

115 24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA PISTA  
DE ATERRIZAJE DEL AEROPUERTO DEL  
BAJIO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A :**

**VICTOR HUGO PIÑA RAMIREZ**

**TESIS CON  
FALSA FE ORIGEN**

México, D. F.

1990



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **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 está 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.

## I. Introducción.

Como en todo problema de Ingeniería, este trabajo tratará de explicar y desarrollar las distintas etapas que deben llevar a cabo para la correcta ejecución del proceso constructivo de un pista de aterrizaje de un aeropuerto, tomándose como ejemplo práctico el aeropuerto del Bajío, en el Estado de Guanajuato.

Lo primero que se debe tener en cuenta, es un concepto claro de lo que es un aeropuerto, al que entendemos como una liga entre dos modos de transporte distintos: el terrestre y el aéreo, pero -satisfaciendo las necesidades de ambos, en donde el usuario principal serán los pasajeros y las distintas líneas aéreas. De esta manera, surge la necesidad de precisar otros conceptos muy útiles en nuestro análisis: la capacidad y la demanda, entendiendo por la primera la posibilidad de manejar demanda, y por la segunda al volumen de pasajeros y operaciones que pueden presentarse en un momento dado.

Sin embargo, en la mayor parte de los aeropuertos del mundo, la demanda excede a la capacidad de los mismos, lo que origina --- nuestro problema por resolver, ¿Qué inversión se hace necesaria para balancear la oferta con la demanda?, y ¿Cómo, dónde y cuándo se debe realizar dicha inversión? Para contestar a estas preguntas -- tendremos que realizar un análisis, lo más completo posible, de la situación pasada y presente de nuestra demanda, así como una proyección de la que esperamos en el futuro. Esta información deberá ser comparada con la capacidad existente y así, decidir si se justifica ó no una inversión para resolver el problema.

En este análisis debemos empezar por definir el tipo de comunidad al que servirá el aeropuerto, pudiendo ser turística, de negocios, ó para integración económica, y en su caso, definir el nivel de ingresos per capita de la población y la actividad económica -- predominante, procurando interrelacionar ambos factores.

Esto nos lleva a apreciar varias posibles soluciones como:

- construir un aeropuerto donde no lo hay
- ampliar un aeropuerto existente
- construir uno nuevo cancelando el existente
- construir uno nuevo y operarlo simultaneamente con el existente.

En cualquiera de las posibilidades, debemos tener presente -- que el aeropuerto debe ser adecuado para atender las necesidades -- de transporte aéreo actuales y futuras, que debe ser capaz de a -- traer nuevos beneficios comerciales, industriales, turísticos, etc para la comunidad, que debe estar proyectado y diseñado para tener una administración y operación práctica, sana y autosuficiente, -- que le permita su propio desarrollo sin llegar a ser una carga -- excesiva para los contribuyentes y usuarios.

Es conveniente recordar que un traslado desde la zona genera\_dora de pasaje hasta el aeropuerto con un tiempo mayor a 50 minutos deprime a la demanda, por lo que se acostumbra establecer raddios alrededor del aeropuerto de 60 a 80 km, con caminos de acceso de alta velocidad (80 a 100 km/hr).

#### I.1 Características de la región.

La región denominada el Bajfo, es una gran llanura fértil, -- con obras de irrigación que la han convertido en la zona agrícola más rica del país. Su territorio se encuentra dentro de la cuenca del río Lerma-Santiago con un sistema de afluentes, y en la del Alto Pánuco. Con cuatro grandes presas, la Solfs, la de Allende, la Purfísima y la Gavia, la región ha logrado un desarrollo óptimo debido a sus suelos de gran calidad para la agricultura y de pastizales para la explotación del ganado.

El clima es semiseco-semicálido, con precipitaciones de 600 a 700 mm promedio anual, con la máxima precipitación en Agosto y la mínima en Marzo. La temperatura promedio se registra entre 18°C y 20°C con una máxima de 24°C en Mayo y una mínima de 16°C en Diciembre y Enero. El sistema hidrográfico de la entidad, tiene un coefi

ciente de riego del 27%, lo que ha permitido el cultivo de más de un millón de hectáreas, donde se cosechan alrededor de 70 variedades de cultivo, convirtiéndose en el primer productor de granos y frutos de calidad para la exportación a nivel nacional.

Cuenta con bosques de encino-pino, matorrales subtropicales, mezquital y pastizal inducido. En los aluviones se explota el ganado bovino de carne Santa Gertrudis, Angus, Hereford y bovino de leche, con una alta producción que se comercializa en Lagos de Moreno y en la Ciudad de México. Es también un gran productor de oro, con volúmenes que alcanzan 1400 kg y de plata, con casi 200 toneladas, además del distrito de Pozos, con grandes yacimientos de cobre, plomo, zinc y mercurio.

El Bajío es considerado un corredor industrial y un centro motor para la descentralización industrial de la Ciudad de México. A León se le ha designado centro de impulso industrial selectivo de consolidación, a Irapuato y Celaya, centro motor para el impulso industrial regional, a Guanajuato, ciudad capital de ordenamiento y regulación, y al resto de las ciudades, corredor industrial. La parte medular del sistema urbano del Bajío lo integran varias ciudades de nivel medio, como Celaya, Irapuato, Silao, Salamanca, Apaseo el Grande, San Francisco del Rincón, Villagrán y León.

León, con una población actual calculada en 1'100,000 habitantes, se ha convertido en la sede de los servicios regionales del Bajío, en la ciudad más grande del estado y en la ciudad con mayor desarrollo industrial y económico, con más de 18,000 empresas y aproximadamente 250,000 trabajadores. En su área metropolitana se da una gran movilidad de la población de ciudad a ciudad y de zonas rurales a urbanas, por lo que se calcula que tendrá una población de alrededor de 2 millones de habitantes para el año 1995.

En el estado destacan dos centros turísticos importantes: la ciudad de Guanajuato y San Miguel de Allende. Ambas ciudades han tenido una participación destacada en la captación de visitantes, debido a sus atractivos y tradiciones, tales como la fiesta de las

Flores, Semana Santa, la fiesta de San Juan, la fiesta del Alfañi que, las temporadas de representaciones teatrales, conciertos y -- del Festival Internacional Cervantino, que propicia una gran a -- fluencia de turistas y extranjeros. La demanda del turismo hacia a esta localidad ha registrado una tasa de crecimiento del 11.8% anual y el número de visitantes proyectado en 1988 asciende a 350, 000 de los cuales 315,000 son nacionales y 35,000 extranjeros.

En el estado de Guanajuato las comunicaciones por carretera y ferrocarril satisfacen las necesidades de su entidad. La conexión que guarda con Guadalajara y México genera para el estado un servi cio de intercambio con otras regiones y países. El sistema de ca -- rreteras consiste en una red de 5,200 km, y de este total el 67% -- son estatales y el 33% son federales. La red interna conecta con -- las carreteras que cruzan el estado y son la México-Piedras Negras la vía corta México-Guadalajara y la México-Ciudad Juárez.

La red ferroviaria del estado es sumamente completa, con más de 1 000 km. Sus principales centros ferroviarios son: Empalme Escobedo en Comonfort, Irapuato y Acámbaro; y los principales rama -- les que cruzan el estado son: México-Acámbaro-Uruapan, México-Gua -- dalajara-Nogales, México-Cd. Juárez-Laredo y Empalme Escobedo-San Luis y Potosí-Tampico.

La infraestructura aeroportuaria del estado son 10 aeropis -- tas y un aeropuerto; tres de ellos son municipales, tres particula -- res y cuatro federales. Destacan las de Celaya y Guanajuato que -- cuentan con pistas de recubrimiento asfáltico, donde operan aerna -- ves tipo DC-3. Las pistas de Acámbaro, Dolores Hidalgo y San Mi -- guel Allende son de terracería. El aeropuerto donde opera la compa -- ña Aeroméxico con equipo DC-9, se ubica en el sitio San Carlos al sureste de la ciudad de León, en el km 389 de la carretera Paname -- ricana México-Cd. Juárez.

## I.2 Capacidad Existente. Sitio San Carlos.

El aeropuerto se localiza al sureste de la ciudad de León, en las coordenadas 21°04' latitud Norte y 101°34' longitud Oeste, y a 1837 m.s.n.m. Ocupa una superficie de 71 ha. colindando al norte con terrenos particulares; al oriente con terrenos particulares y ejidales; al sur con la carretera Panamericana y con terrenos particulares; y al poniente con el poblado "Lázaro Cardenas", terrenos particulares y ejidales. El camino de acceso entronca en la carretera Panamericana México-Cd. Juárez, en el km 14 del tramo -- León-Silao (figura I.1).

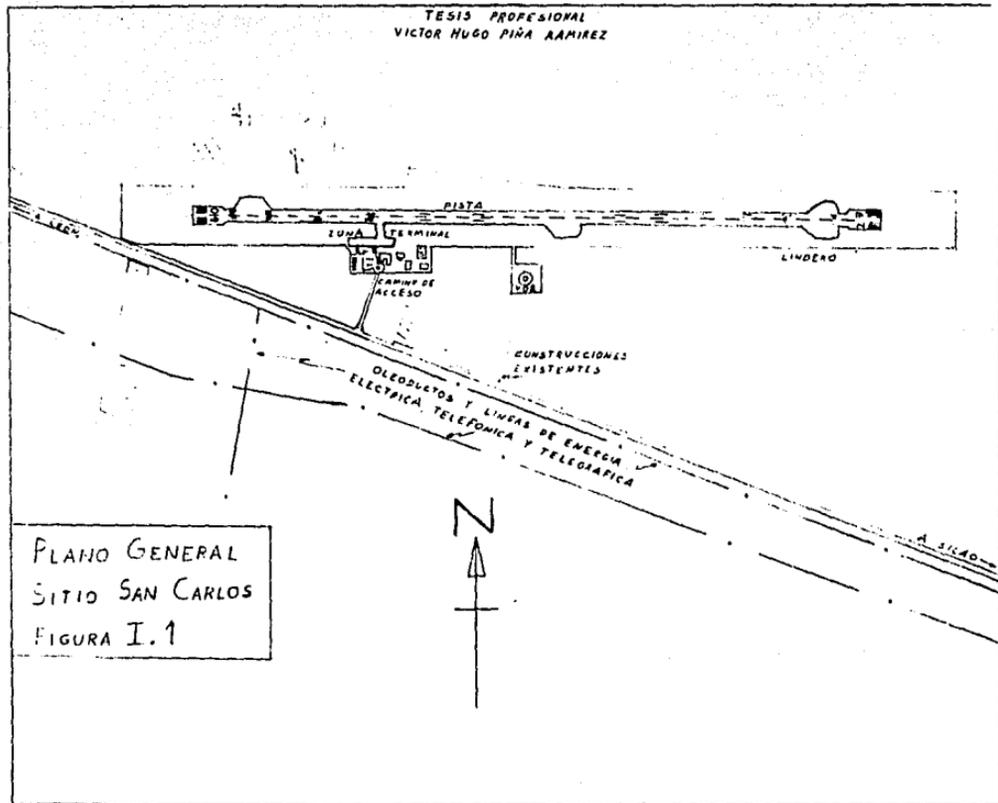
La zona aeronáutica contiene a la pista 09-27, construida con pavimento asfáltico y una dimensión de 2333 m de largo por 45 m de ancho; y el rodaje "alfa", de 75 m de largo por 32 m de ancho, - - construido de carpeta asfáltica.

La zona terminal, desplazada hacia la cabecera 09, se localiza paralela al tercio de la pista, y contiene dos plataformas: una para la aviación comercial con capacidad para dos aviones del tipo DC-9-30; y otra para la aviación general con capacidad para estacionar catorce avionetas en forma simultanea. (figura I.2)

Para la atención de pasajeros se dispone de un edificio terminal de aproximadamente 1 000 m<sup>2</sup>, construidos en planta baja. También se tiene un estacionamiento con capacidad para 90 vehículos y da servicio tanto a pasajeros como empleados. Existen un edificio de servicios de la compañía Aeroméxico destinado al manejo de carga, bodega de refacciones y equipo de los aviones; comedor de empleados y oficina del jefe de aeropuertos; y 5 hangares diseminados sin ningún orden en sitio opuesto a la aviación general.

Las instalaciones de apoyo consisten en una torre de control de aproximadamente nueve metros de altura, equipada con una consola, anemómetro, grabadora, control de luces, transmisores con --- 118.3 MHZ, receptor, pistola de señales y un altímetro. Hay un edificio destinado al Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios - -

TESIS PROFESIONAL  
VICTOR HUGO PINA RAMIREZ

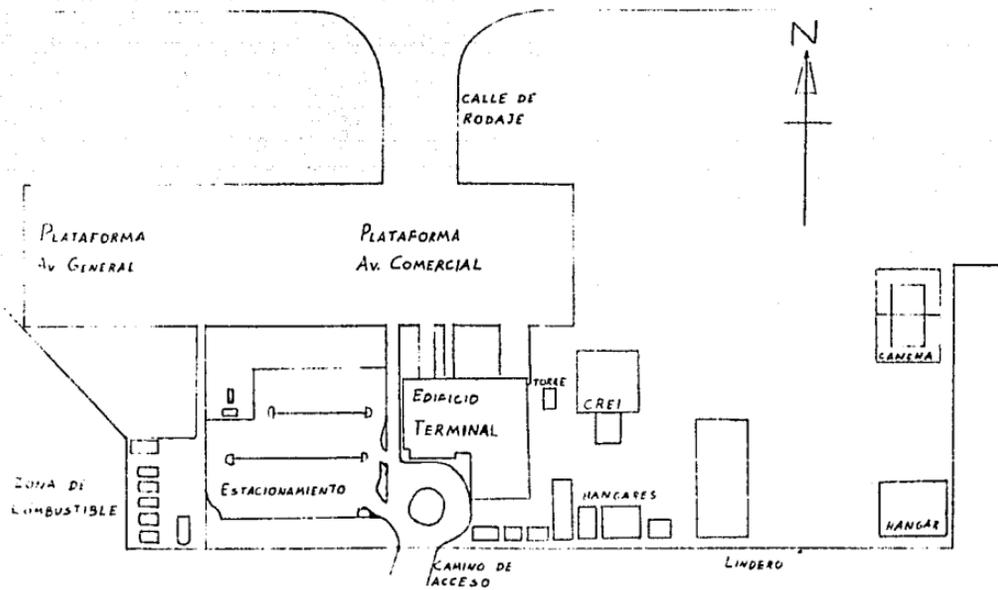


PLANO GENERAL  
SITIO SAN CARLOS  
FIGURA I.1

TESIS PROFESIONAL  
VICTOR HUGO PIRA RAMIREZ

PISTA 09-27

FIGURA I.2  
ZONA TERMINAL  
SITIO SAN CARLOS



(CREI), contando con una ambulancia, un tanque pipa, un John Beam, un vehículo equipado con agua ligera y una barredora.

La zona de combustible dispone de una superficie de 706 m<sup>2</sup>, con un tanque de 120 000 lt de capacidad para turbosina, otro de 51 000 lt para gas-avión 80/87 octanos y un tanque más, de 36 000 lt para agua. Se cuenta con un camino de acceso al aeropuerto de -- dos carriles de 305.5 m de longitud por 6.5 m de ancho, construido con carpeta asfáltica, y un camino perimetral de terracería, con una longitud de 6 000 m y 3 m de ancho.

Entre las ayudas a la navegación se cuenta con un sistema de guía (VASIS) que se ubica en la cabecera 27; indicadores luminosos de umbral, luces de borde de pista, de la calle de rodaje, luz de plataforma y luces rojas de extremo de pista; dos equipos de conos de viento, uno en la cabecera 27 y otro en la cabecera 09 pero iluminado. El señalamiento horizontal es de pintura reflejante en los pavimentos y el vertical a base de módulos de lámina y pintura reflejante. Se cuenta también con un faro no-direccional de baja frecuencia (NDB) y con un radio direccional de ondas de alta frecuencia (VOR).

En resumen tenemos:

- Zona Aeronáutica:

pista 09-27	2333 x 45 m
rodaje alfa	75 x 32 m

- Zona Terminal:

plataforma av. comercial	135 x 45 m <sup>2</sup>
plataforma av. general	no hay apropiada
edificio av. comercial	1 000 m <sup>2</sup>
edificio av. general	no hay
estacionamiento av. comercial	2 919.50 m <sup>2</sup>
estacionamiento av. general	no hay
número de hangares	5

- Instalaciones de apoyo:	
torre de control	9.00 m
edificio anexo	300 m <sup>2</sup>
casa de máquinas	480 m <sup>2</sup>
CREI: recate:	Unimog
extinción:	J/BN
primeros auxilios:	ambulancia
camino de acceso	305.5 x 6.5 m
camino perimetral	6000 x 3 m
Zona de combustible:	
# de hidrantes	Dos
gas-avión 80/87	51 000 lt
gas-avión 100/130	50 000 lt
turbosina	120 000 lt
Agua	36 000 lt
- Ayudas a la Navegación:	
señalamiento horizontal y vertical	sí
cono de vientos	sí
sistema de luces	sí
radar	sí
VASIS/papis	sí
faro	sí
VOR/DME	sí
ILS	no
AVASIS	sí

### I.3 Análisis de la Demanda.

Ahora, lo que necesitamos establecer es el volumen de demanda anual y horaria de pasajeros y operaciones que esperamos en nuestro horizonte de proyección, que en el caso de estudio será el año 2010.

Para empezar, se observó que la creciente actividad industrial de la ciudad de León, se ha reflejado en un incremento de la demanda de tránsito aéreo de largo alcance para comunicar la zona del Bajío con otros centros productivos y turísticos. Tomando en cuenta esta demanda, la extinta Dirección General de Aeropuertos ajustó en 1984 el plan maestro del aeropuerto del Bajío, realizando desde la década de los 70's y que por razones administrativas y una política de prioridad menor frente a otros aeropuertos se fué relegando a segundo -- término. Sin embargo, es lamentable que estas prioridades dependan -- de funcionarios públicos con información incompleta de los proyectos para los aeropuertos del país, provocando con ello que no se siga -- una planeación adecuada de crecimiento y desarrollo aeroportuario ya realizada.

Sin embargo, este ajuste definió y reafirmó la necesidad de comunicar a las poblaciones situadas dentro de la zona de influencia -- del aeropuerto, como son León, Guanajuato, Irapuato, Salamanca, y Silao, entre otras, con las ciudades de Monterrey, Mazatlán, Manzanillo, Puerto Vallarta, Tijuana y México con servicio de transporte -- troncal, y con servicio regional a las ciudades de Queretaro, San -- Luis Potosí y Guadalajara.

Fue notorio que al incrementarse los destinos a las ciudades de Guadalajara, Monterrey y Mazatlán en el año de 1985, se incrementó -- la actividad aérea en 1.5 veces con respecto al año anterior, lo que demostró la necesidad de transporte aéreo con otros puntos del país, principalmente con destinos de intensa actividad comercial y de playa.

Las rutas con que funcionaba el aeropuerto eran: vía directa -- diaria a los aeropuertos de Mazatlán, México y Monterrey, vuelos de conexión con las ciudades de Tijuana y Los Angeles, y vuelos cada -- tercer día a Puerto Vallarta, con lo que se presentaban cinco vuelos diarios durante toda la semana.

Al analizar la estadística presentada en la última semana del --

mes de Febrero de 1987, se observó que el miércoles 25 fué el día de mayor actividad de la aviación comercial y de la aviación general de todo el año. Se observó que en la hora máxima demanda se -- presentaron ocho operaciones, de las cuatro son aterrizajes y cuatro despegues. La mezcla de aviones estuvo constituida por un 75% de avionetas y un 25% de aviones de turborreactores. El volumen -- máximo de pasajeros fué de 198, cifra registrada entre las 19:30 y 20:30 horas.

Al analizar el comportamiento histórico de la estadística en la demanda, se concluye que el período 1967 a 1981 la demanda comercial tuvo un importante crecimiento; entre los años 1981 y 1984 se presentó una baja en la demanda, resultado de la crisis económica del país; y el crecimiento, según el pronóstico esperado, tendría a estabilizarse después de algunos años. (figura I.3).

Para el pronóstico del aeropuerto, se aplicaron tres métodos. El primero correlacionó la oferta hotelera, obteniéndose la demanda posible de pasajeros comerciales internacionales; el segundo de finió el pronóstico de rutas deseadas y pasajeros por ruta, atraves de la correlación de llamadas telefónicas; y el tercero analizó el pronóstico bajo la hipótesis de la participación relativa -- del aeropuerto de León con el total de la red aeroportuaria nacional.

Para el pronóstico de pasajeros comerciales internacionales -- se planteó la hipótesis de que los 1 864 cuartos de hotel de cuatro estrellas ubicados en el área de influencia del aeropuerto, -- tendrían una ocupación de dos personas por cuarto durante dos días por lo que se tendrían 3 728 personas ocupando los cuartos de hotel. Si durante el año, 183 veces se ocupa cada cuarto, se hospedarían 682 224 personas durante el año. Considerando la estadística -- del Banco de México, el 1% de los visitantes viaja en avión a la zona del Bajío, por lo que 6 822 personas utilizarían el medio de transporte aéreo, originando dos viajes por persona se tendrían para el año de estudio (1986) 13 644 pasajeros internacionales. Con-

TENIS PROFESIONAL  
VICTOR HUGO PIÑA RAMÍREZ

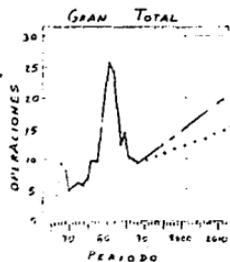
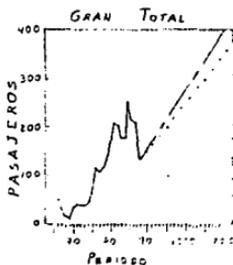
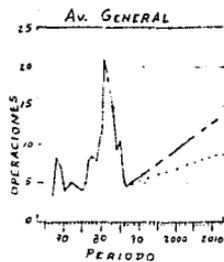
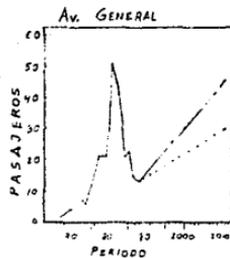
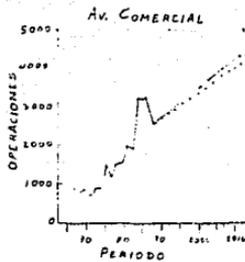
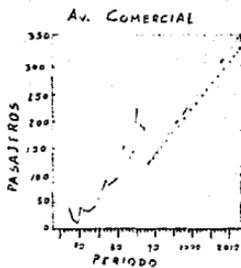


FIGURA 1.3 ESTADÍSTICA Y  
PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

PRONOSTICO  
ALTO ————  
BAJO ······

siderando la estadística de la red aeroportuaria del país, los pasajeros internacionales han tenido un incremento medio anual del 8% por lo que se podrían esperar en el año 2 000, del orden de 40 158 pasajeros en 312 operaciones.

El pronóstico de pasajeros anuales se obtuvo en forma relativa, dividiendo los datos estadísticos del aeropuerto entre los datos estadísticos totales nacionales, con lo que se obtuvo la participación porcentual. Este porcentaje se pronosticó mediante el ajuste a una curva potencial y resultó el pronóstico del aeropuerto en forma relativa. Este pronóstico relativo se multiplicó por el pronóstico nacional bajo y alto absolutos, con lo que se obtuvo un pronóstico pesimista y otro optimista. Con las operaciones se procedió de la misma manera.

Para las rutas aéreas se utilizó el método de correlación por llamadas telefónicas, definiéndose primero los municipios que están dentro del área de influencia del aeropuerto y así definir las llamadas telefónicas que partían desde esos municipios al país y obtener así los intereses de tránsito, con base en Teléfonos de México.

El análisis por llamadas telefónicas definió que las rutas troncales podrían estar constituidas de la siguiente manera: del total de pasajeros, el 65% tendrán destino en la Cd. de México, el 16% a Guadalajara y el 12% a Monterrey. Las rutas de vuelos regionales, -- tendrán por destino a Puebla, Piedras Negras, Chihuahua, Nuevo Laredo, San Luis Potosí, Morelia y Lázaro Cardenas, que participarán con el 7% del movimiento del aeropuerto (Figura I.4).

Para la proyección horaria, y tomando en cuenta las perspectivas del movimiento anual y el comportamiento actual del aeropuerto, se ha previsto que para el año 1995 se podrían presentar del orden de 350 pasajeros horarios combinados, en el 2000 del orden de 400 pasajeros y en el año 2010 un total de 520 pasajeros. Estas cifras se obtuvieron al considerar para el año 1995 un total de 38 vuelos comerciales semanales; del orden de 45 en el 2000 y 53 en el año 2010. Estas frecuencias pronosticadas se estudian por día y por destino, -

TESIS PROFESIONAL  
VICTOR HUGO PIÑA RAMÍREZ

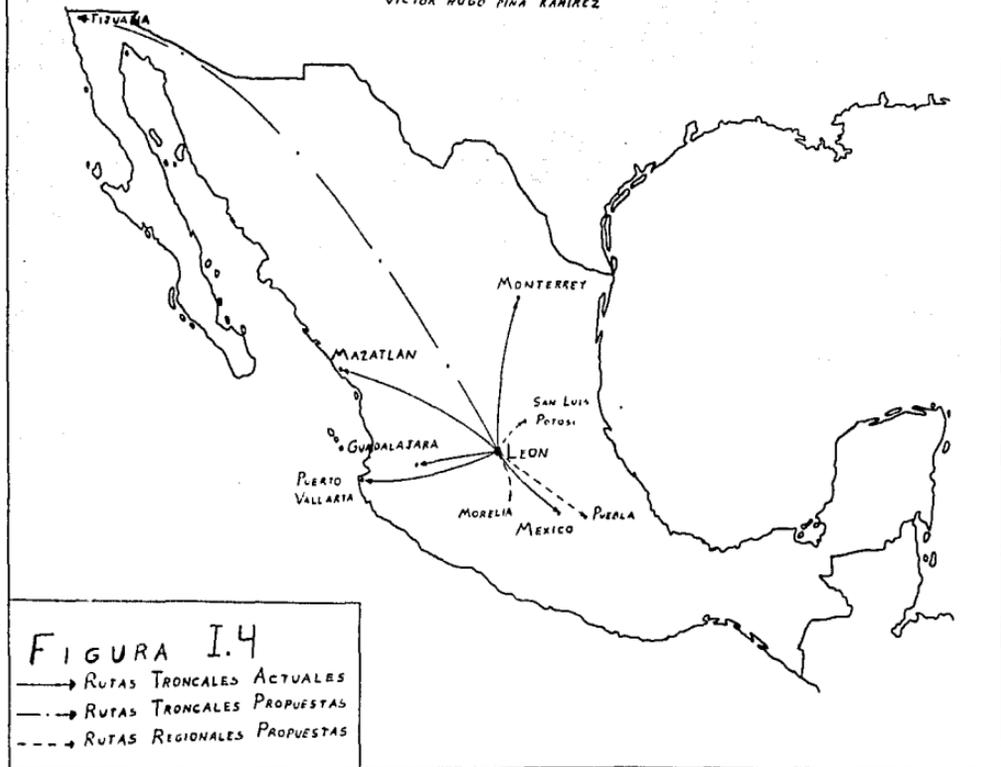


FIGURA I.4

- RUTAS TRONCALES ACTUALES
- - - → RUTAS TRONCALES PROPUESTAS
- - - - - → RUTAS REGIONALES PROPUESTAS

con el fin de determinar las posiciones simultáneas en la plataforma, las operaciones en pista y calles de rodaje y la saturación -- del edificio terminal. En relación con los vuelos internacionales, se supone que podrían presentarse con la misma frecuencia de los vuelos nacionales que actualmente tienen conexión con los destinos de Los Angeles y Houston.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los pronósticos para los años 1995, 2000 y 2010:

C O N C E P T O	1 9 9 5	2 0 0 0	2 0 1 0
<b>- Movimiento Anual</b>			
Operaciones Troncales Nac.	3 902	4 780	5 646
Operaciones Internacionales	208	312	312
Operaciones Regionales	1 140	1 256	1 364
Operaciones Av. General	6 667	7 364	8 009
<u>Operaciones Totales</u>	<u>11 917</u>	<u>13 712</u>	<u>15 331</u>
Pasajeros Troncales Nac.	208 794	259 013	309 232
Pasajeros Internacionales	19 793	29 207	40 158
Pasajeros de Tránsito (Int. a Nac.)	31 705	38 453	45 432
Pasajeros Regionales	3 088	3 935	4 782
Pasajeros Av. Regional	20 207	25 639	31 071
<u>Pasajeros Totales</u>	<u>283 587</u>	<u>356 247</u>	<u>430 675</u>
<b>- Movimiento Horario</b>			
Operaciones Comerciales	5	6	7
Operaciones Av. General	3	4	5
<u>Operaciones Combinadas</u>	<u>8</u>	<u>10</u>	<u>12</u>
<u>Posiciones Simultáneas Com.</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Tipo de Aviones	1 DC-9-32	1 DC-9-80	2 DC-9-80
	1 B-727-200	1 B-727-200	2 B-757-200
	1 Bae-146	1 Bae-146	1 Jets Tre- am
	1 Jets Tream	1 Jets Tream	
<u>Posiciones Simultáneas Totales</u>	<u>22</u>	<u>25</u>	<u>28</u>
<u>Av. General</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>
Bajo Cobertizo			
En Plataforma	14	16	18

Pasajeros Comerciales Nac.	300	350	480
Pasajeros Internacionales	130	150	170
Pasajeros Av. General	16	21	36
<u>Pasajeros Combinados Totales</u>	<u>350</u>	<u>400</u>	<u>520</u>
Num. de Automóviles Totales	150	200	255
Num. de Pasajeros Comerciales	100	125	160
Num. de Pasajeros Av. General	20	30	35
Num. de Emplados	30	45	60
Visitantes por Pasajero	0.5	0.5	0.5
Maletas por Pasajero	0.8	0.8	0.8
Carga en Toneladas	4,700	6,500	9,500

#### I.4 Análisis Demanda vs. Capacidad.

Una vez obtenidos nuestros pronósticos de la demanda, debemos compararlos con los de la capacidad existente y así decidir que acciones seguir para el desarrollo del aeropuerto. Así llegamos a -- los siguientes resultados y confrontaciones:

- La pista de aterrizaje existente resulta demasiado corta en su longitud para las operaciones del B-757-200 en rangos de seguridad y sin restricciones, ya que requieren 3,500m de largo y 45m de ancho. Este cálculo se presenta más adelante en el capítulo de diseño de pista.

- Zona terminal

C O N C E P T O	CAPACIDAD	DEMANDA		
		1995	2000	2010
Plataforma Av. Comercial(m <sup>2</sup> )	6,075	27,000	36,000	45,000
Plataforma Av. General(m <sup>2</sup> )	56,000	88,000	100,000	112,000
Edif. Terminal Comercial(m <sup>2</sup> )	530	12,000	14,000	18,200
Estacionamiento Av. Com.(Vehic.)	90	100	125	165
Estacionamiento Av. Gral.(Vehic.)	0	20	30	35
Estacionamiento Emplados(Vehic.)	0	30	45	60

- Instalaciones de Apoyo.

C O N C E P T O	CAPACIDAD	DEMANDA		
		1995	2000	2010
Gas Avión 80/70 (lt)	51 000	25 200	32 400	57 600
Gas Avión 100/130 (lt)	50 000	58 000	75 600	134 400
Turbosina (lt)	120 000	280 000	320 000	420 000
Agua (lt)	36 000	80 000	100 000	160 000

Como se ve, se debe realizar una ampliación en la capacidad existente, con el fin de poder atender la demanda. Sin embargo, para que las aeronaves operaran sin restricciones en el aeropuerto sitio "San Carlos", se debería ampliar la longitud de la pista a 167m, acción imposible de realizar, ya que existen obstáculos orográficos al sureste del aeropuerto, y hacia el noroeste existen líneas de la alta tensión, teléfono, telégrafo y otros obstáculos, así como la carretera Panamericana México-Cd. Juárez, cuyo desvío significaría un alto costo económico y social. (Figura I.5)

Pero el problema no quedó ahí, ya que el aeropuerto no cumplía con las normas dictadas por la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) en cuanto a los anchos de las franjas de seguridad, distancias mínimas de la pista a los linderos, plataformas y edificio terminal. Para las operaciones de vuelo por instrumentos se observó lo siguiente:

- Los despegues por la cabecera 09 eran posibles, pero la línea de conducción de energía eléctrica que va paralela a la carretera León-Silao sobrepasaba la superficie de protección.
- Los despegues por la cabeza 27 eran posibles, pero la superficie de aproximación estaba limitada con obstáculos orográficos cercanos.
- Las aproximaciones por la cabecera 09 también se encontraban fuera de normas, ya que la línea de conducción telefónica y eléctrica, así como la carretera León-Silao eran obstáculos -

TESIS PROFESIONAL  
VICTOR HUGO PIZA RAMIREZ

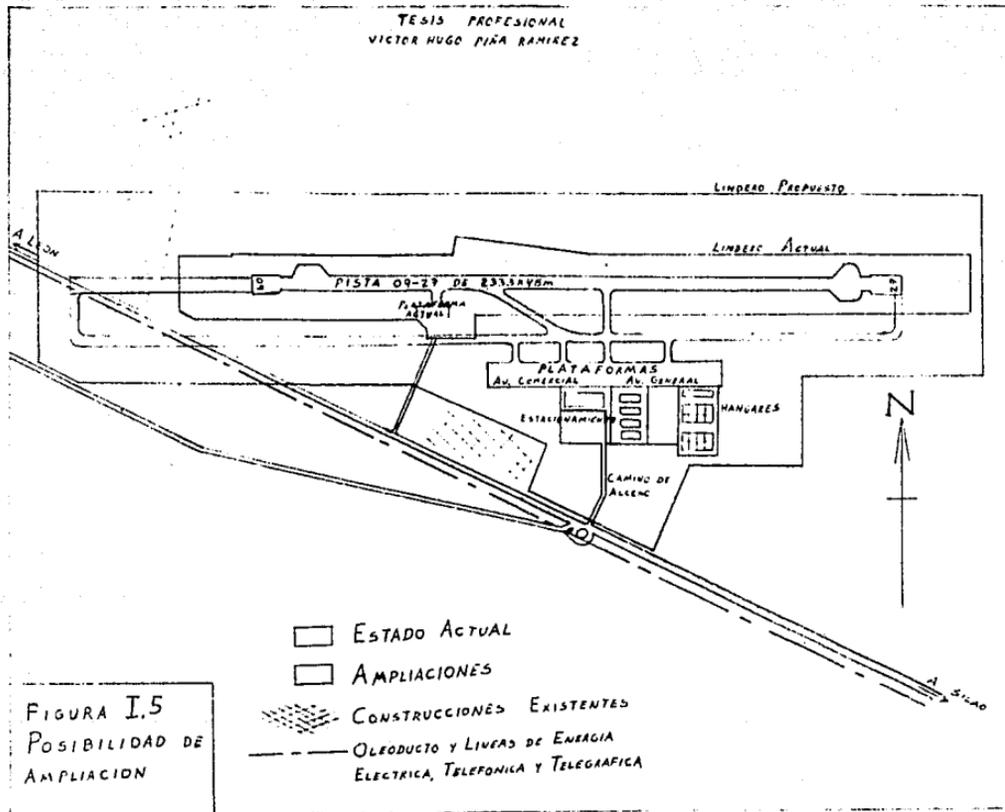


FIGURA I.5  
POSIBILIDAD DE  
AMPLIACION

que limitaban las superficies de aproximación.

- Las aproximaciones por la cabecera 27 se efectuaban dentro - de las normas, pero las superficies de protección estaban en el límite de obstáculos.
- El sistema de pistas-calles de rodaje estaba limitado al uso del F-27 y el DC-9-30, teniendo la pista una clasificación 3 de acuerdo a la OACI, lo que impedía la operación del B-727-200.

Poner bajo especificaciones estas instalaciones significaría ampliar grandemente sus linderos, desplazar las instalaciones actuales de la zona terminal a un nuevo sitio, y como la tendencia de crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de León hacia el aeropuerto hacia prever una gran conurbación ciudad-aeropuerto, que afectaría por ruido a los habitantes de esta ciudad.

Esto nos lleva a la otra posibilidad: construir un nuevo aeropuerto en otro sitio, con instalaciones y equipos suficientes que garanticen su correcto funcionamiento, crecimiento y desarrollo. Para tal efecto, debe considerar los siguientes aspectos:

- Disponibilidad de espacio aéreo libre de obstáculos.
- Tendencia de la expansión urbana.
- Estadística de vientos y temperatura.
- Posibilidad de terrenos para ampliaciones futuras.
- Impacto Ambiental.
- Reducción de riesgos potenciales.
- Costo de Terrenos.
- Disponibilidad de infraestructura para comunicar el aeropuerto con la ciudad.
- Otros.

Estos estudios se pueden llevar desde unos meses hasta unos años, razón por la cual, en el presente trabajo sólo se mencionan las conclusiones de los posibles sitios y del sitio elegido,

con el fin de no ampliarnos demasiado en esta etapa y enfocarnos más al proceso constructivo de la pista de aterrizaje del aeropuerto autorizado.

El análisis de todos los aspectos definieron a dos sitios - como los más viables: "Romita" y "Nuevo México". El primero se localiza al sureste del poblado Romita, a una distancia de 44km de León; este sitio cumple con las características adecuadas de espacio aéreo, pero no sería conveniente ubicar el aeropuerto aquí, ya que es un terreno de alto rendimiento agrícola. (fig. I.6)

El sitio "Nuevo México" se localiza a 23 km de la Cd. de --- León, rumbo a Silao, en la latitud norte 20°59'13" y la longitud oeste 101°28'39" y se encuentra a una altura de 1,845m.s.n.m. En este sitio el uso del suelo es de baja producción agrícola, ya que el cultivo es de temporal, por lo que la construcción del aeropuerto es congruente con el desarrollo de la región, permitiendo atender la demanda de las ciudades de León con el 39%, Guanajuato con el 34%, Irapuato con 21.5% y Salamanca con 5.5%.

Estas consideraciones llevaron a la decisión de reubicar en el sitio "Nuevo México" al aeropuerto localizado en el sitio "San Carlos". Sin embargo, desde el punto de vista no fue muy acertada esta elección, ya que se observa en la figura I.6 que la pista en el sitio "Nuevo México" queda muy limitada por las vías férrea y carretera existentes, además de forzar demasiado a la dirección de la pista, mientras que el sitio "Romita" permite mayor libertad para el diseño del aeropuerto. Además, cuando se inició el proyecto original, en los años 70's, los terrenos en el sitio "romita" no eran utilizados en la producción agrícola.

## II. Planeación y Diseño.

Para planear el desarrollo adecuado de las instalaciones del aeropuerto, se toma en cuenta el volumen pronosticado de la demanda de transporte aéreo, lo que permite determinar la capacidad de las instalaciones y saber cuando quedarán saturadas, siempre buscando el equilibrio entre los elementos que componen el aeropuerto.

En este caso las nuevas instalaciones aeroportuarias se previeron de tal forma que superarán la capacidad de las que se encontraban en el antiguo aeropuerto. Estas instalaciones tendrán su límite de capacidad en diferentes años, debido a que la planeación prevé la construcción anticipada de las etapas posteriores - en algunas instalaciones, ya que el efectuarlas en el momento de su etapa de construcción planeada provocaría trastornos y complicaciones en su operación, como es el caso de las pistas y las plataformas. Entre los elementos que se construirán de acuerdo con las etapas de planeación tenemos el edificio terminal de av. comercial, el estacionamiento para empleados y el edificio de carga

En este análisis de demanda-capacidad de los elementos que componen el aeropuerto, se determinan las etapas de ampliación de acuerdo con la capacidad esperada, para garantizar que sigan prestando con un adecuado nivel de servicio. A continuación se menciona la infraestructura necesaria por etapas de ampliación.

### II.1 Primera Etapa

La zona aeronáutica contará con una pista de 3,500m de largo y 45m de ancho, con designación 13-31; tendrá franjas de seguridad de 150m de ancho a cada lado del eje de la pista, con un pavimento que tiene 21cm de sub-base, 22cm de base hidráulica y 10 de carpeta asfáltica, diseñada para recibir aviones del tipo DC-10 y B-757. El diseño de la pista se mostrará adelante. Para el desalajo rápido de la pista, se tendrán dos calles de rodaje, una perpendicular a la pista, de 295 metros de largo y 23 metros de ancho; y otra a 30° con respecto a la pista, de 450 metros de largo

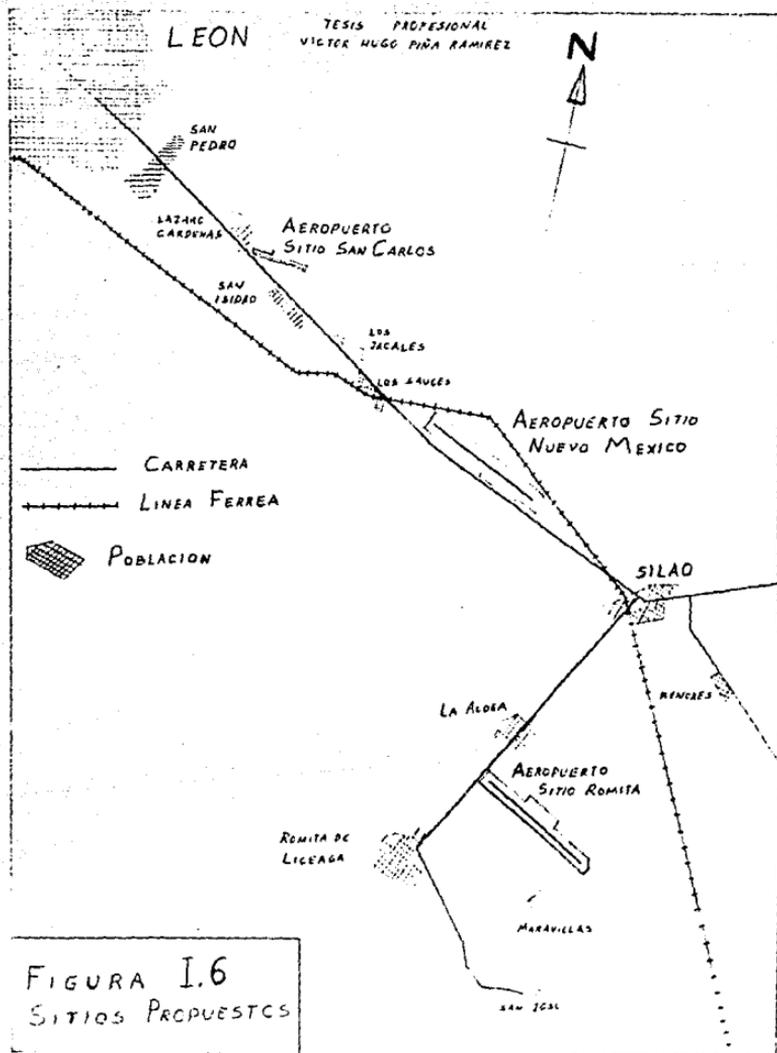


FIGURA I.6  
SITIOS PROPUESTOS

y 23m de ancho. Con este sistema pista-rodajes y de acuerdo al comportamiento de la actividad aeronáutica, se tendrá capacidad para atender 18 operaciones horarias, superando la demanda esperada de 14 operaciones cada hora, entre los años 2000 y 2010.

Para la viación comercial se contará con una plataforma de 180m de largo por 90m de ancho, con capacidad para 3 posiciones simultáneas de aviones tipo B-727-200 ó similares que entrarán y saldrán por propio impulso. Para la aviación genral se tendrá una plataforma de 180m de largo y 90m de ancho, con capacidad para estacionar 25 avionetas en forma simultánea, satisfaciendose así la demanda esperada de acuerdo al pronóstico alrededor del año 2000.

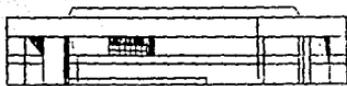
El edificio terminal contará con tres grandes volúmenes. Al -- oriente las zonas dedicadas a la documentación, al centro las salas de espera con una cubierta espacial y al poniente los reclamos de equipaje y bienvenida de pasajeros. Tendrá una superficie total de 4 210m<sup>2</sup>, con capacidad para atender a 383 pasajeros, que de cumplirse el pronóstico, se presentará poco después del año 1990. (Figura II.1)

La documentación de pasajeros se hará en un área total de 709m<sup>2</sup> que consta de un vestíbulo de 311m<sup>2</sup>, una longitud de mostrador de 15.5m, área para mostrador y manejo de 106m<sup>2</sup>, y para oficinas y bogas de las compañías aéreas de 292m<sup>2</sup>. La selección de equipaje se llevará a cabo fuera del edificio en un área de 86m<sup>2</sup>, y para -- apoyo de las compañías dentro del edificio, habrá una zona de baños para empleados de 96m<sup>2</sup>.

Los pasajeros se comunicarán a la zona de espera genral a través de una circulación de 260m<sup>2</sup>, y adyacente a ésta circulación se encuentran los servicios sanitarios con 157m<sup>2</sup>. La sala de espera general se encuentra al centro del edificio y cuenta con un área de 609m<sup>2</sup> que incluye dos concesiones. (Figura II.2)

En el acceso a la sala de última espera se realizará la revisión de seguridad aeroportuaria a los pasajeros y equipaje, llegan

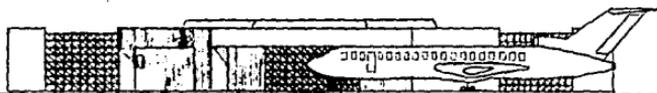
TESIS PROFESIONAL  
VICTOR HUGO PIZA RAMIREZ



FACHADA LATERAL



FACHADA A ESTACIONAMIENTO



FACHADA A PLATAFORMA

FIGURA II.1  
EDIFICIO TERMINAL  
SITE NUEVO MEXICO

do así a dicha sala, con una superficie de  $484\text{m}^2$  de estancia y servicios sanitarios. Para eventos especiales se tendrá un salón oficial de  $93\text{m}^2$  junto a la sala de última espera.

La sala de reclamo de equipaje estará dividida en zona de espera con  $213\text{m}^2$ , una banda con  $37\text{m}^2$ , manejo exterior de equipaje con  $86\text{m}^2$ , servicios sanitarios para los pasajeros de  $66\text{m}^2$  y circulación con  $66\text{m}^2$ , haciendo un total de  $468\text{m}^2$ . Para los vuelos internacionales, se contará con un área de  $26\text{m}^2$  para oficinas de migración y  $35\text{m}^2$  para aduana, únicamente con servicio de llegadas.

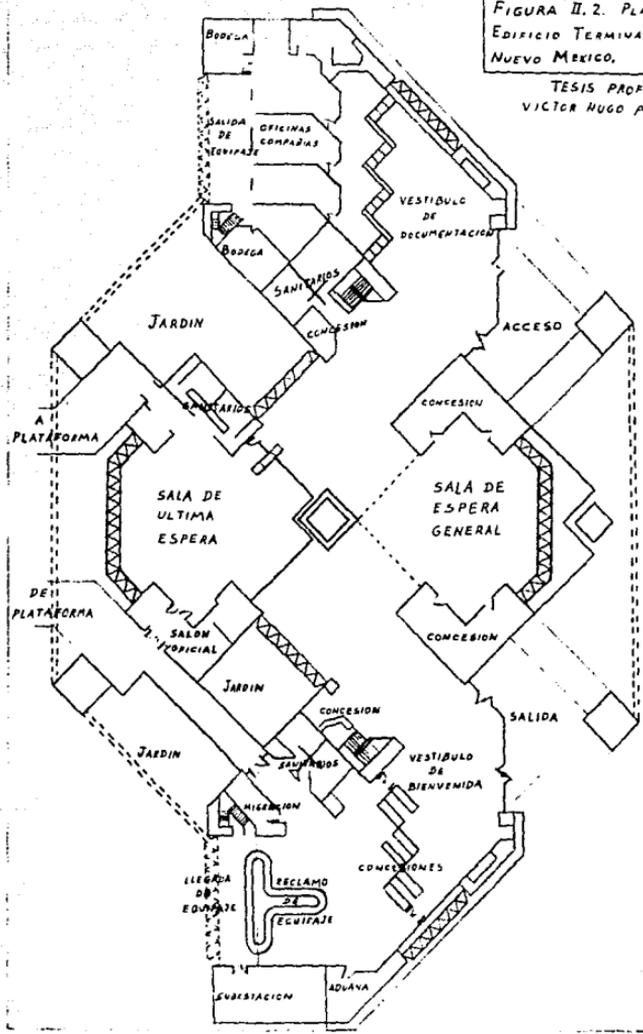
Para las personas que esperen el arribo de pasajeros, se tendrá una sala de bienvenida, que consta de una sala de estar y concesiones de  $467\text{m}^2$ , comunicada a la sala de espera a través de una circulación de  $144\text{m}^2$ .

En la planta alta del edificio terminal se localizán las oficinas para las compañías aéreas con  $94\text{m}^2$ , el restaurante, cocina, --bar y sanitarios con  $334\text{m}^2$  totales, y las oficinas administrativas con  $205\text{m}^2$ , incluyendo servicio sanitario. Toda esta disponibilidad de superficie permite una unidad de tráfico de  $10\text{m}^2/\text{pas}$ . Esta no es una cifra de tráfico muy recomendable, ya que es muy probable que ocasione problemas de conoestacionamiento en muy poco tiempo. En otros países se manejan cifras de 28 a  $30\text{m}^2/\text{pas}$ , y manejar 23 a  $25\text{m}^2/\text{pas}$  es todavía volúmen de tráfico aceptable, pero cifras menores significan probables congestionamientos. Este es un fenómeno muy común en nuestro país, ocasionando por una mala planeación y una política en la toma de decisiones poco adecuadas y condicionada a los recursos disponibles para un proyecto en particular, que son determinados por causas que no tienen nada que ver con los aeropuertos del país. Adicional a las zonas mencionadas, se contará con una subestación eléctrica de  $88\text{m}^2$ , localizada al poniente del edificio terminal.

En el estacionamiento para automóviles de pasajeros de aviación comercial, se tendrá una superficie de  $10\ 645.5\text{m}^2$ , con capacidad de  $19\text{m}^2/\text{vehículo}$ , para atender así a 559 vehículos aproximada-

FIGURA II.2. PLANTA BAJA DEL EDIFICIO TERMINAL SITIO NUEVO MEXICO.

TESIS PROFESIONAL VICTOR HUGO PIÑA RAMIREZ



mente. Habrá también un estacionamiento para empleados con capacidad de  $34\text{m}^2$ /vehículo atendiendo 18 automóviles. Estos valores son muy bajos y poco recomendables, ya que influyen las distintas vialidades dentro del estacionamiento, y el espacio necesario para -- realizar las maniobras de estacionamiento de un vehículo.

En la zona de hangares se tendrá un área de  $20\ 125\text{m}^2$  para infraestructura, consistente en agua, luz, drenaje y pavimento, contando así con  $560\text{m}^2$ /lote.

Para el movimiento de carga nacional e internacional se contará con  $250\text{m}^2$  de bodega,  $21\text{m}^2$  para rezago,  $7\text{m}^2$  de bodega y  $11\text{m}^2$  para mantenimiento,  $21\text{m}^2$  para comisariato y  $18\text{m}^2$  de archivo, mientras que la planta alta contará con comedor, cocina, aula de capacitación, lockers y baños para hombres y mujeres.

La zona de combustibles tendrá un área de  $9\ 512\text{m}^2$  con cuatro tanques con capacidad para almacenar 300 000 litros, distribuidos de la siguiente manera: dos tanques de 80 000 litros para turbosina, un tanque de 60 000 litros para gas-avión 80/87 octanos y un tanque de 80 000 litros para gas-avión 100/130 octanos, contando además con un tanque de agua para seguridad de 80 000 litros. Tendrá caseta laboratorio y plataforma con garzas para el suministro de combustible, que se realizará con carros-pipa.

Para la seguridad de las operaciones y las maniobras del personal de tierra, se construirá con una torre de control de 23m de altura y dos edificios anexos, consistentes en casa de máquinas de  $480\text{m}^2$  y oficinas para la comandancia del aeropuerto de  $300\text{m}^2$ . Ambos contarán con un estacionamiento para empleados y equipo de  $524\text{m}^2$ .

Para el Cuerpo de Rescate y Extinción de Incendios (CREI) se dispondrá de un edificio de  $450\text{m}^2$ , localizado entre la torre de control y el edificio terminal. Para que el CREI pueda llegar rápidamente a cualquier punto de la zona aeronáutica, será necesario -

un camino de apoyo de 230m de largo, así como un camino perimetral de 12km de largo y 3.50m de ancho para mantenimiento de las instalaciones y pistas.

Como apoyo a la navegación, el aeropuerto estará equipado con un Radio-Faro Omnidireccional de muy alta frecuencia (VOR/DME), dos conos de viento y luces de precisión para indicar el ángulo de descenso del avión al piloto en ambas cabeceras, y señalamiento vertical y horizontal. Para las operaciones nocturnas y días de poca visibilidad, habrá un faro giratorio y luces de borde en la pista, cables de rodaje y plataformas, así como luces indicadoras de obstáculos en los edificios.

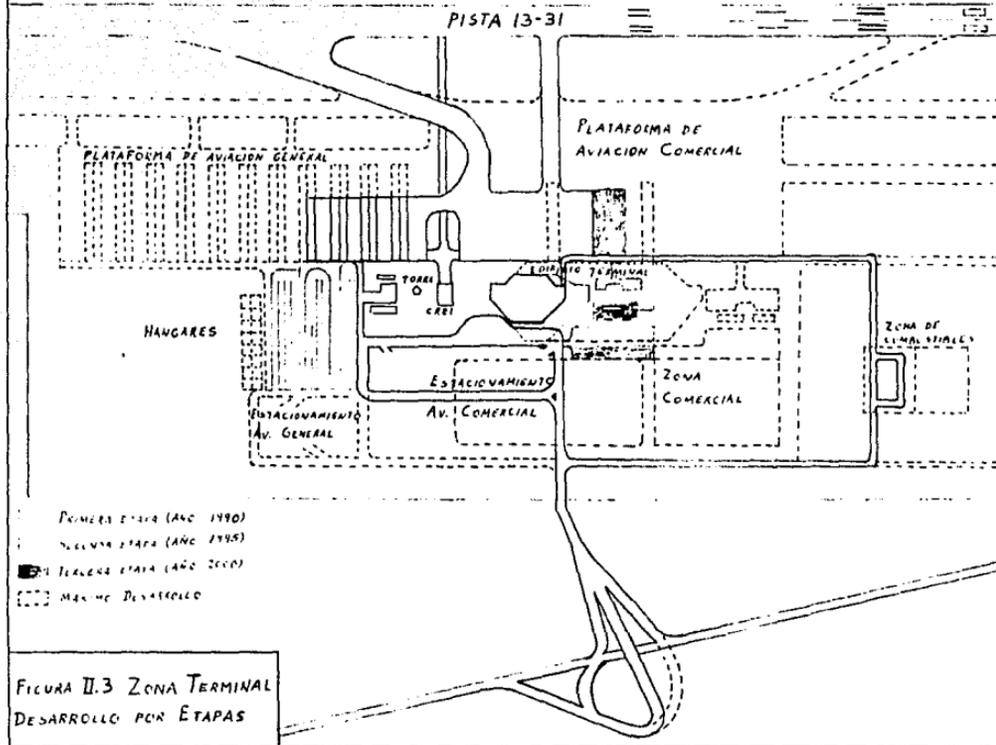
## II.2 Segunda y Tercera Etapa

La construcción de la segunda etapa deberá iniciarse al llegar a las 10 000 operaciones anuales aproximadamente, lo que de acuerdo con el pronóstico esperado, ocurrirá entre 1993 y 1995. Se contempla la ampliación de la pista 13-31 en 500m, para quedar en una longitud total de 4 000m y 45m de ancho, con franjas de seguridad de 150m de ancho. Esta ampliación permitirá 8 operaciones horarias combinadas, incluyendo al avión DC-9-80 a peso máximo en el despegue. En la zona terminal se ampliará la plataforma en 60m de largo y 105m de ancho, además de ampliar la plataforma existente con un filete de 15m de ancho y 134m de largo, con lo que se tendrá capacidad para 4 posiciones simultáneas de aviones tipo B-727-200 ó similares, que entrarán y saldrán por propio impulso estacionándose en forma lineal frente al edificio, con lo que se satisface la demanda pronosticada para el año 2005. (Figura II.3)

El edificio terminal de pasajeros de aviación comercial se ampliará en  $1\ 790\text{m}^2$ , haciendo un total de  $6\ 000\text{m}^2$  y siguiendo con la capacidad de  $10\text{m}^2/\text{pasajero}$  hasta aproximadamente el año 2000.

En la zona de hangares será necesario construir accesos viales para tener accesos independientes de aviones y automóviles, con áreas pavimentadas de 405m de largo y 6m de ancho. El estacionamiento

TESIS PROFESIONAL  
VICENTE ILLER PIZA RAMIREZ



to para empleados y usuarios de aviación general se deberá construir con 150m de largo y 35m de ancho, con capacidad para 175 autos hasta el año 2010.

Para la zona de estación de servicios se contempla una ampliación de 579m<sup>2</sup>, haciendo un total de 990m<sup>2</sup>, y permitiendo almacenar 9 500 toneladas, satisfaciendo así la demanda de 10ton/m<sup>2</sup>, que de acuerdo con el pronóstico, se podría presentar en el año 2010.

También se contempla la construcción de un paso a desnivel con el entronque de la carretera y el acceso al aeropuerto, con el fin de evitar accidentes debido al intenso tráfico de vehículos en la carretera Irapuato-León.

La tercera etapa deberá iniciarse al alcanzar la 13 000 operaciones anuales, lo que se espera ocurra entre los años 1998 y 2000. En esta etapa será necesaria ampliar el edificio terminal para pasajeros de aviación comercial en 4 000m<sup>2</sup>, haciendo un total de 10 000m<sup>2</sup>. Así se pondrán conservar los 10m<sup>2</sup>/pas, fijados para la operación de este aeropuerto.

El edificio de estación de servicios se ampliará a 64m de largo por 20m de ancho, contando con una superficie total de 1 280m<sup>2</sup> y podrá seguir almacenando 10ton/m<sup>2</sup>. Para ello el área de maniobras deberá ampliarse en 1 200m<sup>2</sup>.

### II.3 Cuarta Etapa y Máximo Desarrollo.

Como se esperan 15 000 operaciones anuales y la llegada de 5 - aviones del tipo B-727-200 para el año 2010 aproximadamente, en el año 2003 se deberá iniciar la cuarta etapa, con la ampliación de la plataforma de aviación comercial en 60m de largo y 105m de ancho, llegando a 31 500m<sup>2</sup> totales, para ofrecer 5 posiciones simultáneas comerciales, y los aviones aún entrarán y saldrán por propio impulso, estacionándose en forma lineal frente al edificio terminal. (Figura II.4)

TESIS PROFESIONAL  
VICTOR HUGO PIRA RAMIREZ

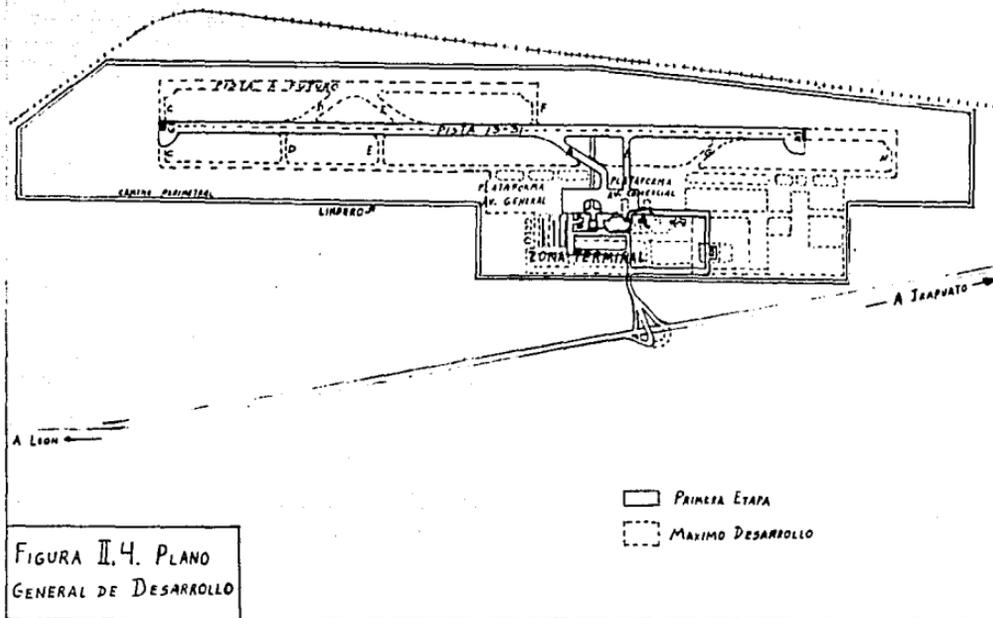


FIGURA II.4. PLANO  
GENERAL DE DESARROLLO

Por lo tanto, en el edificio terminal de aviación comercial, se atenderán alrededor de 1000 pasajeros, debiéndose ampliar en 2 000 m<sup>2</sup> y alcanzar un total de 12 000m<sup>2</sup>, teniendo así una disponibilidad de 12m<sup>2</sup>/pasajero.

Como parte del máximo desarrollo del aeropuerto, se ha previsto la construcción de una segunda pista paralela más allá del año 2010, con una separación de 210m entre ejes, longitud de 2 040m y 30m de ancho, con el fin primordial de servir a la aviación general. Esta nueva pista contará con calles de rodaje para salidas de alta velocidad, un rodaje paralelo localizado a 180m del eje de la pista actual y otras salidas y calles de rodaje que permitirán atender hasta 90 operaciones por hora.

Estas son consideraciones muy optimas de operación, ya que la segunda pista, tanto por su longitud, como por su cercanía con la pista principal, no podrían dar servicio a más de 15 a 20 operaciones horarias. Aún más, los aeropuertos internacionales de mayor volumen y organización, no manejan más de 45 a 50 operaciones horarias; mucho menos este aeropuerto que no cuenta con las instalaciones necesarias para ello. Estamos de nuevo en el problema de que intereses ajenos a esta planeación, querían justificar este aeropuerto, ó la ampliación del mismo, sin ninguna base técnica ni operacional.

También es posible que se lleguen a presentar 5 ó 6 aeronaves comerciales, algunas del tipo B-757-200, estacionados en forma simultanea en plataforma, razon por la cual, el edificio terminal se desarrollará en forma de "dedos", que pueden alojar hasta 6 aviones del tipo B-757-200. (Figura II.4)

El desarrollo del conjunto plataforma-edificio terminal-estacionamiento para la aviación comercial, se prevé hacia el sureste de la zona terminal de la primera etapa.

Debido a las dimensiones que podrían alcanzar estas ampliaciones, se haría necesario reubicar las instalaciones del edificio -

de servicios, hacia una zona de carga y mantenimiento de grandes dimensiones, previstas hacia el sureste del aeropuerto.

Para el conjunto de aviación general, sus ampliaciones serían hacia el noroeste, tanto de su plataforma como de sus hangares y estacionamiento.

La zona de combustibles se ampliará al doble del área de la primera etapa, por lo que el suministro de combustible, para aviación comercial y general, se realizaría por medio de hidrantes.

Para la viabilidad del aeropuerto en sus diversas instalaciones, se necesitaría ampliar el camino de acceso y las vialidades de servicio.

La superficie de terreno para alojar las instalaciones de esta etapa, debe contemplar la adquisición de 54.16ha. localizadas al norte del aeropuerto, haciendo un total de 446.9 ha.

#### II.4 Orientación de la Pista.

Lo primero que debemos mencionar es como se designa el nombre a una pista, de acuerdo a la convención reconocida por la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional). Se basa en el azimut de aproximación de una aeronave a una de las cabeceras de la pista, el cual se redondea al valor de azimut múltiplo de  $10^\circ$  más cercano; si este valor es menor de  $100^\circ$ , la cabecera se conocerá como cero y el número de decena correspondiente; si el valor es igual ó mayor a  $100^\circ$ , la cabecera se conocerá como el número de azimut eliminando el cero de las unidades; así, si la orientación fuera azimut  $38^\circ 30'$ , el valor se redondearía a 40, por lo que la cabecera sería la 04; si la orientación tuviera el azimut  $344^\circ 20'$ , el valor se redondearía a 340, por lo que la cabecera sería la 34.

Es claro que si una cabecera se define, la otra quedará exactamente  $180^\circ$  recorrida en su azimut; así si la cabecera es la 04, la opuesta será  $40^\circ + 180^\circ = 220^\circ$  y se llamará 22; la pista recibirá -

entonces la designación 04-22, que es la orientación de aproximación en azimut a cada una de sus cabeceras.

Ahora bien, esa orientación está determinada por el régimen de vientos predominantes en el sitio de elección, así como de la disponibilidad de espacios aéreos en el mismo.

La condición óptima de operación de una aeronave es con el viento en dirección transversal a ella, condición que muy contadas veces se presenta, ya que la dirección del viento depende de las condiciones climáticas y orográficas de un sitio; sin embargo, siendo el viento una magnitud vectorial, podemos descomponerlo en dos componentes, una tangente al avión y otra en dirección normal al mismo. Si el valor de esta componente normal es muy grande, puede ocasionar que el avión se salga de la dirección del eje de la pista, lo que nos obliga a limitar su magnitud a un valor que permita a la potencia del avión, mantenerse en dirección al eje de la pista, por lo menos el 95% del tiempo de operación anual de la misma, ya sea por una u otra cabecera.

Para conseguirlo, se deben realizar estudios de anemometría en los posibles sitios de ubicación de la pista, de por lo menos 5 años atrás a la fecha de diseño, con observaciones de la dirección y la magnitud del viento a cada 15 minutos, lo que nos daría un total de 175 200 observaciones, que construirían nuestro 100%.

Las direcciones se agrupan en las 16 direcciones más comunes de la rosa de los vientos (N, NNE, NE, ENE, E, etc.) y la magnitud de clasificar de 0 a 4mph, conocido como viento calma, de 4 hasta la magnitud determinada de la componente normal, y de ahí en adelante en subdivisiones convenientes, por ejemplo de 10 en 10mph.

Las observaciones agrupadas por dirección y magnitud de componente normal, se dividen entre el total de observaciones obtenidas y así se tendrá el porcentaje de cada dirección y magnitud. Estos datos se trasladan a una carta de rosa de los vientos cruzados, formada por las 16 direcciones comunes de la rosa de vientos

y por círculos a escala con radios representando cada una de las subdivisiones de la magnitud del viento. (Figura II.5)

En cada sector de corona se anota el porcentaje respectivo observado de magnitud de vientos.

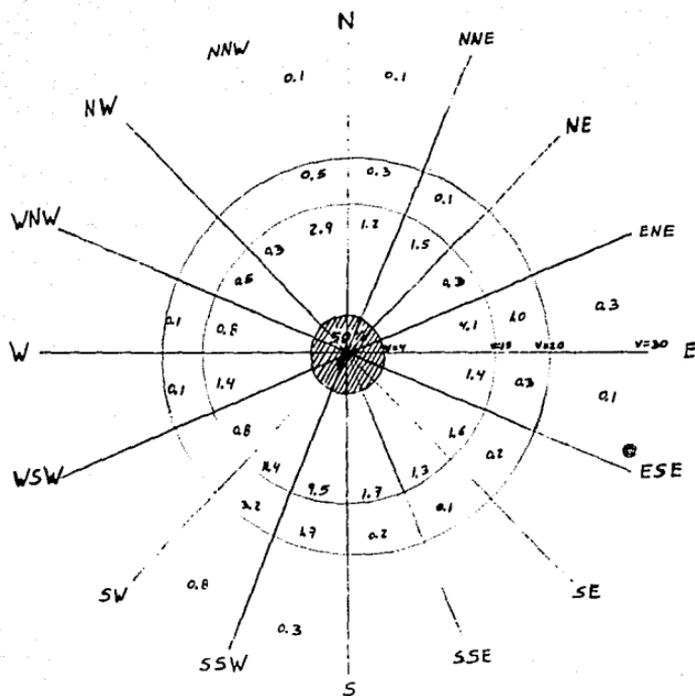
Después, se construyen tres líneas paralelas a la misma escala que la rosa de vientos cruzados, con una separación entre ellas de la velocidad de la componente normal determinada. (Figura II.5)

Se enciman las líneas paralelas sobre la rosa de vientos cruzados, coincidiendo la línea central con la dirección de la pista y se cuentan los porcentajes que queden dentro de las líneas paralelas. Se considera válido interpretar cuanto porcentaje toman los sectores divididos por las líneas y que no están enteros. Esto se hace para todas las direcciones de pista (18-36, 01-19, 02-20, etc) y la suma de porcentajes de distintas velocidades para una misma pista debe ser del 95% mínimo, para que pueda ser utilizada como pista factible. Si ninguna de las pistas cubre el mínimo, se analizan dos pistas juntas y que se cruzan con un ángulo mínimo entre ellas de 30°.

En el nuevo aeropuerto de Bajío, el período de observaciones comprende del mes de Junio de 1983 a Febrero de 1986, faltando -- los meses de Agosto a Diciembre de 1983 y Abril de 1984, con un -- promedio de 23 lecturas diarias, con datos proporcionados por la -- estación meteorológica de la D.G.A. Así, se elaboró la rosa de -- vientos directos considerando los rangos de velocidad que se muestran:

Viento Calma	de 0 a 4 m.p.h.	Velocidad de la
Rango I	de 4.1 a 15 m.p.h.	componente normal
Rango II	de 15.1 a 20 m.p.h.	del viento=15m.p.h.
Rango III	de 20.1 a 30 m.p.h.	
Rango IV	mayor a 30.1 m.p.h.	

Con esta rosa de vientos directos se elaboró la siguiente ro-



NOTA: LAS CANTIDADES EN LOS  
SECTORES DE CORDONA INDICAN  
PORCENTAJES.

FIGURA II,5 ROSA DE  
VIENTOS CRUZADOS

sa de vientos cruzados. (figura II.5).

Empleando el procedimiento anteriormente descrito, se llegó a elaborar la siguiente tabla de porcentaje de vientos cruzados cubiertos en cada una de las direcciones de la pista indicadas:

Dirección de la pista	% de vientos cruzados (vel. en m.p.h.)					
	0 - 4	4.1-15	15.1-20	20.1-30	de 30	Total
18 - 36	50.00	40.50	6.49	1.28	-----	98.27
01 - 19	50.00	40.50	6.85	1.27	-----	98.62
02 - 20	50.00	40.50	6.85	1.27	-----	98.88
03 - 21	50.00	40.50	7.17	1.27	-----	98.94
04 - 22	50.00	40.50	7.05	1.22	-----	98.77
05 - 23	50.00	40.50	6.67	1.07	-----	98.24
06 - 24	50.00	40.50	6.07	0.79	-----	97.36
07 - 25	50.00	40.50	5.15	0.50	-----	96.15
08 - 26	50.00	40.50	4.16	0.41	-----	95.07
09 - 27	50.00	40.50	3.01	0.39	-----	93.90
10 - 28	50.00	40.50	2.70	0.31	-----	93.51
11 - 29	50.00	40.50	2.94	0.19	-----	93.63
12 - 30	50.00	40.50	3.46	0.15	-----	94.11
13 - 31	50.00	40.50	4.08	0.16	-----	94.74
14 - 32	50.00	40.50	4.94	0.26	-----	95.70
15 - 33	50.00	40.50	5.79	0.45	-----	96.74
16 - 34	50.00	40.50	6.36	0.72	-----	97.58
17 - 35	50.00	40.50	6.36	1.06	-----	97.92

De acuerdo con estos resultados, la ubicación de pista óptima por análisis de vientos sería la 03 - 21; pero como ya mencione antes, la ubicación de la pista también está influida por la disponibilidad de espacios aéreos en la zona. Sin embargo, es casi evidente que la pista seleccionada finalmente, que es la 13 - 31, no cumple con el 95% de operatividad mínima por vientos, sino que fué --prácticamente forzada por la ubicación de la carretera panamericana y la red ferroviaria existente, ya que existía una gama de pistas elegibles más favorables, desde la 14 - 32 hasta la 08 - 26. Esta

es una razón más para afirmar que el sitio de ubicación del aeropuerto, pudo haber sido más favorable en el sitio Romita, y que -- por alguna causa desconocida para mí en esta investigación, no se llevó a cabo.

#### II.5 Longitud de la pista.

Algunos de los factores que influyen en la longitud de pista, son:

- características de funcionamiento y pesos de operación de los aviones a los que prestará servicio,
- condiciones meteorológicas, principalmente viento y temperatura de la superficie,
- características de la pista como la pendiente y estado de la superficie,
- la elevación del aeropuerto (afecta la presión barométrica) y limitaciones topográficas.

Hay que mencionar que cuando mayor es la velocidad del viento de frente que sopla en una pista, la longitud de la misma requerida por un avión para despegar ó aterrizar será más corta, y a la inversa, a mayor viento de cola, habrá un requerimiento de mayor longitud de pista por parte de las aeronaves.

Asimismo, cuando la temperatura se eleva, se traduce en menor densidad del aire, lo que reduce el empuje producido y la sustentación del avión. También, en iguales condiciones de operación, si la elevación de un aeropuerto es mayor, provoca mayor longitud de pista requerida por existir una presión barométrica menor.

Para una primera aproximación de cálculo, se puede determinar la longitud de pista por medio de la aplicación de coeficientes de correlación generales proporcionados por la OACI, aunque es un método poco confiable.

En la mayoría de los aviones se dispone de manuales de vuelo con los datos sobre las características de su funcionamiento y operación, que contienen curvas y tablas de funcionamiento de los aviones para los cálculos básicos en la planificación de pistas. Este trabajo se realizó con ayuda de los manuales del B-757-200, del DC-9-80 y del B-747.

Es importante mencionar como se identifican los distintos pesos de una aeronave, con la ayuda del siguiente cuadro:

- controles, fuselaje, motores, alas, tren de aterrizaje y fluidos (excepto el aceite de los motores).	0	
- aceite de los motores.		peso vacío
- Equipo de abordaje: equipo de cabina, de navegación, de rescate y manuales de vuelo.		peso básico
- peso de tripulaciones y comisariato, compartimientos, estufas, etc.		peso de operación seco
- carga pagada: correo, carga, paquete, pasajeros y equipaje.		peso a cero combustible
- peso de combustible de reserva para volar a un aeropuerto alternativo y tiempo adicional de vuelo.		peso de aterrizaje
- peso de combustible de vuelo.		peso de despegue
- peso de combustible en los rodajes.		peso en plataforma

Para determinar la longitud de una pista, se utiliza el peso de despegue, para la condición más crítica, que es la que se conoce como segundo segmento.

Debido a que existirán vuelos a los Angeles y Tijuana, con una distancia de alrededor de 1000 km, se tendrá la distancia óptima de vuelo del B-747, que es el avión más crítico para el diseño de longitud de pista, y operará a peso máximo.

Como datos básicos tenemos:

- altitud del aeropuerto: 1845 m.s.n.m. = 6053.15 ft
- temperatura ambiente de referencia: 31°C
- pendiente efectiva: 0%

En las gráficas se considera la inclinación de las aletas -- del avión, ya que le permiten mayor ó menor sustentación; además utiliza una clasificación de seco y húmedo, que se refiere a la posibilidad de inyectarle agua a las aletas para aumentar la sustentación del avión. Lo primero que debemos hacer es determinar la restricción en el peso máximo para cada combinación de inclinación de aletas y la condición seca ó húmeda; así, con el apoyo de las gráficas 1 a 4 (fig. II.6), se obtuvo la siguiente tabla:

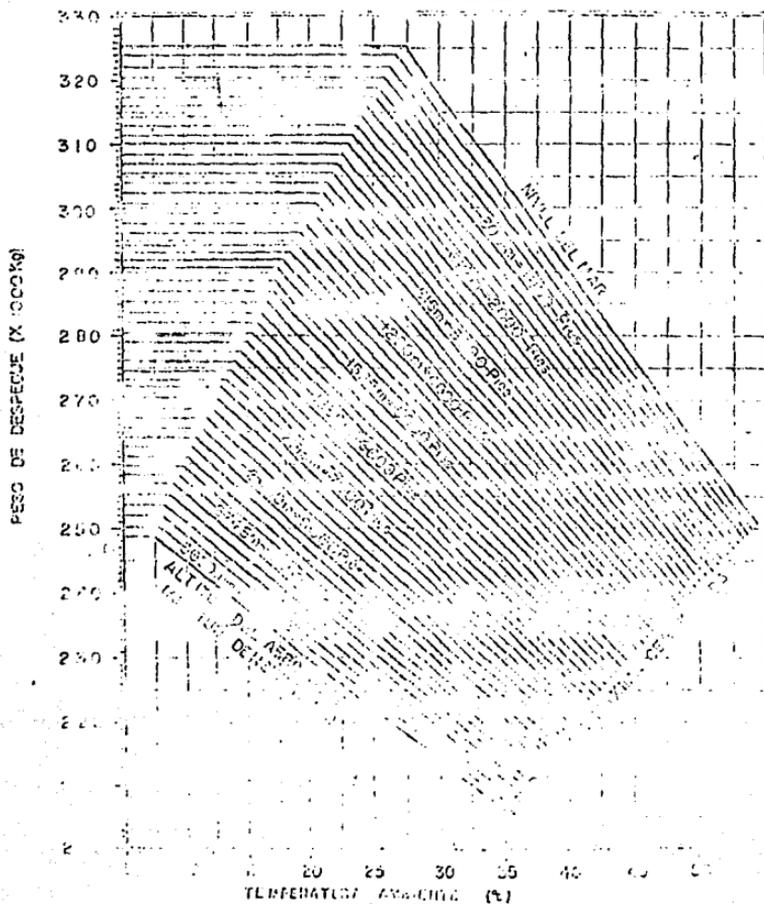
Pesos Máximos (Ton)		
Aletas	Seco	Húmedo
10°	246	259
20°	238	248

Después se determina la longitud de pista a pesos máximos con apoyo de las gráficas 5 a 8 (fig. II.7), obteniendo los siguientes resultados:

Longitud de pista (mts.)		
Aletas	Seco	Húmedo
10°	3050	3250
20°	2620	2680

Se observa que la mayor longitud de pista para el despegue, -- en la condición más crítica, se presenta con el peso máximo de -- despegue de 259 toneladas, con inclinación de 10° en las aletas e inyección de agua al momento del despegue, y tiene un valor de -- 3250 metros.

SECO  
ALETAS 10°



SECO  
ALETAS 20°

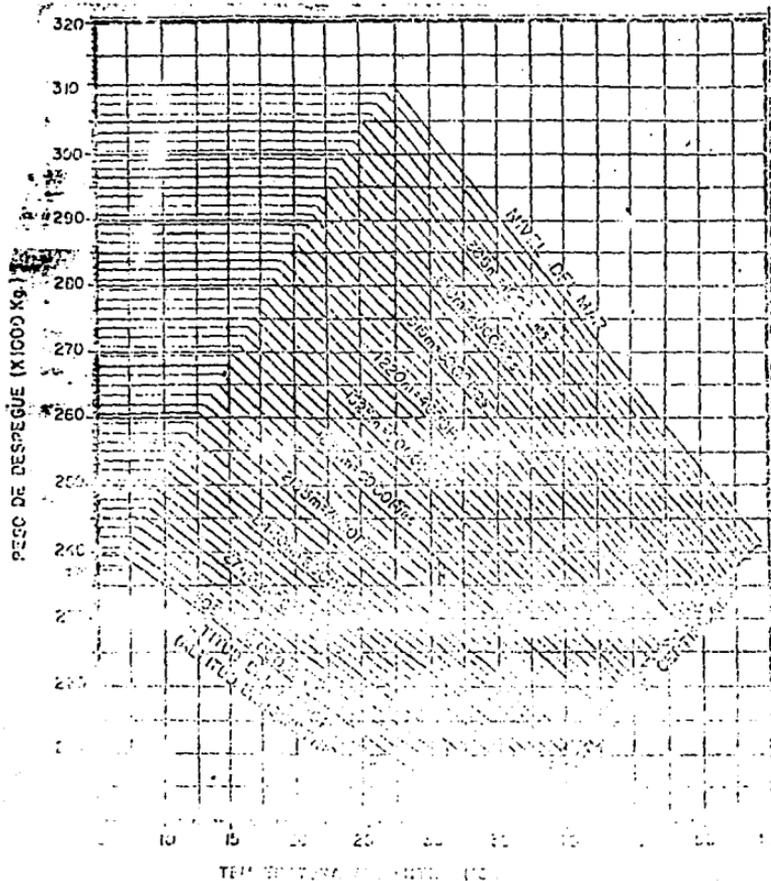


FIGURA II. 6. 2

HUMEDO  
 ALETAS 10°

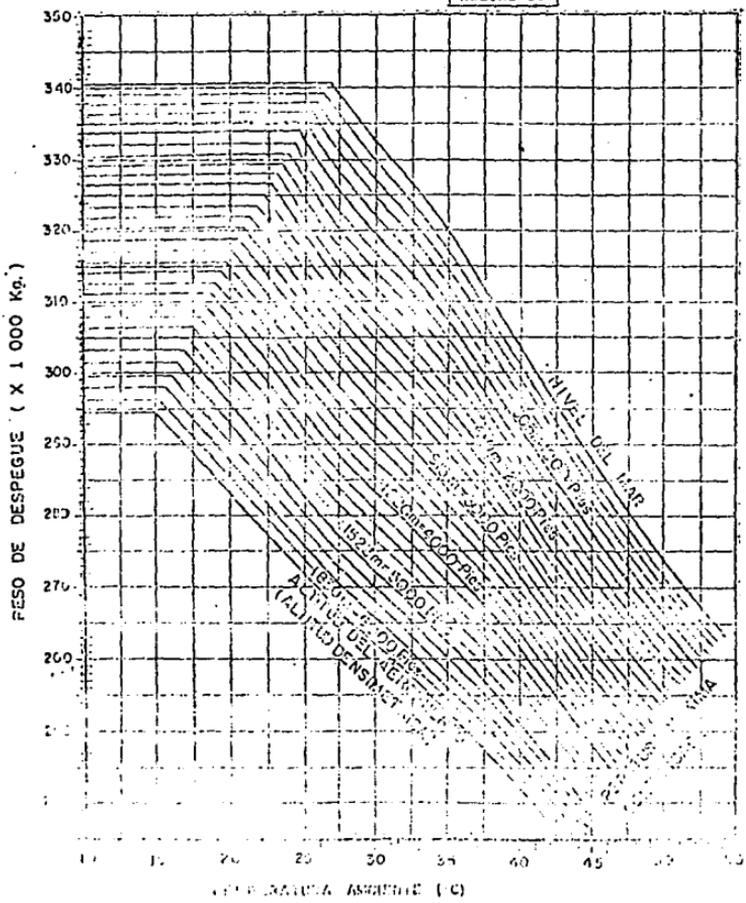


Figura II.6.3

HUMEDO  
ALETAS 20°

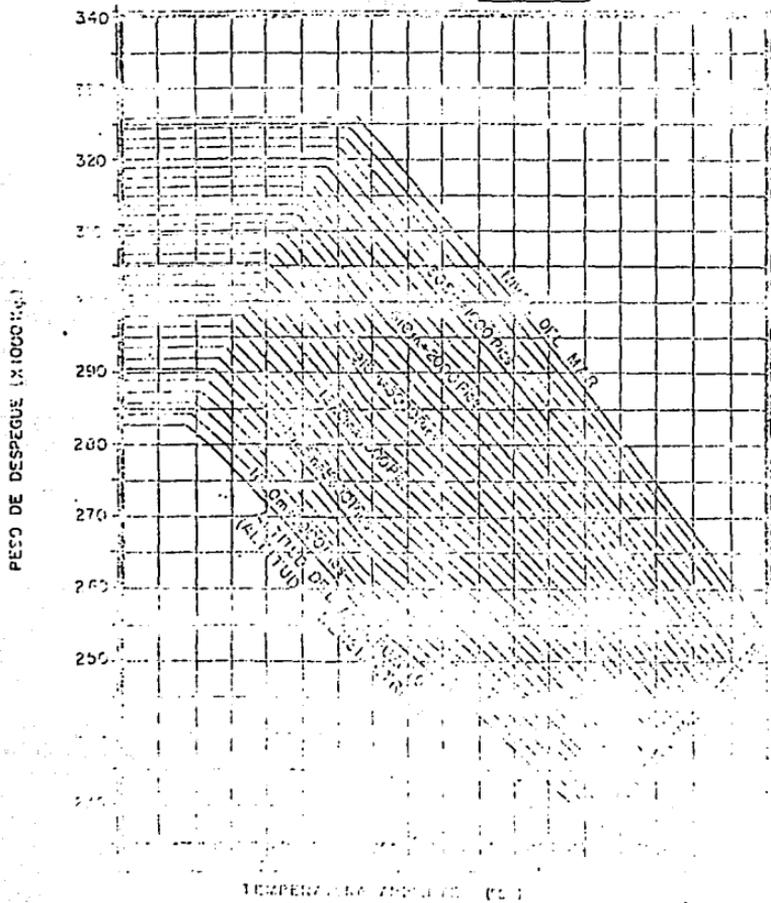
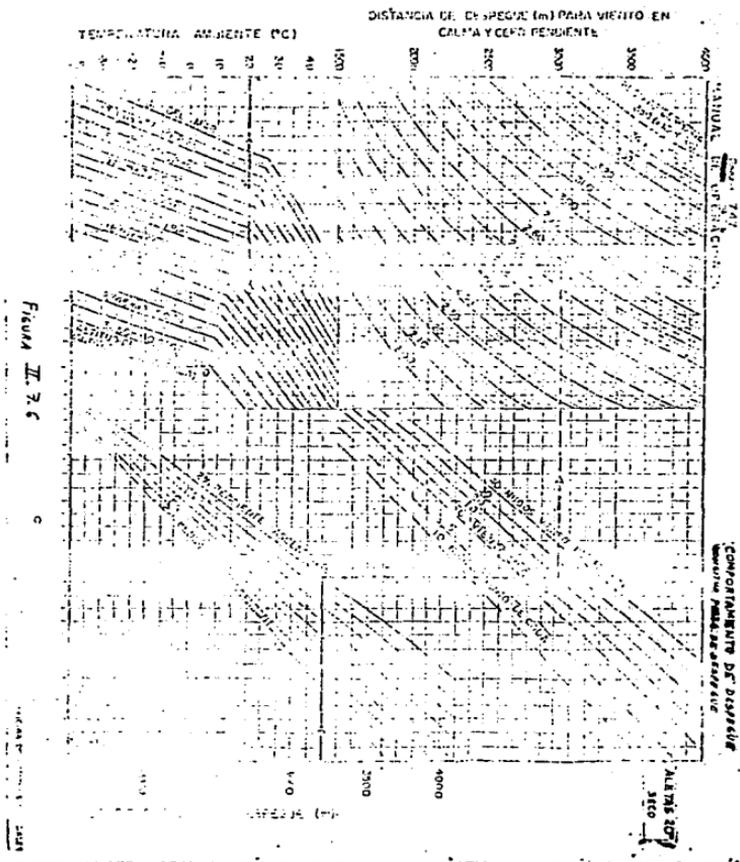


FIGURA II.6.4

(4)



(2)



(2)

(2)

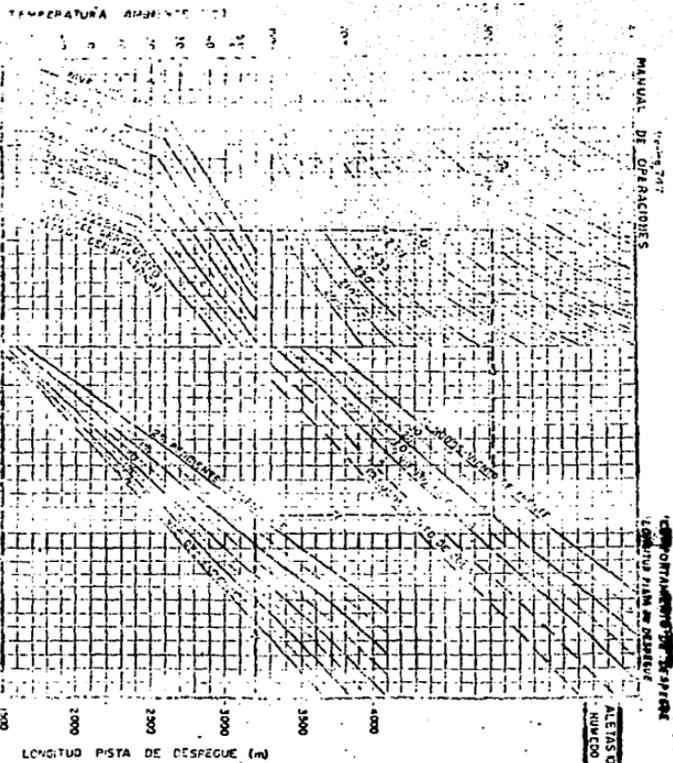
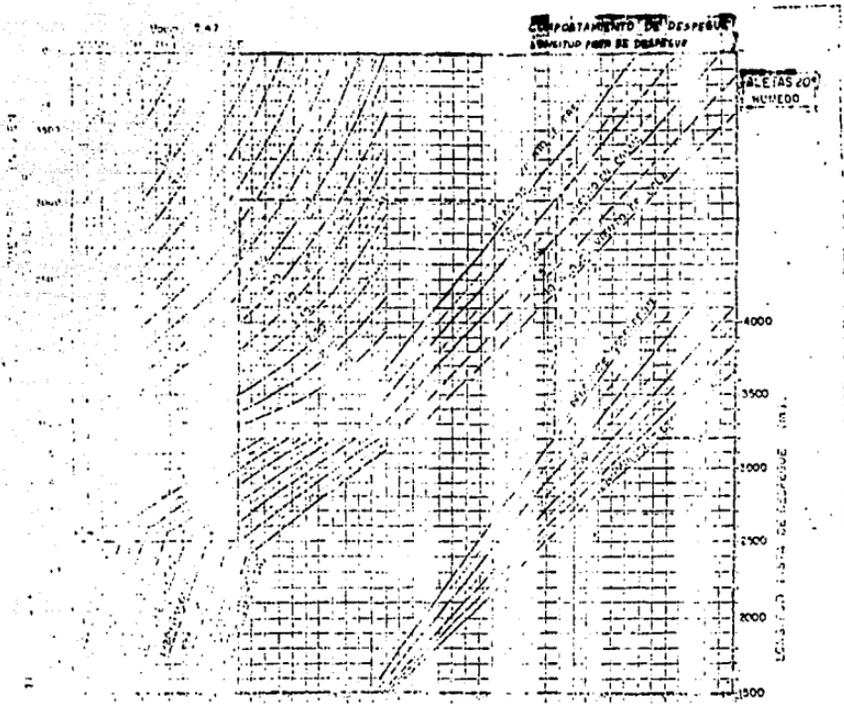


FIGURA II. 9. 7

(7)

(a)



(b)

FIGURA II. 7. 8

## II.6 Diseño del pavimento.

La pista, así como las calles de rodaje, serán construidas con pavimentos flexibles, ya que es la tendencia de construcción durante los últimos años en la Dirección General de Aeropuertos, debido a su bajo costo de construcción en comparación con pavimentos rígidos.

Sin embargo, puede que no sea la solución óptima, ya que el mantenimiento de los pavimentos flexibles es bastante mayor y más frecuente que el de un pavimento rígido. De hecho, un pavimento rígido bien construido, puede durar bastantes años con el mínimo mantenimiento. Un ejemplo de este tipo es el aeropuerto de Ensenada, B.C.S.

Si comparamos de manera cualitativa las gráficas de costo vs tiempo de un pavimento rígido y un flexible, se observa que aunque el costo de inversión es mayor en el primero, su costo de mantenimiento es mucho menor que el segundo. (figura II.8).

La forma correcta de decidir el uso de uno u otro pavimento es el análisis de la vida útil para la que se proyecte el aeropuerto; si es menor al valor  $T_0$ , convendría utilizar el pavimento flexible; si por el contrario es mayor al valor  $T_0$ , se utilizaría el rígido. El tiempo  $T_0$  es un lapso en el cual los costos acumulados de ambos pavimentos son iguales, y es relativamente corto.

Pero debido a la situación económica del país, y como política de planeación de las obras de infraestructura, se proyectan -- los aeropuertos para vidas útiles mayores de 20 años, por lo que deberían construirse las pistas con pavimentos rígidos.

Lamentablemente, ese no es el criterio que se utiliza al diseñar los aeropuertos, y es debido a que existe una política poco

TESIS PROFESIONAL  
VICTOR HUGO PIÑA RAMIREZ

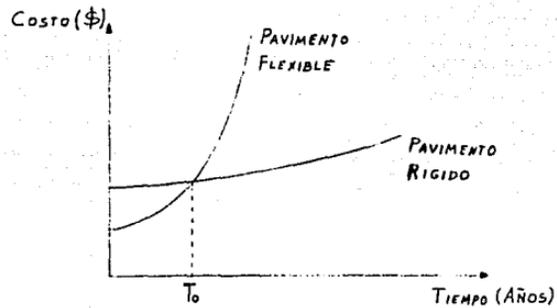


FIGURA II.8  
COMPARACION CUALITATIVA DEL  
COSTO DE UN PAVIMENTO

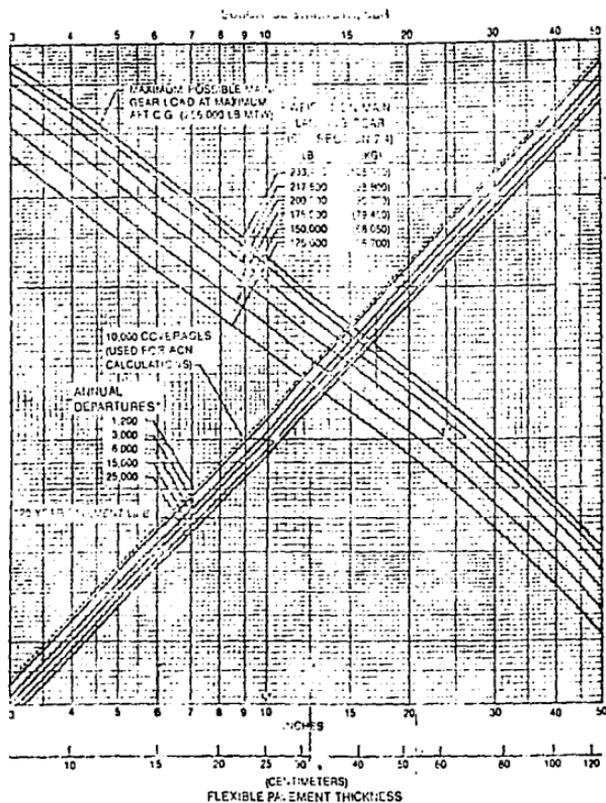
adecuada en la Dirección General de Aeropuertos, en mi particular punto de vista, ya que prefieren invertir pocas cantidades en la construcción del aeropuerto, aún a sabiendas que su mantenimiento será más frecuente, y por lo tanto, su costo será mayor.

Para el diseño se consideró como avión crítico el B-757-200 con un peso máximo de despegue de 78.5 toneladas y una condición de operación de 5000 cubrimientos. Para definir la estructura del pavimento se utilizó el criterio del cuerpo de Ingenieros de California, el cual define un valor relativo de soporte (CBR) a cada material, y en base a él se encuentra un espesor adecuado para -- que la pista tenga mayores deformaciones sin agrietarse, pero lo suficientemente pequeños para la correcta operación de la misma. - El CBR mide la resistencia de los materiales investigados en el laboratorio, y con la base para determinar los espesores de las capas del pavimento con ayuda de gráficas que aparecen en los manuales de operación de las aeronaves, que hacen e investigan los mismos fabricantes.

En los datos investigados se establecieron los siguientes valores de CBR:

- en la subrasante al 95% de compactación: CBR=8.5
- en la base al 100% de compactación: CBR=17.0

Con estos valores entramos a la gráfica correspondiente para el diseño de pavimentos rígidos (figura II.9). Primero, con el valor de CBR de la subrasante, trazamos una línea vertical hasta intersectar la curva correspondiente a 78.5 Ton de peso, a partir de ese punto se continua en forma horizontal hasta encontrar la curva correspondiente a 5 000 cubrimientos, desde donde se continua en forma horizontal hasta el punto donde se lee un espesor  $t_0$  tal H; se prosigue a realizar el mismo procedimiento con el valor de CBR de la base, obteniéndose un espesor  $H'$ ; la diferencia entre H y  $H'$  es el espesor de la subrasante. De acuerdo con las investigaciones y observaciones prácticas, el espesor de la carpeta asfáltica en zonas críticas debe ser de 4" (10.1cm) por lo menos. Por lo tanto, el espesor de la base será la diferencia del valor



7.5 FLEXIBLE PAVEMENT REQUIREMENTS—U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS  
DESIGN METHOD AND IT'S DESIGN METHOD  
MOSES 757-200, -200PF

90

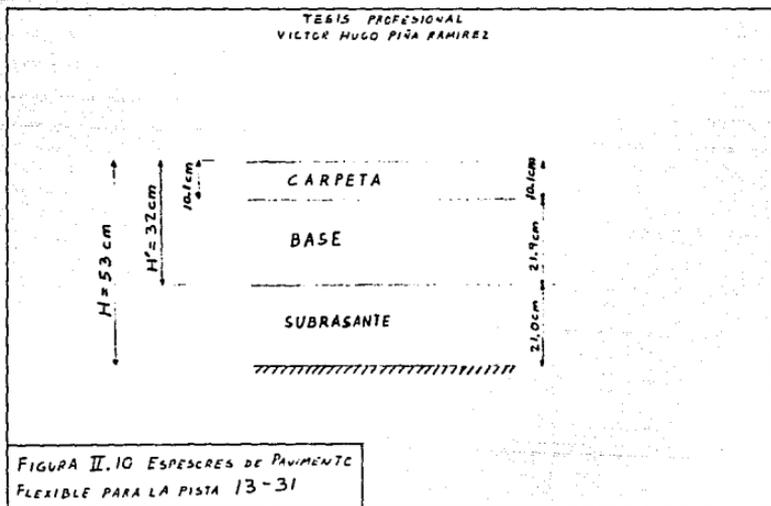
SEPTIEMBRE 1989

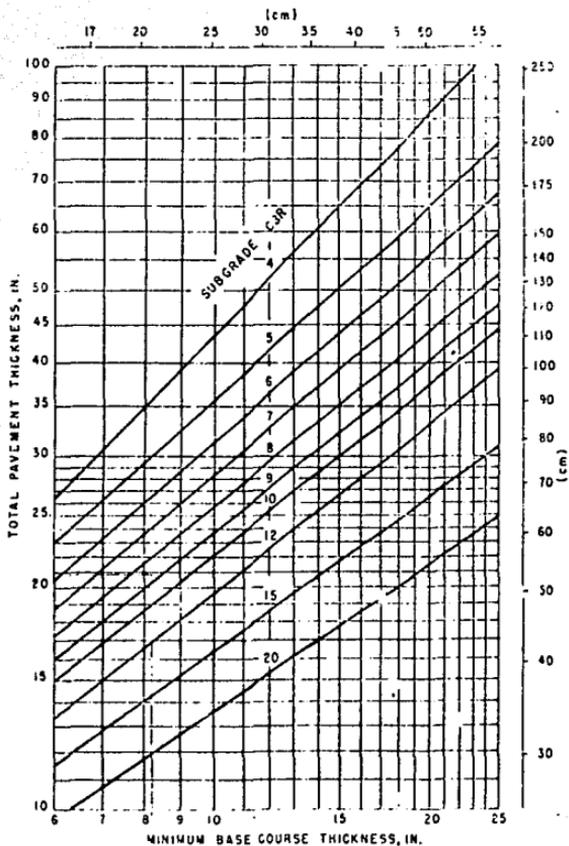
D5-58327

FIGURA II.9 CURVAS DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

H' y estos 10.1cm. Para la pista en cuestión, los resultados se muestran en la figura II.10.

El método exige revisar el espesor de la base con ayuda de la gráfica mostrada en la figura II.11. Se busca el espesor total del pavimento encontrado H, se prolonga una línea horizontal hasta intersectar el valor de CBR de la subrasante, desde donde se continúa en forma vertical hasta leer el espesor mínimo de la base, que en nuestro caso fue de 8.2" (20.8cm), por lo que se considera aceptable el espesor obtenido anteriormente.





Chap 3 FIGURE 3-12. MINIMUM BASE COURSE THICKNESS REQUIREMENTS  
 Par 31

Page 53

FIGURA II.11 ESPESORES MÍNIMOS DE BASE EN PAVIMENTO FLEXIBLE.

### III. Características del Proyecto y Especificaciones.

Todo proyecto de ingeniería, sin importar el área de que se trate, debe cumplir con una serie de especificaciones, cuya finalidad es la de describir las características y condiciones mínimas necesarias para su correcta planeación, construcción y operación. En el caso del diseño de aeropuertos internacionales, la OACI es el organismo encargado de establecer dichas especificaciones, de acuerdo mundial y uso corriente en los sistemas aeroportuarios, comprendidos en el anexo 14 y divulgadas en una serie de documentos que edita la misma OACI. Para aeropuertos nacionales sólo se consideran como recomendaciones.

Para este trabajo en particular, se mencionarán sólo las especificaciones más relevantes que se refieren a las pistas, y que se consultaron del documento 9157-AN/901 editado por la OACI en 1985, en su parte 1<sup>a</sup> Pistas. Los elementos de los aeropuertos conexos a las pistas y que guardan relación directa con el aterrizaje ó despegue de los aviones son: las franjas de pista, los márgenes de pista, zonas de parada, zonas libres de obstáculos, y zonas de seguridad en el extremo de pista.

Estos conceptos se definen de la siguiente manera:

- Área de seguridad de extremo de pista: es un área simétrica respecto a la prolongación del eje de la pista y adyacente al extremo de la franja, cuyo objetivo principal consiste en reducir el riesgo de daños a un avión que efectúe un aterrizaje demasiado corto ó demasiado largo.

- Franja de pista: es una superficie definida que comprende la pista y la zona de parada, si la hubiese, destinada a:

a) reducir el riesgo de daños a las aeronaves que se salgan de la pista; y

b) proteger a las personas que sobrevuelan la pista durante las operaciones de despegue ó aterrizaje.

- Margen de pista: Banda de terreno que bordea un pavimento, tratada de forma que sirva de transición entre ese pavimento y el terreno adyacente.

- Zona libre de obstáculos: es un área rectangular en el terreno ó en el agua y bajo control de la autoridad competente, designada ó preparada como área adecuada sobre la cual un avión puede efectuar una parte del ascenso inicial hasta una altura especificada.

Para poder relacionar entre sí las numerosas especificaciones de la OACI concernientes a las características de los aeropuertos, se utilizan las claves de referencia. Dichas claves están compuestas de dos elementos que se relacionan con las características y dimensiones del avión. El primer elemento es un número basado en la longitud de campo de referencia del avión, que es la longitud de campo mínima necesaria para el despegue con el peso máximo homologado de despegue a nivel del mar, en la atmósfera tipo, viento calma y con pendiente de pista cero, que se puede consultar en los manuales de vuelo del avión; el segundo elemento es una letra basada en la envergadura del avión y en la anchura exterior entre las ruedas del tren de aterrizaje principal, tomando la letra clave de la que resulte mayor. Los dos elementos se determinan por medio de la siguiente tabla:

Clave de Referencia de Aeropuerto				
Elemento 1		Elemento 2		
Num. 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 800m	A	Hasta 15m	Hasta 4.5m (exclusive)
2	desde 800 hasta 1200m (exclusive)	B	desde 15 hasta 24m (exclusive)	desde 4.5 hasta 6m (exclusive)
3	desde 1200 hasta 1800m (exclusive)		desde 24 hasta 36m.	desde 6 hasta 9m (exclusive).
4	desde 1800m en adelante.	C		

		D	desde 36 hasta 52m	desde 9 hasta 14 m. (exclusive).
		E	desde 52 hasta 60m.	desde 9 hasta 14 m. (exclusive).

Para el aeropuerto en estudio, las aeronaves, sus dimensiones y su correspondiente clave de aeropuerto son:

Avión	Envergadura (m)	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje (m).	Longitud de campo de referencia (m)	Clave
DC-9-80	32.9	6.2	2195	4C
B-727-200	32.9	6.9	3176	4C
B-757-200	38.0	8.7	2057	4D

En adelante solo se mencionarán las especificaciones concernientes a aeropuertos con claves 4C y 4D.

### III.1 Número, orientación y emplazamiento de pistas.

Según la OACI, el número y orientación de las pistas de un aeropuerto deberán ser tales que el coeficiente de utilización del mismo no sea inferior al 95% para los aviones a que este destinado servir.

Al determinar que no hay obstáculos que penetren por encima de la superficie de aproximación, deberá tomarse en cuenta la presencia de objetos móviles, por lo menos en una distancia de 1200m medida longitudinalmente desde el umbral, y con un ancho total de 150m como mínimo.

El emplazamiento que se elija para el umbral deberá ser tal que la superficie libre de obstáculos hasta el umbral no tenga una pendiente mayor del 3%.

El uso de zonas de parada, zonas libres de obstáculos y umbrales desplazados, ha hecho necesario disponer de información precisa que se debe declarar con respecto a las diferentes distan

	D	desde 36 hasta 52m	desde 9 hasta 14 m. (exclusive).
	E	desde 52 hasta 60m.	desde 9 hasta 14 m. (exclusive).

Para el aeropuerto en estudio, las aeronaves, sus dimensiones y su correspondiente clave de aeropuerto son:

Avión	Envergadura (m)	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje (m).	Longitud de campo de referencia (m)	Clave
DC-9-80	32.9	6.2	2195	4C
B-727-200	32.9	6.9	3176	4C
B-757-200	38.0	8.7	2057	4D

En adelante solo se mencionarán las especificaciones concernientes a aeropuertos con claves 4C y 4D.

### III.1 Número, orientación y emplazamiento de pistas.

Según la OACI, el número y orientación de las pistas de un aeropuerto deberán ser tales que el coeficiente de utilización -- del mismo no sea inferior al 95% para los aviones a que este destinado servir.

Al determinar que no hay obstáculos que penetren por encima de la superficie de aproximación, deberá tomarse en cuenta la presencia de objetos móviles, por lo menos en una distancia de 1200m medida longitudinalmente desde el umbral, y con un ancho total de 150m como mínimo.

El emplazamiento que se elija para el umbral deberá ser tal que la superficie libre de obstáculos hasta el umbral no tenga -- una pendiente mayor del 33%.

El uso de zonas de parada, zonas libres de obstáculos y umbrales desplazados, ha hecho necesario disponer de información -- precisa que se debe declarar con respecto a las diferentes distan

cias físicas disponibles y adecuadas para el aterrizaje y despegue de los aviones. Para ello se emplea el término "distancias de claradas" y son las siguientes:

- recorrido de despegue disponible: la longitud de la pista que se declara disponible y adecuada para el recorrido en tierra de un avión que despegue.
- distancia de despegue disponible: la longitud de recorrido de despegue disponible mas la longitud de la zona libre de obstáculos si la hubiera.
- distancia de aceleración-parada: la longitud del recorrido de despegue disponible mas la longitud de zona de parada.
- distancia de aterrizaje disponible: la longitud de la pista que se declara disponible y adecuada para el recorrido en tierra de un avión que aterrice.

El Anexo 14 exige calcular las distancias declaradas para una pista pre-ista para ser utilizada por el transporte aéreo comercial internacional, y el Anexo 15 exige la notificación de las distancias declaradas para cada sentido de la pista en la publicación de información aeronáutica del estado. Para mayor información al respecto se puede consultar el Anexo 14 de la OACI, en su sección de pistas.

### III.2 Longitud de pistas.

De acuerdo con la OACI y en una primera aproximación, la longitud de la pista deberá determinarse aplicando factores de correlación generales. Se deberá elegir una longitud básica necesaria para el despegue ó aterrizaje en condiciones de atmósfera tipo, nivel del mar, con viento calma y pendiente de pista nula.

La longitud básica deberá aumentarse a razón del 7% por cada 300m de elevación. La longitud así determinada deberá aumentarse a razón del 1% por cada 1°C en que la temperatura de referencia del aeropuerto exceda a la temperatura de la atmósfera tipo correspondiente a la elevación del aeropuerto.

Cuando la longitud básica determinada para el despegue sea de 900m ó más, deberá aumentarse a razón del 10% por cada 1% de pendiente de pista.

Ejemplo:

Datos:

- Longitud de pista requerida para aterrizar a nivel del mar en condiciones de atmósfera tipo: 2100m.
- Longitud de pista para despegar en un emplazamiento plano situado al nivel del mar en condiciones de atmósfera tipo: 1700m.
- Elevación del aeropuerto: 150 m.s.n.m.
- Temperatura a 150m en la atmósfera tipo: 14.025°C
- Pendiente de la pista: 0.5%

a) Corrección por elevación.

$$\{1700 \times 0.07 \times 150/300\} + 1700 = 1760m$$

b) Corrección por temperatura.

$$\{1760 \times (24 - 14.025) \times 0.01\} + 1760 = 1936m$$

c) Revisión del 35% de corrección.

$$\{1936/1700 - 1\} \times 100 = 13\%$$

d) Corrección por pendiente.

$$\{1936 \times 0.5 \times 0.10\} + 1936 = 2035m$$

e) Corrección para el aterrizaje (sólo por elevación).

$$\{2100 \times 0.7 \times 150/300\} + 2100 = 2175m$$

La longitud efectiva será la mayor de las calculadas; en el ejemplo sería 2175m.

Debido a las limitaciones de utilización de las características técnicas del avión, deberá disponerse de una longitud lo suficientemente grande para asegurar que después de iniciado el despegue, pueda detenerse con seguridad el avión ó concluir el despegue sin peligro, teniendo en cuenta su masa de despegue, las características de la pista y las condiciones atmosféricas .

En estas circunstancias, para cada despegue habra una velocidad llamada de decisión ( $V_1$ ), es la velocidad escogida en la que se supone que el piloto, al percatarse de la falla de un motor, - decida proseguir el despegue ó abortarlo y empezar a desacelerar. Por debajo de esta velocidad deberá interrumpirse el despegue con falla de motor; por encima de esta velocidad deberá proseguirse - con el despegue.

Se seleccionará una velocidad de decisión inferior ó casi equivalente a la velocidad segura de despegue, que es la velocidad mínima a la que se permite ascender al piloto después de alcanzar la altura de 10.7m(35ft) para mantener por lo menos la pendiente ascensional mínima requerida sobre la superficie de despegue cuando hay una falla de motor. Para mayor información sobre el tema, se puede referir al Anexo 14 de la OACI, en su parte relativa a - pistas.

### III.3 Características físicas de las pistas.

De acuerdo con la OACI, la anchura de pista no deberá ser menor de 45m para el caso en estudio. Asi mismo, la pendiente obtenida al dividir la diferencia entre la elevación máxima y la mínima a lo largo del eje de la pista, por la longitud de la pista, - no deberá exceder del 0.8%.

La transición de una pendiente a otra deberá efectuarse por medio de una superficie curva con un grado de variación que no exceda de 0.1% por cada 30m(radio mínimo de curvatura de 30 000m).

A lo largo de una pista deberán evitarse ondulaciones ó -- cambios de pendiente apreciables que estén muy próximos. La distancia entre los puntos de intersección de dos curvas sucesivas - no deberá ser menor de 45m.

La pendiente transversal deberá ser de 1.5% y no inferior al 1%, salvo en las intersecciones de pista ó de calles de rodaje en que se requieran pendientes más aplanadas.

La pista deberá poder soportar el tránsito de los aviones para los que esté prevista y la superficie de la misma deberá construirse sin irregularidades que den como resultado la pérdida de eficacia del frenado, ó que afecten adversamente de cualquier otra forma el despegue y el aterrizaje de un avión.

Así mismo, la superficie de una pista pavimentada se construirá de modo que proporcione buenas características de rozamiento cuando la pista esté mojada, y el espesor de la textura superficial media de una superficie nueva no deberá ser inferior a 1mm

#### III.4 Márgenes y franjas de pista.

La OACI especifica que los márgenes de pista ó de una zona de parada deberán prepararse ó construirse de manera que se reduzca al mínimo el peligro que pueda correr un avión que se salga de la pista ó de la zona de parada.

Los márgenes deberán extenderse simétricamente a ambos lados de la pista de forma que el ancho total de ésta y los márgenes no sea inferior a 60m.

La superficie de los márgenes adyacentes deberá estar al mismo nivel que la de ésta, y su pendiente transversal no deberá exceder del 2.5%.

Los márgenes de pista deberán prepararse ó construirse de manera que puedan soportar el peso de un avión que se salga de la pista, sin que éste sufra daños, y soportar los vehículos terrestres que puedan operar sobre el margen.

Toda franja de pista deberá extenderse antes del umbral y -- más allá del extremo de la pista ó de la zona de parada hasta una distancia de por lo menos 60m.

Cualquier equipo ó instalación requerido para fines de navegación aérea que deba estar emplazado en la franja de pista, debe

rá tener la menor masa y altura posibles, ser de diseño y montaje franjibles y situarse de tal modo que el peligro para las aeronaves se reduzca al mínimo.

Las pendientes longitudinales a lo largo de la porción de una franja que ha de nivelarse, no deberán exceder del 1.5%. Las pendientes transversales deberán ser adecuadas para impedir la acumulación de agua en la superficie, pero no deberán exceder del 2.5%. Para mayor información, se puede consultar el anexo 14 de la OACI en su fracción de pistas.

### III.5 Areas de seguridad de extremo de pista.

Según la OACI, el área de seguridad de extremo de pista deberá extenderse desde el extremo de una franja de pista hasta la mayor distancia posible, y por lo menos hasta 90m. Su ancho deberá ser por lo menos el doble del ancho de la pista correspondiente.

Un área de seguridad de extremo de pista deberá presentar una superficie despejada y nivelada para los aviones que la pista está destinada a servir, en el caso de que un avión efectúe un aterrizaje demasiado corto ó se salga del extremo de la pista.

La pendiente longitudinal de un área de seguridad de extremo de pista no deberá sobrepasar una inclinación descendente del 5% y las pendientes transversales de un área de seguridad de extremo de pista no deberán sobrepasar una inclinación, ascendente ó descendente del 5%. Para mayor información, se puede consultar el anexo 14 en su fracción de pistas.

### III.6 Zonas libres de obstáculos y zonas de parada.

El origen de la zona libre de obstáculos deberá estar en el extremo del recorrido de despegue disponible y no deberá exceder de la mitad de la longitud del recorrido de despegue disponible.

La zona libre de obstáculos deberá extenderse lateralmente - hasta una distancia de 75m por lo menos, a cada lado de la prolon

gación del eje de la pista, y no deberá sobresalir su terreno de un plano inclinado con una pendiente ascendente del 1.25%.

La zona de parada tendrá el mismo ancho que la pista con la cual esté asociada. Las pendientes y cambios de pendientes en las zonas de parada y la transición de una pista a una zona de parada deberán cumplir con las mismas especificaciones que la pista con la cual está asociada.

Las zonas de parada deberán prepararse ó construirse de manera que, en el caso de un despegue interrumpido, puedan soportar el peso de los aviones para los que estén previstas, sin ocasionar daños estructurales a los mismos.

La superficie de las zonas de parada pavimentadas deberá --- construirse de modo que proporcione un buen coeficiente de rozamiento cuando la zona de parada esté mojada. Para mayor información, se puede consultar el anexo 14 en su fracción de pistas.

#### IV. Proceso de Construcción.

El proceso de construcción de esta pista de aterrizaje consistió, en su gran mayoría, de un movimiento de tierras, aún cuando hubo otras actividades realizadas. Entre las principales se encuentran:

- la explotación de bancos
- la trituración de piedra
- el despalle y el deshierbe
- la formación de terracerías
- el tendido y compactación de la subrasante
- el tendido y compactación de la base hidráulica
- el tendido y compactación de la base asfáltica
- el tendido y compactación de la carpeta asfáltica
- colocación de subdrenajes
- construcción de ductos de cruce
- señalamiento vertical y horizontal
- otras.

En cuanto al equipo utilizado, en su mayoría fue de tipo pesado, entre los que se encuentran:

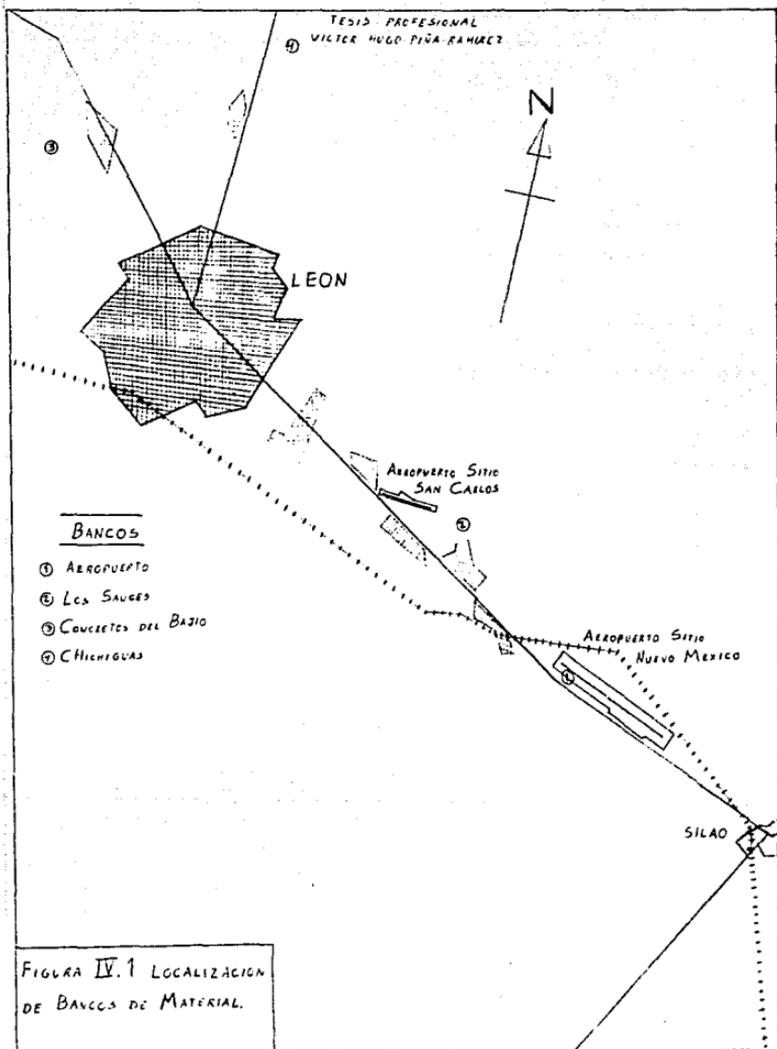
- motoconformadoras
- tractores Buldozer D7, D8 y equivalentes
- tractores Komatsu
- motoescrepas
- 2 equipos de trituración
- camiones de volteo
- dragas y camiones
- cargadores frontales
- equipo vibratorio autopropulsado
- rodillos con neumáticos
- pipas transportadoras de agua
- rodillos pata de cabra
- planta productora de asfalto
- góndolas a volteo de 25 m<sup>3</sup>
- 1 pavimentadora

- compactadores de doble rodillo
- retroexcavadoras
- otros.

Los bancos de materiales que se utilizaron en este proceso, -- así como sus características más sobresalientes, se muestran en la siguiente tabla:

Banco N°	Denominación	Localización	Clasificación Geológica	Clasificación de presupuesto			Volumen aprox. (m <sup>3</sup> )
				A	B	C	
1	"Aeropuerto"	600m a la derecha de la estación 0+500 de la pista 13-31	Arena arcillosa muy compacta.	00	100	00	1'500 000
2	"Los Sauces"	300m a la derecha del km 54 + 800 del camino Irapuayo a León, con origen en Irapuato, Gto.	Conglomerado Cementado	00	90	10	1'200 000
3	"Concretos del Bajío"	1 km a la derecha sobre el camino que va de León a Biliamas, por la salida a Lagos.	Andesita muy intemperizada a medianamente intemperizada, muy fracturada.	00	40	60	2'500 000
4	"Chichiguas"	5km al norte de la cd. de León, por el antiguo camino a Hacienda de Arriba.	Andesita poco a medianamente intemperizada, fracturada.	00	20	80	3'000 000

(ver figura IV.1)



Como ya se ha mencionado, la mayor parte de los terrenos eran ejidales y sólo una pequeña parte eran terrenos particulares. Como los trámites de expropiación son más rápidos en propiedades privadas, se empezó a construir desde 1984 y hasta mediados de 1985, en una pequeña franja con longitud de pista de 800m, a partir del cadenamiento 0+600 hasta casi el 1+400, en donde se hicieron terracerías, subrasante y base hidráulica, además de los preparativos para los riegos asfálticos. (ver figura IV.2).

La liberación de los terrenos se llevó todo 1985, u fué hasta Mayo de 1986, cuando el Gobierno del Estado utilizó todos sus recursos disponibles para que se permitiera la liberación de los terrenos ejidales. Tenemos aquí otro motivo para afirmar que se eligió equivocadamente la ubicación del aeropuerto, ya que los terrenos en el sitio "Romita" eran de propiedad privada, y sus trámites de expropiación son, como ya mencioné, mucho más rápidos que en los casos de propiedades ejidales. Es obvio el pensar que si los trámites de expropiación de un terreno son más complicados, tardados y costosos que otro, se incline uno por elegir el más sencillo

Durante el año que transcurrió desde el acabado parcial de la franja de pista iniciada, y la liberación del resto de los terrenos ejidales, el proceso se enfocó a obtener materiales triturados para la pavimentación, explotando el banco denominado "Los Sauces" que presenta un playón de piedra boleada bastante grande, y los es tuvieron acumulando en montículos de material triturado, teniéndolos listos hasta la continuación de los trabajos.

Cabe mencionar que no todos los terrenos ejidales se liberaron simultáneamente. Se empezó por el tramo comprendido entre el kilómetro anterior al umbral de la pista, y que limita el lindero del aeropuerto, hasta el cadenamiento 0+600, donde se une al tramo inicialmente construido. Después se liberó otro tramo hacia la cabecera 31, de aproximadamente 1km, llegando al cadenamiento 2+400, casi en la zona de plataformas. El tramo final hacia la cabecera - 31 y la franja de 1km de protección en esa misma dirección, se liberaron hasta el último.

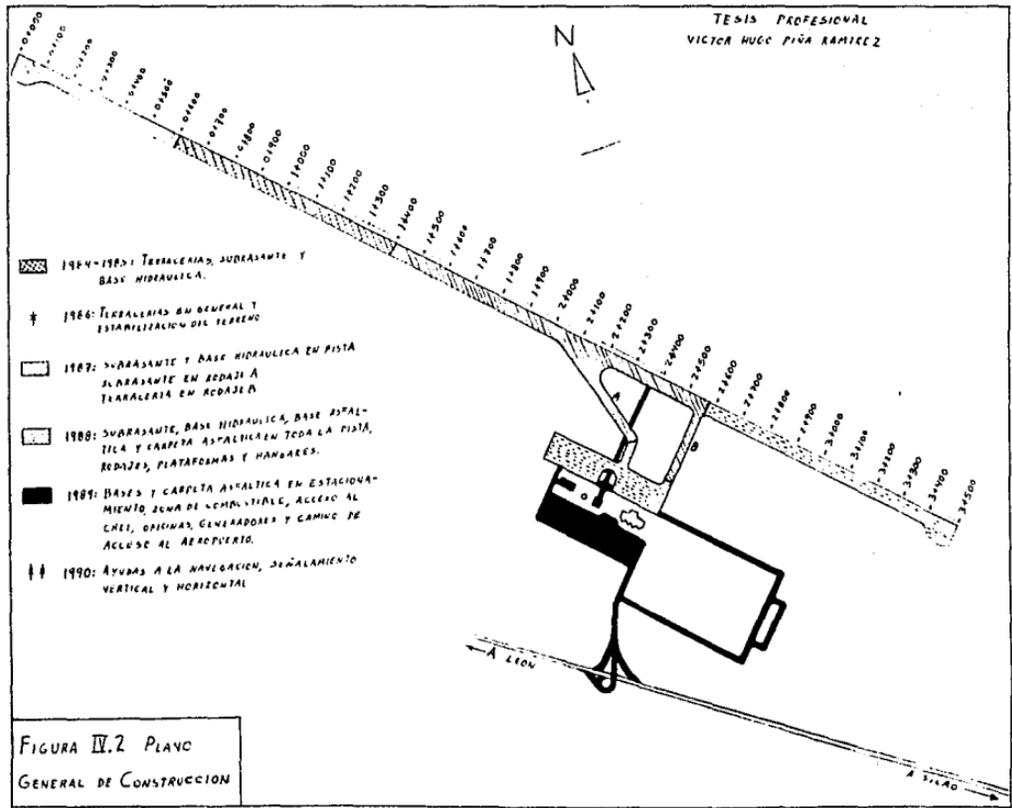


FIGURA IV.2 PLANO  
GENERAL DE CONSTRUCCION

En la primera etapa de pista mencionada, se estuvieron extrayendo los materiales para las terracerías, subrasantes y bases, de un banco ubicado al sureste del poblado Nuevo México, distante 2.5 km del tramo realizado; pero durante el tiempo de espera de la liberación de los terrenos se estudiaron zonas viables de utilizarse como bancos en otros puntos; así, en una loma ubicada dentro de -- los futuros linderos del aeropuerto, debajo de la capa vegetal superficial, se encontró que el material era de buena calidad dentro del los rangos de aceptación.

Por otra parte, dicha loma era zona de corte de acuerdo con el proyecto original, ya que constituía un obstáculo en la superficie de seguridad para la aproximación que marcan las especificaciones. Esto permitió cambiar el banco de extracción a un sitio dentro del terreno del aeropuerto, evitando así los costos de compra y transportación del banco Nuevo México.

Este es otro problema de planeación en este proyecto, ya que no se realizó un estudio completo de los posibles bancos de materiales útiles para la construcción, como el caso de este banco, denominado "Aeropuerto", que aún localizado en los terrenos del aeropuerto, no fué descubierto sino hasta después de iniciado el proceso constructivo.

Lo primero que se buscó, fué poner a nivel todo el terreno, -- lo que implicó un movimiento de tierras poco mayor al millón de m<sup>3</sup> aproximadamente. Además, los espesores de terracería son muy variables, ya que hacia la cabecera 13 es una zona baja, por lo que hubo rellenos de hasta 3m, mientras que hacia la cabecera 31, donde el terreno es sensiblemente plano, el relleno es de 40cm.

La limpieza y el despalle del terreno natural fué de 20cm como promedio, y se extendió hasta 5m fuera de las áreas por pavimentar, compactándose al 90% de su peso volumétrico seco máximo (PVSM)

En las zonas de corte se abrieron cajas con la profundidad necesaria para alojar la capa subrasante y la estructura del pavimento

to, compactándose la superficie descubierta y previamente removida en una capa superior de 20cm hasta alcanzar el 95% de su PVM.

Ahora bien, para formar la plantilla hacia la cabecera 13, se eliminó la capa vegetal en la zona de pavimentos y el producto de la excavación se tiró a las franjas de seguridad, empezándose a -- avanzar en capas de terracería de 20cm compactadas al 95% de su -- PVM. El equipo utilizado en esta etapa fueron tractores, motoes-- crepas, pipas y rodillos pata de cabra.

Hacia la cabecera 31, aunque es plano el terreno, existían ex-- cavaciones de minas, de donde se obtenían materiales para la fabri-- cación de ladrillo; ésto, aunado a que los trabajos se reanudaron en Mayo, y por lo tanto la temporada de lluvias llegó con gran ra-- pidez, provocó otro problema: como las aguas inundaban las zonas -- bajas y las minas, y ya que la consistencia del suelo era muy arci-- llosa, éste no sostenía el peso de las máquinas, por lo que hubo -- que estabilizar el terreno. Este fué un problema provocado por una mala plan-- acción, ya que se debe preveer el inicio de los trabajos en las temporadas de estiaje, que obviamente son más favorables pa-- ra la construcción y el movimiento de tierras. Por otra parte, es difícil explicarse como se aprobó la construcción de una pista so-- bre un terreno, que apesar de tener un proceso de estabilización, corre el riesgo y la posibilidad de sufrir un asentamiento durante la operación de la misma, causando problemas de mantenimiento pos-- teriores.

El proceso de estabilización consistió en tirar a volteo pie-- dra bola extraída del banco "Los Sauces", e ir uniformizando así -- el terreno, hasta que soportara el peso de la maquinaria, y se eje-- cutó en todas las zonas bajas en dirección de ambas cabeceras.

En la zona de minas no se pudo realizar compactación, sino -- únicamente la estabilización empujando la piedra bola con un trac-- tor, sobretodo en la franja de 60m de ancho que tiene la pista y a las franjas de seguridad no se les dió este tratamiento de estabi-- lización. Todo este proceso fue muy lento y se llevó todo el año --

de 1986, e incluso al iniciar 1987, todavía se trabajaba en algunas zonas de terracería, con un avance del 97% del total.

La idea original en el proceso constructivo era que ya con -- las terracerías a nivel, trabajar en frentes de avance escalonados de subrasantes, base hidráulica y base asfáltica, seguidos uno de otro con la separación suficiente para no alcanzar entre sí. Esto era con el fin de avanzar más rápido y ahorrar tiempo y costos. -- Así, se tenían tramos de 200m en segunda capa de subrasante, 200m de primera capa de base hidráulica, 200m en segunda capa de base -- hidráulica y así seguir, siempre con tramos de 200m, avanzando de la cabecera 13 hacia la 31. (Figura IV.3)

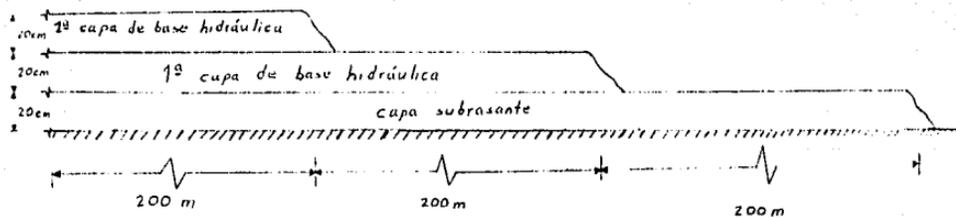
En 1987, apoyados en este programa, se empezaron a trabajar -- las subrasantes utilizando material del banco Núm. 1 "Aeropuerto", colocándolo en capas y compactándolo hasta alcanzar el 100% de su P.V.S.M., y no presentaron mayor problema, ya que tenían todos sus índices y límites dentro de normas, no resultó un material plástico, la revoltura para la compactación en sí, por lo que fue un trabajo de mucho volumen de movimientos de tierras y no de una gran -- complejidad técnica.

Sin embargo, el objetivo no se cumplió como se esperaba por -- una razón; el año de 1987 fué muy lluvioso, lo que provocó que las terracerías y capas en proceso hacia la cabecera 31 se saturaran, impidiendo los trabajos y el avance, llegando un momento en que la base hidráulica estaba alcanzando a la subrasante y no se pudo continuar.

La base hidráulica se construyó utilizando material del banco número 3 "Concretos del Bajío", triturándolo totalmente y cribándolo -- lo a tamaños máximos de 1½" y 3/8". Ambas trituraciones se hicieron por separado y después se mezclaban en una proporción en peso de 35%-65% respectivamente. También se llegó a utilizar material -- del banco "Los Sauces" cribándolo a tamaño máximo de 3/4" y del -- banco "Chichiguas" triturado y cribado a tamaño máximo de 1½", -- mezclándolos en proporción 45% en peso, respectivamente.

FIGURA IV.3  
CORTE ESQUEMATICO DEL PROCESO  
UTILIZADO EN EL TENDIDO DE LAS  
CAPAS DEL PAVIMENTO

TESIS PROFESIONAL  
VICIER HUGO PIÑA RAMÍREZ



En ese tiempo, el laboratorio reportó problemas en la calidad de la base, afirmando que tenían pocos finos. Su porcentaje de trituración andaba cerca del 60% y los finos que tenía eran productos de la misma trituración. Sin embargo, los residentes y supervisores de la obra, al observar las curvas granulométricas del material, veían que sí tenía finos, aunque no en el grado que el laboratorio quisiera. Este último proponía que se agregara un material para aumentar su contenido de finos y su valor sementante.

Pero se tomó la decisión de no hacer caso a la proposición -- del laboratorio, en base a que el aspecto de la superficie una vez compactada era bueno, y se veía como una capa de arena y no como una serie de grava fina acomodada; además, el valor relativo del soporte que estaba dando era del 100% ó más del valor esperado, -- presentaba buena fricción y permitía trabajarlo fácilmente, tanto para acomodarlo como para revolverlo y compactarlo, por lo que se consideró que era complicar el problema si se agregaba algún material, además de incrementar el costo de la capa. No obstante, el reporte del laboratorio subsistió todo el tiempo que se trabajó la base.

Hacia finales de 1987 se pudo avanzar en terracerías, subrasante y base, y con el fin de la contratación, en ese mismo año, la base hidráulica llegaba hasta el rodaje B, en el cadenamiento - - 2+566. En este momento se dejó de trabajar en la pista y se inició el proceso en los rodajes, para poder hacer una liga correcta entre ellos y la pista. También, como el aeropuerto del Bajío sería importante y operarían al corto plazo aviones de fuselaje ancho, se tomó la decisión de hacer las ampliaciones necesarias a los radios de giro para las curvas de unión y permitir la operación de éste tipo de aeronaves, sobre todo en las salidas de alta velocidad, así como en las gotas de las cabeceras.

Este fué un cambio de proyecto que refleja claramente que la planeación y el diseño de la pista no fueron del todo correctos, ya que no es factible un cambio de esta naturaleza cuando ya se ha iniciado la construcción.

Ya con los nuevos r didos se procedió al trazo y se continu  con gran rapidez, ya que son tramos muy cortos, de 300m en promedio por rodaje. Al llegar a la capa subrasante en el rodaje alfa, se prosiguió con el proceso en la pista, mientras que el rodaje B quedó a nivel de terracerías, así como la plataforma de aviación comercial. La plataforma de aviación general quedó únicamente despalmada. (Figura IV.4)

Un detalle de la subrasante, es que en los acotamientos, - - - - -  
construidos con el mismo material empleado en la elaboración de -  
la base hidráulica y en capas compactadas de 15cm, se tiene un n   
vel más alto que el de la base hidráulica, por lo que estas zonas  
se trabajaron después. (Figura IV.5). Cuando se terminaba con la  
base hidráulica, se proseguía con los acotamientos y además se co  
locaban los drenes de la siguiente manera:

Ya con el nivel de la subrasante en los acotamientos, se excavaba en ella una zanja, en donde se colocaban los tubos de asbes  
to-cemento, se rellenaba con filtros y luego con material de la -  
subrasante, todo esto con el fin de que bajo la carpeta asfáltica  
quedará una capa uniforme.

La base hidráulica se termin  en Mayo de 1988 y en ese mismo mes se empezó a tirar la base asfáltica al inicio de la cabecera 13. Para eso, en la base hidráulica fue necesario dejarle una especie de escalón a todo lo largo de la pista, que se consiguió al agregar una capita con una escarificación previa para que asentara y se uniformizara correctamente.

La base asfáltica se construyó con concreto asfáltico elaborado en planta, empleando materiales pétreos procedentes del banco "Chichiguas"   del banco "Concretos del Bajío", triturados totalmente y cribados a tamaño máximo de 1", utilizándose cemento asfáltico Núm. 6 en una proporción aproximada de 95 Kg/m<sup>3</sup> de material petreo seco y suelto. Esta mezcla asfáltica se compact  hasta alcanzar el 95% del peso volumétrico máximo, obtenido mediante la prueba Marshall. Se elaboran especímenes de prueba compactados

TESIS PROFESIONAL  
VICTOR HUGO PIÑA RAMÍREZ

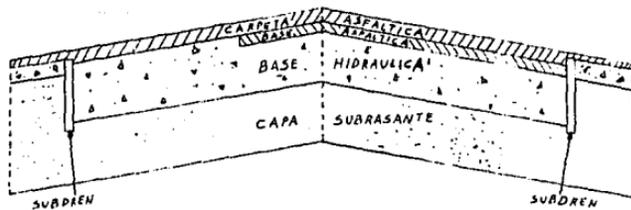


FIGURA IV.5 SECCION  
TRANSVERSAL DE LA PISTA

con 75 golpes por cara y con resultados dentro de los límites siguientes:

Estabilidad	700kg mínimo
Flujo	2 a 4mm
% de Vacíos en la Mezcla	3 a 8
% de huecos ocupados por el asfalto	75 a 82

Para la correcta colocación de la base asfáltica, se aplicó un riego de impregnación sobre la base hidráulica en el que se utilizó producto asfáltico del tipo FM-1, a razón de  $1.5\text{lt}/\text{m}^2$  aproximadamente.

El tendido de la base asfáltica no tuvo mayores problemas y se tuvo lista entre Agosto y Septiembre de 1988, cuando se dió inicio al tendido de la carpeta asfáltica. En el tendido de la base asfáltica se utilizaron camiones de volteo, rodillos metálicos y de acción estática y la pavimentadora.

Una vez impregnada la base hidráulica y terminada la base asfáltica, se dió un riego de liga, utilizando producto asfáltico del tipo FR-3, a razón de  $0.4\text{lt}/\text{m}^2$  aproximadamente.

La carpeta asfáltica se elaboró mediante el sistema de mezcla en planta, empleando materiales pétreos procedentes del banco "Chichiguas" ó del banco "Concretos del Bajfo", triturados totalmente y cribados a tamaño máximo de  $3/4"$ , utilizando también cemento asfáltico Núm. 6, en una proporción aproximada de  $100\text{kg}/\text{m}^3$  de material pétrico seco y suelto.

La mezcla asfáltica se compactó hasta alcanzar el 95% de su peso volumétrico máximo, obtenido con prueba Marshall y elaborando especímenes de prueba que cumplieran con los siguientes requisitos:

Estabilidad	700kg mínimo
Flujo	2 a 4mm
% de Vacios en la mezcla	3 a 5
% de huecos ocupados por el asfalto	75 a 82

Ya en el tendido de la carpeta asfáltica, se presentó una situación no prevista. El asfalto debe tenderse a una temperatura - de entre 90 y 115°C para su correcta colección, ya que si la capa esta muy caliente al momento de compactarla, se formaran ondas de asfalto delante de los rodillos y no es uniforme la capa; por el contrario, si la capa esta muy fría al momento de compactarla, se formarán grietas en el pavimento. Ambos casos son poco recomendables en la operación de la pista, ya que si no es uniforme, trae problemas para los despegues y aterrisajes de las aeronaves; mientras que las grietas provocan un desgaste más rápido del pavimento, debido a que por ahí se filtra el agua y levanta las capas - asfálticas.

El problema que se presentó en este aeropuerto fue que la -- carpeta presentaba el comportamiento del asfalto muy caliente, -- aún cuando se compactara a la temperatura recomendada, pero des--pués surgían las grietas típicas del asfalto compactado en frío, lo cual era una situación poco común. Esta situación se podría haber evitado haciendo tiros de prueba en zonas menos importantes - que la pista, y así prever la solución ó el procedimiento más adecuado para su correcta colocación. La supervisión observó que este fenómeno se presentaba solo en la zona donde existía base as--fáltica, mientras que donde se tendía sobre base hidráulica, el - comportamiento de la carpeta era el normal.

Se investigó el fenómeno dejando caer una masa de carpeta as fáltica y no compactarla. Se obtuvo el resultado ordinario de que se enfriaba la capa superior y el interior conservando la tempera tura, pero al remover el montículo de asfalto, se encontraron - adheridas a la parte inferior del mismo unas partículas muy finas, como polvo, con un espesor de unos 2mm, que impedían la impregna-

ción de la carpeta con la base asfáltica. Además, la base asfáltica presentaba una superficie muy cerrada, con la apariencia de un pavimento muy rodado.

La causa de este problema se debió a que, como en el proceso se quería tener una capa de base asfáltica impermeable, para que si se llegara a filtrar agua a través de la carpeta, pudiera ésta escurrir entre las dos capas asfálticas, se le espolvoreaba a la base asfáltica una mezcla de asfalto y arena, a manera de mortero asfáltico, y se extendía sobre la superficie. Esta capa de 2mm impedía la adherencia de la carpeta con la base, ya que al momento de compactar, hacía las veces de lubricante, que simplemente desplazaba la carpeta sobre la base asfáltica.

Una vez conocida la causa del problema, la solución fue relativamente sencilla: se procedió a tirar sobre la base asfáltica el riego de liga, e inmediatamente después se tiraba una capita de -- 3/4 " de espesor con grava fina, sin llegar a perder las propiedades de capa base, con el fin de formar una "lija gigante" con la base asfáltica, y así evitar que la carpeta se desplazara tan fácilmente sobre ella. El proceso consideraba esperar 24 horas para que se enfriara y se adheriera y luego se tiraba la carpeta. Debido a este problema en el proceso constructivo, y a esta falta de previsión, la zona del primer kilómetro de la pista va a estar sujeta a observación en su comportamiento operacional.

Cabe mencionar que todo asfalto utilizado fue procesado en una planta productora de asfalto de la ciudad de León, ya que cumplía satisfactoriamente con las características y especificaciones deseadas, y después se transportaba al sitio con góndolas de 25m<sup>3</sup> y equipadas con mecanismo de volteo para su descarga. Después entraba la pavimentadora, que mezclaba y esparcía el asfalto en una capa uniforme, para que luego fuera compactada con rodillos metálicos y posteriormente, cuando se enfriaba un poco más, se pasaban rodillos de acción estática con neumáticos para su acabado.

Mientras el problema de la carpeta era estudiado, los equipos se llevaron a trabajar a la zona de rodajes, de plataformas, hangares y estacionamiento, los cuales se dejaron a nivel de base asfáltica, con excepción del estacionamiento que quedó en la base hidráulica, todo ello debido a la falta de presupuesto. Lamentablemente, en nuestro país estas faltas de presupuesto son bastante frecuentes, y son consecuencia de una mala distribución de los recursos con que disponen las distintas dependencias gubernamentales

En los acotamientos, como ya se mencionó, se utilizó el mismo material pétreo que en la base hidráulica, al que una vez logrado el 85% de su compactación inicial, se le aplicaban 2 a 3 riegos sucesivos de producto asfáltico del tipo FM-1, a razón de  $1.4 \text{lt/m}^2$  para el primer riego y de  $1.0 \text{lt/m}^2$  para los riegos subsiguientes. Finalmente se procedía a compactar la capa hasta alcanzar el 95% mínimo del PVM del material pétreo.

Las franjas de seguridad se colocaron sobre los taludes de los terraplenes, protegiéndose en los 20 primeros metros próximos a los acotamientos, con una capa de 20cm de espesor, utilizando material procedente del banco "Aeropuerto", compactándolo al 95% de su PVM y aplicando después un riego de impregnación con producto asfáltico FM-1 a razón de  $1.0 \text{lt/m}^2$  aproximadamente. De Septiembre de 1988 y hasta el final de ese año, los trabajos se vieron suspendidos por la falta de presupuesto antes mencionada.

En 1989 se reanudaron los trabajos y se tendió la carpeta asfáltica en el estacionamiento, la zona de combustibles, el acceso al CREI, oficinas y generadores, y el camino de acceso del aeropuerto hasta el entronque con la carretera León-Silao. Todos estos pavimentos se construyeron con los mismos materiales y bajo las mismas condiciones que las de la pista.

Los ductos de cruce para instalación de luces de aproximación VOR-DME, luces en pista, rodajes, plataformas, etc., se trabajaron de la siguiente manera: se contempló que hubiera un cruce a través

de la plataforma, en donde se unen las de aviación comercial con la general, en el cadenamiento 2+500 aproximadamente, siguiendo a través de la pista y en forma perpendicular a su eje, para que sea lo más corto posible; lo mismo ocurrió con los rodajes, ubicando el cruce a 35m de las plataformas para preveer el crecimiento de las mismas.

El proyecto es el que nos indica el número de vías que debe tener cada paso, según el número de cables que van a pasar por él. Hay que mencionar que se utiliza un circuito de ida y vuelta por cada instalación. Para estos pasos se utilizan bloques de concreto con una resistencia a la compresión de  $200\text{kg/cm}^2$ , con tubos huecos en su interior de 10cm  $\varnothing$  y separados entre sí 7.5cm. Generalmente, los cruces son de 2 a 4 vías en pitas, 4 a 6 vías en rodajes y de 10 a 12 vías en plataformas. (figura IV.6).

La colocación de estos ductos siempre es en la subrasante, ya sea dentro ó debajo de ella, para que no se reflejen esos pasos en la carpeta, y permitir que haya un espesor suficiente encima de -- por lo menos una capa completa. Estos ductos se construyen cuando la subrasante se esta terminando, excavando una zanja con la retro excavadora, metiendo el tubo y luego relleno y compactando con métodos manuales, para restituir así la consistencia de toda la capa; aparte, le quedan los espesores de la base y la carpeta, que absorberán las deformaciones que pudieran existir.

Otro problema que se presentó, fué en la zona de combustibles ya que ahí también era zona de minas. Cuando se hicieron los terraplenes para la caseta de combustibles y el tanque de agua, se dejó una berma muy pequeña, de apenas 1m de ancho, entre ellos y el lindero del talud, el cual quedó con el ángulo de reposo natural del material, en donde se produjo un deslizamiento sobre una mina --- cuando ya la caseta de vigilancia estaba construída, y afecto también a la base del tanque de agua. Esto provocó trabajar fuera del límite de la zona originalmente marcada, con un ensanchamiento de 10m, y cubriendo capas de abajo hacia arriba, que se compactaban y

TESIS PROFESIONAL  
VICTOR HUGO PIÑA RAMIREZ

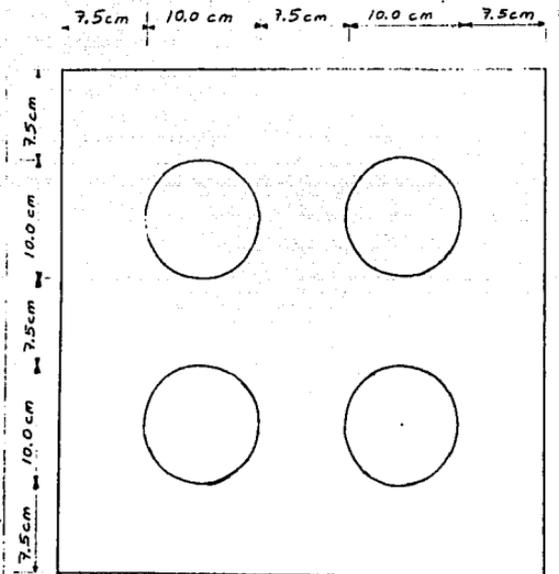


FIGURA IV.6. CORTE DE  
UN DUCTO DE CRUCE  
CONVENCIONAL.

se arrimaban hacia el terraplen existente para darle firmeza. Esto fué provocado por un error constructivo y de planeación, ya que no se localizó mediante sondeos la presencia de la mina, y la berma utilizada no fué lo suficientemente ancha para permitirle al material un ángulo de reposo estable.

Ya para terminar los trabajos en la pista, rodajes y plataformas, se procedió a instalar todas las ayudas a la navegación, el señalamiento vertical y horizontal con pintura reflejante.

Como datos complementarios de este proceso constructivo, tenemos que toda el agua utilizada en las terracerías, tendidos y compactaciones de las capas del pavimento, fué obtenida del pozo denominado "Agua", ubicado a la derecha de la estación 2+500 de la pista y entre los rodajes A y B, con una profundidad de 180m y bombas ocultas, que se transportaba a los diferentes sitios de la obra -- con pipas. Este pozo fué perforado por la Secretaría de Salubridad y Asistencia, para el abastecimiento del poblado Nuevo México y servirá para proporcionar el agua a todas las instalaciones del aeropuerto, con un tratamiento previo de cloración, que se realizará en las instalaciones de SENEAM.

El drenaje pluvial de la pista, rodajes y plataformas se conduce a canales naturales fuera del aeropuerto. El drenaje sanitario de todas las zonas se conduce por tuberías hasta un depósito donde recibe un relleno sanitario, aún en terrenos del aeropuerto.

La energía eléctrica la proporciona la CFE en la red que sigue la carretera León-Silao, la cual se conduce a una estación dentro del aeropuerto para su distribución. Además, y como parte de las especificaciones de seguridad, se cuenta con generadores de emergencia para la pista, rodajes, plataformas, torre de control, zona de combustibles, edificio terminal e instalaciones de SENEAM y del CREI.

## V. Costos y Presupuestos.

Con el fin de evaluar la infraestructura que se pondrá en operación, se realizó un análisis comprendido del año 1984 hasta el año 2010, abarcando 27 años.

Para poder medir la rentabilidad de un proyecto, desde el punto de vista financiero y económico, se deben obtener indicadores; ésto se hizo contabilizando los ingresos del aeropuerto por los servicios que presta, así como las erogaciones para su construcción y operación.

Entre los indicadores de análisis más representativos de tipo financiero tenemos: la tasa interna de retorno y el valor presente neto. Entre los indicadores de tipo económico tenemos al comúnmente llamado análisis Beneficio-Costo.

Entre los parámetros considerados para la evaluación, se encuentran las rutas, costos e inversiones actualizadas. Las rutas de aviación nacional que fueron consideradas son las que unirán este aeropuerto con la ciudad de Guadalajara, Mazatlán, México, Monterrey y Puerto Vallarta.

Para la aviación internacional las rutas son León-Houston y León-Los Angeles. Las rutas regionales consideradas son León-Morelia, León-San Luis y León-Aguascalientes.

Hay que señalar que todas las estimaciones realizadas para este estudio se contemplaron a pesos de Septiembre de 1987.

### V.1 Ingresos.

El cálculo de ingresos por los servicios del aeropuerto se integra con los siguientes conceptos:

a) Servicios aeroportuarios: es decir los aterrizajes, tomando en cuenta el peso del avión, de acuerdo al tipo de aviación y -

con ayuda de las tarifas publicadas en el diario oficial del 4 de Marzo de 1987, que eran para aviación nacional de \$14,910.00, para la aviación internacional \$266,211.00 y para la aviación general - de \$735.00.

b) Servicios auxiliares: entre los que se encuentran el servicio de drenaje, agua potable, banda transportadora, suministro de combustible y la revisión de pasajeros y su equipaje de mano. Para éste último se consideró una tarifa de \$110.00 para la aviación nacional y de \$150.00 para la aviación internacional.

Para los servicios de drenaje, agua potable y banda transportadora, en la aviación nacional el costo es de \$16,920.00, \$12,080 y \$19,360.00 respectivamente. Para la aviación internacional se aplica una tarifa de \$48,360.00 para los servicios mencionados.

En cuanto al servicio por suministro de combustibles, se calcula de acuerdo al consumo de combustible por aeronave y la tarifa era \$82,432.21 para la aviación nacional y regional, \$262,553.40 - para la aviación internacional y \$459.52 para la aviación general.

Respecto a la venta de combustible, se toma en cuenta su consumo promedio y el precio del mismo, que para la turbosina era de \$200.98 por litro y para el gas-avión de 100/130 era \$179.70 por litro.

También se consideran los ingresos por la renta de concesiones en el aeropuerto, como restaurantes, renta de autos, sitios de taxis, tiendas de diversos productos, etc.

c) Derecho de uso del aeropuerto: este concepto se cobra por pasajero, el cual era de \$11,200.00 nacional y para los vuelos internacionales de 10 dolares, al tipo de cambio vigente.

#### V.2 Egresos.

En el cálculo de egresos intervinieron los siguientes conceptos:

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

a) Egresos de operación: calculados en base al promedio de -- costos y gastos de mantenimiento, administración, etc. Este promedio se obtuvo del análisis hecho a un grupo de aeropuertos similares a los del Bajío.

b) Combustibles: se calculan en base a un factor porcentual - con respecto al ingreso por combustible. Dicho factor es extraído de datos estadísticos.

c) Inversiones: incluye las inversiones para construir el aeropuerto, las cuales provienen del Gobierno Federal y del Gobierno del estado de Guanajuato.

### V.3 Empleos Generados.

Los empleos se clasifican en:

a) Empleos de construcción: generados por la construcción del nuevo aeropuerto y sus ampliaciones por etapas.

b) Empleos ASA: calculados en función de los pasajeros transportados y de un factor que resulta de una correlación entre los - pasajeros y el personal requerido.

c) Empleos SENEAM: calculados mediante el número de operaciones comerciales anuales y el número de operaciones de aviación general, ponderando cinco operaciones de aviación general por una de aviación comercial; la suma de ambos valores da un factor que sirve para determinar el número de empleos en este organismo.

En la evaluación económica de generación de empleos se obtienen aproximadamente 21,000 empleos en el período estudiado.

### V.4 Análisis de parámetros.

En la gráfica de ingresos y egresos (figura V.1) se observa - que los primeros son mayores a los segundos a partir de la puesta en operación, ya que en los primeros años existe una fuerte inver-

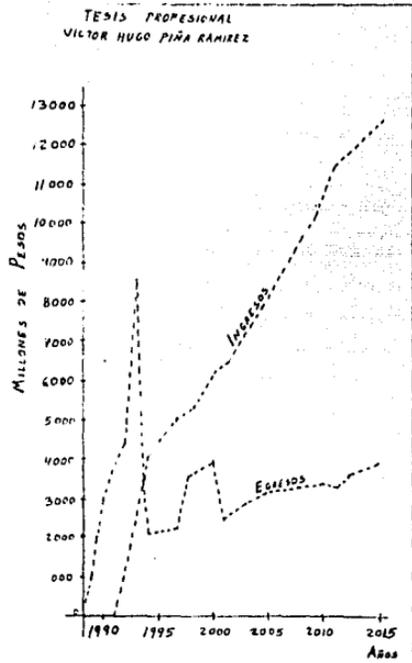


FIGURA V.1  
INGRESOS Y EGRESOS

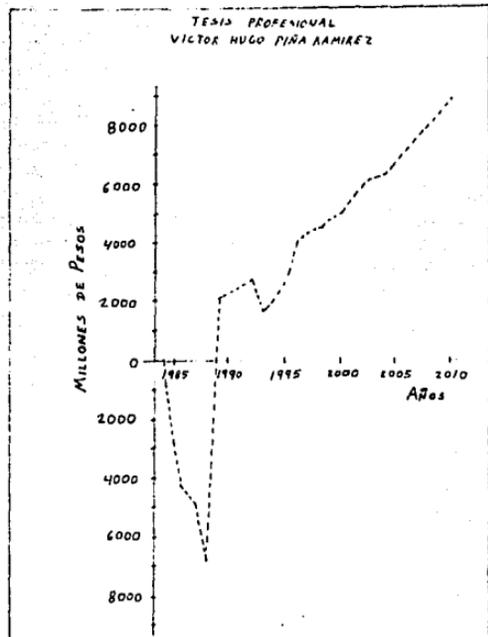


FIGURA V.2  
FLUJO DE EFECTIVO DEL PROYECTO

sión debido a la construcción de las nuevas instalaciones. Además se obtiene un flujo positivo de efectivo a partir del segundo año de puesta en operación del aeropuerto (figura V.2). La relación Beneficio-Costo resultó de 5.4, indicando que en efecto, los beneficios superan a los costos.

Basándose en el número de empleos y para evaluar los efectos que se generan en la región, debidos al proyecto, se determina una cuenta denominada aportación al producto interno bruto, en la cual se contabilizan las inversiones realizadas, mas los sueldos de los empleados generados por la construcción y operación del aeropuerto que en nuestro caso ascendió a \$314,393 millones de pesos.

El resultado del estudio realizado mostró que debido a la construcción de este aeropuerto, se tendrá una alta rentabilidad del proyecto, debido a los ingresos esperados. También, desde el punto de vista económico, la generación de empleos así como la aportación al producto interno bruto, resultaron satisfactorias, y demostraron la conveniencia de realizar el proyecto.

En base a la experiencia de construcción de otros aeropuertos el plan de desarrollo del presente y del análisis de costos y precios unitarios de las actividades por realizar para todas las instalaciones del aeropuerto, se desarrolló el siguiente programa de inversión por etapas de construcción (figura V.3).

ELEMENTOS	PRIMERA ETAPA	SEGUNDA ETAPA	TERCERA ETAPA	MAXIMO DESARROLLO
	Construcción: 1984 Operación: 1990	Construcción: 1993 Operación: 1995	Construcción: 1998 Operación: 2000	Construcción: 2006 Operación: posterior al 2010
	Costo en M de pesos			
Pista 13-31	9247.77	1321.11		
Pista paralela				2297.93
Rodaje "A"	388.62			
Rodaje "B"	254.76			
Rodaje "C"				259.08
Rodaje "D"				388.62
Rodaje "E"				388.62
Rodaje "F"				129.54
Rodaje "G"				259.08
Rodaje "H"				129.54
Rodaje paralelo				3454.41
Plataforma comercial	600.11	633.40		2611.63
Plataforma general	600.11			2425.44
Ed. Av. Comercial	3598.20	1199.40	3438.28	
Estacionamiento Com.	351.36			182.23
Estacionamiento Gral.		173.92		
Estacionamiento empleados	20.46			
Hangares	568.00			
Ed. Mov. de Carga	339.61	478.43	239.62	
Zona de Combustibles	1004.77	251.00	251.00	1454.18
Torre de control	295.30			
Est. Bomberos (CREI)	255.66			
Ed. Anexo Oficinas	247.89			
Ed. Miquinas	148.53			
Camino de Acceso	123.80			
Camino Perimetral	197.84			198.01
Cercado Perimetral	43.97			44.00
Vialidad de servicio	148.70	1.85		5.53
Acometida Eléctrica	111.67			
Acometida Telefónica	193.80			
VOR-DME (instalación)	55.87			
Cono de Viento	37.92			
Sistema PAPI	148.66			
Señalamiento Horizontal	118.92			
Señalamiento Vertical	118.92			
Luces en zona aeronáutica	990.77			

Figura V.3

## V.5 Presupuesto.

La elaboración de un presupuesto para una obra de este tipo y de esta magnitud, exige análisis previos de la situación respecto a mano de obra en el sitio, estudios de mercado para el su ministro de materiales puestos en obra, costos horarios del equi po básico, análisis de precios unitarios, desglose de gastos indirectos y la elaboración de un catálogo por partidas.

La empresa Constructora y Edificadora Mexicana S.A. de C.V. fué la asignada para la construcción de la pista 13-31, dos calles de rodaje, plataforma de operaciones y de aviación general, estacionamiento para automóviles, camino de acceso y perimetral, sistema de drenaje y obras complementarias, por haber presentado el presupuesto más conveniente para este trabajo, del cual se muestra el siguiente resumen en la figura V.4.

Este presupuesto procuró el aprovechamiento del material -- producto de cortes y excavaciones proponiéndolo para su utilización en la formación de terraplenes de las franjas de seguridad. Además, y como ya se mencionó, fue necesaria la explotación de -- bancos de préstamo, lo que implicó trituración y cribado para la formación de terraplenes de las zonas de tránsito, así como mate rial para la capa subrasante, base hidráulica, base asfáltica y carpeta.

Así mismo, se indicaba que los valores resultados del presu puesto podían quedar obsoletos por efecto de la inflación; no -- así los análisis y consideraciones básicas, por lo que con los a justes y escalaciones que el caso ameritara se le podía dar vi-- gencia al presupuesto.

La ejecución de la obra no incluía programas propuestos para problemas políticos y económicos ajenos a la misma. No obstan te, admitía ajustes y flexibilidades para este tipo de problemas

Figura V.4 Resumen del Presupuesto por Partidas (\*)

	Terracerías	Drenaje	Pavimentación	Inst. Elect.	Trab. Diversos	Total
Pista 13-31	477'007,045.15	15'967,286.44	444'814,852.31	8'144,551.44	10'544,870.00	956'478,605.69
Rodaje "A"	9'766,143.80	1'395,798.54	24'986,150.80	9'130,949.76	-----	45'279,042.92
Rodaje "B"	13'648,102.50	5'478,451.30	24'986,150.80	9'212,416.26	-----	53'325,120.87
Plat.Operación	14'408,781.10	416,084.78	30'236,359.35	25'587,806.13	-----	70'649,031.38
Plat.Avionetas	13'550,970.50	673,655.74	32'491,881.65	-----	-----	46'716,507.90
Zona Edificio y Estacionam.	86'362,129.83	10'191,820.90	22'891,732.26	-----	-----	119'445,683.00
Camino Acceso	2'718,236.66	-----	6'985,598.86	-----	-----	9'703,935.52
Camino Perim.	3'030,160.70	-----	13'445,766.19	-----	-----	16'475,926.89
Total.	620'491,670.24	34'123,097.70	600'838,492.22	52'075,723.59	10'544,870.00	1,318'073,853.53

(\*) Datos proporcionados por CYEMSA de CV.

Además contemplaba que durante la ejecución de la obra sería necesario la elaboración de programas particulares por frentes de trabajo, tanto en el aspecto de frentes de obra como en la programación para la utilización del equipo, que además servirían como auxiliares de control de avance y costo de la obra.

Por la extensión de esta obra, no se incluye en este trabajo los análisis de costos y precios unitarios utilizados para elaborar este presupuesto, pero hay que mencionar que se realizaron con los métodos convencionales en este tipo de cálculos.

## VI. Conclusiones.

Con el presente trabajo se ha podido observar, aunque de manera muy breve, todos los aspectos básicos que intervienen en un proceso constructivo de ingeniería, aplicados a un caso práctico como lo fué la pista de aterrizaje del aeropuerto del Bajío. También se mencionaron los problemas reales que se presentan al momento de planear, diseñar y construir un proyecto de esta magnitud.

Se inició con una observación del problema que se presenta en el enlace entre dos modos de transporte, aéreo y terrestre en nuestro caso, que nos llevó a analizar la oferta y la demanda de servicios necesarios para dicho enlace. Sin embargo, vimos que a pesar de estos análisis, la decisión final respecto a realizar un proyecto está sujeta a intereses ajenos ó a información incompleta que un determinado funcionario pueda tener. Es cierto que las decisiones pocas veces recaen en profesionistas técnicos, pero -- creo que es nuestra obligación tratar de persuadir, por los medios posibles a nuestro alcance, a los funcionarios con poder de decisión.

Después, por medio de diferentes técnicas de evaluación, se concluyó la necesidad de construir el nuevo aeropuerto de Bajío, y a pesar de los años de espera para su inicio ejecutivo, se realizaron los trabajos y estudios de planeación y diseño, que serían las directrices de este proyecto, indicando la ubicación y orientación de la pista e instalaciones de apoyo, las características operacionales y estructurales de todos los elementos de la pista y la construcción planeada por etapas, para permitir un crecimiento y desarrollo real y organizado del aeropuerto, de acuerdo con las necesidades futuras. Pero en esta etapa, también existieron influencias no técnicas que obligaron a la ubicación de la pista en un sitio poco conveniente desde el punto de vista de los vientos, espacios aéreos, tenencia de la tierra y obstáculos existentes, como la carretera Panamericana y la línea férrea del Bajío.

Otro problema detectado, fue una planeación e investigación previa deficientes e incompletas, ya que no se previeron detalles como los radios de curvatura necesarios para las salidas de la pista, acordes con la demanda esperada, ó un sondeo completo para detectar y definir bancos de materiales, así como la estructura geofísica y geotécnica de los terrenos por utilizar. Considero -- que la causa de este problema fue su realización con prisas, ya -- que de un momento a otro se pretendió revivir este proyecto.

Posteriormente se dió énfasis en el tema de las especificaciones, aún cuando sólo se mencionaron brevemente, ya que son las características mínimas necesarias para el correcto funcionamiento, operación y construcción de un proyecto, y como consecuencia definen las características y dimensiones físicas y estructurales del mismo proyecto. En el caso del diseño de aeropuertos internacionales, estas especificaciones son publicadas y revisadas periódicamente por la Organización de Aviación Civil Internacional mediante diversos documentos de aceptación mundial.

Una vez planificado y diseñado el aeropuerto, hay que llevarlo a su ejecución física, mediante el procedimiento constructivo más conveniente a las características físicas, económicas y sociales del sitio de construcción. En esta etapa surgieron muchos problemas ocasionados por la falta de previsión en la planeación y -- en el proceso de construcción en sí, que fueron solucionándose -- conforme se presentaron, y fueron de muy distinta índole, como la tenencia de la tierra, la época del año en que se realizaron las actividades del proceso, la ubicación y calidad de los bancos de materiales, problemas con el equipo y dificultades de tipo financiero. Es verdad que en la construcción de cualquier obra surgirán problemas al momento de realizarla, pero nosotros como ingenieros constructores debemos prever, en la medida de lo posible, todos esos problemas e inconvenientes.

En la última etapa de este trabajo, se revisó de manera muy breve, como analizar la factibilidad económica y financiera de un proyecto, que es un aspecto fundamental para su ejecución física.

Sin embargo, en la práctica los presupuestos y planes de inversión por etapas no se llegan a cumplir, debido a la situación económica e inflacionaria por la que atraviesa nuestro país; en este renglón, nuestra tarea como ingenieros en planeación es darle la flexibilidad y los ajustes necesarios a nuestros presupuestos, -- con el fin de apegarlos lo más posible a la realidad del país.

En cada una de las etapas, se presentaron problemas particulares y específicos, los que se tuvieron que resolver con soluciones rápidas, económicas y efectivas, que requirieron la intervención de un gran número de profesionistas, muchos de ellos de ingeniería, y en los que se aplican los conocimientos, la experiencia y la imaginación de quienes intervienen en ellos. Toda esta unión de esfuerzos físicos e intelectuales, lleva a concluir los trabajos de un proyecto, como la pista de este aeropuerto, de manera satisfactoria.

Con este trabajo, trate de dejar manifiesto el vínculo y la aplicación de los conocimientos que recibimos en nuestra educación profesional con los problemas y soluciones reales del país y de la infraestructura nacional.

**Bibliografía:**

---

- "Documento 9157-AN/901 Parte 1<sup>a</sup>:Pistas  
OACI, 1985.
  
- "Manual de Pavimentos"  
C.E.C.S.A., Moncayo V. Jesús, 1980.
  
- "Apuntes de la materia de Sistemas Aeroportuarios"  
Dovalf Ramos Federico, 1989.
  
- "Plan Maestro para el Nuevo Aeropuerto del Bajfo"  
S.C.T., 1984.
  
- "Manual de operaciones del B-747 y B-757-200"  
A.S.A., 1989.
  
- "Manual de operaciones del MD-81"  
A.S.A., 1989.