programas de una inversión potencial de capital en cuanto a beneficios y costos se refiere, indica la importancia del proyecto desde el punto de vista económico.

El criterio económico que se utiliza para evaluar una inversión aeronáutica es el resultado de considerar el costo total de las instalaciones, incluyendo los costos sociales cuantificables, comparado con el valor del incremento de efectividad considerado en términos de beneficios totales.

Los costos incluyen la inversión del capital, administración, funcionamiento, mantenimiento y cualquier otro costo que pueda cuantificarse.

Los beneficios incluyen una reducción en las demoras de los aviones, una mejora en las operaciones de las aeronaves y otros conceptos.

Los costos y beneficios se determinan por lo general en forma anual.

Existen una serie de técnicas para comparar los beneficios con los costos. La mayor parte de ellas, consideran el valor del dinero actualizado por medio de un determinado tanto por ciento de interés que refleja el costo ocasional del capital. La estimación del interés es un valor por el cual una unidad monetaria se multiplica para tener su "valor actual" cuando se reciba en el futuro. En otras palabras, un costo contraído en 1996 tiene un valor económico diferente que el correspondiente del mismo contraído en el año 2000.



Si no se considera el valor actual del dinero, la relación entre los beneficios y los costos se hace anualmente y con sólo dividir los beneficios de un año determinado por el costo del proyecto.

Un proyecto se considera económicamente factible cuando la relación entre los beneficios y los costos es mayor que la unidad; cuanto mayor sea esta relación más atractivo es el proyecto desde un punto de vista económico. También puede obtenerse una relación comparando el valor actual de los beneficios con el valor actual de los costos. Este procedimiento opera con el valor actual del dinero.

Un estudio de posibilidad financiera es básicamente un análisis para determinar, entre otras cosas, la posibilidad de contar con una o diversas formas de financiamiento.

Este análisis requiere de una completa evaluación, tanto de los ingresos que se van a obtener con las mejores propuestas, como de los egresos correspondientes.

Si el análisis indica que los ingresos van a ser insuficientes, deberán revisarse de nuevo los programas propuestos o habrá que reajustar las tasas y cargos a los usuarios del aeropuerto.

Este tercer capítulo inicia con la descripción de dos distintos escenarios, de los cuales se escogerá el más adecuado para realizar este análisis; el capítulo continúa con la recapitulación de datos obtenidos tanto en el Capítulo I "Demanda del Transporte Aéreo", como en el Capítulo II "Oferta de Infraestructura".

Posteriormente se calcularán los ingresos y egresos para el nuevo aeropuerto y finalmente se obtendrán los indicadores financieros para así poder determinar si es factible o no la construcción del nuevo Aeropuerto para la Ciudad de Lázaro Cárdenas.

## **III.2 ESCENARIOS**

### **a) Escenario 1.**

En este escenario se plantearía la posibilidad de realizar adecuaciones importantes a las instalaciones actuales (reubicación de la totalidad de las instalaciones existentes, ofrecer control de tráfico aéreo, ayudas visuales y radioayudas básicas, sistemas de seguridad, etc.), para dar un margen de operativo que ayudara a mejorar substancialmente las condiciones en las operaciones aéreas y en el proceso de atención de los pasajeros.

### b) Escenario 2

Consideraría la construcción de una nueva instalación aeroportuaria, en un nuevo sitio previamente elegido y ratificado por ASA.

Asimismo, en este nuevo aeropuerto se considerarían todas las facilidades que permitieran la operación de equipo turboreactor de cabina angosta del tipo B-727-200 o similar, así como una instalación para el adecuado tratamiento de los pasajeros y sus acompañantes.

Como se ha indicado en el Capítulo II "Oferta de Infraestructura", las posibilidades de expandir las instalaciones actuales son nulas, por lo que el *Escenario 1*, quedó descartado y por lo tanto sólo es posible proseguir con el análisis del *Escenario 2* y presentar los indicadores que concluyeran hacia la toma de decisiones.

Bajo estas condiciones, se analizarán diversas variantes de desarrollo de las nuevas instalaciones, detectando las posibilidades de inversión de la iniciativa privada en aquellos elementos que permitan su recuperación, como se detallará más adelante.

### **III.3 RECAPITULACION DE DATOS**

En este subcapítulo simplemente se recapitulan los datos obtenidos en los dos capítulos anteriores, y se comentan las consideraciones efectuadas sobre ellos, desde el punto de vista del análisis de factibilidad.

Estos datos consisten en:

#### **a) Pronóstico Anual de Pasajeros y Operaciones**

Obtenidos en el Capítulo I "Demanda del Transporte Aéreo", en base a los modelos de llamadas telefónicas.

**b) Las necesidades de inversión en función de las características de la infraestructura requerida para la atención de la demanda a partir del año en que se pondrían en servicio en sus distintas etapas y desglosadas por tipo y grupo de obra.**

El pronóstico de tráfico aéreo calculado en el subcapítulo 1.3 "Estudio de la Demanda" del primer capítulo determinó que los volúmenes de pasajeros y operaciones hacia el año del horizonte de estudio (2010), corresponderían a 312 mil pasajeros (Tabla No. 1.10) y 7,300 operaciones (Tabla No. 1.11), con una Tasa Media Anual de Crecimiento (TMAC) de 6.4% en pasajeros y 4.2% en operaciones, a partir del año base (1992).

(Tabla No. 3.1 "Datos de Operación Anual")

En las Gráficas No. 3.1 y 3.2 "Demanda de Pasajeros (LZC)" y "Demanda de Operaciones (LZC)" respectivamente, se presenta el incremento tanto del número de pasajeros como del número de operaciones a lo largo del horizonte de estudio para el nuevo aeropuerto.

Por su parte, las inversiones consideradas para desarrollar la infraestructura necesaria, calculadas en el Capítulo II "Oferta de Infraestructura", se dividen en dos etapas, como se indica en la Tabla No. 3.0 "Distribución de la Inversión", correspondiendo un total de \$ 332.8 millones de pesos (80.9% del total) en la primera etapa y \$ 78.8 MP (19.1%) a la segunda etapa, con la distribución que se indica en la Gráfica No. 3.3 "Distribución Total de la Inversión".

**TABLA 3.0**  
**"DISTRIBUCIÓN DE LA INVERSIÓN POR ETAPAS"**

Millones de Pesos <i>Concepto</i>	Inversión 1a Etapa	Inversión 2a Etapa	Total	%
Adquisición de Terrenos	\$13.862	-	\$13.862	3.37%
Zona Aeronáutica	\$175.997	\$33.226	\$209.223	50.83%
Zona Terminal	\$14.419	\$9.022	\$23.441	5.70%
Instalaciones de Apoyo	\$29.855	\$1.021	\$30.876	7.50%
Vialidades	\$36.342	\$23.085	\$59.427	14.44%
Ayudas Visuales y Radioayudas	\$4.469	\$0.032	\$4.501	1.09%
Acometidas	\$4.350	-	\$4.350	1.06%
Equipamiento	\$2.748	\$0.384	\$3.132	0.78%
Estudios y Proyectos	\$22.563	\$5.342	\$27.905	6.76%
Imprevistos	\$20.204	\$6.677	\$34.881	8.47%
<b>TOTAL</b>	<b>\$332.809</b>	<b>\$78.789</b>	<b>\$411.598</b>	<b>100.00%</b>

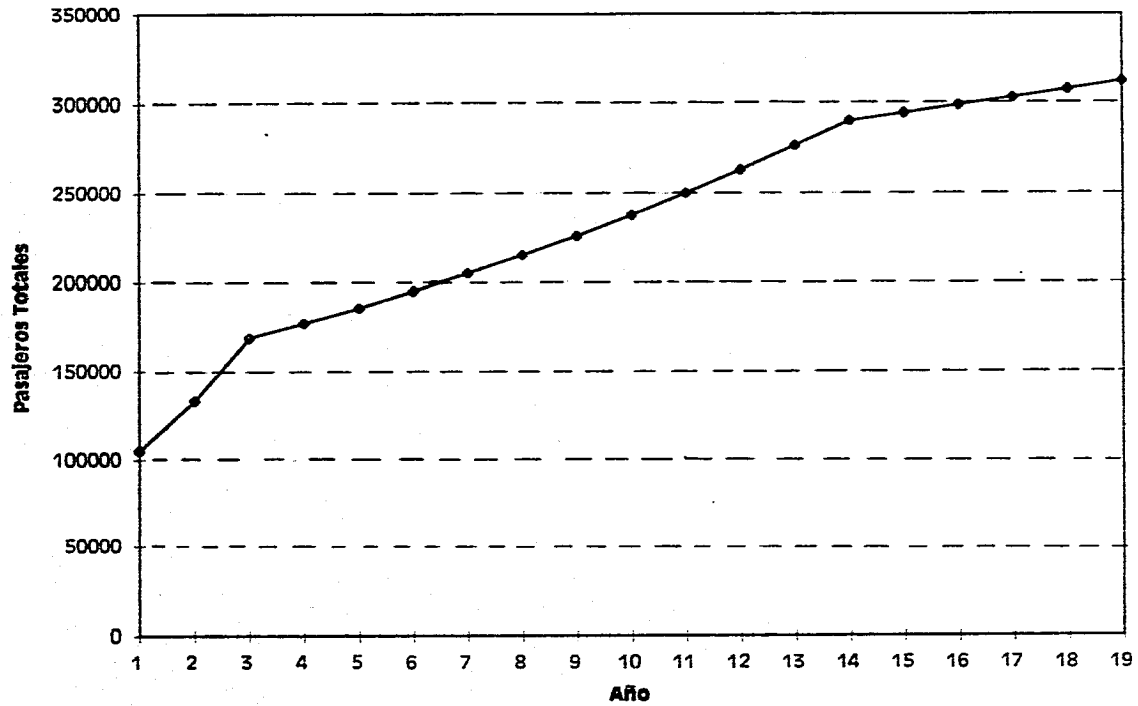
Se ha considerado que las inversiones requeridas para la primera etapa se realizarán en el año "0" para efectos de gastos en el estudio financiero y en función de la demanda estimada; las de la segunda etapa se realizarían en el noveno año de operaciones.

Adicionalmente, para efectos del análisis, se ha considerado que las inversiones pueden ser erogadas en el término de un año.

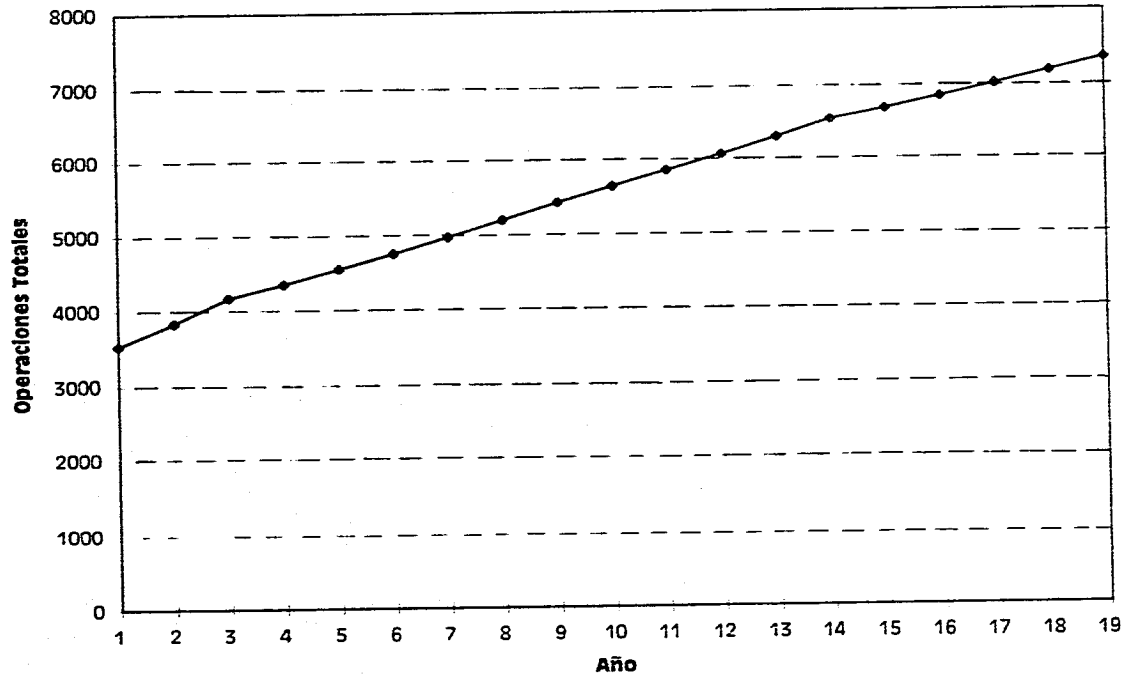
Por último, es conveniente indicar que los cálculos financieros del estudio se han realizado en base a precios constantes de Abril de 1996.

TABLA 3.1																					
"DATOS DE OPERACION ANUAL"																					
3.1.1 PASAJEROS																					
		Años																			
Concepto	Unidad	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
a) Aviación Comercial	Pas / Año	92,389	117,117	148,463	155,849	163,602	171,741	180,284	189,253	198,668	208,993	219,854	231,279	243,299	255,943	259,653	263,417	267,236	271,110	275,040	
Tasa de Crecimiento	%		26.77%	26.76%	4.97%	4.97%	4.97%	4.97%	4.97%	4.97%	5.20%	5.20%	5.20%	5.20%	5.20%	1.45%	1.45%	1.45%	1.45%	1.45%	
b) Aviación General	Pas / Año	12,598	15,970	20,245	21,252	22,309	23,419	24,584	25,807	27,091	28,499	29,980	31,538	33,177	34,901	35,407	35,920	36,441	36,969	37,505	
Tasa de Crecimiento	%		26.77%	26.77%	4.97%	4.97%	4.98%	4.97%	4.97%	4.98%	5.20%	5.20%	5.20%	5.20%	5.20%	1.45%	1.45%	1.45%	1.45%	1.45%	
c) Pasajeros Totales	Pas / Año	104,987	133,087	168,708	177,101	185,911	195,160	204,869	215,060	225,759	237,492	249,834	262,817	276,476	290,844	295,060	299,337	303,677	308,079	312,545	
Tasa de Crecimiento	%		26.77%	26.77%	4.97%	4.97%	4.97%	4.97%	4.97%	4.97%	5.20%	5.20%	5.20%	5.20%	5.20%	1.45%	1.45%	1.45%	1.45%	1.45%	
3.1.2 OPERACIONES																					
		Años																			
Concepto	Unidad	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
a) Aviación Comercial	Ops / Año	2,098	2,258	2,430	2,513	2,599	2,687	2,779	2,874	2,972	3,055	3,140	3,228	3,318	3,411	3,467	3,524	3,582	3,640	3,700	
Tasa de Crecimiento	%		7.63%	7.62%	3.42%	3.42%	3.39%	3.42%	3.42%	3.41%	2.79%	2.78%	2.80%	2.79%	2.80%	1.64%	1.64%	1.65%	1.62%	1.65%	
b) Aviación General	Ops / Año	1,431	1,578	1,740	1,844	1,954	2,071	2,194	2,325	2,464	2,583	2,708	2,839	2,976	3,120	3,218	3,319	3,424	3,531	3,642	
Tasa de Crecimiento	%		10.27%	10.27%	5.98%	5.97%	5.99%	5.94%	5.97%	5.98%	4.83%	4.84%	4.84%	4.83%	4.84%	3.14%	3.14%	3.16%	3.13%	3.14%	
c) Operaciones Totales	Ops / Año	3,529	3,836	4,171	4,357	4,553	4,758	4,973	5,199	5,435	5,638	5,848	6,067	6,294	6,531	6,685	6,843	7,005	7,172	7,343	
Tasa de Crecimiento	%		8.70%	8.73%	4.46%	4.50%	4.50%	4.52%	4.54%	4.54%	3.74%	3.72%	3.74%	3.74%	3.77%	2.36%	2.36%	2.37%	2.38%	2.38%	

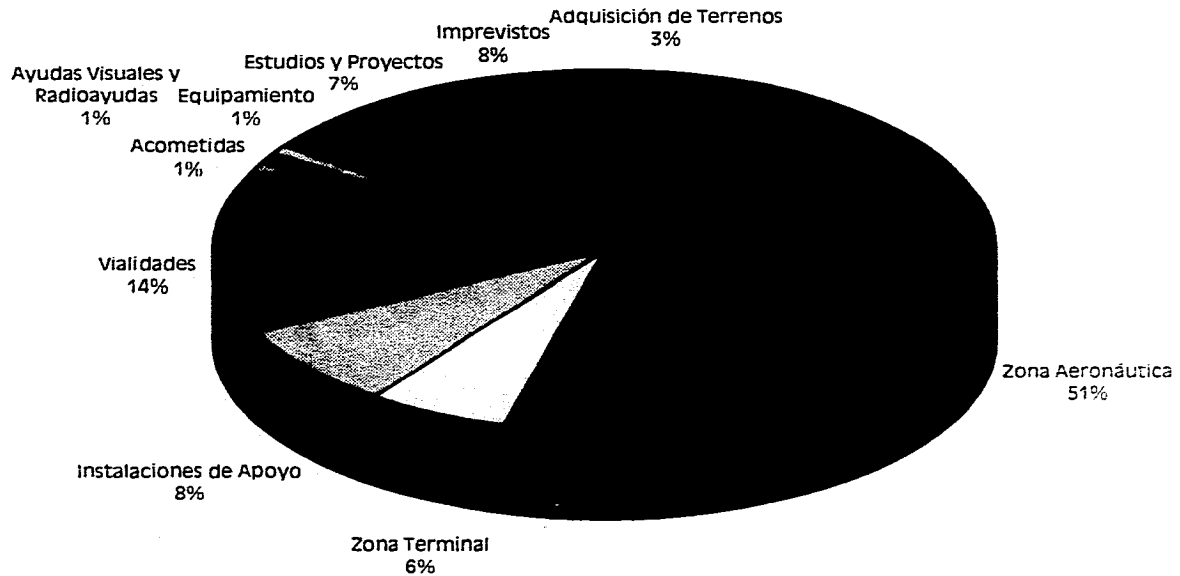
**Gráfica 3.1 Demanda de Pasajeros (LZC)**



**Gráfica 3.2 Demanda de Operaciones (LZC)**



**Gráfica 3.3 Distribución Total de la Inversión**



### **III.4 DETERMINACION DE INGRESOS Y GASTOS**

En este inciso se describen todas las consideraciones y aspectos relevantes que se han incorporado en el estudio para estimar los valores de las cuentas financieras (ingresos y gastos) del Operador del Aeropuerto.

Se debe entender que el Operador del Aeropuerto, para el caso del presente análisis, no se refiere específicamente a algún organismo público (ASA, por ejemplo), sino que se puede tratar de cualquier entidad, pública o privada, ya que la obtención de los indicadores o de los márgenes de utilidad y de operación, no se hacen sobre una base específica de las características del operador.

Las cuentas fundamentales del operador, en lo referente al Estudio de Factibilidad, se desglosan básicamente en dos grandes rubros:

**a) Ingresos Directos de Operación**

**b) Gastos Directos de Operación**

A continuación se detallan los conceptos involucrados en estos dos rubros, así como las consideraciones realizadas para determinar sus valores.

#### **III.4.1 BASES PARA LA ESTIMACION DE LOS INGRESOS**

Para la estimación detallada de los ingresos de cada rubro se han utilizado en general las cuotas promedio y tarifas vigentes en los aeropuertos de la red federal, así como investigación y análisis propios de la información proporcionada por ASA sobre la operación de sus aeropuertos.

La expresión numérica de las consideraciones y datos base de cálculo se muestran en las Tablas No. 3.2 del Análisis denominado "Consideraciones Básicas".

Estas tablas se encuentran divididas en dos partes, la primera, la Tabla 3.2.1 "Tarifas y Rentas", corresponde a los valores de tarifas y rentas consideradas y la segunda que puntualiza los valores y consideraciones a los que se aplican estas tarifas y rentas (Tabla No. 3.2.2), denominada "Datos Base de Cálculo", mismas que se describen a continuación.

**-Tarifas y Datos Pasajeros**

(Tablas No. 3.2.1.1 y 3.2.2.1)

Estas tarifas se refieren a las aplicadas directamente a los pasajeros por el uso de las instalaciones de la terminal aérea, desglosadas en:



**a) Tarifa de Uso de Aeropuerto (TUA).**

Se refiere a la cuota que se aplica a cada pasajero de salida por contar con las instalaciones como un medio para recuperar las inversiones realizadas por el operador, principalmente en la zona terminal.

Dado que sólo se aplica a los pasajeros de salida, los pasajeros totales de cada año se dividen entre dos. Para su valor se consideró la tarifa actual de \$ 54.69 aplicada en los aeropuertos federales.

**b) Equipo de Revisión de Pasajeros y Equipaje (ERPE).**

Consiste en el cobro del servicio de revisión de seguridad establecido como una norma operativa en el transporte aéreo.

Al igual que la cuota anterior, esta tarifa se aplica únicamente a los pasajeros de salida, por lo que el volumen total anual de pasajeros se divide entre dos. Se consideró la misma cuota usada en los aeropuertos del país, que es de \$ 1.43.

**Tarifas y Datos Operaciones**

(Tablas No. 3.2.1.2 y 3.2.2.2)

Estas tarifas se refieren a los cargos efectuados a las aerolíneas por el uso de la terminal aérea y los distintos servicios que reciben en la misma, desglosados en:

**a) Tarifa por Servicios de Aterrizaje.**

Esta cuota se refiere al cobro que se aplica a cada aeronave que llega al aeropuerto por obtener el servicio que prestan las instalaciones de la zona aeronáutica (pistas, rodajes y plataformas y su equipamiento).

Dado que se aplica sólo a las aeronaves de llegada, las operaciones totales anuales se dividen entre dos.

El criterio de cobro comúnmente empleado se basa en el peso de la aeronave (en toneladas o fracción de tonelada), el tiempo de permanencia en la plataforma, que fue considerado de una hora en promedio para vuelos comerciales y ocho horas en promedio para los de aviación general y el tipo o nivel de operación (comercial o general).

Para estimar las cuotas, se consideraron tres tipos de aeronaves, mismas que serán las más características en la operación.

Las cuotas calculadas resultantes ascendieron a \$ 267.73 para el ATR-42, \$ 1,221.86 al B-727-200 y \$ 21.14 para la aviación ligera.

Adicionalmente, como se observa en la Tabla No. 3.2.2.3, se consideró una distribución de aeronaves comerciales en el tiempo, con el criterio de que inicialmente continuarían operando sólo aeronaves pequeñas (del tipo ATR-42), y posteriormente se incorporarían aeronaves mayores (del tipo B-727), hasta llegar, hacia el final del período, a representar el 80% del total de operaciones.

Cabe destacar que esta distribución de aeronaves comerciales se aplicó a todos aquellos rubros involucrados con operaciones comerciales.

#### b) Tarifa por Servicios Auxiliares.

Se refiere al cobro de los servicios en tierra proporcionados a las aeronaves comerciales.

Al igual que la cuota anterior, esta tarifa se aplica a cada aeronave de llegada, pero únicamente a las de tipo comercial, ya que son las que requieren de estos servicios como son los carritos portaequipaje, aprovisionamiento de agua potable, canalización de aguas servidas, etc.. La tarifa promedio obtenida fue de \$ 2,989.00 por operación de llegada, considerando el paquete de servicios que se presta a las aeronaves comerciales.

#### c) Tarifa por Suministro de Combustible.

Se refiere al cobro del servicio por suministrar combustible a las aeronaves, aplicado por litro servido.

Para la obtención de esta tarifa, se calculó el volumen promedio de combustible suministrado, el que a su vez fue estimado en base a consumos promedios de las aeronaves en las rutas actuales y de las probables a establecer. Bajo estas bases se obtuvo un consumo promedio de 1,500 y de 2,800 litros de turbosina para el ATR-42 y el B-727-200, respectivamente y de 250 litros de Gas-Aviación para la aviación ligera.

Con estos volúmenes y las tarifas por litro servido, la cuota promedio por suministro calculada resultó de \$ 52.95, \$ 98.64 y \$ 16.65, para cada operación de ATR-42, B-727-200 y avión ligero respectivamente.

#### **d) Tarifa por Venta de Combustible.**

Esta tarifa se refiere al porcentaje de ganancia del operador por vender el combustible. Esta tarifa, al igual que la anterior, se obtiene a partir de los consumos promedio de cada aeronave y a litros suministrados a las mismas.

Para el caso del estudio, se obtuvo el ingreso total promedio por venta de combustible por operación al cual se le aplicó el porcentaje de utilidad que actualmente percibe ASA, que corresponde a 3.9% para la turbosina y 6.9% para el Gas-Avión.

Con dicho porcentaje se estimó la ganancia neta que como ingreso percibe el operador del aeropuerto por dicho concepto.

#### **e) Tarifa por Servicios Aeroportuarios (SENEAM).**

Esta cuota se aplica a cada operación de llegada y se refiere al servicio que se presta a las aeronaves por concepto de ayuda de aproximación y aterrizaje proporcionada por el SENEAM.

Aunque los procedimientos para su cobro se han modificado recientemente, se consideró que la cuota correspondiente se cobra a través del volumen de combustible suministrado a cada aeronave, resultando en \$ 153.72 para el ATR-42, \$ 286.94 para el B-727-200 y \$ 25.62 para la aviación ligera.

### **Montos de Renta Anual de Espacios y Participación por Ventas**

(Tablas No. 3.2.1.3 y 3.2.2.4)

Se refiere a los montos a aplicar por la renta de las áreas disponibles en el edificio terminal, organizada en dos zonas: aerolíneas y concesionarios.

En éste se incluyen también las consideraciones para determinar la participación de ventas que recibe el operador de los concesionarios de la terminal.

Por otra parte, a fin de cuantificar las áreas de cada zona en cada etapa de desarrollo, fue necesario elaborar un diseño preliminar del edificio terminal mismo que fue mostrado en el segundo capítulo.

Los resultados de ambos análisis se desglosan en:

**a) Rentas Aerolíneas.**

Montos y dimensiones de los espacios rentados específicamente a las líneas aéreas para su operación dentro del edificio, desglosados en oficinas, módulos de documentación y módulos de ventas de boletos, con los valores que se muestran en las tablas 3.2.1.3.1 y 3.2.2.4.a.

**b) Rentas de Espacios y Locales y Participación de Ventas.**

Montos y dimensiones de los espacios rentados a concesionarios para los siguientes giros: alimentos y bebidas, renta de autos, restaurante, snacks y artesanías-dulces-regalos.

En este apartado se han incluido las consideraciones sobre el gasto promedio por pasajero y la participación de ventas. Para el efecto se ha estimado que los pasajeros gastan en promedio del orden de \$ 25.00, aplicados sólo a pasajeros de salida y que el operador recibirá el 7% del monto de ventas.

Este último porcentaje obtenido a partir de la revisión de los datos proporcionados por el Organismo.

Los valores y dimensiones se exhiben en las tablas 3.2.1.3.2 y 3.2.2.4.b.

**Tarifas de Estacionamiento y Volumen Anual de Horas**

(Tablas No. 3.2.1.4 y 3.2.2.5).

La tarifa considerada se estimó en \$ 10.0 la hora por vehículo dentro del estacionamiento, que es la vigente dentro de las instalaciones aeroportuarias.

Para determinar el volumen anual de horas de estacionamiento se consideró una cifra de 100 vehículos que podrían ingresar a lo largo de un día a esta instalación (dato obtenido de muestreo directo en las instalaciones actuales), estimándose un tiempo de permanencia de 1 hora en promedio para cada uno.

Esta cifra aplicada a los 365 días del año, arrojó el volumen anual de horas de estacionamiento.

La estimación del incremento anual de horas de estacionamiento, se consideró pertinente ligarlo al crecimiento de los pasajeros pronosticados.

TABLA 3.2 CONSIDERACIONES BÁSICAS																				
3.2.1 TARIFAS Y RENTAS																				
3.2.1.1 TARIFAS A PASAJEROS (Pesos)																				
Concepto / Año	Unidad	Años																		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
a) Tarifa Uso Aeropuerto	Pax Sal	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69
% de afectación	%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
b) Revisión Pas. y Equip	Pax Sal	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43
% de afectación	%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
3.2.1.2 TARIFAS A OPERACIONES (Pesos)																				
a) Aterr. y Estac. Plataf.																				
B-727-200	Op. Lleg	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86	1,221.86
ATR-42	Op. Lleg	267.73	267.73	267.73	267.73	267.73	267.73	267.73	267.73	267.73	267.73	267.73	267.73	267.73	267.73	267.73	267.73	267.73	267.73	267.73
Cessna	Op. Lleg	21.14	21.14	21.14	21.14	21.14	21.14	21.14	21.14	21.14	21.14	21.14	21.14	21.14	21.14	21.14	21.14	21.14	21.14	21.14
b) Servicios Auxiliares																				
Aviación Comercial	Op. Lleg	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00	2,989.00
c) Suministro Comb.																				
B-727-200	Op. Lleg	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64	98.64
ATR-42	Op. Lleg	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95
Cessna	Op. Lleg	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65	16.65
d) Venta Combustible																				
B-727-200	Op. Lleg	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12	2,548.12
ATR-42	Op. Lleg	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12	1,365.12
Cessna	Op. Lleg	684.70	684.70	684.70	684.70	684.70	684.70	684.70	684.70	684.70	684.70	684.70	684.70	684.70	684.70	684.70	684.70	684.70	684.70	684.70
Util. Op. Vta. Turbosina	%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%	3.90%
Util. Op. Vta. Gas-Aviación	%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%	6.90%
e) Serv. Aer. (SENEAM)																				
B-727-200	Op. Lleg	286.94	286.94	286.94	286.94	286.94	286.94	286.94	286.94	286.94	286.94	286.94	286.94	286.94	286.94	286.94	286.94	286.94	286.94	286.94
ATR-42	Op. Lleg	153.72	153.72	153.72	153.72	153.72	153.72	153.72	153.72	153.72	153.72	153.72	153.72	153.72	153.72	153.72	153.72	153.72	153.72	153.72
Cessna	Op. Lleg	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62

TABLA 3.2 (Continuación)

**3.2.1.3 RENTA ANUAL LOCALES EN EDIFICIO TERMINAL (Pesos) (Sin IVA)**

**3.2.1.3.1 RENTA AEROLINEAS**

Concepto / Año	Unidad	Años																			
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
a) Oficinas	S / m2	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180
b) Módulo Documentación	S / Mod.	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390	26,390
c) Venta Boletos	S / Most.	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150	37,150

**3.2.1.3.2 RENTA CONCESIONES**

a) Venta Alim. y Refrescos	S / m2	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460	3,460
b) Renta Autos	S / Most.	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840	44,840
c) Restaurante	S / m2	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385
d) Snack-Bar	S / Und	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160	1,160
e) Artesanías, Dulces, Cig.	S / m2	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050	2,050
f) Gasto Prom. X Pas.	S / Pas	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
g) Partic. Operador Vtas.	%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%

**3.2.1.4 TARIFA DE ESTACIONAMIENTO**

Costo Por Hora	Vehic / hr	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
----------------	------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

TABLA 3.2.2																					
"DATOS BASE DE CALCULO"																					
3.2.2.1 DATOS PASAJEROS																					
Concepto / Año	Unidad	Años																			
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
a) TUA (0.5 pas. toL)	Pas/ Año/2	52,494	66,544	84,354	88,551	92,956	97,580	102,435	107,530	112,880	118,746	124,917	131,409	138,238	145,422	147,530	149,669	151,839	154,040	156,273	
b) ERPE (0.5 pas. toL)	Pas/ Año/2	52,494	66,544	84,354	88,551	92,956	97,580	102,435	107,530	112,880	118,746	124,917	131,409	138,238	145,422	147,530	149,669	151,839	154,040	156,273	
c) Gto. Prom. (0.5 pas. toL)	Pas/ Año/2	52,494	66,544	84,354	88,551	92,956	97,580	102,435	107,530	112,880	118,746	124,917	131,409	138,238	145,422	147,530	149,669	151,839	154,040	156,273	
3.2.2.2 DATOS OPERACIONES																					
a) -terrizaje																					
Av. Com. (0.5 Ops.)	Ops/ Año/2	1,049	1,129	1,215	1,257	1,300	1,344	1,390	1,437	1,486	1,528	1,570	1,614	1,659	1,706	1,734	1,762	1,791	1,820	1,850	
Av. Gral. (0.5 Ops.)	Ops/ Año/2	716	789	870	922	977	1,036	1,097	1,163	1,232	1,292	1,354	1,420	1,488	1,560	1,609	1,660	1,712	1,766	1,821	
b) Servicios Auxiliares																					
Av. Com. (0.5 ops.)	Ops/ Año/2	1,049	1,129	1,215	1,257	1,300	1,344	1,390	1,437	1,486	1,528	1,570	1,614	1,659	1,706	1,734	1,762	1,791	1,820	1,850	
c) Suministro de Comb.																					
Av. Com. (0.5 Ops.)	Ops/ Año/2	1,049	1,129	1,215	1,257	1,300	1,344	1,390	1,437	1,486	1,528	1,570	1,614	1,659	1,706	1,734	1,762	1,791	1,820	1,850	
Av. Gral. (0.5 ops.)	Ops/ Año/2	716	789	870	922	977	1,036	1,097	1,163	1,232	1,292	1,354	1,420	1,488	1,560	1,609	1,660	1,712	1,766	1,821	
d) Venta de comb.																					
Av. Com. (0.5 Ops.)	Ops/ Año/2	1,049	1,129	1,215	1,257	1,300	1,344	1,390	1,437	1,486	1,528	1,570	1,614	1,659	1,706	1,734	1,762	1,791	1,820	1,850	
Av. Gral. (0.5 ops.)	Ops/ Año/2	716	789	870	922	977	1,036	1,097	1,163	1,232	1,292	1,354	1,420	1,488	1,560	1,609	1,660	1,712	1,766	1,821	
e) Servicios Aeroportuarios																					
Av. Com. (0.5 Ops.)	Ops/ Año/2	1,049	1,129	1,215	1,257	1,300	1,344	1,390	1,437	1,486	1,528	1,570	1,614	1,659	1,706	1,734	1,762	1,791	1,820	1,850	
Av. Gral. (0.5 Ops.)	Ops/ Año/2	716	789	870	922	977	1,036	1,097	1,163	1,232	1,292	1,354	1,420	1,488	1,560	1,609	1,660	1,712	1,766	1,821	
3.2.2.3 DISTRIBUCION DE OPERACIONES																					
a) Proporción Ops. Com.																					
B-727-200	% Ops	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	10.00%	15.00%	20.00%	25.00%	30.00%	40.00%	50.00%	60.00%	70.00%	75.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	80.00%	
ATR-42	% Ops	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	90.00%	85.00%	80.00%	75.00%	70.00%	60.00%	50.00%	40.00%	30.00%	25.00%	20.00%	20.00%	20.00%	20.00%	20.00%	
b) Proporción Ops. Av. Gral.																					
Cessna	% Ops	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	

TABLA 3.2.2 (Continuación)																						
3.2.2.4 SUPERFICIE DISPONIBLE EDIFICIO TERMINAL																						
Concepto / Año	Unidad	Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<b>a) Aerolíneas</b>																						
Oficinas	m2		106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185
Módulo de Doc.	Módulo		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Mostrador Venta Boletos	Mostrador		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<b>b) Concesiones</b>																						
Venta Alimentos y Ref.	m2		27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
Renta Autos	Mostrador		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Restaurante	m2		63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
Snack-Bar	Unidad		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Artesanías, Dulces, Cig.	m2		106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	244	244	244	244	244	244	244	244	244	244
<b>EF.2.2.5 VEHICULOS EN ESTACIONAMIENTO</b>																						
Vehic. (100 Ve / h / Día)	Veh/hr/año		36.500	40.657	45.287	48.469	51.875	55.520	59.421	63.596	68.064	72.068	76.307	80.795	85.547	90.578	94.364	98.308	102.416	106.697	111.156	
Tasa de Crecimiento	%			11.40%	11.40%	7.00%	7.00%	7.00%	7.00%	7.00%	7.00%	7.00%	5.90%	5.90%	5.90%	5.90%	5.90%	4.20%	4.20%	4.20%	4.20%	4.20%
<b>3.2.2.6 GASTOS DE OPERACION</b>																						
a) Servicios Personales	Mill \$ / Año		1.836	1.889	1.943	1.996	2.050	2.103	2.156	2.210	2.263	2.316	2.370	2.423	2.477	2.530	2.583	2.637	2.690	2.743	2.797	
b) Servicios Básicos	Mill \$ / Año		1.138	1.191	1.245	1.298	1.351	1.405	1.458	1.512	1.565	1.618	1.672	1.725	1.778	1.832	1.885	1.938	1.992	2.045	2.099	
c) Conserv. y Mant. Menor	Mill \$ / Año		1.119	1.172	1.225	1.279	1.332	1.386	1.439	1.492	1.546	1.599	1.652	1.706	1.759	1.813	1.866	1.919	1.973	2.026	2.079	
d) Materiales y Suministro	Mill \$ / Año		0.412	0.465	0.519	0.572	0.626	0.679	0.732	0.786	0.839	0.892	0.946	1.000	1.052	1.106	1.159	1.213	1.266	1.319	1.373	
e) Mantenimiento Mayor	Mill \$ / Año						9.821					9.821				11.956						
Incremento Anual	%			2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	
Subtotal			4.505	4.717	4.932	5.145	5.357	5.573	5.785	6.000	6.213	6.426	6.640	6.854	7.066	7.281	7.494	7.707	7.921	8.135	8.348	



### III.4.2 ESTIMACION DE LOS INGRESOS

La aplicación de las bases consideradas para estimar los ingresos descritos en el inciso anterior arrojó los resultados que se muestran en la Tabla No. 3.3 "Ingresos".

La tabla se encuentra dividida en cuatro rubros, que son las principales fuentes de ingreso, con el desglose y resultados siguientes:

#### **a) Ingresos por Pasajeros.**

Que considera la aplicación de TUA y ERPE, con un resultado acumulado en el período analizado de \$ 124.78 millones de pesos (Tabla No. 3.3.1 "Ingresos por Pasajeros").

#### **b) Ingresos por Operaciones.**

Que considera la aplicación de las tarifas por aterrizaje y estacionamiento en plataforma; por servicios auxiliares; por suministro y venta de combustible y por servicios aeroportuarios.

El resultado acumulado del período de estudio arroja un monto de \$ 151.98 millones de pesos (Tabla No. 3.3.2 "Ingresos por Operaciones").

#### **c) Ingresos por Renta de Espacio en el Edificio Terminal y Participación de Ventas.**

Que considera la aplicación de los montos de rentas a aerolíneas y concesionarios, así como la participación de las ventas de éstos últimos al operador.

El monto acumulado de ingresos en el período por este concepto asciende a \$ 95.85 MP (Tabla No. 3.3.3 "Ingresos por Renta de Locales en Edificio Terminal").

#### **d) Ingreso por Estacionamiento.**

Que considera la aplicación de las tarifas a los vehículos estimados en el período de análisis, con un monto acumulado de \$ 13.88 MP (Tabla No. 3.3.4 "Ingresos por Estacionamiento").

TABLA 3.3																				
*INGRESOS * (Millones de Pesos)																				
3.3.1 INGRESOS POR PASAJEROS																				
Concepto / Año	Unidad	Años																		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
a) TUA	Ingr / Año	2.871	3.639	4.613	4.843	5.084	5.337	5.602	5.881	6.173	6.494	6.832	7.187	7.560	7.953	8.068	8.185	8.304	8.424	8.547
b) ERPE	Ingr / Año	0.075	0.095	0.121	0.127	0.133	0.140	0.146	0.154	0.161	0.170	0.179	0.188	0.198	0.208	0.211	0.214	0.217	0.220	0.223
<b>Subtotal Pasajeros</b>		<b>2.946</b>	<b>3.734</b>	<b>4.734</b>	<b>4.969</b>	<b>5.217</b>	<b>5.476</b>	<b>5.749</b>	<b>6.035</b>	<b>6.335</b>	<b>6.664</b>	<b>7.010</b>	<b>7.375</b>	<b>7.758</b>	<b>8.161</b>	<b>8.279</b>	<b>8.399</b>	<b>8.521</b>	<b>8.645</b>	<b>8.770</b>
3.3.2 INGRESOS POR OPERACIONES																				
a) Ater. y Estac. Plataf.																				
B-727-200	Ingr / Año	0.000	0.000	0.000	0.000	0.159	0.246	0.340	0.439	0.545	0.747	0.959	1.183	1.419	1.563	1.694	1.722	1.751	1.779	1.808
ATR-42	Ingr / Año	0.281	0.302	0.325	0.336	0.313	0.306	0.298	0.289	0.278	0.245	0.210	0.173	0.133	0.114	0.093	0.094	0.096	0.097	0.099
Cessna	Ingr / Año	0.015	0.017	0.018	0.019	0.021	0.022	0.023	0.025	0.026	0.027	0.029	0.030	0.031	0.033	0.034	0.035	0.036	0.037	0.038
<b>Subtotal a)</b>		<b>0.296</b>	<b>0.319</b>	<b>0.344</b>	<b>0.356</b>	<b>0.493</b>	<b>0.574</b>	<b>0.660</b>	<b>0.752</b>	<b>0.849</b>	<b>1.019</b>	<b>1.198</b>	<b>1.386</b>	<b>1.584</b>	<b>1.710</b>	<b>1.821</b>	<b>1.852</b>	<b>1.883</b>	<b>1.914</b>	<b>1.946</b>
b) Servicios Auxiliares																				
Aviación Com.	Ingr / Año	3.135	3.375	3.632	3.756	3.884	4.016	4.153	4.295	4.442	4.566	4.693	4.824	4.959	5.098	5.181	5.267	5.353	5.440	5.530
<b>Subtotal b)</b>		<b>3.135</b>	<b>3.375</b>	<b>3.632</b>	<b>3.756</b>	<b>3.884</b>	<b>4.016</b>	<b>4.153</b>	<b>4.295</b>	<b>4.442</b>	<b>4.566</b>	<b>4.693</b>	<b>4.824</b>	<b>4.959</b>	<b>5.098</b>	<b>5.181</b>	<b>5.267</b>	<b>5.353</b>	<b>5.440</b>	<b>5.530</b>
c) Suministro Comb.																				
B-727-200	Ingr / Año	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.020	0.027	0.035	0.044	0.060	0.077	0.096	0.115	0.126	0.137	0.139	0.141	0.144	0.146
ATR-42	Ingr / Año	0.056	0.060	0.064	0.067	0.062	0.060	0.059	0.057	0.055	0.049	0.042	0.034	0.026	0.023	0.018	0.019	0.019	0.019	0.020
Cessna	Ingr / Año	0.012	0.013	0.014	0.015	0.016	0.017	0.018	0.019	0.021	0.022	0.023	0.024	0.025	0.026	0.027	0.028	0.029	0.029	0.030
<b>Subtotal c)</b>		<b>0.067</b>	<b>0.073</b>	<b>0.079</b>	<b>0.082</b>	<b>0.091</b>	<b>0.098</b>	<b>0.105</b>	<b>0.112</b>	<b>0.120</b>	<b>0.130</b>	<b>0.142</b>	<b>0.153</b>	<b>0.166</b>	<b>0.175</b>	<b>0.182</b>	<b>0.185</b>	<b>0.189</b>	<b>0.192</b>	<b>0.196</b>
d) Venta de Comb.																				
B-727-200	Ingr / Año	0.000	0.000	0.000	0.000	0.331	0.514	0.708	0.915	1.136	1.557	2.000	2.468	2.959	3.259	3.534	3.592	3.651	3.710	3.771
ATR-42	Ingr / Año	1.432	1.541	1.659	1.715	1.597	1.559	1.517	1.471	1.420	1.251	1.072	0.881	0.679	0.582	0.473	0.481	0.489	0.497	0.505
Cessna	Ingr / Año	0.490	0.540	0.596	0.631	0.669	0.709	0.751	0.796	0.844	0.884	0.927	0.972	1.019	1.068	1.102	1.136	1.172	1.209	1.247
Util. Op. Vta Turbosina	Ingr / Año	0.056	0.060	0.064	0.066	0.393	0.574	0.766	0.974	1.191	1.606	2.043	2.502	2.987	3.281	3.553	3.610	3.670	3.730	3.792
Util. Op. Vta Gas-Aviación	Ingr / Año	0.034	0.036	0.041	0.043	0.047	0.049	0.051	0.056	0.058	0.062	0.064	0.066	0.070	0.075	0.077	0.079	0.081	0.083	0.085
<b>Subtotal d)</b>		<b>0.090</b>	<b>0.096</b>	<b>0.105</b>	<b>0.109</b>	<b>0.440</b>	<b>0.623</b>	<b>0.818</b>	<b>1.029</b>	<b>1.249</b>	<b>1.667</b>	<b>2.107</b>	<b>2.568</b>	<b>3.057</b>	<b>3.356</b>	<b>3.630</b>	<b>3.689</b>	<b>3.751</b>	<b>3.813</b>	<b>3.877</b>
e) Serv. Aeroportuarios																				
B-727-200	Ingr / Año	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037	0.058	0.080	0.103	0.128	0.175	0.225	0.278	0.333	0.367	0.398	0.404	0.411	0.418	0.425
ATR-42	Ingr / Año	0.161	0.174	0.187	0.193	0.180	0.176	0.171	0.166	0.160	0.141	0.121	0.099	0.077	0.066	0.053	0.054	0.055	0.056	0.057
Cessna	Ingr / Año	0.018	0.020	0.022	0.024	0.025	0.027	0.028	0.030	0.032	0.033	0.035	0.036	0.038	0.040	0.041	0.043	0.044	0.045	0.047
<b>Subtotal e)</b>		<b>0.180</b>	<b>0.194</b>	<b>0.209</b>	<b>0.217</b>	<b>0.242</b>	<b>0.260</b>	<b>0.279</b>	<b>0.299</b>	<b>0.319</b>	<b>0.349</b>	<b>0.381</b>	<b>0.413</b>	<b>0.448</b>	<b>0.473</b>	<b>0.492</b>	<b>0.501</b>	<b>0.510</b>	<b>0.519</b>	<b>0.528</b>
<b>Subtotal Operaciones</b>		<b>3.768</b>	<b>4.056</b>	<b>4.368</b>	<b>4.519</b>	<b>5.150</b>	<b>5.570</b>	<b>6.015</b>	<b>6.487</b>	<b>6.979</b>	<b>7.732</b>	<b>8.520</b>	<b>9.346</b>	<b>10.213</b>	<b>10.811</b>	<b>11.307</b>	<b>11.494</b>	<b>11.686</b>	<b>11.878</b>	<b>12.077</b>

TABLA 3.3 (Continuación)																				
3.3.3 INGRESOS POR RENTA LOCALES EN EDIFICIO TERMINAL																				
Concepto / Año	Unidad	Años																		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>a) Renta Aerolíneas</b>																				
Oficinas	Ingr / Año	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231	0.231
Módulo Document.	Ingr / Año	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317
Módulos Vta. Boletos	Ingr / Año	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186	0.186
<b>Subtotal a)</b>	<b>Ingr / Año</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>	<b>0.734</b>
<b>b) Renta Concesiones</b>																				
Vta. Alim. y Refrescos	Ingr / Año	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093
Renta Autos	Ingr / Año	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314	0.314
Restaurante	Ingr / Año	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
Snack-Bar	Ingr / Año	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Artesanías, Dulces, Cig.	Ingr / Año	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217
<b>Subtotal b)</b>	<b>Ingr / Año</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>	<b>0.655</b>
Incr. Anual Renta Locales	%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%	2.50%
<b>Subtotal b) con incr.</b>	<b>Ingr / Año</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>	<b>0.671</b>
<b>c) Participaciones</b>																				
Gasto prom. por pas.	Ingr / Año	1.312	1.664	2.109	2.214	2.324	2.440	2.561	2.688	2.822	2.969	3.123	3.285	3.456	3.636	3.688	3.742	3.796	3.851	3.907
% Particip. Operador	Ingr / Año	0.092	0.116	0.148	0.155	0.163	0.171	0.179	0.188	0.198	0.208	0.219	0.230	0.242	0.254	0.258	0.262	0.266	0.270	0.273
<b>Subtotal c)</b>	<b>Ingr / Año</b>	<b>1.404</b>	<b>1.780</b>	<b>2.256</b>	<b>2.369</b>	<b>2.487</b>	<b>2.610</b>	<b>2.740</b>	<b>2.876</b>	<b>3.020</b>	<b>3.176</b>	<b>3.342</b>	<b>3.515</b>	<b>3.698</b>	<b>3.890</b>	<b>3.946</b>	<b>4.004</b>	<b>4.062</b>	<b>4.121</b>	<b>4.180</b>
<b>Subtotal Locales</b>	<b>Ingr / Año</b>	<b>2.809</b>	<b>3.185</b>	<b>3.661</b>	<b>3.773</b>	<b>3.891</b>	<b>4.015</b>	<b>4.145</b>	<b>4.281</b>	<b>4.424</b>	<b>4.550</b>	<b>4.715</b>	<b>4.889</b>	<b>5.071</b>	<b>5.264</b>	<b>5.320</b>	<b>5.377</b>	<b>5.435</b>	<b>5.494</b>	<b>5.554</b>
<b>3.3.4 INGRESOS POR ESTACIONAMIENTO VEHICULAR</b>																				
Estac. Vehicular	Ingr / Año	0.365	0.407	0.453	0.485	0.519	0.555	0.594	0.636	0.681	0.721	0.763	0.808	0.855	0.906	0.944	0.983	1.024	1.067	1.112

### III.4.3 ESTIMACION DE LOS GASTOS DE OPERACION

Los análisis y las consideraciones empleadas para estimar los gastos o egresos en el que incurriría el operador, así como los montos resultantes se describen a continuación.

Cabe señalar que para el análisis se utilizó información proporcionada por ASA sobre los gastos operativos de 5 aeropuertos (Zihuatanejo, Huatulco, Morelia, Uruapan y Colima).

Estos aeropuertos fueron seleccionados por considerarse una muestra adecuada de características similares a las que podría tener el nuevo aeropuerto de Lázaro Cárdenas en distintas etapas.

Desafortunadamente los registros de gastos del Organismo, no se encuentran organizados en función de centros de costo, lo que hubiera sido ideal para analizar la situación financiera por cada servicio o función que se realiza en el aeropuerto.

Por lo anterior, el desglose de los gastos se basó en considerar las mismas partidas utilizadas por ASA.

Por otra parte cada partida de gasto fue relacionada con parámetros que permitieran establecer ordenes de magnitud y valores adecuados para el estudio, como pasajeros, operaciones y en su caso empleados en el aeropuerto, a fin de determinar el nivel de gasto que se tendría en el nuevo aeropuerto.

Los resultados finales de los gastos de operación considerados se muestran en la Tabla No. 3.2.2.6, "Gastos de Operación".

Debe indicarse que se obtuvieron valores para el año base, y posteriormente se proyectaron.

El crecimiento del gasto se determinó con una tasa de 2.5% anual, inferior a la esperada de pasajeros y operaciones, ya que de acuerdo a la experiencia, confirmada por los datos de los aeropuertos analizados, los gastos de operación crecen a tasas menores, lo cual significa que la productividad y eficiencia operativa aumenta conforme se incrementa el tráfico.

Las partidas de gasto consideradas y sus montos fueron:

#### a) Servicios Personales.

Esta partida se refiere a los gastos realizados por emolumentos al personal. Incluye sueldos, compensaciones y prestaciones de seguridad social y otros.

El monto acumulado de gastos en el período por este concepto asciende a \$ 44.0 MP (Tabla No. 3.2.2.6.a).

**b) Servicios Básicos.**

Esta partida se refiere en aquellos servicios menores que requiere cualquier aeropuerto en operación.

El monto acumulado de gastos en relación con los servicios básicos para todo el período en estudio es de \$ 30.75 millones de pesos (Tabla No. 3.2.2.6.b).

**c) Conservación y Mantenimiento Menor.**

Los gastos de operación para la conservación y el mantenimiento menor se encuentran organizados básicamente en tres grupos: conservación de edificios terminales, conservación de pistas y plataformas y conservación de maquinaria y equipo. Estos labores de mantenimiento se supone que se realizarán generalmente cientos de veces en el período de estudio del aeropuerto.

El monto total acumulado en el período de estudio es de \$ 30.38 millones de pesos (Tabla No. 3.2.2.6.c).

**d) Materiales y Suministros.**

El monto acumulado en el período para todos aquellos materiales y suministros necesarios para la operación del aeropuerto ascienden a \$ 16.96 millones de pesos (Tabla No. 3.2.2.6.d).

**e) Mantenimiento Mayor.**

Este mantenimiento se dirige principalmente a la realización de labores en las áreas de pavimento de uso aeronáutico para garantizar la operación confiable y segura del equipo de vuelo durante sus procedimientos de aterrizaje, despegue, carreteo y estacionamiento en plataforma.

El monto para este concepto es de \$32.0 millones de pesos en el período de análisis del estudio (Tabla No. 3.2.2.6.e).

El monto total de los gastos de operación calculados para el período en estudio es de \$ 154.0 millones de pesos

### III.5 INDICADORES FINANCIEROS

La determinación de la factibilidad financiera de un proyecto se encuentra definida mediante la obtención de indicadores que miden la "Bondad" del mismo, a partir de la evaluación de los factores económicos que intervienen en él, principalmente el flujo de recursos del proyecto.

Los indicadores más usuales y su interpretación es la siguiente;

#### n) La Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es el indicador financiero más utilizado en general para evaluar la factibilidad financiera de un proyecto.

Este indicador representa la tasa de rendimiento a la cual se recupera una inversión en un período de tiempo.

La tasa de rendimiento obtenida debe ser equiparable con la tasa de oportunidad de capital, es decir la tasa de rendimiento que ofrecerían otras alternativas de inversión, por ejemplo las instituciones de crédito.

Se supone que el valor obtenido de la TIR determina la elección entre invertir en el proyecto o canalizar la inversión hacia otros rubros.

La TIR se calcula a partir de la obtención de los flujos netos de recursos anuales y posteriormente, mediante un proceso iterativo, se encuentra la tasa que actualiza dichos valores y que anula o amortiza el monto total invertido, lo que asegura su recuperación a lo largo del período estudiado.

#### b) El Valor Presente Neto (VPN)

El valor presente neto de un flujo de recursos en un período de tiempo determinado, representa la cantidad de recursos que genera dicha inversión, a una tasa dada de rendimiento preestablecida, en valores actualizados.

Para el caso de este estudio, se ha considerado utilizar dos tasas de rendimiento, la primera al 15% anual y la segunda al 30% anual, con lo que se obtendría un margen confiable de certeza de las condiciones económicas del proyecto.

### e) El Período de Recuperación de Capital (PRC)

Este indicador es sumamente sencillo y frecuentemente utilizado para determinar la conveniencia de efectuar una inversión.

Se define como el plazo requerido para que el flujo de recursos netos acumulables de un proyecto, se iguale al desembolso en que se incurrió en ese período.

### III.5.1 OBTENCIÓN DE LOS INDICADORES FINANCIEROS

A fin de determinar los indicadores financieros mencionados, se elaboró la Tabla No. 3.4, "Estado Financiero", que reproduce, de manera resumida, los datos sobre ingresos (Tabla No. 3.4.1) y egresos (Tabla No. 3.4.2) para cada año de estudio.

Cabe destacar que los ingresos acumulados por los distintos conceptos en el período de estudio asciende a \$ 386.48 millones de pesos, en tanto los gastos acumulados considerados alcanzan una cifra de \$ 153.70 MP.

En la Gráfica No. 3.4 se presenta la relación entre los ingresos y los egresos para el nuevo Aeropuerto de Lázaro Cárdenas.

#### **Margen Operativo**

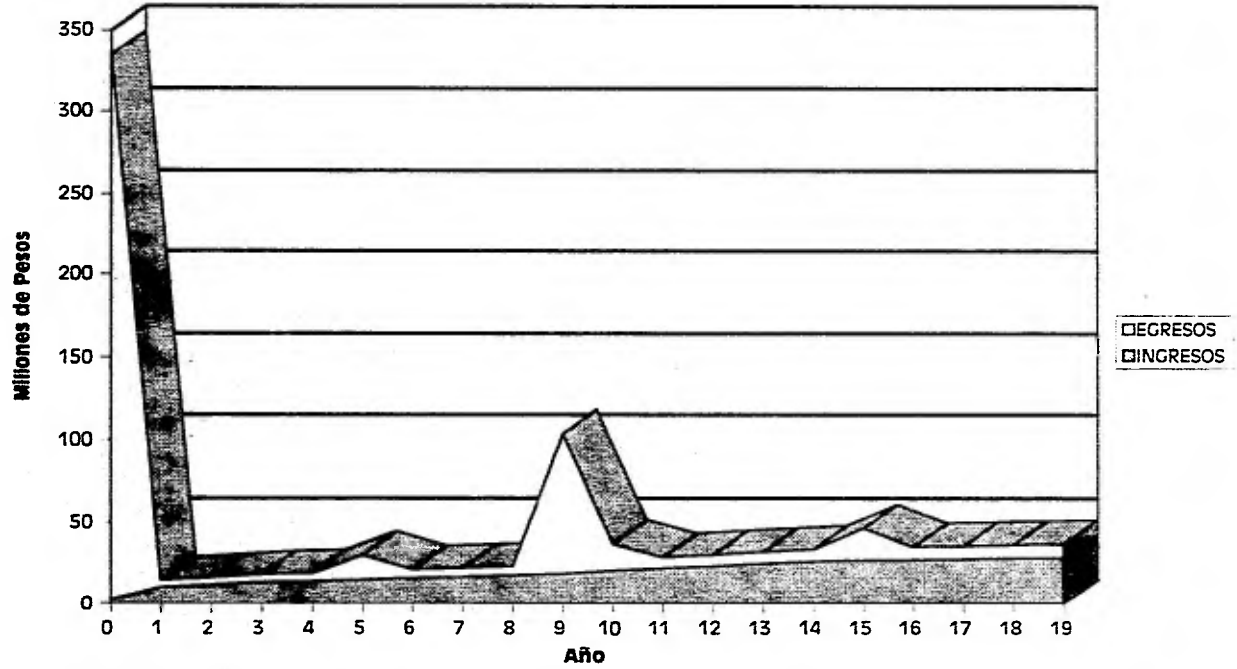
En la tabla mencionada se determina en primer término el margen operativo obtenido a partir de restar los ingresos de cada año de los egresos correspondientes (Tabla No. 3.4.3).

Como se observa en la misma, el margen operativo resulta positivo en todos los años, a excepción del quinto, fecha en la cual se ha previsto una erogación de mantenimiento mayor, que debido al volumen del movimiento estimado para ese año, no alcanza a cubrirse.

Lo anterior implica que, desde el punto de vista operativo, las instalaciones serían superavitarias prácticamente a lo largo de todo un período de análisis, obteniéndose un margen acumulado positivo de \$ 232.79 millones de pesos.

Esto es, los gastos de operación del aeropuerto, alcanzarían a cubrirse con los ingresos generados por la operación y comercialización del mismo, generándose un excedente en prácticamente todos los años del período estudiado.

**Gráfica 3.4 Ingresos y Egresos**





### **Flujo de Recursos Anual y Acumulado**

El siguiente paso para la obtención de los indicadores es calcular el flujo de recursos netos del proyecto (Tabla No. 3.4.6 "Flujo de Recursos").

Para el efecto, es necesario considerar las erogaciones por inversión necesarias para llevarlo a cabo (Tabla No. 3.4.5).

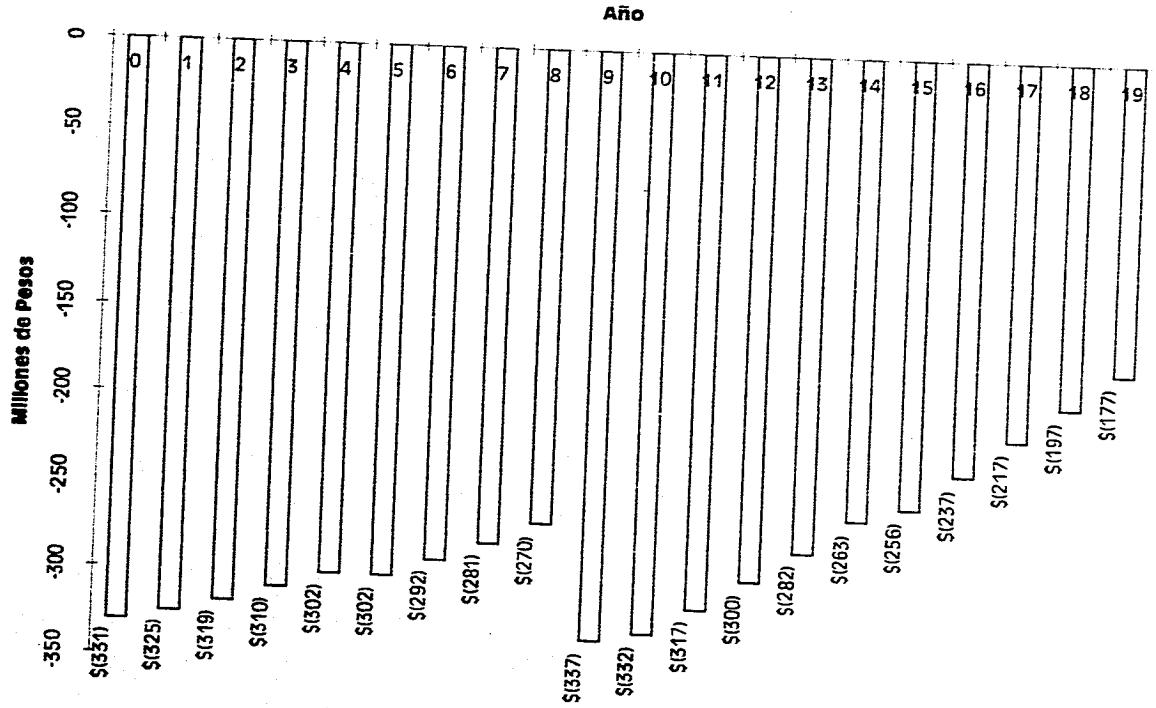
En dicha tabla, se han incluido las inversiones a realizar en las dos etapas previstas en el desarrollo de la infraestructura.

Como se ha mencionado, la inversión inicial se ha ubicado en el año "0", en tanto la segunda etapa se ubicó en el noveno año de operación. Cabe señalar que se ha considerado un posible ingreso en el año "0", como producto de la venta de terrenos del actual aeródromo, lo que disminuye la inversión requerida en la primera etapa (Tabla No. 3.4.4).

El flujo de recursos se obtiene al restar al margen operativo las cifras de inversión mencionadas, (Tabla No. 3.4.7), en tanto el flujo de recursos acumulado se obtiene transfiriendo el saldo de un año al siguiente e incorporando el flujo de recursos de ese año (Gráfica No. 3.5).

Como se observa, el flujo de recursos se vuelve negativo en los años "0", "5" y "9", que corresponden a los años de inversión, así como al de margen operativo negativo. En tanto el flujo de recursos acumulado, es negativo a lo largo de todo el periodo.

**Gráfica 3.5 Flujo de Recursos Acumulado**



### **Indicadores Financieros**

Una vez determinado el flujo de recursos anual y acumulado, es posible obtener los indicadores financieros mencionados anteriormente.

#### **a) Tasa Interna de Retorno**

La Tasa Interna de Retorno del proyecto obtenida es negativa con un valor de -6.54%.

Lo cual significa que no se recuperan las inversiones realizadas en el período de análisis, bajo las consideraciones de ingresos, egresos e inversión descritas (Tabla No. 3.4.8).

#### **b) Valor Presente Neto**

El monto del Valor Presente Neto a una tasa de 15% es negativo y asciende a \$ 265.59 millones de pesos, para la tasa de 30%, el valor es también negativo de \$ 242.54 MP.

Lo anterior significa que se tendrán pérdidas por los montos mencionados a las tasas indicadas (tablas 3.4.9 y 3.4.10).

#### **c) Tiempo de Recuperación del Capital**

El flujo de recursos acumulado muestra que en el período de estudio no se recupera capital, representado por las inversiones realizadas.

En base a los resultados de los indicadores obtenidos, se considera que el proyecto no es factible de realizarse desde el punto de vista financiero, ya que a pesar de contar con un margen operativo positivo a lo largo del período de análisis, el excedente de operación no alcanza a cubrir los montos de la inversión requerida para ejecutarlo (Tabla No. 3.4.11).

TABLA 3.4 "ESTADO FINANCIERO"																					
3.4.1 INGRESOS DE OPERACION																					
Concepto / Año	Unidad	Años																			
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
a) Pasajeros (TUA y ERPE)	MP / Año		2,946	3,734	4,734	4,969	5,217	5,476	5,749	6,035	6,335	6,654	7,010	7,375	7,758	8,161	8,779	8,399	8,521	8,645	8,770
b) Operaciones	MP / Año		3,768	4,056	4,368	4,519	5,150	5,570	6,015	6,487	6,979	7,732	8,520	9,346	10,213	10,811	11,307	11,494	11,686	11,878	12,077
c) Renta Locales (Edif. Term.)	MP / Año		2,809	3,185	3,661	3,773	3,891	4,015	4,145	4,281	4,424	5,550	5,715	5,889	6,071	6,264	6,320	6,377	6,435	6,494	6,554
d) Estacionamiento	MP / Año		0,365	0,407	0,454	0,485	0,519	0,555	0,594	0,636	0,681	0,721	0,763	0,808	0,855	0,906	0,944	0,983	1,024	1,067	1,112
<b>Subtotal</b>			<b>9,888</b>	<b>11,382</b>	<b>13,216</b>	<b>13,747</b>	<b>14,776</b>	<b>15,617</b>	<b>16,502</b>	<b>17,438</b>	<b>18,418</b>	<b>20,667</b>	<b>22,008</b>	<b>23,617</b>	<b>24,898</b>	<b>26,142</b>	<b>26,850</b>	<b>27,254</b>	<b>27,667</b>	<b>28,084</b>	<b>28,512</b>
3.4.2 GASTOS DE OPERACION																					
a) Servicios Personales	MP / Año		1,836	1,889	1,943	1,996	2,050	2,103	2,156	2,210	2,263	2,316	2,370	2,423	2,477	2,530	2,583	2,637	2,690	2,743	2,797
b) Servicios Básicos	MP / Año		1,133	1,191	1,245	1,298	1,351	1,405	1,458	1,512	1,565	1,618	1,672	1,725	1,778	1,832	1,885	1,938	1,992	2,045	2,099
c) Conserv. y Mant. Menor	MP / Año		1,119	1,172	1,225	1,279	1,332	1,386	1,439	1,492	1,546	1,599	1,652	1,706	1,759	1,813	1,866	1,919	1,973	2,026	2,079
e) Mantenimiento Mayor	MP / Año		0,000	0,000	0,000	0,000	9,821	0,000	0,000	0,000	0,000	9,821	0,000	0,000	0,000	0,000	11,956	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Subtotal</b>			<b>4,505</b>	<b>4,717</b>	<b>4,932</b>	<b>5,145</b>	<b>15,18</b>	<b>5,573</b>	<b>5,785</b>	<b>6,000</b>	<b>6,213</b>	<b>16,206</b>	<b>6,64</b>	<b>6,854</b>	<b>7,066</b>	<b>7,281</b>	<b>19,449</b>	<b>7,707</b>	<b>7,921</b>	<b>8,135</b>	<b>8,348</b>
3.4.3 MARGEN OPERATIVO																					
Margen Operativo	MP / Año		5,383	6,665	8,284	8,602	10,400	10,044	10,717	11,438	12,205	4,421	15,368	16,563	17,832	18,861	7,401	19,547	19,746	19,951	20,164
3.4.4 INGRESOS POR RECUPERACION TERRENOS																					
venta de Terrenos	MP / Año																				
<b>Subtotal</b>			<b>2,131</b>																		
3.4.5 GASTOS DE INVERSION																					
a) Adquisición de Terrenos	3,37%	13,862																			
b) Zona Aeronáutica	50,83%	175,997																			
c) Zona Terminal	5,70%	14,619																			
d) Instalaciones de Apoyo	7,50%	29,855																			
e) Vialidades	14,44%	36,342																			
f) A. Visuales y Padiayudas	1,09%	4,469																			
g) Acometidas	1,06%	4,350																			
h) Equipamiento	0,76%	2,748																			
i) Estudios y Proyectos	6,78%	22,563																			
j) Reserva Imprevistos	8,47%	28,294																			
<b>Subtotal</b>	100,00%	<b>332,809</b>																			
APORTACIONES METAS DEL GOBIERNO																					
Aportación	0,00%	0,000																			
<b>Subtotal</b>																					
3.4.6 FLUJO DE RECURSOS																					
Flujo de Recursos	MP / Año	(330,678)	5,383	6,665	8,284	8,602	10,400	10,044	10,717	11,438	(66,584)	4,421	15,368	16,563	17,832	18,861	7,401	19,547	19,746	19,951	20,164
3.4.7 FLUJO DE RECURSOS ACUMULADO																					
Flujo de Recursos Acum.	MP / Año	(330,68)	(325,30)	(318,63)	(310,35)	(301,75)	(302,15)	(292,11)	(281,39)	(269,99)	(336,53)	(182,11)	(316,74)	(300,18)	(282,39)	(265,49)	(256,09)	(236,54)	(216,80)	(196,85)	(176,68)
3.4.8 TASA INTERNA DE RETORNO																					
TR	%		4,54																		
3.4.9 VALOR PRESENTE NETO AL 15%																					
VPN	15,00%		(285,59)																		
3.4.10 VALOR PRESENTE NETO AL 30%																					
VPN	30,03%		(242,54)																		
3.4.11 PERIODO DE RECUPERACION DE CAPITAL																					
PRC	Año		No Existe																		

## CAPITULO IV

### **"DISEÑO DE PAVIMENTOS"**

#### **IV.1 GENERALIDADES**

**E**l objetivo inicial de este capítulo consiste en describir las directrices más importantes para la evaluación de los pavimentos de los aeropuertos, abarcando diferentes niveles de necesidades en cuanto al diseño de éstos.

Posteriormente se diseña el pavimento para el nuevo Aeropuerto de Lázaro Cárdenas por medio del método de la FAA (Federal Aviation Administration), el cual es explicado en este mismo capítulo en forma preliminar al cálculo del pavimento.

#### **IV.2 ELEMENTOS DE EVALUACION DE LOS PAVIMENTOS**

El comportamiento de todo pavimento depende (1) de los materiales propios del lugar, que después de la nivelación y de la preparación se llama terreno de cimentación; (2) de su estructura, que comprende todas las capas hasta la superficie, y (3) de la masa y la frecuencia de las aeronaves que los utilizan. Cada uno de estos tres elementos deben considerarse al evaluar un pavimento.

##### **-Terreno de Cimentación.**

El terreno de cimentación es la capa de material que se encuentra inmediatamente debajo de la estructura del pavimento, que se prepara durante la construcción para soportar las cargas transmitidas por el pavimento. Se prepara extirpando la vegetación, nivelando o bien creando la pendiente planificada mediante operaciones de corte y de relleno y compactando el suelo a la densidad necesaria.

La resistencia del terreno de cimentación es un elemento importante que debe tenerse en cuenta para la evaluación o el cálculo de un pavimento o para cada sección de un pavimento evaluado o calculado por separado. La resistencia del suelo y por lo tanto la resistencia del terreno de cimentación dependen mucho de la humedad del terreno, que debe evaluarse para el estado que se prevé lograr *in situ*, debajo de la estructura del pavimento.

Salvo el caso de ciertas capas acuiferas altas, de un avenamiento o usual o de un pavimento extremadamente poroso o agrietado, la humedad del terreno tenderá a estabilizarse en los pavimentos anchos a un valor superior al 90% de la saturación total. La variación estacional normalmente es pequeña e incluso nula y es posible lograr condiciones de gran humedad aún en terrenos de zonas bastante áridas.

Como los materiales pueden ser de tipo diferente, la resistencia del terreno de cimentación establecida para un pavimento particular puede caer dentro de cualquiera de las categorías de resistencia del terreno de cimentación.

#### -Estructura del Pavimento.

Los términos "rígido" y "flexible" se utilizan para identificar los dos tipos principales de pavimentos. Con estos términos se pretende identificar la respuesta de cada tipo a las cargas.

El elemento primario de un *pavimento de tipo rígido* es una capa o losa de cemento Portland, en forma de concreto, armado o no, de diferentes tipos. Debajo del mismo se deja con frecuencia una capa de piedra granular que contribuya a afirmar la estructura y a facilitar el avenamiento. Un pavimento rígido que sufre cargas superficiales las distribuye por flexión o por efecto de viga hacia áreas más amplias del terreno de cimentación. La resistencia del pavimento depende del espesor y de la resistencia de la capa de concreto y de las capas sucesivas sobre el terreno de cimentación.

El pavimento debe poseer las características necesarias para distribuir las cargas superficiales de manera que la presión sobre el terreno no exceda de la resistencia evaluada.

Un *pavimento de tipo flexible* consiste en una serie de capas cuya resistencia aumenta desde el terreno de cimentación hasta la capa superficial. Comúnmente se utiliza una serie tal como: subrasante, sub-base, base y carpeta. Sin embargo, las capas inferiores pueden no existir en un pavimento dado.

Los pavimentos provistos para las aeronaves de gran peso por lo general poseen un capa de rodadura ligada con material asfáltico.

El pavimento flexible cede más bajo las cargas superficiales, llevando a cabo simplemente una ampliación de área de carga y la reducción consiguiente de presión capa por capa. En cada nivel, desde la superficie hasta el terreno de cimentación, las capas deben tener resistencia suficiente para tolerar las presiones a su nivel.

El pavimento depende por lo tanto del espesor sobre el terreno de cimentación, para reducir la presión superficial a un valor que este terreno pueda aceptar.

Salvo el caso de ciertas capas acuíferas altas, de un avenamiento o usual o de un pavimento extremadamente poroso o agrietado, la humedad del terreno tenderá a estabilizarse en los pavimentos anchos a un valor superior al 90% de la saturación total. La variación estacional normalmente es pequeña e incluso nula y es posible lograr condiciones de gran humedad aún en terrenos de zonas bastante áridas.

Como los materiales pueden ser de tipo diferente, la resistencia del terreno de cimentación establecida para un pavimento particular puede caer dentro de cualquiera de las categorías de resistencia del terreno de cimentación.

#### -Estructura del Pavimento.

Los términos "rígido" y "flexible" se utilizan para identificar los dos tipos principales de pavimentos. Con estos términos se pretende identificar la respuesta de cada tipo a las cargas.

El elemento primario de un *pavimento de tipo rígido* es una capa o losa de cemento Portland, en forma de concreto, armado o no, de diferentes tipos. Debajo del mismo se deja con frecuencia una capa de piedra granular que contribuya a afirmar la estructura y a facilitar el avenamiento. Un pavimento rígido que sufre cargas superficiales las distribuye por flexión o por efecto de viga hacia áreas más amplias del terreno de cimentación. La resistencia del pavimento depende del espesor y de la resistencia de la capa de concreto y de las capas sucesivas sobre el terreno de cimentación.

El pavimento debe poseer las características necesarias para distribuir las cargas superficiales de manera que la presión sobre el terreno no exceda de la resistencia evaluada.

Un *pavimento de tipo flexible* consiste en una serie de capas cuya resistencia aumenta desde el terreno de cimentación hasta la capa superficial. Comúnmente se utiliza una serie tal como: subrasante, sub-base, base y carpeta. Sin embargo, las capas inferiores pueden no existir en un pavimento dado.

Los pavimentos provistos para las aeronaves de gran peso por lo general poseen un capa de rodadura ligada con material asfáltico.

El pavimento flexible cede más bajo las cargas superficiales, llevando a cabo simplemente una ampliación de área de carga y la reducción consiguiente de presión capa por capa. En cada nivel, desde la superficie hasta el terreno de cimentación, las capas deben tener resistencia suficiente para tolerar las presiones a su nivel.

El pavimento depende por lo tanto del espesor sobre el terreno de cimentación, para reducir la presión superficial a un valor que este terreno pueda aceptar.

El pavimento flexible debe también poseer una estructura de espesor suficiente sobre cada capa, para reducir la presión a un nivel aceptable para la capa. Además, la capa de rodadura debe tener resistencia suficiente para aceptar sin peligro las presiones provocadas por los neumáticos de la aeronave sobre la misma.

#### -Carga de las Aeronaves.

La masa de la aeronave se transmite al pavimento a través del tren de aterrizaje. El número de las ruedas, su espaciado, la presión y el tamaño de los neumáticos, determinan la distribución de la carga de la aeronave sobre el pavimento. En general, el pavimento debe tener resistencia suficiente para soportar las cargas aplicadas por cada rueda, no sólo en la superficie y en el terreno de cimentación sino también en las capas intermedias.

En el caso de ruedas poco espaciadas, por ejemplo en los trenes con ruedas gemelas y en los bogies de cuatro ruedas y aún en el caso de ruedas adyacentes de aeronaves con trenes de aterrizaje complejos, el efecto de las cargas distribuidas de las ruedas adyacentes se superpone al nivel del terreno de cimentación (y en las capas intermedias).

En tales casos, las presiones efectivas son las presiones combinadas de dos o más ruedas y la estructura del pavimento debe atenuarlas suficientemente.

Como la distribución de la carga por la estructura del pavimento se realiza en una zona mucho más angosta en un terreno de cimentación de gran resistencia que en uno de baja resistencia, los efectos combinados de las ruedas adyacentes son mucho menores en pavimentos de gran resistencia que en los pavimentos de poca resistencia. Por esta razón, los efectos relativos de dos tipos de aeronaves no son los mismos para pavimentos de resistencia nominal equivalente.

Esto constituye la base de la notificación de la resistencia del pavimento por categoría de resistencia del terreno de cimentación. Dentro de la categoría de resistencia del terreno de cimentación, los efectos relativos de los tipos de aeronaves sobre los pavimentos pueden establecerse inequívocamente y con una precisión aceptable.

#### -Repeticiones de las Cargas y Composición del Tráfico.

No es suficiente considerar únicamente la magnitud de la carga. Existe una fatiga o repeticiones del factor de carga que también hay que considerar. La magnitud y las repeticiones deben tratarse en conjunto y un pavimento que se ha previsto para soportar una magnitud de carga con un número definido de repeticiones, puede soportar una carga mayor con pocas repeticiones y una carga menor con una frecuencia mayor. Por lo tanto es posible establecer el efecto de una masa de aeronave en términos de repeticiones equivalentes de otra masa (y tipo) de aeronave.



La aplicación de este concepto permite determinar una magnitud simple (seleccionarla) de carga y niveles de repetición que representan el efecto de los diferentes tipos de aeronaves que utilizan un pavimento.

#### -Estudio sobre el Estado del Pavimento.

Una parte sumamente importante de la evaluación es un estudio cuidadoso del estado del pavimento. El mismo debe examinarse cuidadosamente por si hubiera deterioro, desplazamiento o modificaciones de cualquier tipo.

Cualquier modificación observable en el pavimento da información sobre los efectos del tráfico o del ambiente sobre el pavimento. Los efectos observables del tráfico, junto con una evaluación de la magnitud de la composición de este tráfico, pueden ofrecer una base excelente para determinar la capacidad de un pavimento.

### **IV.3 METODO DE LA ADMINISTRACION FEDERAL DE AVIACION (FAA) PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS**

#### **IV.3.1 INTRODUCCION**

La Administración Federal de Aviación (FAA) de los Estados Unidos, ha adoptado el método de calcular y notificar la resistencia de los pavimentos de un aeropuerto en función del peso bruto de la aeronave, para cada tipo de tren de aterrizaje. Esto permite evaluar un pavimento respecto a su idoneidad para soportar los varios tipos y pesos de aeronaves. La comparación entre la resistencia del pavimento (notificada como peso bruto que se refiere a las aeronaves equipadas con trenes de aterrizaje de ruedas simples, ruedas gemelas y ruedas dobles en tándem), y el peso bruto efectivo de una determinada aeronave, establecerá la idoneidad del pavimento para que en él opere la aeronave.

La FAA adoptó el método del Índice de Resistencia de California (CBR) para el cálculo de pavimentos flexibles, la hipótesis de carga sobre los bordes para el cálculo de los pavimentos rígidos y el sistema unificado de clasificación de suelos.

En este subcapítulo se presenta una descripción detallada de los procedimientos y criterios vigentes, que la FAA ha considerado necesario seguir al proyectar los pavimentos y al llevar a cabo una evaluación de la resistencia de los mismos.

### IV.3.2 INVESTIGACIONES Y CONSIDERACIONES BASICAS

Uno de los factores para el análisis de la resistencia de un pavimento es el estudio del espesor del pavimento y sus componentes así como características locales, tanto climáticas como topográficas, la cimentación, la calidad de los materiales y los métodos de construcción, son todos ellos elementos esenciales de cualquier técnica de evaluación, la cual debe comprender las siguientes investigaciones:

a) Exámen detallado del estado de los pavimentos existentes, que muestra la forma en que éstos se comportan bajo el tránsito. Deben representarse exactamente en un plano todas las zonas de falla e indagarse sus causas. Es sumamente importante distinguir entre roturas debidas al tránsito y las cargas, y las debidas al clima, drenaje o deficiencia de los materiales, así como a mano de obra defectuosa.

b) La investigación del suelo deberá ser completa, a fin de que revele las variaciones importantes en su estructura, cambios de contenido de humedad, capas que retengan agua, nivel de aguas freáticas, y otros datos similares.

c) Deben efectuarse ensayos adecuados, tanto en el terreno como en el laboratorio, para evaluar los cimientos, así como los componentes del pavimento.

d) Estudio de las características del drenaje del terreno, para comprobar si han de tomarse medidas correctivas antes de emprender cualquier trabajo de reparación.

e) Deberá emprenderse un análisis de los antecedentes del tránsito en el aeropuerto, tanto por lo que se refiere al peso de las aeronaves como al número de operaciones asociadas con la densidad del tránsito en la zona que se estudia, relacionándolo debidamente con la actuación del pavimento.

f) Deberán evaluarse la calidad de los materiales del pavimento y la bondad de los métodos y procedimientos de construcción, para determinar el grado de conformidad con las normas y especificaciones.

El estudio del terreno no se limita a los terrenos descubiertos por los trabajos de nivelación, ni forzosamente a la zona del aeropuerto. Deberán investigarse también los lugares de origen de los materiales disponibles en la zona, tales como los bancos de préstamo o la fuente de los agregados áridos.

Deberán obtenerse y ensayarse en laboratorio las muestras representativas de las diferentes capas de los subsuelos encontrados y de los diferentes materiales de construcción descubiertos, con el propósito de determinar sus propiedades físicas y técnicas. Como los resultados de un ensayo han de ser tan buenos como la muestra, reviste suma importancia que cada muestra sea representativa de un tipo particular de material de terreno y no una mezcla descuidada e indiscriminada de diferentes materiales.

Puede ser necesario hacer cortes y perforaciones a cielo abierto para efectuar ensayos de resistencia *in situ*, para tomar muestras inalteradas, para registrar los diferentes estratos del terreno, etc. Este tipo de investigación complementaria del terreno se recomienda para las situaciones que justifiquen un alto grado de precisión. o bien cuando las condiciones locales son complejas y exigen una investigación amplia.

#### IV.3.3 ENSAYOS DE TERRENOS

##### -Propiedades Físicas de los Terrenos.

Para determinar las propiedades físicas del terreno y proporcionar una estimación de comportamiento bajo diferentes condiciones es preciso llevar a cabo ciertos ensayos.

##### -Requisitos de los Ensayos.

Los ensayos de los terrenos se identifican generalmente mediante términos que indican las características del terreno que los ensayos han de revelar. A continuación se indican los términos que identifican los ensayos que se consideran como requisito mínimo o básico para el pavimento de los aeropuertos, con sus designaciones ASTM (American Society of Testing Materials) y una breve explicación:

##### a) Preparación en Seco de Muestras de Terrenos para Análisis Granulométrico y Determinación de las Constantes del Terreno (ASTM D-421) o Preparación en Húmedo de Muestras de Terreno para Análisis Granulométrico y Determinación de las Constantes del Terreno (ASTM D-2217).

El método en seco (D-421) deberá utilizarse únicamente para materiales granulares limpios y sin cohesión. El método en húmedo (D-2217) deberá utilizarse para todos los materiales coherentes o los casos límite. En caso de duda, deberá utilizarse el método en húmedo.

##### b) Análisis Granulométrico de los Terrenos (ASTM C-422).

Este análisis proporciona una determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de partículas en los terrenos.

**c) Límite de Plasticidad de los Terrenos (ASTM D-424).**

El límite de plasticidad de un terreno se define con el contenido mínimo de humedad al cual un terreno pasará del estado semisólido al estado plástico. Cuando el contenido de humedad es superior al límite plástico, se presenta una caída brusca en la estabilidad de los terrenos.

**d) Límite Líquido de los Terrenos (ASTM D-423).**

El límite líquido de un terreno se define como el contenido mínimo de humedad al cual un terreno pasa del estado plástico al estado líquido. El estado líquido se define como el estado en el cual la resistencia al cizallamiento del terreno es tan escasa que una fuerza pequeña lo haría fluir.

**e) Índice de Plasticidad de los Terrenos (ASTM D-424).**

El índice de plasticidad es la diferencia numérica entre el límite de plasticidad y el límite líquido. Indica la gama de contenido de humedad sobre la cual un terreno queda en estado plástico antes de pasar al estado líquido.

**f) Relaciones de Humedad-Densidad de los Terrenos (ASTM D-698 ASTM D-557).**

Para los fines del control de compactación durante la construcción, deberán llevarse a cabo ensayos para determinar las relaciones humedad-densidad de los diferentes tipos de terrenos.

1) Para los pavimentos previstos para servir a las aeronaves cuyo peso sea de 13,000 kg o más, utilícese el método ASTM D-1557.

2) Para los pavimentos previstos para servir a las aeronaves con un peso inferior a 13,000 kg, utilícese el método ASTM D-698.

**-Ensayos Complementarios.**

En muchos casos se requerirán otros ensayos, los cuales se enumeran a continuación:

**a) Factores de Contracción de los Terrenos (ASTM D-427).**

Puede requerirse este ensayo en las zonas en que pudieran encontrarse suelos sometidos a hinchamiento.

b) Permeabilidad de los Terrenos Granulares (ASTM D-2434).

Puede ser necesario efectuar este ensayo para contribuir al cálculo del avenamiento subterráneo.

c) Determinación del Material Orgánico en los Terrenos por Combustión en Húmedo (AASHTO T-194).

Puede ser necesario efectuar este ensayo en las zonas en que se encuentren o se sospeche la existencia de bolsones profundos de material orgánico.

d) Índice de Resistencia de Suelos Compactados en Laboratorio (ASTM D-1883).

Se utiliza este ensayo para asignar un valor al índice de resistencia California (CBR), a los terrenos de cimentación que han de utilizarse en el cálculo de los pavimentos flexibles.

e) Módulo de Reacción del Terreno (AASHTO T-222).

Se utiliza este ensayo para determinar el módulo de reacción k del terreno, para utilizar en el cálculo de los pavimentos rígidos.

f) Índice de Resistencia California, Ensayos Realizados en el Lugar.

Los ensayos de resistencia realizados en el lugar pueden efectuarse cuando las condiciones locales están de acuerdo con las condiciones de densidad y humedad que existirán bajo el pavimento que se calcula.

#### IV.3.4 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCCS)

El método normalizado de clasificación de terrenos para fines técnicos es la norma ASTM D-2487, y se le designa comúnmente como sistema unificado.

El cambio del sistema FAA al sistema unificado se basa en los resultados de una investigación en la que se compararon tres métodos diferentes de clasificación de terrenos. El estudio realizado en esta investigación llegó a la conclusión de que el sistema unificado es superior para revelar las propiedades de los terrenos que afectan la efectividad del pavimento de los aeropuertos.

El propósito principal en la determinación de la clasificación de los terrenos consiste en permitir al técnico predecir el comportamiento probable de los terrenos. Las constantes de los terrenos proporcionan asimismo, por sí solas, cierta guía en la cual se han de basar las predicciones sobre la efectividad. El SUCCS clasifica los terrenos primeramente a base del tamaño del grano, y establece posteriormente subgrupos de terrenos sobre las constantes de plasticidad.

En la Tabla No. 4.1 se presenta la clasificación de los terrenos según el sistema unificado.

TABLA 4.1  
"CLASIFICACION DE TERRENOS PARA APLICACIONES  
DE PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS"

<i>DIVISIONES PRINCIPALES</i>		<i>Simbolos de grupos</i>	
Suelos de grano grueso: más del 50% retenido en la malla # 200 (1)	Grava 50% o más de la fracción gruesa retenida en la malla # 4	Grava limpia Grava con finos	GW GP GM GC
	Arenas menos del 50% de la fracción gruesa retenida en la malla # 4	Arena limpia	SW SP
		Arena con finos	SM SC
Suelo de grano fino: 50% o menos retenido en la malla # 200 (1)	Limos y arcillas		ML
	Limite líquido		CL
	50% o menos		OL
	Limos y arcillas		MH
	Limite líquido		CH
	Superior al 50%		OH
Suelos muy orgánicos			PT

(1) A base del material que pasa por la malla de 75 mm (3 pulgadas)

Como se indica en la Tabla No. 4.1, la división inicial de terrenos se basa en la separación de terrenos de grano grueso y de grano fino y en terrenos de alto contenido orgánico.

La distinción entre terrenos de grano grueso y de grano fino se determina según la cantidad de material retenido en la malla # 200.

Los terrenos de grano grueso se subdividen en grava y arena, a base de la cantidad de material retenido en la malla # 4.

La grava y la arena se clasifican entonces de acuerdo con la presencia o ausencia de material fino.

Los suelos de grano fino se subdividen en dos grupos, a base del limite líquido.

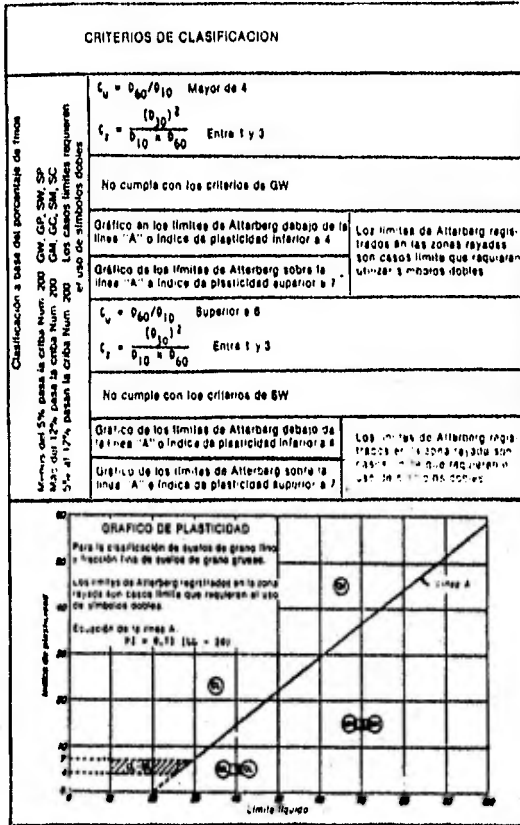
Se establece una división a parte de suelos de alto contenido orgánico, para los materiales que generalmente no son adecuados para fines de construcción.

En la clasificación final de los suelos el material se subdivide en 15 grupos diferentes. A continuación se indican los símbolos de los grupos y una breve descripción de cada uno de ellos:

- a) GW.- gravas homogéneas y mezclas grava-arena, con poco o ningún fino.
- b) GP.- grava no homogénea y mezclas grava-arena, con poco o ningún fino.
- c) GM.- arcilla limosa, mezclas grava-arena-limo.
- d) GC.- grava arcillosa, mezclas grava-arena-arcilla.
- e) SW.- arenas homogéneas y arenas con grava, poco o ningún fino.
- f) SP.- arena no homogénea y arena con grava, poco o ningún fino.
- g) SM.- arena limosa, mezclas arena-limo.
- h) SC.- arena arcillosa, mezclas arena-arcilla.
- i) ML.- limo inorgánico, arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa.
- j) CL.- arcilla inorgánica de plasticidad baja a mediana, arcilla con grava, arcilla limosa, arcilla pobre.
- k) OL.- limo orgánico y arcilla limosa orgánica de baja plasticidad.
- l) MH.- limo inorgánico, arena fina micácea o diatomácea o limo, limo plástico.
- m) CH.- arcilla inorgánica de alta plasticidad, arcilla grasa.
- n) OH.- arcilla orgánica de plasticidad media a alta.
- o) PT.- turba, barro y otros suelos muy orgánicos.

La determinación del grupo de clasificación final requiere otros criterios aparte del indicado en la Tabla No. 4.1. Estos criterios se presentan en la Figura No. 4.1 y son aplicables tanto a los suelos de grano grueso como de grano fino.

FIGURA 4.1 "CRITERIOS DE CLASIFICACION DE LOS SUELOS"





En la Figura No. 4.2 se presenta un organigrama en el que se detalla el proceso de clasificación de los suelos. Este organigrama indica los pasos necesarios para clasificar los suelos de acuerdo con la ASTM D-2487.

Una de las ventajas principales de la ASTM D-2487, Sistema unificado de clasificación de suelos, es que se ha preparado también un método sencillo y rápido de clasificación en el lugar. Este procedimiento permite que el personal del terreno clasifique los suelos con bastante precisión, con tiempo y equipo mínimos.

La Tabla No. 4.2 detalla las características pertinentes de los suelos utilizados para los cimientos del pavimento. Estas características se han de considerar como aproximadas y los valores que allí figuran son generalizaciones que no deben utilizarse en remplazo de los ensayos.

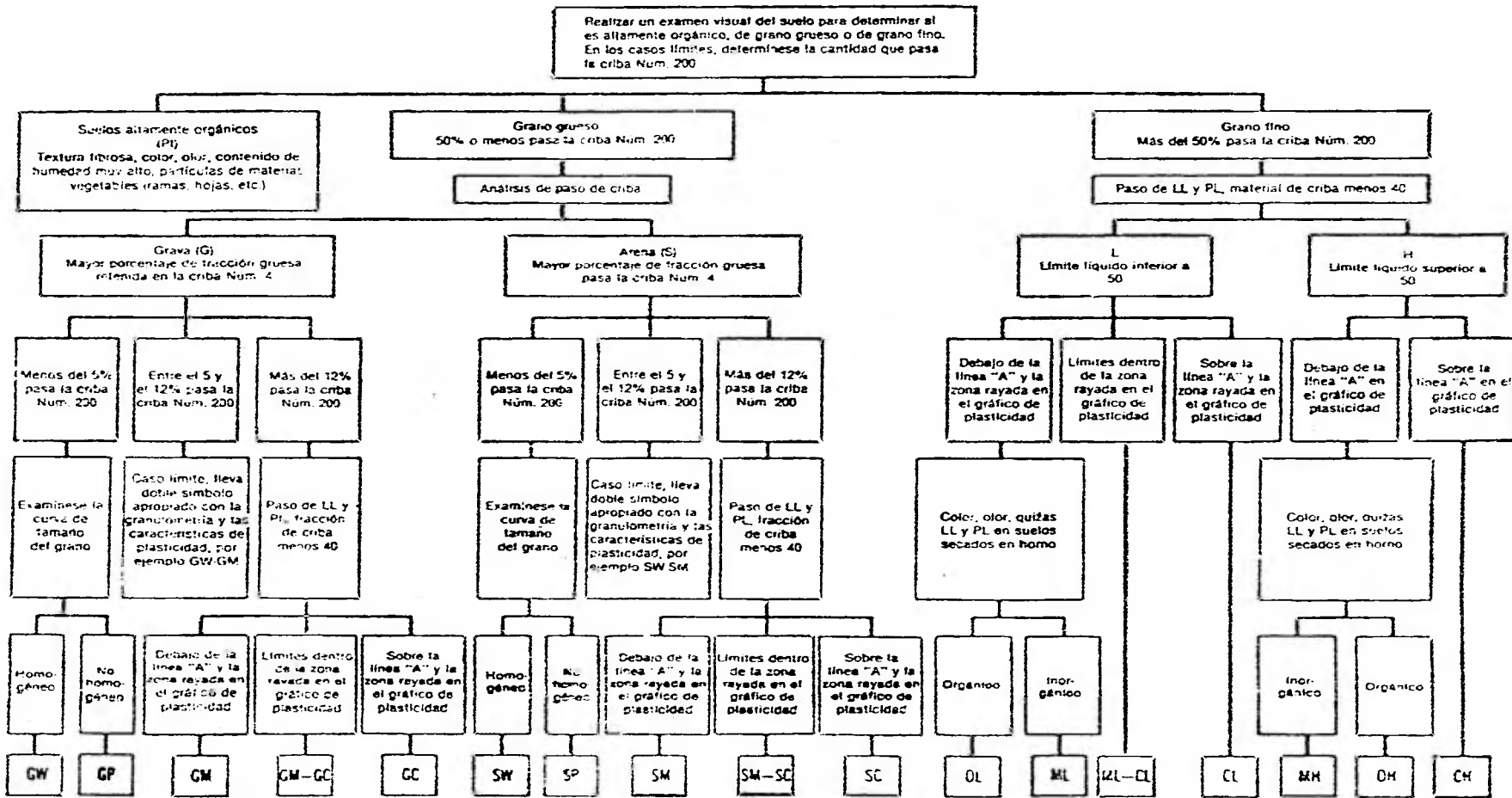
#### IV.3.5 ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL TERRENO

La clasificación de los terrenos para fines técnicos proporciona un indicio del comportamiento probable del terreno como cimentación para el pavimento. Sin embargo, esta indicación del comportamiento es aproximada. El comportamiento puede ser diferente del previsto debido a varias razones, tales como grado de compactación, grado de saturación, altura del terreno de recubrimiento, etc. La posibilidad de predecir incorrectamente el comportamiento del terreno de cimentación puede eliminarse ampliamente midiendo la resistencia del terreno.

La resistencia de los materiales previstos para utilizar en las estructuras de pavimentos flexibles se mide según el índice de penetración California (CBR).

Los materiales previstos para utilizar en las estructuras de pavimentos rígidos se ensayan según el método de placa de carga.

FIGURA 4.2 "NOMOGRAMA PARA EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS"



Nota: Los tamaños de criba son norma de los Estados Unidos.  
 \* Si los finos interfieren con las propiedades de arenamiento libre, utilícese un símbolo doble, tal como GW-GM, etc.

TABLA 4.2 "CARACTERISTICAS DE LOS CIMIENTOS DE LOS PAVIMENTOS"

Divisiones principales (1)	Letras (3)	Nombre (4)	Valor como cimiento, no sujeto al efecto de la helada (5)	Valor como firme directamente debajo del revestimiento (6)	Possible efecto de la helada (7)	Comprimibilidad y dilatación (8)	Características de avenamiento (9)	Equipo de compactación (10)	Peso seco unitario (lb/ft <sup>3</sup> ) (11)	CBR del lugar (12)	Modulo del terreno de fundación (lb/ft <sup>2</sup> ) (13)	
Suelos de grano grueso	GW	Grava o grava arenosa, uniforme	Excelente	Bueno	Nula hasta muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de oruga con equipo sobre neumáticos rodillo con ruedas de acero	125-140	60-80	300 o más	
	GP	Grava o grava arenosa, no uniforme	Bueno hasta excelente	Malo hasta aceptable	Nula hasta muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de oruga con equipo sobre neumáticos rodillo con ruedas de acero	120-130	35-60	300 o más	
	GU	Grava o grava arenosa, graduación uniforme	Bueno	Malo	Nula hasta muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de oruga, equipo sobre neumáticos	115-125	25-50	300 o más	
	GM	Grava limosa o grava arenosa limosa	Bueno hasta excelente	Aceptable hasta bueno	Ligera hasta media	Muy ligera	Aceptable hasta mala	Equipo sobre neumáticos rodillo pala de cabra, control estricto de la humedad	130-143	40-80	300 o más	
	GC	Grava arcillosa o grava arenosa arcillosa	Bueno	Malo	Ligera hasta media	Ligera	Mala hasta prácticamente impermeable	Equipo sobre neumáticos rodillo pala de cabra	120-140	20-40	200-300	
Suelos total o parcialmente de arena	SW	Arena o arena con grava, homogénea	Bueno	Malo	Nula hasta muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de oruga equipo sobre neumáticos	110-130	20-48	200-300	
	SP	Arena o arena con grava, no homogénea	Aceptable hasta bueno	Malo hasta inadecuado	Nula hasta muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de oruga equipo sobre neumáticos	105-120	15-25	200-300	
	SU	Arena o arena con grava, graduación uniforme	Aceptable hasta bueno	Malo	Nula hasta muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de oruga equipo sobre neumáticos	100-115	10-20	200-300	
	SM	Arena limosa o arena con grava limosa	Bueno	Malo	Ligera hasta alta	Muy ligera	Aceptable hasta mala	Equipo sobre neumáticos rodillo pala de cabra control estricto de la humedad	120-135	20-40	200-300	
	SC	Arena arcillosa o arena con grava arcillosa	Aceptable hasta bueno	Inadecuado	Ligera hasta alta	Ligera hasta media	Mala hasta prácticamente impermeable	Equipo sobre neumáticos rodillo pala de cabra	105-130	10-20	200-300	
Suelos de grano fino	Baja compresibilidad LL < 50	ML	Limo, limo arenoso, limo arcilloso o suelos diatomáceos	Aceptable hasta malo	Inadecuado	Mediana hasta muy alta	Ligera hasta media	Aceptable hasta mala	Equipo sobre neumáticos rodillo pala de cabra control estricto de la humedad	100-120	5-15	100-200
		CL	Arcillas pobres, arcillas arenosas o arcillas con grava	Aceptable hasta malo	Inadecuado	Mediana hasta alta	Mediana	Prácticamente impermeable	Equipo sobre neumáticos rodillo pala de cabra	100-125	5-15	100-200
		OL	Limo orgánico o arcilla orgánica pobre	Malo	Inadecuado	Mediana hasta alta	Mediana hasta mala	Mala	Equipo sobre neumáticos rodillo pala de cabra	90-105	4-8	100-200
	Alta compresibilidad LL > 50	MH	Arcillas micáceas o suelos diatomáceos	Malo	Inadecuado	Mediana hasta muy alta	Alta	Aceptable hasta mala	Equipo sobre neumáticos rodillo pala de cabra	80-100	4-8	100-200
		CH	Arcillas grasas	Malo hasta muy malo	Inadecuado	Mediana	Alta	Prácticamente impermeable	Equipo sobre neumáticos rodillo pala de cabra	90-100	3-5	50-100
	GH	Arcillas orgánicas grasas	Malo hasta muy malo	Inadecuado	Mediana	Alta	Prácticamente impermeable	Equipo sobre neumáticos rodillo pala de cabra	80-100	3-5	50-100	
Turba y otros suelos orgánicos fibrosos	PT	Turba, humus y otros	Inadecuado	Inadecuado	Ligera	Muy alta	Aceptable hasta mala	Equipo sobre neumáticos rodillo pala de cabra				

-Índice de penetración California.

El ensayo CBR es básicamente un ensayo de penetración llevado a cabo con un régimen de tensión uniforme. La fuerza necesaria para producir una penetración dada en el material que se ensaya se compara con la fuerza requerida para producir la misma penetración en una caliza machacada normalizada.

Por lo tanto, un material con un valor CBR de 15 significa que el material en cuestión ofrece un 15% de la resistencia a la penetración, comparada con la que ofrece la piedra machacada normalizada.

Los ensayos CBR en laboratorio deben llevarse a cabo de acuerdo con la norma ASTM D-1853, *Bearing ratio of laboratory-compacted soils*. Los ensayos CBR realizados en el terreno deben llevarse a cabo de acuerdo con los procedimientos indicados en el Manual Series No. 10 (MS-10), por The Asphalt Institute.

a) Los ensayos CBR en laboratorio se llevan a cabo con materiales extraídos del lugar y remoldeados a la densidad que se obtendrá durante la construcción. Las muestras se impregnan durante cuatro días para permitir que el material alcance la saturación. Se utiliza un ensayo CBR saturado para simular las condiciones que es probable que ocurran en un pavimento que ha estado en servicio durante cierto tiempo. Los cimientos del pavimento tienden a alcanzar una saturación prácticamente completa después de unos tres años.

Los cambios estacionales en la humedad también determinan el uso de un valor de cálculo CBR saturado, ya que debe soportarse el tráfico durante períodos de alta humedad, tales como la estación primaveral.

b) Los ensayos CBR realizados en el campo pueden proporcionar información valiosa sobre los cimientos que se encuentran tendidos desde hace varios años. Los materiales deberían estar en el lugar durante un tiempo suficiente para permitir que la humedad alcance un estado de equilibrio. Un ejemplo de este estado es un terraplén que se haya construido y sobre cargado durante un periodo prolongado de tiempo antes de la construcción del pavimento.

c) Los ensayos CBR sobre materiales de grava son difíciles de interpretar. Los ensayos CBR en laboratorio sobre grava con frecuencia producen resultados CBR que son demasiado altos, debido a los efectos limitadores del molde. La asignación de valores CBR a los materiales de grava para el terreno de cimentación pueden basarse en el criterio y la experiencia. La información que se ofrece en la Tabla No. 4.2 puede proporcionar una guía útil para seleccionar un valor de CBR para el cálculo, en el caso de un suelo de grava. Sin embargo, la Tabla No. 4.2 no deberá utilizarse en forma indiscriminada como la única fuente de datos. Se recomienda que el CBR máximo para un terreno de cimentación de grava no estabilizada sea de 50.

d) El número de ensayos CBR necesarios para establecer correctamente un valor de cálculo, no pueden determinarse sencillamente. La variabilidad de las condiciones del terreno encontradas en el lugar ejercerán la mayor influencia sobre el número de pruebas necesarias. Como regla práctica aproximada, deberá considerarse la realización de tres ensayos CBR en cada tipo principal de terreno.

El estudio preliminar del terreno revelará los tipos diferentes de terrenos que se han de encontrar. El valor CBR de cálculo deberá seleccionarse con un criterio prudente. La práctica técnica usual para pavimentos consiste en seleccionar un valor que sea una diferencia normal por debajo de la media.

#### -Ensayos con placa de carga.

Como el nombre indica, el ensayo con placa de carga mide la capacidad de resistencia del cimiento del pavimento. El resultado de este ensayo se expresa con un valor  $k$  con las unidades de presión sobre longitud.

El valor  $k$  puede considerarse como la presión requerida para producir una deformación unitaria de una placa de carga en el cimiento del pavimento. Los ensayos con placa de carga deberán llevarse a cabo de acuerdo con los procedimientos establecidos en la norma AASHTO T-222.

a) El cálculo de pavimentos rígidos no es demasiado sensible al valor  $k$ . Un error en el establecimiento del valor  $k$  no tendrá ninguna repercusión seria sobre el espesor nominal del pavimento rígido. Los ensayos con placa de carga deben llevarse a cabo en el terreno mismo y lo más adecuado es realizarlos sobre secciones que se hayan construido según las condiciones de compactación y de humedad de cálculo. Se requiere una corrección del valor  $k$  para tener en cuenta la saturación, con el propósito de simular las condiciones de humedad que es probable encontrar en el pavimento en uso.

b) Los ensayos con placa de carga son relativamente costosos y, en consecuencia, es limitada el número de ensayos que puede llevarse a cabo para establecer un valor de cálculo. Por lo general, sólo pueden llevarse a cabo dos o tres ensayos para cada característica del pavimento. El valor k de cálculo deberá seleccionarse con un criterio prudente.

c) Las curvas de cálculo y evaluación de un pavimento rígido que se describen, se basan en un valor k determinado por un ensayo con carga de placa estático, utilizando una placa de 762 mm de diámetro. La utilización de una placa de diámetro menor tendrá como consecuencia un valor k superior, que se representa en las curvas de cálculo y de evaluación.

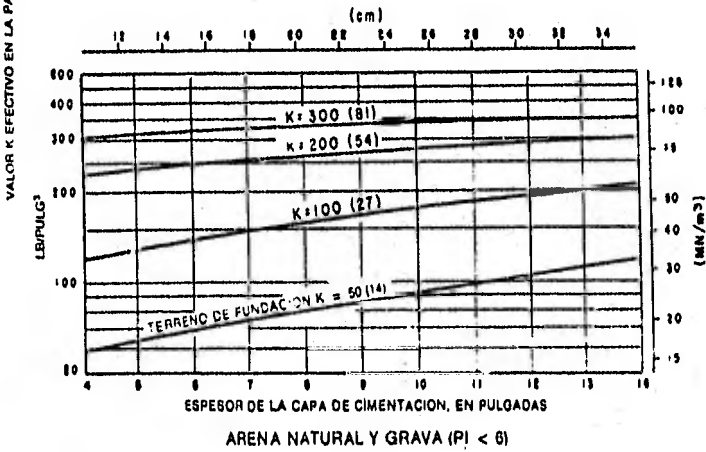
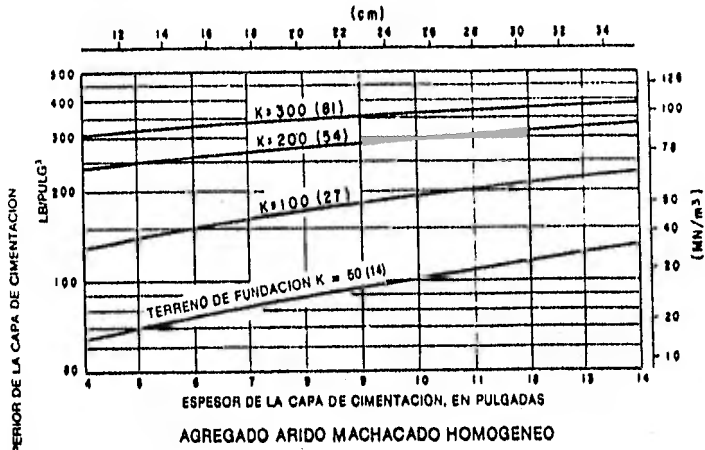
d) Se recomienda llevar a cabo los ensayos con placas de carga en el terreno de cimentación y ajustar los resultados para tener en cuenta el efecto de la capa de cimentación. La Figura No. 4.3 muestra el aumento del valor k para diferentes espesores de la capa de cimentación, sobre un terreno de cimentación k dado. Los ensayos con placa de carga llevados a cabo en la parte superior de las capas de cimentación, pueden a veces producir resultados erróneos ya que la profundidad de influencia, debajo de una placa de carga de 762 mm, no es tan grande como la profundidad de influencia debajo de una losa cargada por el tren de aterrizaje de una aeronave. En este caso, una capa de cimentación puede influir la respuesta de una placa de carga más que la respuesta de un pavimento cargado.

e) La determinación del valor k para las capas estabilizadas es un problema difícil. Normalmente, hay que estimar el valor k. Se recomienda que el valor k se estime del modo siguiente.

El espesor de la capa estabilizada deberá de multiplicarse por un factor que vaya desde 1.2 a 1.6, para determinar el espesor equivalente del agregado árido machacado homogéneo. El valor real se encuentra en la gama de 1.2 a 1.6, y deberá basarse en la calidad de la capa estabilizada y en el espesor de los losa con relación al espesor de la capa estabilizada. A los materiales de alta calidad que se estabilizan con altos porcentajes de estabilizadores, se les deberá asignar un factor equivalente que es mayor que en el caso de un material estabilizado de baja calidad. Para un espesor dado de pavimento rígido, una capa estabilizada de mayor espesor ejercerá una mayor influencia sobre el comportamiento del pavimento que una capa estabilizada delgada y en consecuencia se le deberá asignar un factor de equivalencia mayor.

f) Se recomienda no exceder en ningún caso el valor k de cálculo de 13,840 t / m<sup>3</sup> (500 lb / pulg<sup>3</sup>). La información que se presenta en la Tabla No. 4.2 ofrece una orientación general en cuanto a los valores k probables para cada tipo de terreno.

FIGURA 4.3 "EFECTO DE LA CAPA DE CIMENTACION SOBRE EL MODULO DE REACCION DEL TERRENO DE CIMENTACION"



#### **IV.4 PRINCIPIO DE CALCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**

El criterio de la FAA, de tratar el cálculo de trenes de aterrizaje de aeronaves y el cálculo y evaluación de los pavimentos de aeropuertos como tres unidades separadas se describió anteriormente.

El cálculo de pavimentos de aeropuertos es un problema técnico complejo que abarca un gran número de variables interdependientes.

##### **-Pavimentos flexibles.**

Las curvas de cálculo que se presentarán en este subcapítulo se basan en el índice de penetración California (CBR). El método de cálculo CBR es básicamente empírico; con todo, el método ha sido objeto de numerosas investigaciones y se han preparado correlaciones fiables.

Las configuraciones de los trenes se relacionan utilizando conceptos teóricos e igualmente datos preparados empíricamente.

Las curvas de cálculo proporcionan el espesor total requerido de los pavimentos flexibles (superficie, firme y capa de cimentación) necesarios para soportar un peso dado de aeronave sobre un terreno de cimentación dado. Las curvas muestran asimismo los espesores de superficie requeridos. Los espesores mínimos de la capa del firme se indican en una curva separada.

##### **IV.4.1 ANTECEDENTES**

El pavimento de un aeropuerto y las aeronaves que en él operan representan un sistema interrelacionado que puede reconocerse en el proceso de cálculo del pavimento. Con el fin de producir un diseño satisfactorio, hay que cumplir con las consideraciones de cálculo relacionadas tanto con la aeronave como con el pavimento. se requerirá un control esmerado de la construcción y cierto grado de mantenimiento, para producir un pavimento que llegue a la vida útil nominal prevista. Los pavimentos se calculan para proporcionar una vida útil finita y se prevén las fallas por fatiga. Una construcción deficiente y una ausencia de mantenimiento preventivo con frecuencia tendrán como consecuencia que aún el pavimento mejor diseñado presente un comportamiento decepcionante.



La determinación de los requisitos de espesor de pavimento es un problema técnico complejo. Los pavimentos se encuentran sometidos a una amplia variedad de cargas y defectos climáticos. El proceso de cálculo comprende un gran número de variables interrelacionadas que con frecuencia resulta difícil cuantificar. Aunque se han llevado a cabo numerosas investigaciones y algunas otras se realizan actualmente, ha sido imposible llegar a una solución matemática directa de los requisitos relativos al espesor. Por esta razón, la determinación del espesor del pavimento debe basarse en el análisis teórico de distribución de las cargas por los pavimentos y los terrenos.

Las curvas de espesores de pavimentos que se presentan en este subcapítulo se han obtenido mediante una correlación de los datos experimentales relativos al pavimento y a un estudio del comportamiento de los pavimentos en condiciones de servicio real.

Los pavimentos calculados de acuerdo con estas normas están previstos para proporcionar una vida útil estructural de 20 años, libres de grandes obras de mantenimiento, salvo que ocurran modificaciones de magnitud en el tráfico previsto. Es probable que el reacondicionamiento de la superficie y la renovación de las propiedades de resistencia al resbalamiento sean necesarios antes de los 20 años, debido a los efectos climáticos destructivos y a los efectos del deterioro causado por el uso normal.

El cálculo estructural de los pavimentos de los aeropuertos consiste en determinar tanto el espesor general del pavimento como el espesor de las partes componentes del mismo. Hay varios factores que ejercen influencia sobre el espesor del pavimento requerido para proporcionar un servicio satisfactorio. Estos factores son la magnitud y el carácter de las cargas de la aeronave que han de soportarse, el volumen de tráfico, la concentración del tráfico en ciertas zonas y la calidad del terreno de cimentación de los materiales que constituyen la estructura del pavimento.

#### IV.4.2 CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA AERONAVE

##### -Carga.

El método de cálculo del pavimento se basa en el peso bruto de la aeronave. Para fines de cálculo del pavimento, deberá preverse el *peso máximo de despegue* de la aeronave. El procedimiento de cálculo supone que el 95% del peso bruto es soportado por los trenes de aterrizaje principales y el 5% por el tren de nariz.

El peso máximo de despegue deberá utilizarse en el cálculo del espesor del pavimento requerido.

Se recomienda utilizar el peso máximo de despegue para proporcionar cierto grado de prudencia en el cálculo, justificado por el hecho de que pueden presentarse cambios en el uso operacional y reconociendo el hecho de que el tráfico previsto es aproximado.

-Tipo y geometría del tren de aterrizaje.

a) El tipo de tren de aterrizaje y su configuración determinan de qué modo se distribuye el peso de la aeronave en el pavimento y establecen la respuesta del pavimento a las cargas producidas por la aeronave. No hubiera sido práctico preparar curvas de cálculo para cada tipo de aeronave. Sin embargo, como el espesor de los pavimentos, tanto rígidos como flexibles, depende de las dimensiones y del tipo del tren de aterrizaje, será necesario trazar curvas de cálculo separadas a menos que pudieran plantearse hipótesis válidas para reducir el número de variables.

El exámen de configuración del tren, las zonas de contacto de los neumáticos y la presión de los mismos en uso común, indican que se sigue una tendencia determinada relacionada con el peso bruto de la aeronave.

En consecuencia, se plantean hipótesis razonables y trazarse curvas de cálculo a partir de los datos supuestos. Estos datos supuestos son los siguientes:

1) Aeronave de tren simple.

No se requiere de ninguna hipótesis especial.

2) Aeronave de ruedas gemelas.

El estudio de espacio entre las ruedas gemelas aeronaves una dimensión de 0.51 m entre el eje de los neumáticos para aeronaves ligeras y una dimensión de 0.86 m para las aeronaves más pesadas.

3) Aeronave con bogie de cuatro ruedas.

El estudio indica un espacio entre ruedas gemelas de 0.51 m y entre bogies de 1.14 m para aeronaves ligeras mientras que para aeronaves más pesadas el espacio entre ruedas gemelas de 0.76 m y entre bogies de 1.40. Todos estos valores son apropiados para el cálculo.

4) Aeronaves de fuselaje ancho.

Estas aeronaves, como por ejemplo, el B-747, el DC-10 y el L-1011, representan una diferencia radical con respecto a la geometría supuesta para las aeronaves de tren bogie que se describe en 3). Debido a las grandes diferencias de peso bruto y en geometría de tren de aterrizaje, se han preparado curvas de cálculo separadas para las aeronaves de fuselaje ancho.

b) La presión de los neumáticos varía entre 5,3 y 14 kg / cm<sup>2</sup> (75 a 200 lb / pulg<sup>2</sup>), en función de la configuración del tren y del peso bruto.

Debe tomarse en cuenta que la presión de los neumáticos ejerce menos influencia sobre las tensiones de los pavimentos a medida que aumenta el peso bruto y que el máximo supuesto de 14 kg / cm<sup>2</sup> (200 lb / pulg<sup>2</sup>) puede excederse en condiciones de seguridad, siempre que no se excedan los demás parámetros.

#### -Volumen de tráfico.

Es necesario disponer de pronósticos de salidas anuales por tipo de aeronave, para el diseño del pavimento.

### **IV.5 DISEÑO DEL PAVIMENTO PARA EL AEROPUERTO DE LAZARO CARDENAS, MICHOACAN**

Para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas se ha considerado diseñar un pavimento de tipo flexible el cuál será analizado en este subcapítulo cumpliendo con los requisitos del método de la FAA, el cual ha sido descrito a lo largo de este capítulo.

#### **IV.5.1 DETERMINACION DE LA VIDA UTIL DE DISEÑO**

La vida útil seleccionada para el diseño tomando en cuenta la importancia del aeropuerto y por recomendación del método de la FAA será de 20 años.

#### **IV.5.2 DETERMINACION DE LA AERONAVE DE DISEÑO**

El pronóstico de salidas anuales por tipo de aeronave da por resultado una lista de varias aeronaves diferentes. La aeronave de diseño deberá seleccionarse a base de la que requiera el mayor espesor de pavimento. La aeronave de diseño no es necesariamente la aeronave más pesada del pronóstico.

En la Tabla No. 4.3 se presentan las características de las aeronaves más usuales en el diseño o evaluación de pavimentos.

Considerando la composición del tránsito aéreo que operará en el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas y tomando en cuenta el crecimiento probable de las operaciones durante la vida útil se selecciona como aeronave de diseño al Boeing B-727-200, ya que como se ha comentado a lo largo del estudio, es la aeronave más frecuente, la cual tiene un tren de aterrizaje de ruedas gemelas y un peso bruto de 78.5 toneladas (173,063 lb).

TABLA 4.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS AERONAVES USUALES EN EL DISEÑO O EVALUACION DE PAVIMENTOS*								
Aeronave Tipo	Peso Bruto (ton)	Plernas del tren de aterrizaje		Presión de neumáticos (kg/cm <sup>2</sup> )	Área de contacto por rueda (cm <sup>2</sup> )	Separación de ruedas (cm)		
		Disposición y número de ruedas	Carga por plerna (ton)			S	St	Sd
DC-3	11.4	2, sencilla	5.35	3.2	1672	-	-	-
ATR-42	48.5	4, gemelas	21.35	7.4	1443	78	-	-
DC-9-21	45.8	4, gemelas	21.60	9.8	1102	64	-	-
DC-9-41	52.2	4, gemelas	24.33	11.0	1106	66	-	-
DC-9-81	64.0	4, gemelas	30.57	11.7	1306	71	-	-
B-727-100	77.1	4, gemelas	34.85	11.4	1529	86	-	-
B-727-200N	78.5	4, gemelas	36.25	11.5	1575	86	-	-
B-727-200P	95.3	4, gemelas	43.91	11.5	1909	86	-	-
B-757-200	109.3	8, bogle	49.52	12.1	1023	86	114	143
B-767-200	141.5	8, bogle	63.37	12.6	1317	114	142	182
B-707-320B	148.8	8, bogle	68.44	12.4	1380	88	142	167
DC-8-63	162.4	8, bogle	77.30	13.4	1442	81	140	162
Concorde	185.1	8, bogle	88.80	12.6	1763	68	167	180
DC-10-10	196.4	8, bogle	92.61	12.8	1809	137	163	213
B-747-100B	334.7	16, bogle	77.33	15.6	1239	112	147	185
B-747-200B	352.9	16, bogle	83.28	13.7	1520	112	147	185

#### IV.5.3 DETERMINACION DE LAS SALIDAS ANUALES EQUIVALENTES DE LA AERONAVE DE DISEÑO

Como el pronóstico de tráfico es una mezcla de diferentes aeronaves que poseen diferentes tipos de trenes de aterrizaje y diferentes pesos, hay que tener en cuenta los efectos de todo el tráfico con respecto a la aeronave de diseño.

En primer lugar deben convertirse todas las aeronaves al mismo tren de aterrizaje que la aeronave de diseño, esto con el fin de uniformizar los efectos sobre el pavimento de cada una de las aeronaves. Los factores de conversión para pasar de un tren a otro se presentan en la Tabla No. 4.4.

TABLA 4.4  
\*FACTORES DE CONVERSIÓN PARA TRENES DE ATERRIZAJE\*

Para convertir de:	A	Multiplicar salidas por
Rueda simple	Ruedas gemelas	0.8
Rueda simple	Bogie	0.5
Ruedas gemelas	Bogie	0.6
Bogie doble	Bogie	1.0
Bogie	Rueda simple	2.0
Bogie	Ruedas gemelas	1.7
Ruedas gemelas	Rueda simple	1.3
Bogie doble	Ruedas gemelas	1.7

En segundo lugar, una vez que se han agrupado las aeronaves en la misma configuración del tren de aterrizaje, la conversión a salidas anuales equivalentes de la aeronave de diseño, se determina mediante la fórmula siguiente:

$$\log R1 = \log R2 * (W2 / W1)^{(1 / 2)}$$

donde:

$R1$  = salidas anuales equivalentes de la aeronave de diseño

$R2$  = salidas anuales expresadas en el tren de aterrizaje de la aeronave de diseño

$W1$  = carga sobre la rueda de la aeronave de diseño

$W2$  = carga sobre la rueda de la aeronave en cuestión

Para este cálculo se supone que el 95% del peso bruto de la aeronave ha de ser soportado por el tren de aterrizaje principal.

El tráfico previsto para el Aeropuerto de Lázaro Cárdenas y el cálculo de las salidas anuales equivalentes de la aeronave de diseño, se encuentra en la Tabla No. 4.5.

Por lo tanto para el aeropuerto en estudio, se obtuvieron 3,481 salidas anuales en promedio durante la vida útil.

#### IV.5.4 CALCULO DEL PAVIMENTO

##### -Cálculo de pavimentos flexibles.

Los pavimentos flexibles consisten en una capa de rodadura asfáltica colocada sobre una capa de firme y, cuando los requieran las condiciones del terreno de cimentación, una capa de cimentación. Toda la estructura del pavimento flexible en último término está soportada por el terreno de cimentación. En algunas aeronaves, tanto el firme como el cimiento tienen que construirse con materiales estabilizados.

La utilización de las curvas de cálculo para los pavimentos flexibles requiere un valor para el material del terreno de cimentación, un valor CBR para el material del cimiento, el peso bruto de la aeronave de cálculo y el número de salidas anuales de la misma aeronave.

La curva de cálculo para el tren del avión en estudio (tren de ruedas gemelas; B-727-200), se presenta en la Figura No. 4.4, ésta indica el espesor total del pavimento requerido y el espesor del revenimiento asfáltico. En la Figura No. 4.5 se indica el espesor mínimo de la capa de firme para los espesores totales dados del pavimento y los valores CBR.

##### -Resultados del Estudio Geotécnico y Estudio de Bancos.

Mediante un Estudio Geotécnico se determinan las características del terreno de cimentación y de los materiales para la capa subrasante del pavimento, principalmente sus parámetros de resistencia, representados mediante el CBR o Valor Relativo de Soporte (VRS).

En este caso se tiene como terreno de cimentación a un limo arenoso de mediana plasticidad (ML) con un VRS (CBR) = 6%. La capa subrasante será de arena arcillosa (SC) con un VRS = 15%.

Por otra parte, mediante el Estudio de Bancos se seleccionan los materiales para formar las capas de sub-base y base, así como agregados para el concreto asfáltico, de manera que cumplan con los requisitos mínimos de calidad establecidos por las Normas Generales. Para este diseño, la sub-base se construirá con grava limosa bien graduada (GW-GM) con un VRS > 20% y la base será una grava triturada bien graduada (GW) con un VRS > 80%.

TABLA 4.5 *DETERMINACION DEL NUMERO DE PASADAS ANUALES EQUIVALENTES (R1) A LA AERONAVE DE DISEÑO*									
Aeronave Modelo	Tren	Salidas Previstas		Peso Máximo de despegue (t)	Salidas con Tren Gemelo		Cargas (M), en t		Salidas Anuales Equivalentes
		Anual	Diaria		Anual	Diaria	Pierna	Rueda	
ATR-42	TYP-4	2,577	7.06	48.5	2,577	7.06	21.35	10.68	415
DC-9-41	TYP-4	150	0.41	52.2	150	0.41	24.33	12.17	61
DC-9-81	TYP-4	150	0.41	64.0	150	0.41	30.57	15.29	100
B-727-200	TYP-4	2,614	7.16	78.5	2,614	7.16	36.25	18.13	2,614
DC-10-10	TYP-8	72	0.20	196.40	122	0.54	92.61	23.15	228
B-747-200	TYP-16	28	0.08	352.90	48	0.97	83.28	20.82	63
								<b>Total:</b>	<b>3,481</b>

FIGURA 4.4 "CURVAS DE CALCULO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA AREAS CRITICAS, TREN DE RUEDAS GEMELAS"

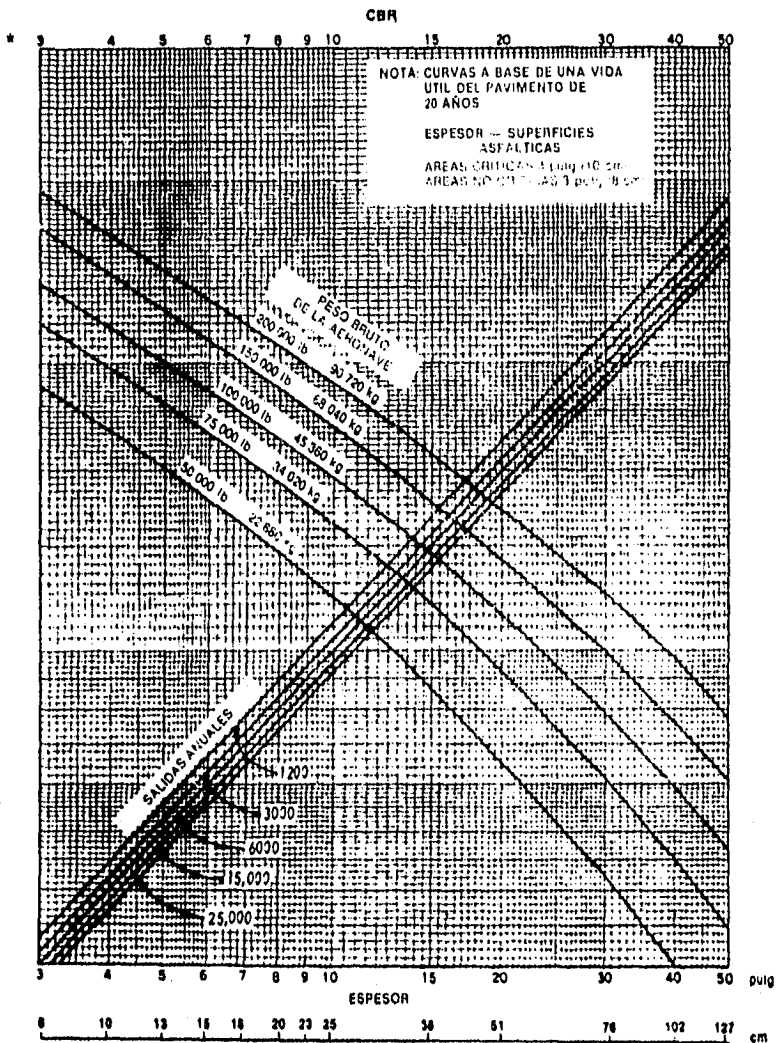
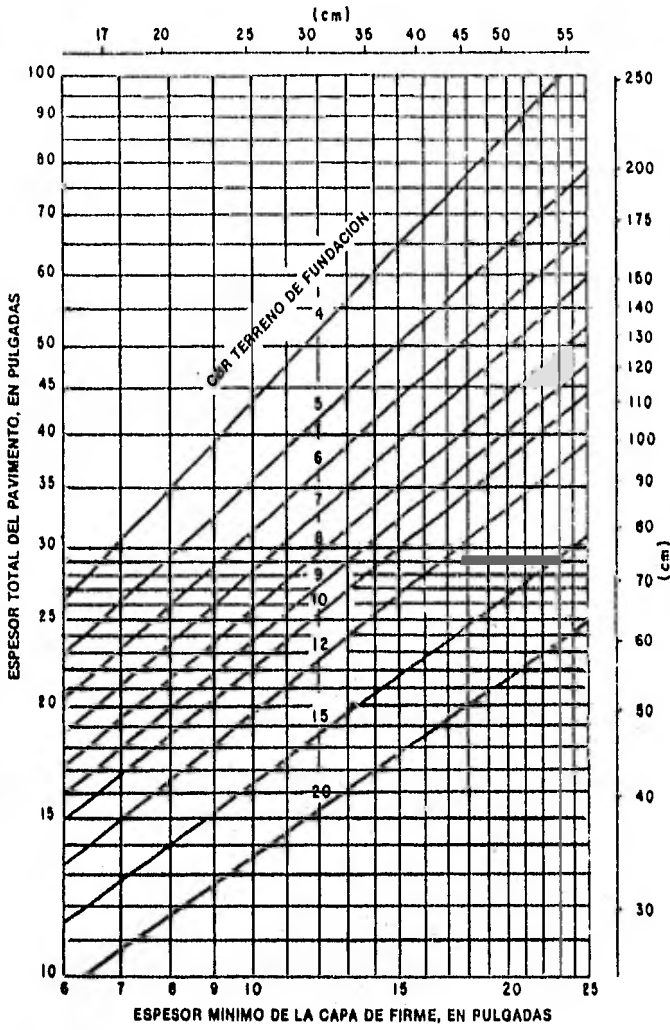




FIGURA 4.5 "REQUISITOS MINMOS DE ESPESOR DE LA CAPA DE FIRME"



### -Metodología para el cálculo.

Con los datos mencionados se procede el cálculo del espesor total del pavimento, utilizando el ábaco propuesto por la FAA para el avión seleccionado (Figura No. 4.4).

Este ábaco proporciona el espesor del pavimento en términos de grava equivalente, es decir, es el espesor que estructuralmente se requeriría si todas las capas del pavimento se construyeran de grava con calidad de base. Así mismo, indican el espesor mínimo requerido de carpeta de concreto asfáltico, para áreas críticas y no críticas.

El espesor mínimo de base, se obtiene en función del espesor total del pavimento, requerido en grava equivalente y del VRS (CBR) de la capa subrasante, mediante un ábaco (Figura No. 4.5).

Los espesores reales de las diferentes capas, se calculan aplicando los factores de grava equivalente de cada capa, en función del número de salidas anuales promedio durante la vida útil.

### -Procedimiento.

#### *1o.- Datos*

<b>Vida Útil:</b>	20 años
<b>Aeronave de Diseño:</b>	Boeing B-727-200
<b>Disposición y Número de Ruedas:</b>	Gemelas, 4
<b>Peso Bruto:</b>	78.5 toneladas (173,063 libras)
<b>Salidas Anuales:</b>	3,481
<b>Terreno de Cimentación:</b>	
<b>Limo Arenoso de media plasticidad:</b>	(ML)
<b>VRS (CBR):</b>	6%
<b>Capa Subrasante:</b>	
<b>Arena Arcillosa:</b>	(SC)
<b>VRS (CBR):</b>	15%
<b>Capa de Sub-base:</b>	
<b>Grava Limosa bien graduada:</b>	(GW-GM)
<b>VRS (CBR):</b>	20%

Capa de Base:	
Grava Triturada bien graduada:	(GW)
VRS (CHR):	80%
Carpeta:	
Concreto Asfáltico	

*2o.- Determinación del espesor total en grava equivalente*

En el ábaco de la Figura No. 4.4 se obtiene el espesor total de grava equivalente sobre el terreno de cimentación, trazando una vertical a partir del VRS = 6% del terreno de cimentación hasta interceptar la línea correspondiente al peso bruto del avión (173,063 lb), de donde se traza una horizontal hasta interceptar la línea correspondiente al número de salidas (3,481) y se baja la vertical hasta obtener el espesor. En este caso resulta que sobre el terreno de cimentación se requieren 86 cm de grava equivalente.

*3o.- Determinación del espesor de la capa subrasante en grava equivalente*

El espesor de grava equivalente sobre la subrasante se determina de la misma manera, pero utilizando el VRS = 15% correspondiente, obteniéndose un espesor requerido de 47 cm, por lo que, haciendo la diferencia entre el espesor requerido sobre el terreno de cimentación y este espesor, el espesor en grava equivalente de la capa subrasante será de  $SR = 86 - 47 = 39$  cm.

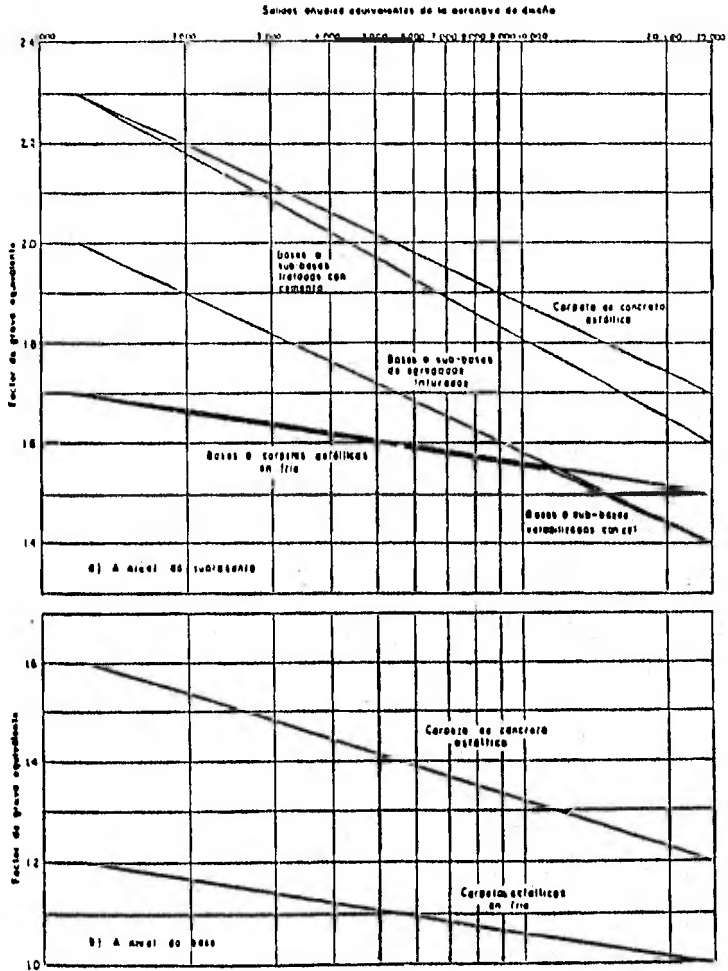
*4o.- Determinación del espesor mínimo de la capa de base en grava equivalente*

El espesor mínimo de la capa de base se determina en el ábaco de la Figura No. 4.5, trazando una horizontal a partir del espesor total requerido sobre la subrasante (47 cm) hasta el VRS correspondiente (15%) de donde se baja la vertical hasta el espesor mínimo de base, que resulta de 30 cm.

*5o.- Determinación del espesor de carpeta de concreto asfáltico mínimo en grava equivalente*

El ábaco de diseño utilizado (Figura No. 4.5), recomienda que para el área crítica es espesor mínimo de carpeta debe ser de 10 cm. El factor de grava equivalente para el concreto asfáltico se determina del ábaco de la Figura No. 4.6, trazando una vertical a partir del número de salidas anuales promedio (3,481) hasta la línea correspondiente, de donde se traza una horizontal hasta obtener dicho factor que resulta de 2.10, por lo que los 10 cm de carpeta corresponden a  $10 * 2.10 = 21$  cm de grava equivalente.

FIGURA 4.6 "FACTORES DE GRAVA EQUIVALENTE PARA AEROPISTAS"  
(OACI)



6o.- Espesores del pavimento en grava equivalente

De los cálculos anteriores, se obtiene la siguiente estructura del pavimento:

CARPETA	21.0 cm	} 51.0 cm
BASE	30.0 cm	
SUBBRASANTE	39.0 cm	
CIMENTACION		

Como puede observarse, el espesor en grava equivalente sobre la subrasante resultó ligeramente mayor que el requerido de 47 cm, obtenido en el punto 3o. anterior, por lo que en este caso rige el diseño por espesores mínimos.

7o.- Espesores reales del pavimento

Los espesores reales de diseño se obtienen dividiendo los espesores de grava equivalente entre los factores de equivalencia siguientes:

Carpeta:	2.10 (obtenido en el ábaco de la Figura No. 4.6)
Base:	1.80 (obtenido en el ábaco de la Figura No. 4.6)
Sub-base:	1.00 (recomendado)
Subrasante:	0.80 (recomendado)

De esta forma se obtiene la siguiente estructura:

CARPETA	$21.0 / 2.10 = 10.0$ cm	} 27.0 cm
BASE	$30.0 / 1.80 = 17.0$ cm	
SUBBRASANTE	$39.0 / 0.80 = 50.0$ cm	} 77.0 cm
CIMENTACION		

8o.- Espesores mínimos

En ningún caso conviene colocar espesores menores a los siguientes, en el área crítica:

Carpeta:	de 7 a 13 cm (según el ábaco de diseño)
Base hidráulica:	15 cm
Sub-base:	15 cm (cuando se requiere)
Subrasante:	50 cm

-Observaciones.

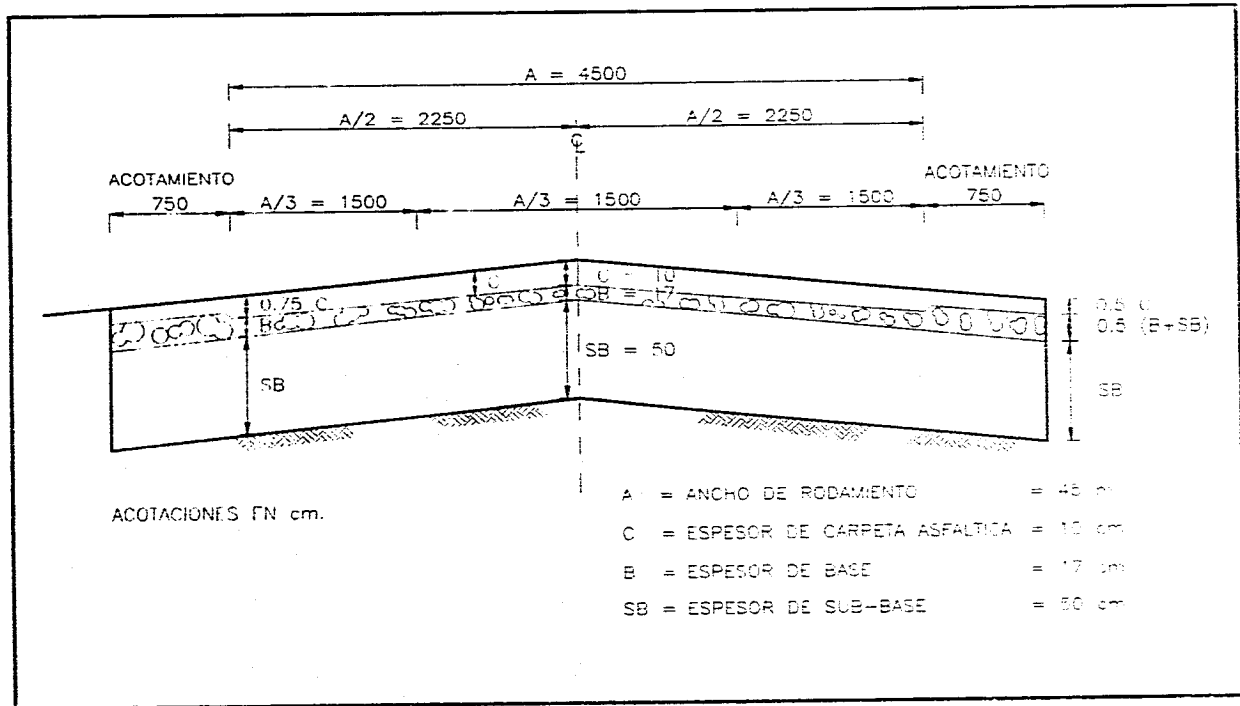
-Deben analizarse diferentes alternativas de estructuración, de acuerdo a la disponibilidad de materiales y a la posibilidad de emplear aditivos estabilizadores tales como cal, cemento Portland o productos asfálticos, en la formación de las capas de sub-base y/o base.

-La FAA recomienda que la carpeta siempre se elabore con mezclas asfálticas en planta y en caliente.

-El procedimiento desarrollado y los resultados obtenidos son para áreas críticas. Para áreas no críticas, se debe de aplicar un factor de reducción de 0.9 para las capas de firme y de cimentación. En la parte variable de la sección de transición y en el borde adelgazado, la reducción se aplica únicamente a la capa de firme. El factor de reducción de 0.7 para el firme, deberá ser el mínimo admisible, y el espesor de la capa de cimentación deberá aumentarse o modificarse para proporcionar un avenamiento superficial positivo para toda la superficie del terreno de cimentación.

En la Figura No. 4.7 se presenta la sección transversal de la pista del nuevo Aeropuerto de Lázaro Cárdenas, indicando las dimensiones de los espesores de las capas de pavimento que soportarán las condiciones de carga de las aeronaves.

FIGURA 4.7 "SECCION TRANSVERSAL DE LA PISTA 05-23"



## CAPITULO V

### *"CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"*

**De lo asentado anteriormente se desprende la conveniencia de contar con un nuevo aeropuerto para Ciudad Lázaro Cárdenas, por la importancia de la región para el Estado y el País, además de atender ya un tráfico significativo en condiciones inadecuadas y proyectarse un crecimiento importante de demanda de transporte aéreo en los próximos años.**

Financieramente el proyecto, si bien es superavitario en cuanto a su operación, no alcanza a recuperar las inversiones realizadas y por supuesto en estas condiciones no será atractivo para la participación privada.

Por ello, la decisión respecto al desarrollo de un nuevo aeropuerto para Ciudad Lázaro Cárdenas por las autoridades correspondientes, deberá, en su caso, tomar en cuenta criterios adicionales a los meramente financieros del proyecto, como su impacto en la actividad económica y social de la región.

En tanto, no cabe duda que convendrá mejorar las condiciones de operación del aeródromo actual, básicamente mediante el establecimiento de una administración local que permita, además de recaudar los fondos a que tiene derecho por su operación, prestar los servicios a pasajeros y aeronaves imprescindibles y atender las necesidades de conservación, mantenimiento y en su caso mejoramiento de las instalaciones existentes.

Por otra parte es conveniente realizar todas las acciones posibles a fin de preservar los terrenos del sitio elegido para el nuevo aeropuerto, a fin de que no se cancele esta ubicación que se ha determinado como la más conveniente para el nuevo aeropuerto.



## **BIBLIOGRAFIA**

- Ingeniería de Aeropuertos**
  - Módulo I. Planificación
  - Módulo II Proyecto
  - Módulo III Construcción
  - Módulo IV Mantenimiento y Operación de Aeropuertos
- Dirección General de Aeropuertos  
México, 1986.
  
- Metodología para Determinar la Factibilidad Económica y Financiera de Proyectos Aeroportuarios**
  - Dirección General de Aeropuertos
- México, 1983.
  
- Normas y Métodos Recomendados Internacionales. Aeródromos.**
  - Anexo 14
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)  
8a Edición, 1983.
  
- Manual de Proyecto de Aeródromos**
  - Parte 3 / Pavimentos
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)  
2a Edición, 1983.
  
- Sistema Estadístico Aeroportuario**
  - Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA)
  - Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
  - Informática, Construcción y Administración, S.A. de C.V. (ICASA)
- México, 1994.
  
- Planning and Design of Airports**
  - Horonjeff, R. / Mc Kelvey, F. X.
- Mc Graw Hill
- 3a Edición, 1985.
  
- Airport Engineering**
  - Ashford, N. / Wright, P. H.
- Wiley-Interscience Publication
- 3a Edición, 1992.

**-Apuntes del Curso de Aeropuertos**  
De La Madrid Virgen, Jorge  
**-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)**  
Facultad de Ingeniería  
México, 1993-1994.

**-Desarrollo del Aeropuerto de Guanajuato**  
Galván Escobar, Javier  
**-Tesis Profesional**  
**-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)**  
Facultad de Ingeniería  
México, 1995.

**-XI Censo General de Población y Vivienda 1990**  
Resultados Definitivos (Michoacán y otros Estados)  
Datos por Localidad  
Perfil Sociodemográfico  
Anuario Estadístico  
**-INEGI**  
México, 1993-1994.

**-Síntesis Geográfica del Estado de Michoacán**  
**-INEGI**  
México, 1994.

**-Plan Estatal de Desarrollo Urbano, Michoacán**  
**-Gobierno del Estado de Michoacán**  
México, 1994.

**-Sexto Informe de Gobierno**  
Salinas de Gortari, Carlos  
Anexo  
**-Poder Ejecutivo Federal**  
México, 1994.