

I AEROPUERTOS

I.1 Antecedentes

I.1.1 Transporte aéreo

La conquista del aire se inicio hace casi dos siglos y a la fecha ha tenido un avance sumamente acelerado. Este avance se debe a la ciencia moderna, pues desde un vacilante vuelo de algunos hombres intrépidos tripulando aeroplanos ha pasado a vuelos hasta de 20,000 km, sin recargar combustible.

En cuanto a velocidades, se ha pasado de 40 o 45 km/h a 1,000 km/h en los vuelos comerciales y en pruebas experimentales se ha alcanzado 6 o 7 veces la velocidad del sonido.

Algunas aplicaciones prácticas del transporte aéreo son: el movimiento de pasajeros, correo y carga; fumigación, obtención de mapas, así como la defensa de la soberanía y seguridad nacional.

Actualmente la industria de la aviación civil juega un papel sumamente importante tanto para la economía nacional, como para la internacional; esto debido a que la relación de dinero invertido en servicios de transporte está estrechamente relacionada con el nivel de actividad económica, que se mide por el PIB (Producto Interno Bruto) de un país.

El transporte aéreo enfrenta problemas que las naciones por sí solas no pueden resolver, desde los inicios de la aviación se ha tratado de encontrar soluciones a través de modelos internacionales, ya que requiere de la construcción de aeropuertos que cumplan con los estándares en cuanto al establecimiento de las ayudas, un sistema homologado para el reporte del clima y operaciones para minimizar los errores.

Para la operación del transporte aéreo se requiere de un lugar destinado para la llegada y salida de aviones. Este sitio puede ser en tierra o en agua y se conoce como aeródromo. Cuando es adecuado en obras e instalaciones para dar atención al pasajero se le conoce como aeropuerto.

I.1.2 Relación entre transporte aéreo y terrestre.

El aeropuerto es básicamente una liga entre dos medios de transporte: terrestre y aéreo.

El aeropuerto surge de la necesidad de unir una localidad con fines turísticos, de desarrollo industrial y/o agropecuario, o bien por la necesidad de integración política o territorial. Además de ser capaz de crear el origen de nuevo intereses.

El objetivo principal del viajero es ocupar el menor tiempo posible desde el punto original de salida hasta el lugar de su destino, por tanto es posible pensar que en distancias menores a 300 km, el transporte terrestre es el que domina, entre los 300 km y los 1200 km el transporte terrestre y el transporte aéreo se compensan y en recorridos de más de 1500 km domina el transporte aéreo.

El aeropuerto une al destinatario desde su llegada por transporte terrestre (cualquiera que éste sea) por medio de su camino de acceso y liga vial, hasta el embarque a la aeronave situada en plataforma, pasando por cualquiera de los servicios o instalaciones del aeropuerto y viceversa. De aquí la relación o conexión entre el medio de transporte terrestre y el aéreo.

Esta relación se establece debido a que el sistema aéreo requiere de un sistema terrestre el cual está constituido por diversos elementos, como las vías de acceso, zonas de carga y descarga; así como las pistas, calles de rodaje, y su liga con los medios de transporte terrestre que es la zona de un edificio terminal incluyendo la torre de control y edificios para oficinas y servicios, así como una zona especial para los suministros de energía eléctrica y agua, también otros como los destinados a la alimentación y distribución de combustible.

I.1.3 Transporte aéreo presente y futuro

Las nuevas políticas tendientes a la globalización mundial han impulsado y generado un vínculo entre las distintas formas de transporte para optimizar los recursos de la industria, por ello se ha promovido en distintos momentos y a través de diversos canales.

La actual estructura del transporte aéreo, basada en muchos casos en la utilización de aeronaves de gran autonomía, posibilita la realización de vuelos de largo recorrido, en los que las tripulaciones pueden exceder las limitaciones de actividad.

I.2 Definición de aeropuerto y aeródromo

Aeródromo: Área de tierra o de agua adaptada y destinada total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de las aeronaves.

Aeropuerto: Aeródromo civil de servicio público que cuenta con instalaciones y servicios adecuados para la recepción y despacho de aeronaves, en el cual se proporciona servicio para la operación segura y eficiente de las mismas y es ahí donde se efectúa, el intercambio de pasajeros y carga, entre los dos medios de transporte.

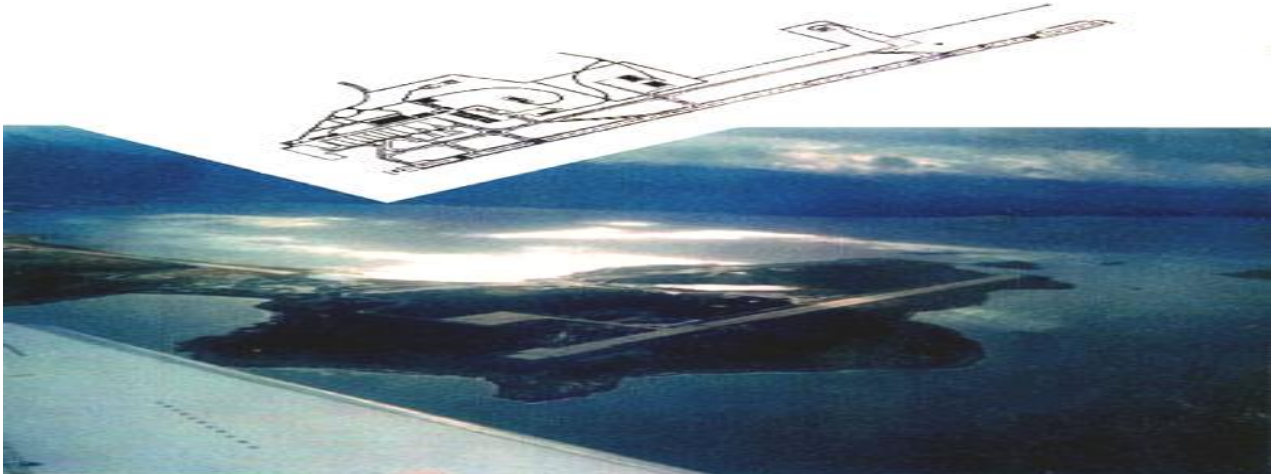


Figura 1.1 Aeródromo Jorge New Berry, Argentina. Fuente fotógrafos argentinos.

En un aeropuerto, desde el punto de vista de las operaciones aeroportuarias, se pueden distinguir dos partes: "lado aire" y "lado tierra". La diferenciación entre ambas partes se deriva de las distintas funciones que en cada lado se realizan. En el "lado aire" las operaciones se aplican sobre las aeronaves y todo se mueve alrededor de lo que estas necesitan, en el "lado tierra" los servicios giran alrededor de los pasajeros y sus necesidades. En el lado tierra, los edificios terminales tienen como función la conexión entre los modos de transporte terrestre (vehículos, autobuses, tren, metro) y el modo de transporte aéreo.

El volumen de pasajeros y el tipo de tráfico condicionan la configuración de la terminal pero en general todas las terminales tienen las siguientes zonas: vestíbulos de salidas y llegadas, control de pasaportes, salas de embarque, de ocio y control de aduanas.

El lado aire también llamado área de movimiento está integrado por el área de maniobras (pistas y calles de rodaje) y la plataforma. Su función es el rodaje de las aeronaves hasta/desde las pistas y el despegue y aterrizaje de las aeronaves. Un área importante en todo aeropuerto es el denominado centro de control de área, en el cual se desempeñan los controladores de tránsito aéreo ó ATC (por sus siglas en inglés), encargados de dirigir y controlar todo el movimiento de aeronaves en el aeropuerto y en la zona o área bajo su jurisdicción. La plataforma es el área destinada a dar cabida a las aeronaves mientras se llevan a cabo las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros y/o mercancías así como otras operaciones de atención a la aeronave (repostaje de combustible, pequeño mantenimiento, limpieza...)

El aeropuerto como obra de ingeniería civil está formado por una serie de sistemas que operan conjuntamente para una eficiente operación, estos sistemas están íntimamente ligados y dependen unos de otros, los cuales a su vez, deben proporcionar la capacidad necesaria para aeronaves, pasajeros, cargas, vehículos terrestres, etc., teniendo la opción futura de una ampliación. Ya que estos sistemas operan conjuntamente, no es posible la planeación por separado de cada uno de ellos por lo que se busca una planeación lógica posible de tal forma que la planificación de cada uno de ellos contribuya y se integren en un plan maestro.

Estos sistemas los podemos identificar en tres zonas:

- 1.- Zona Aeronáutica: Espacios Aéreos, pistas, calles de rodaje y plataformas.
- 2.- Zona Terrestre: Edificio de pasajeros, camino de acceso y liga vial.
- 3.- Zona Industrial: Almacenamiento y distribución de combustible.

Esta última zona no necesariamente influye en el funcionamiento del aeropuerto excepto por el abastecimiento de combustibles.

I.2.1 Clasificación de aeropuertos

Se clasifican de acuerdo a su radio de acción económica, al tránsito probable, al tipo de aeronaves que lo utilizan o al servicio que prestan. Para identificarlos rápidamente se utilizan claves, letras o palabras descriptivas.

La Organización de Aviación Civil (OACI), utiliza claves de referencia para indicar las características de los aeródromos. Esta clave está compuesta de dos elementos que se relacionan con las características del avión. Así se determinará la clave de referencia de un aeródromo, número y letra de clave que se seleccione para fines de planificación del aeródromo. El cuadro 1.1 presenta las características de los aeródromos y aviones.

Cuadro 1.1 Relación entre claves de los aeródromos y las características de los aviones

Elemento 1 de la clave Longitud de pista		Elemento 2 de la clave Características del avión		
Número de la clave	Longitud de campo de referencia del avión.	Letra de clave.	Envergadura (ancho de las alas del avión)	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje P*
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m.	Hasta 4.5 m
2	Desde 800 hasta 1200 m	B	Desde 15 hasta 24 m	Desde 4.5 m
3	Desde 1200 hasta 1800 m	C	Desde 24 hasta 36 m	Desde 6 hasta 9 m
4	Desde 1800 m en adelante	D	Desde 36 hasta 52 m	Desde 9 hasta 14 m
		E	Desde 52 hasta 65 m	Desde 9 hasta 14 m

* Distancia entre los bordes exteriores de las ruedas del tren de aterrizaje principal Fuente: tomado del manual de la OACI

Los grupos de aeropuertos permiten clasificarlos también de acuerdo al servicio esencial que prestan en la región en que se localizan. Los grupos son: Metropolitanos, Turísticos, Regionales y Fronterizos.

De acuerdo con Dirección de Aeronáutica Civil de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en su programa sectorial 2007-2012, México cuenta con una red aeroportuaria integrada por 1,344 aeródromos y 85 aeropuertos, es decir, aeródromos de servicios al público que cuentan con las instalaciones y servicios suficientes para atender vuelos que realizan aerolíneas comerciales. De este total, 59 de ellos están considerados como internacionales y los 26 restantes prestan sus servicios para vuelos nacionales, sólo el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México opera de forma independiente. En el resto de los aeródromos, que no cuentan con la infraestructura necesaria para ser considerados como aeropuertos, opera la llamada aviación general que se constituye por las aeronaves que prestan servicios de manera no regular y las aeronaves privadas. Los cuales están distribuido de acuerdo con el siguiente cuadro.

Cuadro 1.2 Administración de la red aeroportuaria nacional.

a cargo o propiedad de:	número de aeropuertos
Concesionados a particulares	34
AICM	1
ASA	19
ASA en sociedad con gobierno estatal y sector privado	5
Estatales, municipales, militares y privados	26
total	85

FUENTE: SCT. Dirección de Aeronáutica Civil (Programa Sectorial 2007-2012)

I.3 Planeación de aeropuertos

Los aeropuertos están experimentando una modificación esencial en su contenido funcional y en sus relaciones con el entorno territorial. Han dejado de ser únicamente infraestructuras del transporte para convertirse en sistemas económicos complejos íntimamente relacionados con las regiones a las que sirven. Hoy en día, los aeropuertos cumplen una triple función: de infraestructura para el transporte aéreo, de centro de intercambio multimodal, y de núcleo de desarrollo urbano.

El acelerado proceso de globalización que se presenta de forma cada vez más generalizada ha dado origen a una nueva estructura económica, política y social de los países que está generando nuevas relaciones entre el gobierno y los mercados, entre el trabajo y el capital, entre el mercado mundial y las economías nacionales, y está dando origen a un sistema financiero internacional más complejo.

En este contexto, los organismos nacionales y regionales de transportes deben reconocer la conveniencia de desarrollar un eficiente sistema aeroportuario. Sus programas deben revisar su política de transporte aéreo y crear una estrategia global que fomente el aprovechamiento máximo del potencial de un aeropuerto. La actividad económica contemporánea demanda un transporte eficiente que satisfaga sus necesidades y que le permita ser competitiva en los mercados. Por esta razón, el medio de transporte idóneo para cubrir un servicio será aquel que resuelva de la mejor forma factores como seguridad, organización comercial, tiempo de traslado, puntualidad y tarifas.

En este orden de ideas, la contribución que la ingeniería civil puede aportar, entre otras áreas, al desarrollo de la industria del transporte aéreo es de gran importancia, ya que un porcentaje considerable del costo por transporte se debe a las inversiones realizadas en la construcción y el mantenimiento de la infraestructura física que lo sostiene.

I.3.1 Necesidades de planeación.

El complejo aeroportuario está constituido por el espacio aéreo, las infraestructuras aeronáuticas, todo el conjunto de instalaciones y servicios destinados al movimiento de pasajeros y mercancías, así como por los medios de intercambio con otros modos de transporte.

Los aeropuertos se han convertido en sistemas avanzados, no sólo en lo que se refiere a su propia estructura interna, sino también en sus relaciones con las actividades económicas asociadas a ellos.

La zona geográfica de influencia a la cual sirve el aeropuerto aloja todo el abanico de actividades, de tipo terciario en su mayoría, que sin ser parte del complejo aeroportuario propiamente dicho, se vincula a éste generando economías externas en ambos sentidos. Las empresas no sólo son las beneficiadas con la presencia del aeropuerto, sino que el propio complejo aeroportuario se hace más competitivo por la existencia de otras actividades. La existencia de zonas industriales, de recintos feriales, de centros turísticos y de zonas de servicio cerca de la infraestructura aeronáutica, tiene un efecto muy positivo para el transporte aéreo en el aeropuerto.

Desde el punto de vista del desarrollo regional hay que observar que este proceso es acumulativo, en el sentido de que el éxito de un aeropuerto, debido a su oferta de servicios, promueve su propio desarrollo. El crecimiento de las actividades económicas asociadas al complejo aeroportuario obliga a que este mejore su capacidad y competitividad de la oferta de transporte. Considerando esto último, y para que la planeación sea correcta y el aeropuerto se convierta efectivamente en un reactor de la dinámica del desarrollo económico, es necesario que cumpla su función con eficiencia manteniendo ciertas condiciones:

- En primer lugar, el aeropuerto debe de tener características técnicas y de infraestructura adaptadas a las necesidades de sus usuarios.
- El aeropuerto debe complementarse con una infraestructura de transporte que lo comuniquen con el territorio donde se ubique, de manera que se logre una estructura eficiente de transporte multimodal.
- Y por último, el aeropuerto debe ser autosuficiente, autorregular su crecimiento y no representar una carga económica para la sociedad.

De ahí surge la necesidad de planear a conciencia todo lo referente a la creación de un nuevo aeropuerto. De no hacerlo pensando en todos los criterios mencionados anteriormente se corre el peligro de caer en grandes errores que después costarán mucho, tanto económica como socialmente.

I.3.2 Proceso de planeación.

La planeación de un aeropuerto es un proceso tan complejo que el análisis de una de sus actividades, sin tener en cuenta la repercusión que pueden tener las demás, puede acarrear soluciones no aceptables.

Un aeropuerto lleva consigo una amplia gama de actividades que presentan diferentes y a veces conflictivas necesidades; estas son interdependientes y por lo tanto una sola de ellas puede limitar la capacidad del complejo, de ahí que tengamos que desarrollar un plan maestro del aeropuerto, el cual se detalla de la siguiente manera:

I.3.3 Plan maestro de un aeropuerto.

El plan maestro de un aeropuerto es un concepto que explica el desarrollo total de un aeropuerto y sus diferentes etapas de desarrollo; el cual contiene los aspectos de mayor relevancia, como la estimación de costos y el plan financiero.

El objetivo principal del plan maestro es el de proveer el seguimiento del desarrollo futuro del aeropuerto el cual, satisficará la demanda aérea de manera que el aeropuerto sea autosuficiente y al mismo tiempo, logre integrarse con los planes urbanos de desarrollo para lograr la evolución coherente y conjunta con la comunidad. A su vez debe ser flexible para permitir las ampliaciones parciales de cada uno de los elementos logrando un crecimiento integral de acuerdo a la demanda aeroportuaria.

Los objetivos específicos de un plan maestro para un aeropuerto se resumen a continuación:

- 1) Desarrollo de las instalaciones y servicios del aeropuerto.
- 2) Desarrollo del terreno y áreas circundantes al aeropuerto.
- 3) Determinación de los efectos ecológicos producidos por la construcción y operación del aeropuerto.
- 4) Establecer los requerimientos para el camino de acceso y liga vial.
- 5) Establecer las posibilidades económicas y financieras de los desarrollos propuestos.
- 6) Establecer un programa de prioridades y secuencias para el mejoramiento del plan propuesto.

La planeación de un aeropuerto está basada en varios procedimientos para evaluar las necesidades, asignar prioridades, proponer diferentes alternativas y justificarlas. El resultado del plan adoptado puede ser no el mejor plan técnico, pero generalmente representa el mejor plan práctico para los diversos requerimientos.

Para facilitar el desarrollo de este plan maestro se han enumerado los elementos que influyen en el estudio de la planeación y estos son los siguientes:

1) Coordinación: Debe existir una coordinación entre los grupos interesados en el aeropuerto como son: usuarios, organismos estatales, planeadores, constructores y organismos financieros. Esto nos dará un plan coherente y así obtener un aeropuerto funcional con capacidad de dar servicio a los usuarios, sin olvidar una futura ampliación, para cubrir las demandas.

2) Inventario de condiciones existentes: Es necesario recopilar información relacionada con la planeación del aeropuerto, tal como identificar las características físicas y ambientales del sitio, si existen aeropuertos cercanos, la estructura de los espacios aéreos, disponibilidad y localización de las ayudas a la navegación, inventariar los usos de suelo existentes en el área, localizar hospitales, escuelas y otras obras públicas, datos socioeconómicos y demográficos, empleos, niveles de ingreso, actividad comercial e industrial, datos de acceso terrestre, circulación y estacionamiento; evolución histórica de las condiciones climatológicas y estudios de mecanismos de financiamiento disponible para sostener las necesidades del aeropuerto.

3) Pronóstico de la demanda: Se necesita la información necesaria para estimar el comportamiento y requerimientos del aeropuerto, los elementos más importantes de demanda que es necesario pronosticar son: Movimientos diarios y horarios, promedios máximos frecuentes, promedios absolutos; así como el número de visitantes que llegan al aeropuerto por cada pasajero, el factor de ocupación en los aviones, el número de maletas por pasajero, el número de pasajeros, etc.

Los resultados del pronóstico, varían de acuerdo al objetivo que le corresponde y puede ser o no satisfactorios. Cada pronóstico tiene su aplicación para definir la capacidad de las instalaciones aeroportuarias; por ejemplo: el número de pasajeros anual, su máximo por hora, número de empleados, el número y tipo de aviones que se atenderán. Este pronóstico nos va a definir la capacidad del edificio terminal y el estacionamiento para los automóviles.

Para definir el número de pistas, el número de calles de rodaje, las dimensiones de las plataformas, capacidad de almacenamiento y distribución de combustible, se necesita saber el número y tipo de aviones que a futuro aterrizaran y despegaran al año, su máximo por hora y los estacionamientos simultáneos.

Este plan maestro debe considerar los efectos de desarrollo de la región ya que una obra de esta magnitud generará importantes actividades económicas, esto significa que al desarrollo de la zona debe integrarse el aeropuerto.

Un aeropuerto tendrá influencia en los accesos con las carreteras adecuadas al volumen del tránsito, para que pueda constituirse como un sistema de transporte masivo como el metro o el ferrocarril.

Se considerarán los problemas de contaminación ambiental que provocan los aviones, principalmente el ruido, para ello deberán determinarse sus niveles e indicaran el uso de suelo conforme a su proximidad al aeropuerto y su ubicación respecto a las rutas seguidas por los aviones en los despegues y aterrizajes, deberán ser evaluados.

El plan maestro incluye diferentes aspectos de planeación:

- Número, orientación y dimensiones de la pista.
- Número, ubicación y tipos de calles de rodaje.
- Dimensiones de las plataformas para estacionar los aviones.
- La zona terminal incluye los siguientes elementos:
 - Edificio para el manejo de pasajeros en vuelos comerciales y aviación general.
 - Torre de control.
 - Despacho y control de vuelos.
 - Subestación general y luces de emergencia para todo el aeropuerto.
 - Equipo hidroneumático.
 - Edificio de rescate y extinción de incendios.
 - Edificio de carga.
 - Hangares y talleres para mantenimiento y reparación de los aviones.
 - Zona para almacenamiento y características del sistema de suministro para los aviones.
 - Tipos de ayudas visuales y electrónicas.

Los elementos deben ser estudiados detenidamente para lograr la integración de cada uno de ellos como un todo, que permitirá un crecimiento armónico.

Con el plan maestro elaborado se define el proyecto ejecutivo, se materializan los estudios y se elaboran los planos constructivos para ejecutar la obra.

Al proyecto ejecutivo lo componen proyectos particulares como son:

- Proyecto aeronáutico: Basado en estudios meteorológicos, anemométricos, topográficos, pluviométricos, de espacios aéreos, de seguridad, de servicios, etc. Los cuales determina los tipos de ayuda, señalización visual y electrónica, para el aeropuerto.
- Proyecto geométrico: Se desarrollan los planos a detalle, plantas geométricas de pistas, calles de rodaje, plataformas, estacionamientos, caminos de acceso, etc.
- Proyecto de obra civil: Se hacen los estudios de mecánica de suelos, geotécnicos, y localización del banco de materiales. El costo y la calidad de la obra están en función directa de la obtención de los materiales que se emplearán en la obra y de una buena supervisión. El proyecto de obra civil consta de los cálculos y planos estructurales de edificaciones, terracerías, pavimentos, etc.
- Proyecto arquitectónico: Consiste en la elaboración de planos apegados a las condiciones prevalecientes en el lugar de la obra y consta de: fachadas, cortes, plantas arquitectónicas, perfiles, etc. Comprende también la distribución general, la ubicación de plataformas, pistas, calles de rodaje, edificios, estacionamientos, etc.
- Proyecto electromecánico: Comprende la definición y diseño de la zona de combustible y red de abastecimiento, instalaciones eléctricas, mecánicas, de aire acondicionado, de intercomunicación y sonido, así como el equipo para el funcionamiento de estos sistemas.

I.3.4 Estudios técnicos.

Son estudios que deberán de realizarse, para la planificación, localización, construcción y operación de un aeropuerto se tomaran en consideración los siguientes: constructivos, ambientales, financieros, sociales, operacionales, de seguridad, de tipo comercial, etc. Analizando cada uno de ellos se puede conocer su influencia al ejecutar el proyecto.

I.3.5 Estudios de mercado.

Dentro de este tipo de estudios se incluyen los realizados para saber el comportamiento de la demanda de un aeropuerto tales como: el número de pasajeros, el número de operaciones y el consumo de combustible.

Los estudios de mercado que deben llevarse a cabo deberán proporcionar los datos suficientes para cubrir los siguientes puntos:

- Pronósticos de demanda de pasajeros y mercancías.
- Pronósticos de movimiento de aeronaves.
- Pronósticos de movimiento de aviación general y militar.
- Demanda de vehículos terrestres públicos y privados.
- Capacidad y desarrollo de las instalaciones.
- Costos estimados.
- Número de operaciones, incluyendo los de tipo comercial regular, no regular y de aviación general.
- La cantidad de combustible consumido, ya que dicho insumo es un indicador que representa un ingreso importante a favor de los aeropuertos.
- La capacidad de la estructura, ya que determina el nivel de servicio de las instalaciones con relación a la demanda de servicios, presentada en la misma.
- Pasajeros horario- edificio de pasajeros, nos muestra la superficie disponible en edificios para pasajeros y un índice de los metros cuadrados requeridos por pasajero en hora crítica.
- Operaciones horarias, nos indican la capacidad de la pista y los espacios aéreos que se pueden realizar en el intervalo de tiempo de una hora.
- Posiciones simultáneas, proporcionan la capacidad de la plataforma de un aeropuerto, ya que consideran las posiciones simultáneas que se puedan tomar en superficie y se determina en función del área específica por posición, dependiendo del tipo de aeronave de que se trate.

I.3.6 Estudios constructivos: de reconocimiento y topográficos.

Para conocer la zona se efectuarán vuelos de reconocimiento; en estos vuelos se utilizará la fotogrametría para elaborar un plano de toda el área con curvas de nivel variable.

En este plano general se definen los límites, núcleos urbanos, zonas ejidales, o los sitios más variables para ubicar el aeropuerto, se verificarán y estudiara cada uno y se elegirá el que proporcione más ventajas.

Una vez seleccionada el área del aeropuerto, sus accesos, su espacio aéreo y sus áreas vecinales, se ubicarán, las pistas, plataformas, edificio terminal, etc., de acuerdo al plan maestro.

En el sitio de la construcción se efectuará un levantamiento topográfico directo de planimetría y altimetría, esto es para conocer la configuración topográfica, que servirá para elaborar los planos detallados de cada uno de los sistemas del aeropuerto.

I.3.7 Estudios meteorológicos.

Las características atmosféricas que definen un lugar son varias, pero las más importantes para el proyecto son: temperatura, presión, humedad del aire, régimen de vientos, cantidad y distribución de lluvias, y la evaporación.

El estudio y estimación de los vientos debe ser cuidadoso y exacto, ya que esto permite elaborar la rosa de los vientos, la cual indica: el porcentaje, velocidad e intensidad de los vientos dominantes, ya sean cruzados o directos, esto permite definir las orientación de las pistas.

La operación del aeropuerto debe contar con una visibilidad suficiente tanto en la zona del aeropuerto como en las inmediatas.

I.3.8 Estudios hidrológicos.

Las características hidrológicas de una región son determinadas por su estructura geológica, por su superficie topográfica y por el clima dominante. Con estas características atmosféricas se pueden delimitar los partaguas de las cuencas de los tributarios y de las cuencas adyacentes al sitio de estudio, los escurrimientos y las características fisiográficas con su área de drenaje, sus pendientes, su elevación, las características del cauce principal, la red de corrientes y las zonas factibles de inundación, así como las características físicas del suelo, su uso, su tipo, permeabilidad y capacidad de almacenamiento superficial.

Teniendo las cuencas definidas se hará un balance hidrológico, para estimar la probabilidad de ocurrencia de avenidas o intervenir localmente en el ciclo hidrológico.

I.3.9 Estudios económicos – financieros.

Este tipo de estudios evaluará los elementos que se describen mas adelante para evitar que afecten al aeropuerto, durante su construcción y futura operación como son:

- El costo del terreno, considerando las futuras ampliaciones y el desarrollo de los alrededores.
- Costo de desplazamiento del usuario.
- Costo de cambio de régimen de uso de suelo.
- Pagos por afectar a particulares y los derechos de vías.
- Los cambios en la tasa de interés, por las fluctuaciones de la moneda, tanto nacional, como internacional.
- El incremento de precios a futuro, de los materiales y mano de obra.
- El proceso inflacionario y su recuperación antes y después de la construcción.

Los estudios financieros determinan el plan financiero y la obtención de medios crediticios para el desarrollo del proyecto, la construcción, operación y mantenimiento y sobre todo la recuperación financiera para el pago de créditos, evalúan ingresos y egresos a futuro.

Los medios de que se disponen para obtener créditos e ingresos financieros para la construcción de un aeropuerto son:

Particulares: Banco mundial, empresas comerciales, líneas aéreas y empresas particulares.

Gubernamentales: Bancos Nacionales, instituciones de crédito, programas de apoyo con recursos federales y estatales.

I.3.10 Estudios sociales, demográficos y de seguridad.

Están asociados a los estudios financieros y si no se toman en cuenta, pueden afectar la operación del aeropuerto.

La migración regional de las ciudades y el desarrollo estructural en las mismas se deben tomar en cuenta, cuando el aeropuerto se encuentra localizado dentro o cerca de una ciudad.

La seguridad merece una especial atención, para evitar interferencias o accidentes aéreos que pongan en peligro la integridad física de los usuarios y del aeropuerto.

Los avances tecnológicos en el área de la navegación aérea y los factores operacionales prevén el desarrollo que alcanzarán las rutas de las compañías aéreas, así como las aeronaves actuales y futuras que podrán hacer uso del aeropuerto, en los períodos de máxima actividad.

I.4 Factores importantes para la localización.

Con los datos e información recopilada se selecciona el emplazamiento de un aeropuerto o la ampliación de uno existente, y así se determina la forma y tamaño del aeropuerto en sus diferentes etapas.

Debido a las grandes extensiones de terreno que requiere la construcción de un nuevo aeropuerto, se buscan terrenos que ofrezcan las máximas posibilidades de ampliación a largo plazo con las menores cargas financieras.

Para determinar la superficie, se considera en primer término la longitud, orientación y número de pistas, ya que constituyen la mayor parte del terreno exigido.

Una vez determinada la extensión de terreno contemplando las etapas de desarrollo, se hace un estudio de los posibles emplazamientos para seleccionar el que ofrezca mayores ventajas.

El aeropuerto debe localizarse en el lugar que proporcione la mayor seguridad y eficiencia de las aeronaves, así como los mínimos gastos de construcción.

La localización de un aeropuerto esta influenciada por factores importantes como:

- Presencia de otros aeropuertos y disponibilidad de espacios aéreos. Deben estudiarse cuidadosamente las operaciones de otros aeropuertos cercanos al nuevo, ya que estos deben ser situados lo suficientemente distantes para que no interfieran las actividades de aterrizaje y despegue de uno con el otro. Esto es por que si se localizan en una misma área de influencia pueden restringir sus operaciones.
- Condiciones atmosféricas y meteorológicas: la presencia de algunos fenómenos climatológicos reduce la visibilidad y por lo tanto la capacidad del aeropuerto.
- Acceso por transporte terrestre: ya que para la mayoría de los usuarios del aeropuerto el principal medio de comunicación con el mismo es el del automóvil particular y para el resto transporte público.
- Tipo de desarrollo del área circundante: Es importante desde el punto de vista de ruido y este tema se desarrolla en el capítulo número dos del trabajo.
- Disponibilidad del terreno para una posible expansión.
- Obstrucciones circundantes: el área circundante del aeropuerto debe estar restringidas y protegida de cualquier levantamiento futuro de edificaciones.
- Construcción económica: Es claro que si existieran sitios alternativos con igualdad de circunstancias, se elegiría el más económico para su construcción.
- Disponibilidad de recursos: en la selección del lugar la prevención de ciertos elementos como: agua, electricidad y combustible.
- Proximidad al aeropuerto: la selección debe ser tal que resulte el menor tiempo posible para su acceso, este tiempo se consideran de puerta a puerta (es el tiempo considerado desde que el usuario sale de su casa, hasta que cruza la puerta de acceso al aeropuerto).

Existe una serie de documentos y manuales que contienen especificaciones técnicas, y en los cuales nos podemos basar para definir el tamaño, forma y cantidad de las instalaciones que son determinantes para la localización de un aeropuerto, por ejemplo: el manual de proyectos de aeródromo. Parte 1: pistas publicados por la OACI., el anexo 14: normas y métodos recomendados internacionales volumen I.

1.5 Elementos de un aeropuerto

1.5.1 Espacios aéreos

Comprenden las zonas libres de obstáculos, donde el avión puede realizar todas sus operaciones aeronáuticas o vuelos, como son el acto de despegue, aterrizaje y maniobras en el aire, así como en las inmediaciones del aeropuerto.

Este cuenta con superficies limitadoras de obstáculos que permiten a las aeronaves realizar operaciones adecuadas y seguras, mismas que se representan por superficies que parten de la pista con cierta pendiente, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- Superficie de ascenso en el despegue.
- Superficie de aproximación.
- Superficie de aterrizaje interrumpido o de aproximación fallida.
- Superficie horizontal o interna.
- Superficie cónica
- Superficie de transición y de transición interna.
- Superficie horizontal externa

El tamaño de espacio aéreo, depende del número de pistas, de las condiciones meteorológicas prevalecientes en la región, del tipo de aviones que harán uso del aeropuerto y de la cercanía con otros aeropuertos.

I.5.2 Pistas

La pista es un área rectangular, libre de obstáculos y conformada a ambos lados, para que las aeronaves realicen a lo largo de ella los recorridos de aterrizaje y despegue en forma segura.

Los cuadros 1.3 a 1.6 resumen algunas de las especificaciones de pista adoptadas por la OACI.

Cuadro 1.3 Anchura de Pistas

Letra clave A	18 m	23 m	30 m	-----
Letra clave B	18 m	23 m	30 m	-----
Letra clave C	23 m	30 m	30 m	45 m
Letra clave D	-----	-----	45 m	45 m
Letra clave E	-----	-----	-----	45 m

Fuente: OACI. Si la letra en D o E es la anchura total de la pista, sus márgenes no será superior a 60 m

Cuadro 1.4 Pendientes de una pista

Pendiente longitudinal máxima	1.5%	1.5%	1.25%	1.25%
Gradiente máximo efectivo	2%	2%	1%	1%
Cambio máximo longitudinal de la rasante	2%	2%	1.5%	1.5%
Pendiente transversal máxima	2% si la letra clave es A ó B		1.5% si la letra Clave es C, D ó E	

Fuente: OACI.

Cuadro 1.5 Anchura de la franja de la pista

Pista de precisión o no	150 m	150 m	300 m	300 m
Pista de vuelo visual	60 m	80 m	150 m	150 m

Fuente: OACI.

Cuadro 1.6 Pendientes de la franja

Pendiente longitudinal máx.	2%	2%	1.75%	1.5%
Pendiente transversal máx.	3%	3%	2.5%	2.5%

Fuente: OACI.

Los aeropuertos pueden contar con varios tipos de pistas:

- Pista de vuelos por instrumentos, destinada a los vuelos de aeronaves que utilizan ayudas no visuales, o procedimientos de aproximación por instrumentos.
- Pista de aproximaciones que no sean de precisión: pista de vuelo por instrumentos servida por ayudas visuales y una ayuda no visual que proporcione por lo menos guía de direcciones para la aproximación de precisión.
- Pista de vuelo visual. Destinada a las operaciones de aeronaves que utilicen procedimientos visuales para su aproximación
- Pista principal. Utilizada con preferencia a otras, siempre que las condiciones lo permitan.

I.5.3 Calle de rodaje

Vía definida en un aeropuerto, establecida para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeropuerto como son:

- Calles de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves.
- Calle de rodaje en la plataforma.
- Calle de salida rápida.

Las características de las calles de rodaje se presentan en el cuadro 1.7

Cuadro 1.7 Tipos de calles de rodaje

Letra clave	Ancho calles de rodaje	Ancho total
A	7.5	---
B	10.5	---
C	15m si la calle de rodaje se ha previsto para aviones con una base de ruedas inferior a 18m 18m si la calle de rodaje se ha previsto para aviones con una base de ruedas superior a 18m	25 m*
D	18* m* si la calle de rodaje se ha previsto para aviones cuya anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal es inferior a 9m 23* m si se ha previsto igual a 9m ó más	38m*
E	23 m*	44 m*

Fuente: OACI. * Se refieren a la posición recta de las calles de rodaje.

Las calles de rodaje deben proporcionar acceso a las pistas, a la terminal aérea y a los hangares; deben de estar diseñadas de tal forma que no existan interferencias entre aterrizajes y despegues de aviones. Se deberá buscar al diseñar calles de rodaje las distancias más cortas a los puntos a los que deberán servir para reducir los tiempos de ocupación de pistas, así como los tiempos de rodaje.

El número y tipo de las calles de rodaje necesario en un aeropuerto dependerá del número de operaciones que tenga el aeropuerto, deben estar localizadas siempre que sea posible, de modo que no crucen con otras pistas y otras calles que sean transitadas. La capacidad de una pista depende en gran medida del sistema de calles de rodaje, ya que mientras más rápido un avión desaloje la pista se podrán realizar más operaciones.

La localización de las calles de rodaje depende en gran medida de la mezcla de los aviones que utilizan el aeropuerto, la aproximación a la pista y velocidad del avión cuando este toca la pista, el punto de toque, la velocidad de salida, el promedio de desaceleración, y también el número de salidas. Otro factor que es muy importante y que influye en la localización de las calles de rodaje es que tan rápido y en que forma, el control de tránsito aéreo, puede manejar la llegada y salida de los aviones. La ubicación de la pista y el edificio de pasajeros influyen también en la localización y podemos clasificarlas en dos tipos:

- Calles de rodaje de entrada.
- Calles de rodaje de salida.

1.5.4 Plataformas

Área definida destinada a dar cabida a las aeronaves para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento.

Las plataformas deben proporcionar las distancias de rodaje mínimas entre la pista y el lugar de estacionamiento, debe tener el área suficiente para permitir el libre movimiento de las naves y equipos necesarios.

Tipos de plataforma:

- Plataforma terminal: Área designada para las maniobras y estacionamiento de las aeronaves situadas junto a las instalaciones de la terminal de pasajeros.
- Plataforma de carga: sólo para las aeronaves que transportan carga y correo y se establece separada del edificio terminal. Ya que las instalaciones son diferentes a las de pasajeros.
- Plataforma de estacionamiento para pernoctar, para aviones que no necesitan permanecer estacionados por largos periodos. Para estancia de la tripulación o mientras se efectúa el servicio o mantenimiento periódico menor de las aeronaves, estas se encuentran alejadas de la plataforma principal.
- Plataforma de servicios y hangares: De servicios, área adyacente a un hangar de reparaciones en la que se efectúa el mantenimiento de aeronaves.
- Plataforma temporal: para aviones que realizan vuelos transitorios, que realizan abastecimiento de combustible, de servicio y transporte terrestre.
- Plataformas de aparcamiento base en un aeropuerto: las aeronaves que tienen su base en un aeropuerto y necesitan ya sea un espacio de aparcamiento o amarre en una zona al descubierto.

- Otras plataformas de servicio de tierra.

El tipo de diseño de plataformas más adecuadas para satisfacer las necesidades en un aeropuerto depende de factores relacionados entre sí, por mencionar, la plataforma debe ser compatible con el diseño del edificio de pasajeros y viceversa. Así también si tiene determinadas características de tránsito. Y algunas configuraciones son:

- Simple, lineal, lineal circular, espigón o andenes, satélite, remota o de transporte y mixto.

Hay otros componentes necesarios para integrar las calles de rodaje, las pistas y plataformas, como son áreas de espera y superficies de enlace.

I.5.6 Edificio terminal

El edificio terminal es la liga física entre dos medios de transporte, el terrestre y el aéreo. Es ahí donde se llevan a cabo la recepción y control de pasajeros o carga.

Cuando la recepción y control de pasajeros o carga se lleva a cabo en uno o más edificios pero sin la duplicidad en el servicio se le da el nombre de edificio terminal centralizado y cuando este control se lleva a cabo en dos edificios y se da la duplicidad en dichos servicios, se le denomina edificio terminal descentralizado.

Este edificio cuenta generalmente con dos grandes zonas, una destinada a oficinas, despachos de compañías de aviación, salas de espera, ambulatorio público, aduana, policía, dirección de aeropuertos, servicio de telecomunicaciones, reclamo de equipajes y control de pasajeros, etc., y otra destinada a servicios complementarios como son: restaurantes, oficinas administrativas, servicio médico, teléfono, comercios, etc.

I.5.7 Caminos de accesos

El sistema de caminos de acceso proporciona la conexión entre el área terminal y las mejores rutas de comunicación con la población, una buena localización permite obtener las mayores ventajas de autopistas u otras carreteras existentes para hacer expedito el transporte terrestre al aeropuerto.

Dentro del aeropuerto, se tienen los caminos de intercomunicación que permiten el desplazamiento en el interior del mismo, uniendo así las instalaciones separadas del núcleo principal.

I.5.8 Zona de combustible

Se localiza en el interior del aeropuerto y está provista de instalaciones que permiten almacenar, distribuir y suministrar combustible a las aeronaves.

Las dimensiones de sus instalaciones dependen del número y tipo de aviones que operarán en el aeropuerto, ya que con estos datos se puede definir la capacidad de los tanques de almacenamiento y los tipos de combustible por almacenar.

Cuando el combustible requiere de reposo incrementa la cantidad de tanques de almacenamiento, lo que deberá preverse, así como destinar áreas para futuras expansiones.

Por la cantidad de combustible que se almacena y distribuye en esta zona es conveniente contar con equipos de seguridad para suprimir las explosiones y prevenir incendios.

El sistema de fosas y pipas se emplea para suministrar combustibles de baja capacidad. La alimentación de combustible de alta capacidad se hace por medio de hidrantes y camiones con mangueras.

I.5.9 Ayudas visuales

Las ayudas visuales y los equipos electrónicos, ubicados en el interior y en las zonas colindantes del aeropuerto, así como los que se encuentran integrados en los aviones como parte del equipo de vuelo, permite la localización segura del mismo; facilitan las maniobras de aterrizaje y despegue y dan mayor precisión y seguridad, aun cuando las condiciones meteorológicas sean adversas.

Las ayudas visuales pueden ser luminosas o no.

Entre las luminosas tenemos:

- Faro de identificación.
- Iluminación de aproximación.
- Luces guías para el vuelo sin circuito.
- Sistema visual indicador de pendientes.

- Proyector de techos.
- Luces para señalamientos de obstáculos.
- Banderas, para obstáculos fijos y móviles.
- Equipo luminoso auxiliar para la torre de control.
- Iluminación de pistas, calles de rodaje y plataformas. Etc.

De las no visuales tenemos.

- Paneles de señales terrestres.
- Señales designadoras de pistas.
- Señales de placas.
- Señales de orientación.

Existe otro tipo de señales que pueden ser luminosas o no y estas son:

- Indicador de dirección de viento.
- Indicador de dirección de aterrizaje. Etc.

Aun cuando las condiciones climatológicas sean muy severas el aeropuerto cuenta con equipos electrónicos que operan y facilitan su localización y estos son algunos:

- Radio faro omnidireccional de alta frecuencia (VOR).
- Sistema de instrumentación para aterrizajes (ILS).
- Equipo de radio telemétrico de alta frecuencia (DME), etc.

I.5.10 Torre de control

En este edificio es donde se regula y controla el tránsito aéreo, tanto en el interior como en la zona que rodea al aeropuerto. La torre de control contiene equipos de radiocomunicación, que le permiten controlar la circulación de aviones, al desplazarse de un punto a otro como los que se encuentran en vuelo en sus inmediaciones o en su zona de influencia.

I.5.11 Áreas de estacionamientos

Los estacionamientos pueden diseñarse a un solo nivel o con estructuras de estacionamiento en varios niveles unidos al edificio terminal con el objeto de minimizar las distancias por caminar.

El estacionamiento se proyecta con suficiente capacidad para alojar los vehículos de pasajeros, ejecutivos, empleados y espectadores. En terminales muy activas, se cuenta con áreas de estacionamiento temporal para taxis, autobuses o camiones que efectúan suministros diversos.

I.6 Problemas de diseño

Para obtener un adecuado nivel de servicio, se toman en cuenta las características de operación del aeropuerto, tales como mezclas de aeronaves, frecuencia de la demanda y tipo de servicios.

Las necesidades de espacio para el corto, mediano y largo plazos, se definen a través de los parámetros de diseño y las horas críticas, y así poder hacer eficiente la operación del aeropuerto beneficiando a todos los pasajeros, operadores y usuarios. Con esta información se puede establecer la estrategia más adecuada para el crecimiento de los principales elementos del aeropuerto. Estos a su vez, se modificarán en función de la distribución geométrica y ubicación de los elementos.

También se analiza el estado y las posibilidades de las instalaciones para atender la demanda esperada, y se define el grado y momento en que se saturan los elementos.

Para que el desarrollo del aeropuerto sea armónico, es necesario que las capacidades de los elementos que lo integran estén equilibradas.

I.6.1 Nivelación de pistas

Expertos y pilotos opinan que las pistas de aterrizaje deberían ser diseñadas y construidas con normas más estrictas.

Se recomienda que para reducir la referencia visual falsa, la pista de aterrizaje debería nivelarse a lo largo de su longitud, con el gradiente longitudinal a no más de 1%.

Una corona de pista de aterrizaje del 1% al 1.5% debe ser proyectada a fin de proveer el drenaje adecuado.

Las pistas paralelas deben construirse como mínimo a 1524 m entre líneas centrales.

I.6.2 Viento

Para el piloto que hace un aterrizaje es importante conocer la dirección del viento en la pista y su velocidad en todo momento, frecuentemente existe una gran diferencia entre los datos de la torre de control y lo que experimenta el piloto en el aterrizaje.

Los medidores de viento deben ser livianos y tendrán que instalarse cerca de las pistas de aterrizaje preferentemente a una distancia de entre 46 m a 305 m de la misma y del lado izquierdo.

I.6.3 Estudio financiero.

Se requiere un estudio de las repercusiones económicas y los beneficios que traerá el proyecto aeroportuario sobre la economía, ya que se busca el crecimiento del país. La buena preparación, investigación y presentación del estudio, puede facilitar la obtención del financiamiento o de mejores condiciones financieras. En cambio la escasa o nula investigación de las repercusiones económicas puede hacer más difícil la obtención de financiamiento, principalmente de fuentes de inversión extranjera como bancos o fondos de desarrollo.

Otro factor importante para obtener financiamiento, es la credibilidad de la información relativa a los pronósticos de demanda, ya que es determinante en el crecimiento de las actividades económicas derivadas del turismo o del aumento en las mercancías.

En conjunto, esto produce resultados positivos para las autoridades públicas, empresarios e inversionistas, lo cual induce inversiones adicionales en el proyecto.

Una vez que se ha decidido llevar a cabo el proyecto, es preciso elaborar un plan financiero que contenga la siguiente información.

- Estimación de los costos de producción de cada elemento.
- Los fondos requeridos en las diferentes etapas.
- Los ingresos captados por el aeropuerto en su operación.
- Forma y tipo de moneda para pagar la deuda.
- Las posibles fuentes de financiamiento, las cuales pueden ser:
 - Fondos generados por las operaciones del aeropuerto.
 - Otras fuentes como: tasas de interés, amortizaciones, etc.

Un factor de suma importancia para decidir la realización de la inversión en el proyecto aeroportuario, es la obtención de financiamiento en moneda extranjera y la medida de los pagos pueden realizarse en moneda nacional. Cuando sea necesario sufragar los pagos en moneda extranjera, es necesario desde un principio prever la obtención de divisas. Generalmente se trata de negociar los préstamos de fuentes extranjeras a bases de créditos a largo plazo y así reducir las dificultades relativas a las divisas.

Los costos que normalmente se liquidan en moneda nacional, son los siguientes:

- Obras de construcción y contratos nacionales.
- Adquisición de los terrenos.
- Sueldos y salarios.
- Materiales y equipos necesarios.
- Intereses derivados por préstamos nacionales.
- Impuestos.

Los costos que deben de liquidarse en moneda extranjera, son los siguientes:

- Empresas y contratistas extranjeros.
- Equipos, materiales y suministros de procedencia extranjera.

- Intereses derivados por préstamos extranjeros.

La capacidad del aeropuerto depende en gran medida de la disponibilidad de él mismo para producir ingresos y hacer frente a la deuda por concepto de préstamos. Cabe recordar, que la mayoría de los aeropuertos no recupera sus costos totales y los que operan a bajos volúmenes de tráfico, tienen pocas posibilidades de hacerlo en un plazo relativamente corto. Debido a esto, la obtención de fondos para cumplir con las obligaciones derivadas de los préstamos corresponde totalmente al gobierno. Se busca crear aeropuertos que sean capaces de generar los intereses y rembolsar los préstamos obtenidos, con el objeto de financiar las futuras ampliaciones de la infraestructura portuaria.

Durante la etapa de planificación, se deberán estudiar las posibles fuentes de financiamiento para el proyecto aeroportuario, con el fin de contar desde un principio con el financiamiento necesario, ya que estas gestiones toman normalmente tiempos prolongados.

Las fuentes más comunes de financiamiento, son las gubernamentales que a su vez pueden ser obtenidas a través de instituciones financieras pertenecientes al gobierno. Pudiendo participar también gobiernos o instituciones extranjeras.

1.6.4 Impacto ambiental.

La construcción y operación de un aeropuerto implica un desequilibrio ecológico y social, lo cual puede ser controlable mediante la aplicación de medidas de mitigación a los impactos ambientales, ya sean preventivas o correctivas.

Así mismo se generan beneficios durante la etapa de construcción, operación y mantenimiento, por ejemplo: La generación de empleos, infraestructura tanto para la educación como para la salud, etc.

Se requiere una identificación y medición de los contaminantes que genera el aeropuerto, así como los métodos y medidas anticontaminantes y preventivas que se utilizaran para controlar y mitigar el impacto ambiental, en este factor ambiental.

1.7 Construcción, operación y mantenimiento de aeropuertos

El objetivo de las especificaciones de construcción es tener un mayor control en el aeropuerto, y así, establecer los procedimientos convenientes para que durante la ejecución de las obras de construcción dentro de sus instalaciones no se afecte la seguridad de las operaciones normales del aeropuerto (si se tratara de una ampliación o remodelación).

Para la construcción y operación de un aeropuerto, se requiere de la concesión o permisos del organismo encargado del transporte en el país o estado. En México las concesiones y permiso los otorga la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC, Dependencia de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, SCT), para la construcción y operación por parte del sector público o privado.

Los aeropuertos deberán ser utilizados por aeronaves cuyas características físicas y operacionales sean compatibles con las instalaciones.

Los servicios de un aeropuerto están divididos en dos secciones:

- Aeropuertos de servicios públicos: transportan pasajeros, carga, correo, etc.
- Aeropuertos de servicios privados: Industria privada, aviación agrícola, deporte aeronáutico, etc.

Para obtener permisos de construcción de un aeropuerto destinado tanto a servicio público, como privado, se deberá presentar la documentación correspondiente ante el organismo encargado del transporte del estado. En México se deberá entregar a la SCT por medio de la DGAC la siguiente documentación:

1. Solicitud por escrito.
2. Documento que acredite la personalidad del solicitante.
3. Documento que acredite la propiedad, posesión o uso de los terrenos.

Será necesario presentar los estudios de evaluación del proyecto aeroportuario que hagan factible su realización. Los cuales incluyen los estudios mencionados dentro del plan maestro y los proyectos particulares, así como el programa de obra.

Revisados los estudios, en caso de ser aprobados se otorgará el permiso respectivo teniendo que cubrir los derechos que marca la ley.

La concesión o permiso causa derechos, y además, debe aportar el porcentaje correspondiente de participación de utilidades que fija la SCT También deberán presentar las tarifas correspondientes para los servicios que ofrezcan.

Para aeropuertos que se encuentran en la etapa de ampliación o remodelación será necesario que antes y durante las obras de construcción, se tomen en cuenta algunas medidas de seguridad para evitar al máximo las interrupciones de operación en el aeropuerto. Estas consideraciones operacionales y medidas de seguridad se resumen en las siguientes¹:

- Mantener rutas de acceso a las áreas de operación de los vehículos de rescate y extinción de incendios.
- Suspensión o restricción de actividades en las áreas de trabajo con el debido señalamiento.
- Control de personal y equipo de construcción.
- Control de accesos temporales.
- Definir los representantes y las responsabilidades de cada dependencia, líneas aéreas y empresas involucradas.
- Control de ruido y polvo en áreas públicas.
- Elaboración de planos detallados en las áreas de trabajo.
- Desactivar las ayudas visuales luminosas de las áreas de operación cerrada.
- Programa secuencial de los trabajos.
- Otras medidas de seguridad adicionales que se requieran.

I.8 Procesos de construcción

El proceso de construcción que se describe es un proceso general para un aeropuerto, ya el desarrollo del mismo para cada una de las instalaciones y elementos que integran al aeropuerto, escapa a los objetivos de este trabajo. Por lo tanto se describe una secuencia que es flexible de las actividades de construcción en general que se realiza en un aeropuerto.

Es de vital importancia que en esta etapa se unifiquen e integren los equipos de planificación y construcción, ya que de no haber una buena comunicación e integración, resultarían ineficientes y costosos los trabajos de construcción. Por esto se deberá seguir un programa detallado de las actividades a realizar previniendo y tomando en cuenta el futuro desarrollo y ampliaciones que tendrá el aeropuerto.

I.8.1 Preparación del sitio y construcción: Estudios y trabajos preliminares.

Para la ejecución de los estudios y trabajos previos de campo se tendrán que realizar demoliciones de las obras existentes en el caso que las hubiese. Además, se deberá verificar la liquidación de los terrenos expropiados o comprados, bienes distintos de la tierra, adquisición de terrenos de pequeña propiedad y el cercado de los límites del aeropuerto. A continuación se procederá en forma simultánea a realizar el trazo, nivelación y distribución de los diferentes sitios donde se ubicarán las construcciones e instalaciones del aeropuerto, así como la distribución, construcción e instalaciones provisionales como son los campamentos, talleres, oficinas de campo, almacenes y bodegas, vialidades y accesos para fines constructivos, plantas de generación de energía eléctrica, abastecimiento de agua potable, desalojo de residuos líquidos y sólidos, caminos de acceso, comunicaciones, etc.

I.8.1.2 Desmante y despalle.

El desmante consiste en eliminar la vegetación existente en el área de trabajo, mientras que el despalle consiste en remover un determinado espesor del terreno natural. El material sobrante, deberá ser acarreado hasta los sitios previamente establecidos para materiales de desecho. Para realizar los trabajos antes mencionados se requerirá de maquinaria pesada, vehículos para desalojar los materiales sobrantes, además de personal técnico, operadores y trabajadores en general.

¹Boletín técnico obligatorio. Coordinación de trabajos de construcción y mantenimiento en aeropuertos SCT.DGAC:1989

I.8.1.3 Cortes y terraplenes.

Los cortes como su nombre lo indica son excavaciones en el terreno natural y tiene como finalidad nivelar accidentes topográficos en el área de construcción.

Los materiales de corte se clasifican en:

- Material tipo A: Material suelto de los suelos. Se presentan limos, arcillas y arenas.
- Material tipo B: materiales que presentan dificultades en su extracción. Aquí se encuentran los conglomerados medianamente cementados, etc.
- Material tipo C: Para la extracción de este material se requiere el uso de explosivos debido a su naturaleza dura y alta cimentación. Se encuentran las rocas basálticas, etc.

Los terraplenes normalmente se componen de los materiales provenientes de los cortes y su finalidad como la de los cortes, es la de mantener un nivel en el área de construcción. En ocasiones, el volumen del material de los cortes no es suficiente para el terraplén, por lo que para complementar el volumen se puede recurrir a los bancos de préstamo que abastecen al aeropuerto.

I.8.1.4 Agregados pétreos.

Es necesario contar con agregados pétreos durante la construcción de la obra, ya que estos son utilizados en la construcción de terracerías, subbase, bases, mezclas de concreto hidráulico y mezcla de los pavimentos asfálticos. Por lo que es indispensable disponer de uno o varios bancos de material lo más cerca posible de la obra para evitar retrasos y cambios en los programas de la obra.

I.8.1.5 Obras y servicios de apoyo.

Las obras y servicios de apoyo que se requerirán durante la preparación del sitio y durante la construcción de las obras del aeropuerto, estarán debidamente planeadas y programadas de acuerdo a las etapas constructivas y por lo tanto se deberán tener perfectamente definidas las áreas que se utilizarán para las instalaciones provisionales antes mencionadas. Asimismo, se deberá contemplar la programación para el desmantelamiento de las obras y servicios de apoyo, hasta la entrega del aeropuerto.

El desmantelamiento de las mismas será por etapas y conforme al avance de la obra, de tal forma que al término de una construcción se deberán retirar las obras e instalaciones de apoyo a manera que no se obstaculice la realización de otras tareas de tipo constructivo.

I.8.1.6 Requerimientos de agua.

Los requerimientos de agua en el área de la construcción serán principalmente para su uso en la compactación de terracerías, fabricación de concreto hidráulico, para consumo y limpieza de los trabajadores. Desde luego el agua para consumo humano deberá de ser de calidad potable. Durante el inicio de la construcción se requerirá que el agua sea proporcionada por medio de servicio de pipas, ya que en esa etapa no se contará con pozos para su suministro. Debido a que generalmente el aeropuerto se encuentra aislado de los diferentes servicios, es probable que sea necesario suministrar el agua de los pozos más cercanos.

I.8.1.7 Descarga de aguas residuales.

Considerando las muchas actividades, será necesario que se utilicen letrinas del tipo seco, las que deberán ubicarse cerca de los sitios de trabajo, a fin de evitar el fecalismo al aire libre y la pérdida de tiempo de traslado, la ventaja de este tipo de servicios es que la empresa arrendadora es la que se encarga del mantenimiento. Debería evitarse la cercanía con los pozos de abastecimiento si los hubiese.

I.8.1.8 Suministro de materiales y proveedores.

Para cumplir con los programas y calendarios de la obra se requiere que los materiales y elementos de construcción se encuentren disponibles en la obra en el momento que sean requeridos evitando así, la pérdida en el tiempo de realización de las obras y atrasos en el tiempo de entrega. Para esto es necesario haber establecido convenios y compromisos previamente con los proveedores cumpliendo con las normas de calidad y suministro oportuno de materiales en el sitio. Es común fabricar y elaborar los materiales de construcción en la obra debido a la ubicación del aeropuerto con respecto a proveedores y casas de materiales, contando el aeropuerto con su propia maquinaria, equipo y plantas para su elaboración.

I.8.2 Períodos de construcción.

Antes de iniciar las obras que integran el proyecto aeroportuario se realizarán algunos estudios y trabajos previos de campo, obras y servicios de apoyo, etc., para la preparación del sitio. Técnicamente es factible iniciar la construcción de las obras en paralelo o en forma casi simultánea con las obras y servicios

de apoyo para la preparación del sitio, lo cual beneficia a la ejecución del proyecto en costo y tiempo. Sin embargo, existen obras que requieren su construcción antes que otras como es el caso de las terracerías, por lo que será necesario iniciar el proceso con este tipo de elementos.

Las obras e instalaciones por construir se agrupan en las siguientes:

- A. Vías de comunicación y acceso.
- B. Pavimentos.
- C. Pistas.
- D. Calles de rodaje.
- E. Plataformas.
- F. Edificaciones.
- G. Zonas de servicio de apoyo.
- H. Zonas de servicios generales.
- I. Subestaciones eléctricas.
- J. Zona de combustible.
- K. Planta de tratamiento de aguas residuales.
- L. Drenaje del aeropuerto.

A continuación se presenta una descripción de cada una de ellas en su proceso constructivo.

1.8.3 Vías de comunicación de accesos.

Se deberá hacer una evaluación de la infraestructura del transporte existente en las inmediaciones del aeropuerto, así como del sistema carretero que comunique las zonas urbanas con el aeropuerto.

Debido a que la presencia del aeropuerto generará un aumento en el movimiento de vehículos en la zona, se deberá estudiar la capacidad del circuito de caminos que servirán de unión entre las zonas urbanas y el aeropuerto. En caso de que sea insuficiente la capacidad actual de las vías carreteras para atender la demanda futura, es necesario ampliar, rehabilitar, o en su caso construir nuevos caminos que faciliten el acceso al aeropuerto.

A las vialidades existentes se les debe dar mantenimiento y mejorar su señalamiento. Para la construcción de los nuevos caminos se deben realizar obras de protección y señalamiento. Enseguida, las actividades incluyen:

- Desmontes y despalmes.
- Retiro de material pétreo, no apto para su uso constructivo.
- Corte y terraplén de acuerdo a los proyectos geométricos.
- Formación de terracerías compactadas al porcentaje establecido del proyecto.
- Construcción de la subbase, compactada al porcentaje establecido en el proyecto.
- Construcción de la base, compactada al porcentaje establecido en el proyecto.
- Pavimentación asfáltica y su sello correspondiente, o,
- Pavimentación hidráulica y sus juntas correspondientes.
- Pinta de señales de separación de los carriles, acotamientos y las guarniciones.
- Retiro de obras de protección y señalamientos provisionales.
- Acondicionamiento de áreas verdes y jardines.
- Instalación de señalamientos verticales y alumbrado público.

De igual manera deberán de identificarse la red de caminos que facilitarán la comunicación y transporte terrestre de los usuarios y del personal que laborará en el aeropuerto. Tratando de aprovechar estos caminos se realizarán una serie de obras como son: pasos a desnivel, desviaciones, puentes, etc., y

en caso necesario la construcción de un camino de acceso que comunique algunas de estas carreteras con el aeropuerto.

Terminada la infraestructura, se puede comenzar con la construcción de la superficie de rodamiento que pueden ser de concreto hidráulico o pavimento asfáltico.

I.8.4 Pavimentos: Diseño y construcción.

El diseño de pavimentos que presentan las pistas, calles de rodaje y las plataformas, mantienen los mismos principios constructivos que los utilizados para el pavimento de estacionamientos, del camino perimetral y caminos de acceso, pero existen ciertas diferencias entre ellos.

- Los vehículos que circulan ahí son más pesados que los que transitan por carreteras.
- La presión de las llantas es considerablemente mayor.
- La repetición de las cargas es menor que las de una carretera normal.
- La concentración de las cargas se dan en zonas céntricas, mientras que las de una carretera se dan en las zonas laterales.
- La velocidad y condiciones de operación de las naves son mayores a las de los vehículos que circulan por la carretera.

El diseño y la conservación de los pavimentos de un aeropuerto son de un interés muy especial, ya que siendo las vías de rodaje de los aviones, se ven sometidos a grandes esfuerzos al paso de los mismos, principalmente en las áreas consideradas como críticas donde el movimiento de las naves es lento y actúan a su carga máxima.

Existen algunos criterios para la selección entre pavimentos rígidos y flexibles siendo de gran trascendencia entre ellos el costo y la capacidad estructural, agrupando los siguientes factores:

- Costos, financiamiento y seguridad, comodidad y futuras expansiones, capacidad del terreno de soporte, características de los materiales de construcción, factores climatológicos predominantes de la región, frecuencia del tránsito, velocidad de los vehículos, capacidad para soportar la repetición y concentración de cargas, esfuerzos a que se someterá, procedimientos constructivos, mantenimiento y conservación a futuro.

Es importante señalar que uno sólo de los factores mencionados puede influir determinantemente en la selección; es posible también que el criterio se tome mediante el conjunto de varios de estos factores.

I.8.5 Clasificación de pavimentos

Los pavimentos se dividen generalmente en flexibles y rígidos:

i. Pavimentos flexibles:

1. Concreto asfáltico de varias capas.
2. Concreto asfáltico de una capa integral.

Los pavimentos rígidos a causa de su módulo de elasticidad alto y por su rigidez distribuyen las cargas sobre una área considerable del suelo, por lo que gran parte de la capacidad estructural del pavimento es proporcionada por la losa de concreto en sí misma; por esta razón las variaciones menores en la resistencia del terreno de soporte tienen poca influencia en la capacidad estructural del pavimento rígido.

ii. Pavimentos rígidos:

1. Concreto hidráulico simple sin refuerzo
2. Concreto hidráulico con refuerzos en juntas y con refuerzo continuo.
3. Concreto pre-esforzado.
4. Concreto y asfalto combinados verticalmente y horizontalmente.

Por su parte los pavimentos flexibles funcionan con el principio del sistema de capas para obtener la capacidad estructural de soporte donde la capa más resistente y de mayor calidad se encuentra en la superficie decreciendo calidad y resistencia hacia las capas inferiores.

Estos dos tipos de pavimento difieren tanto en la forma de distribuir las cargas sobre el terreno de soporte, como en su aspecto constructivo, y en los materiales que se utilizan.

I.8.6 Proceso constructivo de los pavimentos

Al término de los trabajos preliminares se inicia la construcción y con el proyecto se definen las líneas de referencia y bancos de nivel; se rectifican trazos y niveles de terreno natural y se comparan con los perfiles, secciones y rasantes del proyecto autorizado. Verificando lo anterior se realizan cortes, terraplenes y la compactación de la subrasante.

I.8.6.1 Pavimento de concreto asfáltico o flexible

Este pavimento consta de tres capas, cuyo espesor esta condicionado al trabajo al que se verán sometidas: La primera capa partiendo de la subrasante es la subbase, la segunda es la base y la tercera es la carpeta asfáltica, (Figura. No. 1.2).

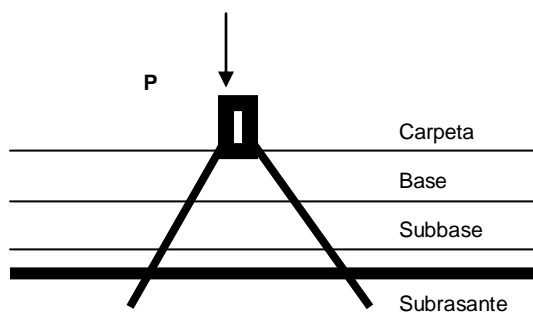


Fig. 1.2 concreto asfáltico. Fuente Apuntes de Construcción FI.

La sub-base tiene como finalidad complementar un cierto espesor requerido por el pavimento. Está se coloca entre la base y la subrasante y sus funciones son:

Soportar la carga rodante y transmitirla a la subrasante, proporcionar el drenaje adecuado sin alterar las características de los materiales que la integran, dar protección al pavimento contra el congelamiento.

El procedimiento para el tendido de la sub-base es:

Se acarrean y se tiran los materiales sobre la subrasante formando camellones, se mezclan estos materiales en seco y se les agrega agua por medio de riego hasta obtener la homogeneidad y humedad, se tiende el material en capas sucesivas, y se compacta hasta alcanzar el grado de compactación fijado por el proyecto sobreponiendo las capas hasta obtener el espesor y sección especificada.

I.8.6.3 Construcción de la base

La base es el componente principal estructuralmente hablando de un pavimento flexible y es la capa de apoyo de la carpeta asfáltica, se construye con material seleccionado, su función principal es transmitir de manera uniforme las cargas concentradas de los vehículos rodantes a las capas inferiores, proporcionar el drenaje adecuado al pavimento, controlar los esfuerzos producidos por la dilatación y contracción, causados por cambios de temperatura y humedad, evitando así agrietamientos en la superficie.

Estos materiales tienen un control de selección más exigente que en las carreteras y los requisitos de compactación son más estrictos. En los aeropuertos desde la subrasante la compactación es con altos pesos volumétricos y a mayor profundidad que en las carreteras, con una mayor importancia en donde se localizan las áreas más críticas.

El procedimiento constructivo es:

Se acarrean y se colocan los materiales para la base a una distancia previamente definida por el espesor de la capa que se va a tender, se mezclan en seco para obtener un material uniforme, extendiendo parcialmente el material y agregando agua hasta obtener homogeneidad. Se tiende el material en capas con un espesor igual o menor a 15 cm y se compacta, sobreponiendo capas hasta obtener el espesor y sección requeridos, se dan riegos superficiales de agua, durante el tiempo de la compactación únicamente para compensar la pérdida de humedad por vaporización, en las tangentes la compactación se inicia de las orillas hacia el centro y en la curva del interior hacia la parte exterior, cuando se trata de un pavimento flexible, la base terminada y superficialmente seca, se barre para eliminar el polvo, antes de aplicar el riego de impregnación, que la protegerá de filtraciones de agua que pudieran alterar su grado de compactación.

1.8.7 Carpeta asfáltica

Las características de una carpeta asfáltica son:

Proporcionar resistencia para que las cargas aplicadas sobre superficies no provoquen deformaciones perjudiciales en las capas inferiores, transmitir las cargas a las capas de apoyo, tener resistencia al desgaste y al intemperismo, ser impermeable para que el agua pluvial no penetre a las capas inferiores y las destruya, proporcionar una superficie antiderrapante y sin asperezas evitando el acuaplaneo y el desgaste excesivo de los neumáticos de los aviones.

Con la base y la sub-base bien construidas, se da la construcción de la carpeta asfáltica.

Después de verificar todo lo referente a la superficie de la base, se procede a barrer la superficie con barredoras, cuya finalidad es eliminar el polvo suelto y las materias extrañas, se cuida el nivel de la superficie para evitar encharcamientos por acumulación de asfalto excesivo

Posteriormente al barrido se aplica un riego de impregnación cuya función es impermeabilizar y dar afinidad y adherencia entre la base y la carpeta asfáltica.

El tipo de asfalto más adecuado para este riego, depende principalmente de su viscosidad y de la textura de la base.

Posteriormente se permite que fluya el riego durante 48 hrs mínimo después de lo cual se procede a barrer nuevamente la base y se aplica un riego con productos asfálticos, que consiste en una mezcla elaborada con materiales pétreos, arena, grava y asfalto.

La mezcla que se utiliza en aeropuertos, se elabora en planta, esta mezcla se coloca en capas uniformes, que se irán compactando con rodillo, teniendo el cuidado de obtener una carpeta de alta calidad. Una vez tendida la mezcla se dará una compactación inicial con rodillos metálicos y la compactación final se logrará con planchas de rodillos lisos y neumáticos, esta última fase de compactación, debe de obtenerse el mismo día del tendido de la mezcla.

Una vez terminada la carpeta asfáltica, el laboratorio determina su grado de permeabilidad y su compactación si se encuentra dentro de las especificaciones del proyecto no se requerirá de ninguna protección adicional en la carpeta, en caso contrario el laboratorio indicara algún riego especial a base de morteros asfálticos que permitan el sellado de la carpeta

1.8.8 Construcción del pavimento de concreto hidráulico o rígido

Este tipo de pavimentos está formado por dos capas: la sub-base que sirve de apoyo y una losa de concreto hidráulico con o sin acero de refuerzo; al acero no disminuye el peralte de la losa, aunque puede aumentar las dimensiones de la misma, con una menor cantidad de juntas constructivas. Figura 1.3

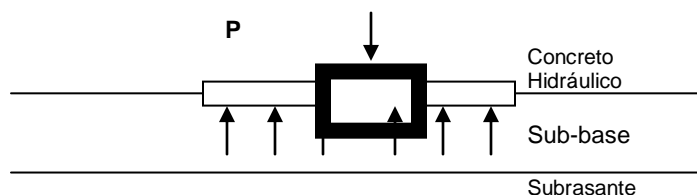


Figura 1.3 Concreto Hidráulico. Fuente apuntes de Construcción FI.

Los esfuerzos de estos pavimentos, se presentan por cargas externas repetitivas por cambios cíclicos de temperatura, por contracciones, por expansiones, por alabeo, por cambios en el contenido de la humedad y por cambios volumétricos en la subrasante y en la sub-base.

Se construye en áreas que se consideran como críticas que son aquellas donde se presentan las mayores deformaciones del pavimento y donde el avión tiene carga máxima, esto sucede en plataformas, calles de rodaje y cabeceras de las pistas.

Los pavimentos de concreto por su módulo de elasticidad y su rigidez tienden a distribuir la carga sobre un área considerable de suelo, por lo que gran parte de la capacidad estructural del pavimento es proporcionada por la losa de concreto, por esta razón las variaciones menores en la resistencia del terreno de soporte tienen poca influencia en la capacidad estructural del pavimento rígido.

La sub-base se construye con materiales estables de bancos de préstamos seleccionados previamente. Esta capa sirve de apoyo a las losas de concreto y tienen como funciones principales las siguientes:

Contrarrestar las acciones de las heladas, drenar eficazmente el agua que penetra, sin alterar las características de diseño, soportar las cargas que le transmite la losa, contrarrestar los cambios volumétricos de la capa subrasante y los efectos de alabeo.

I.8.9 Construcción del pavimento hidráulico

El procedimiento constructivo más usual es el siguiente:

Cuando la sub-base ha sido terminada se rectifica y protege con un riego de impregnación de tipo asfáltico, para prevenirla de los efectos del agua; se marcan las cotas de la rasante para colocar los carriles guía y los moldes metálicos perfectamente alineados, nivelados y fijos, mismos que previamente se han engrasado para evitar el descascaramiento del concreto durante el descimbrado, cuando el pavimento diseñado lo indique se coloca el acero de refuerzo o malla de acero limpio, sin escamas, libre de óxido, grasa y aceites.

I.8.10 Construcción de juntas.

Las juntas que se construyen en las losas de los pavimentos de concreto, evitan que las grietas aparezcan en forma desordenada a lo largo y ancho de las mismas. Se cuidan que quede perfectamente sellada e impermeable para evitar la penetración de materias extrañas, y las filtraciones de agua que provocan fallas por socavación de la base.

Cuando las juntas están bien situadas y perfectamente construidas reducen los esfuerzos que se producen en las losas por cambios volumétricos, extracción o expansión del concreto, además facilita la transmisión de cargas de una losa a otra, reduce los alabeos y facilita la construcción entre losas, al unir el concreto de la jornada anterior a la del día siguiente.

Estas juntas constructivas se clasifican de acuerdo a su función o posición que guarden en el interior de las losas, así se tienen: juntas longitudinales, transversales, de contracción, de expansión, de articulación, de construcción, etc.

I.8.11 Construcción del pavimento mixto o combinado

Otra forma de construir un pavimento, es aquella en la cual se aprovechan las cualidades de los pavimentos rígidos y flexibles, esta combinación puede hacerse vertical y horizontalmente, lo que nos da como resultado un pavimento mixto.

La ventaja principal de este pavimento radica es su economía ya que la carpeta asfáltica cubre la mayor área y las losas de concreto la menor.

I.8.12 Construcción del pavimento de concreto pre-esforzado

En algunos aeropuertos se ha probado el uso de concreto preesforzado en los pavimentos, tratando de tener así mayores ventajas, que las logradas con los pavimentos de concreto convencionales, en pruebas se ha visto, que el concreto preesforzado: reduce el número de juntas, reduce los agrietamientos y disminuye el volumen de concreto utilizado, su uso es aun limitado debido al costo de construcción, que es mayor que el del pavimento de uso convencional.

I.9 Pistas

El sistema de pista de un aeropuerto consiste en los siguientes elementos, (figura 1.4):

- El pavimento estructural que soporta la carga estructural aplicada por el peso del avión, también permite maniobrabilidad, control y estabilidad.
- El sector contra chorro es un área diseñada para prevenir la erosión de las superficies adyacentes a los finales de las pistas las cuales están sujetas a un prolongado o repetido chorro de reacción de los aviones.
- Una zona de parada la cual es una longitud adicional de pavimento que se prolonga rebasando el extremo de la pista.
- El área de seguridad de pistas es un área la cual ha sido despejada, e incluye pavimento estructural, los márgenes adyacentes, el sector contra chorro y zona de parada, esta área

debe ser capaz de soportar equipos de emergencia y mantenimiento, así como proporcionar también soporte a los aviones en caso de que tuvieran que virar fuera del pavimento.

- Una zona libre de obstáculos es una zona no pavimentada, situada más allá del extremo de la pista

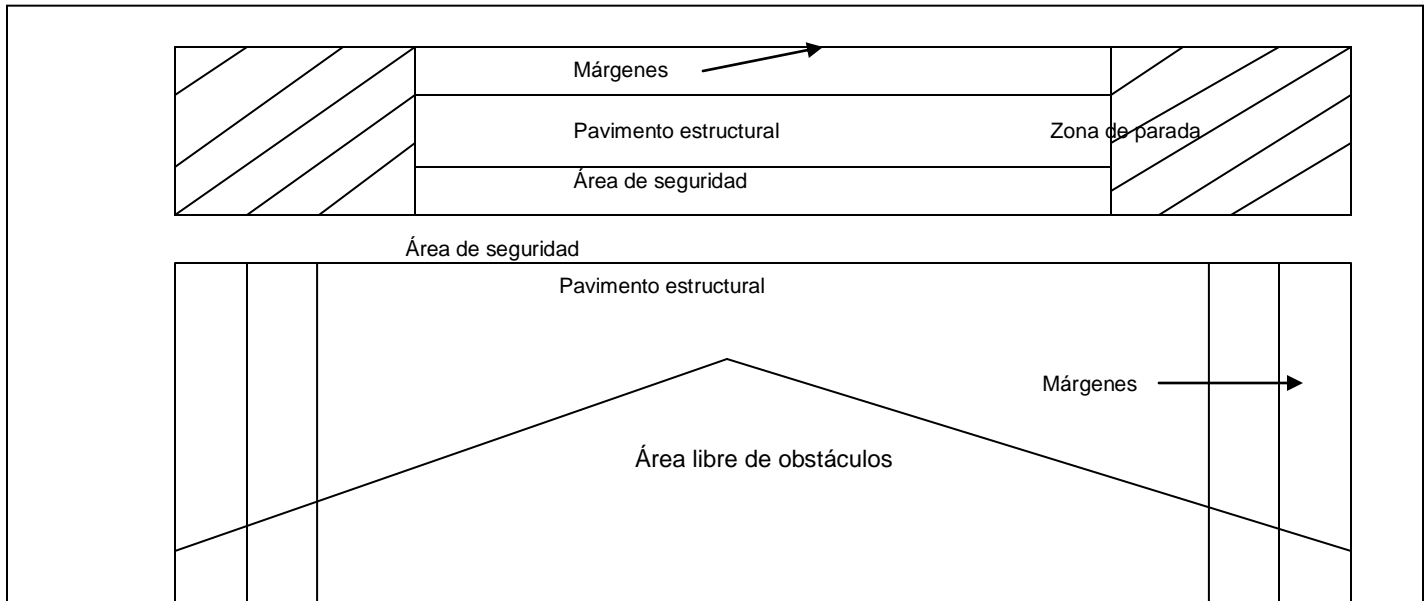


Figura. 1.4 Elementos de una pista. Fuente OACI.

I.9.1 Condiciones de pista para su construcción

Las condiciones más importantes que influyen en la construcción de una pista son:

- Temperatura. Cuando mayor sea la temperatura, mayor es la longitud de pista requerida.
- Viento: Mientras más fuerte sea el viento de frente más corta será la longitud de pista y un viento grande provocará un alargamiento de pista.
- Pendiente de pista. Si la pendiente es ascendente se requiere mayor longitud y si la pendiente es uniforme la relación con la pista es lineal y también es usada una pendiente efectiva que es la diferencia de elevaciones entre el punto más alto y el punto más bajo en el perfil de pista dividida por su longitud.
- Altitud: Cuanta más alta sea la elevación del aeropuerto mayor pista será necesaria.
- Condiciones de la superficie de la pista: si existieran agua o nieve pueden causar efectos indeseables sobre la pista y para los aviones. Por lo que es importante contar con un sistema de drenaje adecuado, para remover el agua de la superficie.

I.9.2 Orientación y número de una pista

Para determinar el lugar, la orientación y el número de pistas necesarias, se requieren conocer una serie de factores que ayudarán a obtener el mejor sitio de la pista. Principalmente, viento, nubes, niebla, topografía, etc., conocer el tipo de aviones que operará, así como las características propias de los mismos.

Para obtener el número de pistas que necesita un aeropuerto, es importante que este sea el adecuado para cubrir las necesidades del tránsito aéreo en el aeropuerto, considerando, el número de llegadas y salidas y su relación de llegadas y salidas en horas críticas.

Es importante que la pista principal esté orientada en la dirección del viento predominante. Es fundamental que el avión al aterrizar o despegar, sea capaz de maniobrar en la longitud de pista, siempre que la componente de viento cruzado no sea excesivo.

Las pistas deben estar orientadas por lo menos 95% del tiempo como componente de viento cruzado que no exceda ciertos límites de velocidad.

I.9.3 Configuración de pistas

En los aeropuertos existe una gran variedad de configuraciones de pistas, que dependen del número de estas y las necesidades de cada aeropuerto. Muchas configuraciones se derivan de la combinación de pistas llamadas básicas. Estas configuraciones son: única ó sencilla, paralelas, interceptadas, en V abiertas, que se cortan.

Dependiendo de la configuración de pistas adoptadas por cada aeropuerto, se verán afectadas instalaciones como: edificio terminal, torre de control, calles de rodaje, plataformas, hangares, áreas de almacenamiento de combustible, áreas de estacionamiento, rescate, etc.

I.9.4 Operación de una pista

Los factores sobre la longitud de pista, pueden ser agrupados en tres categorías generales:

Los requerimientos de funcionamiento propios del avión, intermediaciones del aeropuerto, las operaciones de despegue y aterrizaje frustrado así como los pesos para cada tipo de avión.

Es importante señalar que para operaciones seguras, se establecen tres casos generales para longitudes de pista necesaria.

- Un despegue normal en el cual todo los motores se encuentran disponibles.
- Un despegue donde se presenta una falla de motor, o que el avión frene hasta él alto total.
- El aterrizaje donde se necesita suficiente pista para permitir diferentes tipos de aterrizaje y que prevenga malas aproximaciones, etc.

Si las operaciones se efectuaran en ambos sentidos de la pista, como es el caso usual, los componentes deberán de existir en cada dirección.

I.9.5 Calles de rodaje

El proceso constructivo de las calles de rodaje es el mismo que el de las pistas, pero dado que algunas características son diferentes, como las velocidades, los criterios en cuanto su construcción no son tan estrictos como los de las pistas.

I.9.6 Plataformas

Las pistas, calles de rodaje y plataformas presentan y mantienen los mismos procesos constructivos en los cuales intervienen criterios de selección entre pavimentos.

I.10 Edificaciones

Para iniciar la construcción de un edificio se ubica el trazo general de los ejes y de los niveles, verificando el trazo contra los planos autorizados del proyecto ejecutivo.

Las estructuras de los edificios de un aeropuerto, pueden ser a base de: estructuras de acero, de concreto reforzado, de mampostería, de madera o una combinación de éstos.

La estructuración puede adoptar distintas características y formarse con muros de carga, traveses y columnas o a partir de marcos rígidos con columnas, traveses y losas planas macizas o reticulares, durante el tiempo de la obra se requiere de pruebas de calidad tanto de los materiales que utilizan como de los trabajos que se ejecutan, por eso es necesario contar con un laboratorio que controle y verifique calidad y resistencia.

I.10.1 Edificio terminal o de pasajeros

La construcción del edificio de pasajeros no difiere en mayor medida de la construcción de un edificio común. Los factores que se deben tomar en cuenta para la construcción del edificio son los siguientes:

Diseño estructural que garantice la estabilidad de la estructura bajo condiciones previstas en el proyecto (diseño por viento, sismo, cargas, etc.). Alta calidad y durabilidad de los acabados debido al tránsito y estancia de usuarios por períodos largos. Elevada calidad en el montaje y terminado de las instalaciones eléctricas, mecánicas y electrónicas, por su uso continuo y prolongado. Esto debido a la dependencia de la seguridad de los usuarios en estos equipos.

I.10.2 Torre de control

El proceso constructivo consiste en realizar la edificación de una estructura de concreto hidráulico reforzado, equiparlo y dotado de todas las instalaciones necesarias. Deberá estar ubicada cerca del centro de la pista para observar la zona aeronáutica y las plataformas.

I.10.3 Estacionamientos

El proyecto deberá contemplar que conforme aumente la demanda, se incrementará la capacidad de lugares de estacionamiento para vehículos, pudiéndose construir un edificio de varios niveles. Deberá contar con alumbrado, vialidades y accesos que faciliten la circulación de vehículos y personas, a los edificios terminales y hoteles, como para entrada o salida del aeropuerto, deberá contar con espacios para minusválidos y construir rampas para la circulación de estos pasajeros.

Todas estas zonas deberán estar claramente señaladas y definidas tanto en salidas como en llegadas del aeropuerto.

I.11 Zona de combustible

Los almacenamientos generalmente están integrados por tanques apoyados en cimentaciones de concreto armado las cuales a su vez están apoyados en terraplenes compactados. Los tanques deberán contar con tuberías de entrada y salida con dispositivos de control y seguridad, áreas de filtrado y bombeo, zonas de equipo de seguridad, dispositivos o instalaciones de bombeo, fosas de contención de derrames, fosas de recuperación y sistemas de drenaje industrial.

El proceso de construcción se iniciará con los trabajos preliminares de deslinde o limitación de las áreas de trabajo, se realizarán las obras de protección y desvío, se harán los desmontes y despalmes correspondientes hasta los niveles de proyecto. A continuación se procede a verificar los trazos y niveles para seguir con las excavaciones para ductos, tuberías y sistemas, para proceder a las instalaciones de plantillas y camas para la colocación y soporte de estos, para continuar con el desplante de estructuras. En forma simultánea, se procederá a la construcción de terraplén compactado para el soporte y apoyo a vialidades y bases para la cimentación de los tanques de acero, se iniciará la construcción de las cimentaciones de concreto armado, las trincheras, canales, zampados y revestimiento en general, y se iniciará la construcción de fontanerías y de tanques metálicos.

Para la construcción de oleoductos, áreas de filtrado y bombeo, zonas de equipo y seguridad, fosas de derrame y de recuperación, dispositivos de seguridad, etc., se observarán entre otras las normas de la API², ASTM³, PEMEX⁴, SCT⁵/ASA⁶ y el reglamento de construcciones de la localidad.

I.12 Drenaje

El diseño del sistema de drenaje del aeropuerto es primordial para garantizar la eficiencia y seguridad operacional del aeropuerto, la estabilidad del pavimento. Las instalaciones inadecuadas del drenaje pueden generar daños cuantiosos, debido a que podrían ocasionar la inundación de las pistas y del propio aeropuerto, así como interrumpir el tráfico aéreo.

El método más usual para el diseño del drenaje es el método racional y los factores que influyen en la magnitud del escurrimiento de superficie.

- Coeficiente de escurrimiento.
- Intensidad de precipitación, duración y frecuencia.

Este método establece:

$$Q = CIA$$

Donde:

Q = Gasto de escurrimiento. C = Coeficiente de escurrimiento.
I = Intensidad de lluvia. A = Área.

² API (American Petroleum Institute)

³ ASTM (American Society of Testing and Material)

⁴ PEMEX (petróleos Mexicanos)

⁵ SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes)

⁶ ASA (Aeropuertos y Servicios Auxiliares)

I.12.1 Diseño de canales.

Las zanjas o canales abiertos, generalmente constituyen una parte importante de un sistema de drenaje total del aeropuerto. El tamaño, forma e inclinación de estos deben determinarse cuidadosamente para evitar inundaciones, erosión y aislamiento.

Los sistemas para recolectar el agua superficial o subterránea, lo componen drenajes combinados o separados.

El drenaje superficial abarca toda el área del aeropuerto, el subsuelo adyacente a las pistas, plataformas, calles de rodaje, zonas de seguridad, etc.

I.12.2 Drenaje pluvial

Para proyectar el drenaje pluvial, es necesario contar con los siguientes elementos:

Plano topográfico del sitio y zonas que lo circundan, con curvas de nivel, con perfiles y secciones transversales a lo largo del eje de las pistas, calles de rodaje, plataformas, etc., datos de precipitación pluvial la zona y condiciones climáticas, estudio de las características de los materiales que forman el subsuelo.

Cuando el sitio donde se ubica el aeropuerto esta formado por suelos de alta permeabilidad o autodrenantes, se evita un sistema extenso de drenaje superficial. Si por el contrario el sistema es impermeable y las filtraciones del agua superficial son despreciables, se requiere de un sistema que drene satisfactoriamente el volumen de agua que se haya estimado.

El agua superficial de las pistas, se encauzan hacia los colectores por medio de una pendiente transversal con lo que se evita que el agua erosione las superficies de rodamiento, origine fallas y por consecuencia la interrupción del tránsito.

I.12.3 Construcción del subdrenaje

Para captar el agua subterránea se pueden construir subdrenes interceptores, con lo que se drenan las capas saturadas y se controla el contenido de agua. Estos drenes se colocan paralelos a las pistas y bordes, su misión es captar y facilitar la salida de las aguas que se filtran.

I.12.4 Drenaje sanitario e industrial

El drenaje sanitario desaloja las aguas negras vertidas, de los edificios y el drenaje industrial evacua las aguas de desecho, de las zonas de combustible y hangares, las cuales antes de conducirlas al exterior del aeropuerto reciben un tratamiento, para evitar contaminación de otras corrientes o eliminar el peligro, en el sitio donde se descarguen.

El agua de desecho industrial, producto de la zona de combustible y hangares, son tan bien recogidas por colectores que las envían, de acuerdo a las sustancias que contienen, a una planta de tratamiento o directamente al colector principal.

I.13 Operación de un aeropuerto

Una vez terminada la construcción, se pone en marcha la operación del aeropuerto, es importante que el personal previamente seleccionado esté debidamente capacitado para asumir la responsabilidad y brindar el servicio adecuado. En la conservación y mantenimiento se requiere personal calificado, para mantenerlo en óptimas condiciones y prolongar así su vida útil; se tendrá su máximo aprovechamiento y se evitan deterioros por descuido y negligencia. Cada día la ingeniería de mantenimiento requiere de más personal capacitado para lograr la máxima eficiencia de los motores y de los aviones.

Por otra parte, las compañías aéreas investigan y desarrollan nuevas técnicas de diseño, de fabricación y de mantenimiento para modernizar su equipo, mejoran su red de servicios y hacen frente a la necesidad de mejorar la administración.

En las operaciones que tiene que hacer sobre tierra, los ingenieros han desarrollado tecnologías nuevas, por medio de las computadoras han modernizado los procedimientos de operación, control de tránsito aéreo, control de los sistemas de seguridad, control y fijación de nuevas rutas, ofrecen además nuevos servicios a los usuarios.

El gran número de sistema de computadoras se encuentran interconectadas a sistemas de recopilación y transmisión de datos, para facilitar y coordinar funciones, entre las que se encuentran: la operación de sistemas, control de equipos y de subestaciones, diagnóstico automático de inspección a los

equipos, conservación y mantenimiento de equipo terrestre y aéreo, control de los sistemas de seguridad para prevención de accidentes e incendios, etc.

I.14 Mantenimiento y seguridad del aeropuerto

Los ingenieros de aeropuertos deben saber dónde, cuando y como ocurren los accidentes de las aeronaves: El 5% de los accidentes ocurren en ruta y son ocasionados por fallas estructurales, por agotamiento, mal tiempo y montañas, el 15% ocurren cerca de los aeropuertos o dentro de estos, algunos son por mal tiempo, a otros se les asocia por fallas de motor, coaliciones de tránsito, descender prematuramente en terrenos altos, el 80% ocurren sobre la pista de aterrizajes, por inundamiento de áreas y zonas claras, principalmente los accidentes los ocasiona el viento y el mal pilotaje de la nave. La mayoría de los accidentes ocurre dentro de los 150 m de la pista de aterrizaje de la línea central y dentro de 900 m del fin de la pista de aterrizaje.

Se debe cumplir con las tareas de mantenimiento para asegurar el servicio y el funcionamiento de las instalaciones que componen al aeropuerto, así como el equipo que opera en él.

El principal objetivo del mantenimiento en un aeropuerto, es el conservar la seguridad de operación de la aeronave para aterrizaje, rodaje y despegue. Este nivel de seguridad se alcanza mediante el mantenimiento adecuado de las instalaciones del aeropuerto, este surge por la necesidad de mantener o conservar un óptimo funcionamiento operacional y, además, verificar y evaluar el funcionamiento del elemento en estudio. El mantenimiento de un aeropuerto se compone de tres etapas:

1. **INSPECCIÓN.-** Deberá existir un plan en el que estén programados las verificaciones de los elementos del aeropuerto, y así hacer un diagnóstico de cada uno de ellos para decidir si se requiere de un servicio o de efectuar arreglos o reparaciones.
2. **SERVICIO.-** Se refiere a las medidas necesarias para mantener a las instalaciones con el nivel de operación requerido. Es necesario cumplir con un plan en el que se especifique la periodicidad del servicio preventivo.
3. **REPARACIÓN.-** Si en cualquiera de las dos etapas anteriores se detectan anomalías, es necesario hacer las reparaciones lo antes posible. Para esto, se requerirá planificar bien estas reparaciones ya que pueden afectar la operación de otros elementos.

El mantenimiento reduce en gran medida el desgaste de las instalaciones, con lo que se amplía su vida útil. Es por esto que el mantenimiento debe ser tomado como una parte muy importante en el estudio económico del proyecto para mantener la inversión y disponer de recursos para los gastos de mantenimiento del aeropuerto.

Se deberá hacer una evaluación de todas las instalaciones del aeropuerto, junto con el equipo, maquinaria y vehículos. Una vez obtenida esta información, se establecerá un programa y calendario de mantenimiento. Estos programas, deberán llevar una metodología y se deberá explicar a detalle cada actividad de mantenimiento. En dichos programas se especificará el personal capaz de hacer dichas tareas y el calendario de realización del mantenimiento.

Haciendo una comparación entre las tareas programadas y las realizadas, se podrá obtener un control del mantenimiento y del presupuesto.

Se debe contar con el personal permanente durante las horas de servicio del aeropuerto para controlar cualquier anomalía en las instalaciones sin afectar su operación. Este personal deberá comprender, según las necesidades: ingenieros, técnicos en calefacción y acondicionamientos del aire, eléctricos, electrónicos y otros técnicos especializados.

Algunos de los trabajos de mantenimiento de mayor importancia que se presentan en la zona aeronáutica de un aeropuerto, son las siguientes:

Reencarpetado, bacheo y tendido de morteros en pistas, calles de rodaje y plataformas, reposición de las losas de concreto en pistas, calles de rodaje y plataformas. Sellados y reparación de juntas y grietas. Señalamiento horizontal (pintura) en pistas, calles de rodaje y plataformas, Limpieza de caucho en pistas, además de los drenajes.

En el manual de servicios de un aeropuerto se describe a detalle las tareas de mantenimiento para:

Ayudas visuales, instalaciones eléctricas, mantenimiento de pavimento, drenaje, mantenimiento en zonas no pavimentadas, mantenimiento de vehículos y equipos, edificios, etc.

Las condiciones básicas que se deben tomar en cuenta para lograr un buen diseño de seguridad, deben contemplar una red contra incendios y las condiciones básicas son:

- Consumo de agua litros/minuto.
- Tiempo que debe mantenerse el suministro.
- Presión que debe tener el agua en la salida de los hidrantes.

Para esto se debe tener una fuente de abastecimiento de agua con un volumen tal que pueda satisfacer las necesidades de demanda en caso de emergencia.

I.15 Normas oficiales mexicanas de construcción operación y mantenimiento de aeropuertos

Las normas oficiales mexicanas son regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las dependencias competentes, conforme a las finalidades establecidas en el artículo 40, del catálogo de normas oficiales mexicanas, que establece reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación.

El catálogo mexicano de normas contiene las Normas Oficiales Mexicanas (NOM's), el cuadro cita

Tabla 1.8. Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas.

Designación	Título	Fecha de publicación
NOM-012-SCT3-95	Que regula los procedimientos y requisitos del trámite de permisos para construcción y operación de aeródromos civiles.	13 Diciembre 1995
NOM-013-SCT3-1995	Que regula la evaluación y autorización de obras en terrenos cubiertos por superficies limitadoras de obstáculos y zonas de protección de aeródromos civiles.	20 Diciembre 1995
NOM-014-SCT3-1995	Que regula las superficies limitadoras de obstáculos para aeródromos civiles.	16 Enero 1996
NOM-016-SCT3-1995	Que regula la autorización de construcción y/o modificación de instalaciones para almacenamiento de combustibles de aviación.	29 Enero 1996
NOM-017-SCT3-1995	Que regula la autorización de construcción y/o modificación de hidrantes en plataforma y/o isleta para el suministro de combustible a las aeronaves.	16 Enero 1996
NOM-018-SCT3-94	Que regula los procedimientos para obtener extensión de servicios en los aeropuertos.	24 Noviembre 1995
NOM-026-SCT3-1994	Que establece las especificaciones mínimas a cumplir para la construcción de la estación para el cuerpo de rescate y extinción de incendios, en los aeropuertos y aeródromos civiles del país	8 Diciembre 1995
NOM-036-SCT3-2000	Que establece dentro de la república mexicana los límites máximos permisibles de emisión de ruido producido por las aeronaves de reacción subsónicas propulsadas por hélice, supersónicas y helicópteros, su método de medición, así como los requerimientos para dar cumplimiento a dichos límites	19 febrero 2001
NOM-026-SCT3-1994	Que establece las especificaciones mínimas a cumplir para la construcción para el cuerpo de rescate y extinción de incendios, en los aeropuertos y aeródromos civiles del país.	12 agosto 1994

Proyectos de Normas oficiales mexicanas aplicables a la aeronáutica		
Designación	Fecha	título
PROY-NOM-001-SCT3-1994	22/11/1995	Que regula el servicio de almacenamiento y suministro de combustibles de aviación.
PROY-NOM-004-SCT3-2000	05/12/2000	Que establece el uso obligatorio del equipo para medir e indicar la radiación cósmica a la cual está expuesto el personal de vuelo.
PROY-NOM-010-SCT3-94	29/11/1995	Que regula el procedimiento pro-abatimiento de ruido sobre la ciudad de México.
PROY-NOM-013-SCT3-1995	20/12/1995	Que regula la evaluación y autorización de obras en terrenos cubiertos por superficies limitadoras de obstáculos y zonas de protección de aeródromos civiles.
PROY-NOM-014-SCT3-1995	16/01/1996	Que regula las superficies limitadoras de obstáculos para aeródromos civiles.
PROY-NOM-015-SCT3-1995	09/01/1996	Que regula el señalamiento visual y luminoso de objetos.
PROY-NOM-016-SCT3-1995	29/01/1996	"Que regula la autorización de construcción y/o modificación de instalaciones para almacenamiento de combustibles de aviación."
PROY-NOM-017-SCT3-1995	16/01/1996	Que regula la autorización de construcción y/o modificación de hidrantes en plataforma y/o isleta para el suministro de combustible a las aeronaves.
PROY-NOM-020-SCT3-94	27/11/1995	Que regula los requisitos y procedimientos necesarios para la explotación de los servicios de los equipos revisores de pasajeros y/o equipaje de mano.
PROY-NOM-021-2-SCT3-2000	24/10/2000	Que regula los requisitos para la obtención y revalidación del Certificado de Aeronavegabilidad.
PROY-NOM-021-4-SCT3-2000	10/10/2000	Código que norma la certificación de productos aeronáuticos.
PROY-NOM-025-SCT3-1994	08/12/1995	Que regula los requisitos operacionales que deben reunir las aeronaves ultraligeras para volar en el espacio aéreo mexicano.
PROY-NOM-026-SCT3-1994	08/12/1995	Que establece las especificaciones mínimas a cumplir para la construcción de la estación para el cuerpo de rescate y extinción de incendios, en los aeropuertos y aeródromos civiles del país.
PROY-NOM-027-SCT3-1994	11/12/1995	Que establece los requisitos a cumplir por los explotadores de servicios conexos en los aeropuertos o aeródromos civiles.
PROY-NOM-028-SCT3-2000	29/09/2000	Que regula los requisitos para la elaboración, presentación y autorización de planes de vuelos.
PROY-NOM-043/2-SCT3-2000	09/10/2000	Que regula el mantenimiento de la aeronavegabilidad de las aeronaves, planeador, cuerpo básico para el caso de helicópteros, motores, hélices, componentes y accesorios.
PROY-NOM-045-SCT3-2000	10/11/2000	Que establece las características de las marcas de nacionalidad y matrícula para las aeronaves civiles mexicanas.
PROY-NOM-050-SCT3-2000	10/10/2000	Que establece las reglas generales para la operación de helicópteros civiles.

PROY-NOM-055-SCT3-2000	12/10/2000	Que establece la clasificación de las verificaciones aplicables a concesionarios, permisionarios, operadores aéreos y titulares de autorizaciones.
PROY-NOM-056-SCT3-2000	10/11/2000	Que regula la autorización de vuelos de traslado y concentración, traslados terrestres de aeronaves y/o sus componentes.
PROY-NOM-059-SCT3-2000	10/10/2000	Que establece el contenido del Manual de Seguridad Aérea.
PROY-NOM-075-SCT3-2000	03/10/2000	Que regula la prestación del servicio de transporte aéreo no regular, nacional e internacional.
PROY-NOM-076-SCT3-2000	11/10/2000	Que regula la prestación del servicio de transporte aéreo privado comercial.
PROY-NOM-077-SCT3-2000	03/10/2000	Que establece las condiciones de prestación del servicio entre el concesionario y/o permisionario y el usuario de sus servicios.
PROY-NOM-078-SCT3-2000	12/10/2000	Que establece las condiciones de seguridad que deben cumplirse en la cabina de pasajeros y compartimentos de carga para aeronaves destinadas al transporte de pasajeros.
PROY-NOM-079-SCT3-2000	11/10/2000	Que establece las condiciones de seguridad que deben cumplirse en las aeronaves destinadas al transporte de carga.
PROY-NOM-080-SCT3-2000	24/10/2000	Que establece las condiciones a las que debe sujetarse la práctica de deportes aéreos.
PROY-NOM-084-SCT3-2000	10/11/2000	Que establece el contenido del libro de bitácora.
PROY-NOM-088-SCT3-2000	03/10/2000	Que establece los procedimientos para el reabastecimiento de combustible a aeronaves.
PROY-NOM-090-SCT3-2000	12/10/2000	Que establece el método para determinar las altitudes mínimas de vuelo por parte del concesionario, permisionario y operador aéreo, inferiores a las publicadas por la Autoridad Aeronáutica , así como
PROY-NOM-092-SCT3-2000	17/08/2001	Que establece los criterios para la operación de aeronaves en tiempo frío, operaciones de deshielo, anti hielo y contaminantes naturales en tierra y en vuelo.
PROY-NOM-093-SCT3-2000	11/10/2000	Que regula las operaciones de largo alcance (ETOPS).
PROY-NOM-094-SCT3-2000	20/10/2000	Que establece las limitaciones de utilización del rendimiento de las aeronaves.
PROY-NOM-095-SCT3-2000	20/10/2000	Que establece las características y requerimientos para el uso de oxígeno a bordo de las aeronaves, condiciones de utilización y pérdida de presión en la cabina de aeronaves.
PROY-NOM-103-SCT3-2000		Que regula los requisitos operacionales que deben reunir las aeronaves ultraligeras para volar en el espacio aéreo mexicano, así como las características que deben reunir estas aeronaves.
PROY-NOM-108-SCT3-2000	12/10/2000	Que establece el contenido del manual de seguridad para la prevención de actos de interferencia ilícita.
PROY-NOM-142-SCT3-2000	06/11/2000	Que establece los requerimientos y especificaciones para el establecimiento y funcionamiento de un centro de formación, capacitación y adiestramiento o una combinación de éstos.