



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

PLANEACIÓN DE AEROPUERTOS

**T E S I N A**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN VÍAS TERRESTRES**

PRESENTA:

**ING. FERNANDO ARDAVIN BRAIDWOOD**

DIRECTOR DE TESINA: ING. FEDERICO DOVALÍ RAMOS

CIUDAD DE MÉXICO

MAYO 2016



A Fernando e Isabel.

A mis hermanas y sobrinos.

A Él.



## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	I
ANTECEDENTES .....	1
CAPÍTULO I: OBJETIVOS Y TIPOS DE PLANEACIÓN .....	7
I.1 Objetivos de la Planeación .....	7
I.2 Niveles de Planeación .....	9
CAPÍTULO II: PLANEACIÓN DE AEROPUERTOS .....	13
II.1 Demanda .....	16
II.2 Área de Influencia .....	18
II.3 Oferta de Infraestructura Aeroportuaria y Capacidad .....	21
II.4 Estudios Técnicos .....	25
II.5 Estudios Constructivos: de Reconocimiento y Topográficos .....	25
II.6 Estudios Meteorológicos .....	26
II.7 Estudios Económicos-Financieros .....	27
II.8 Estudios Sociales, Demográficos y de Seguridad .....	28
II.9 Localización .....	29
II.10 Estudios de Espacio Aéreo .....	31
II.11 Configuración del Espacio Aéreo .....	32
II.12 Pistas .....	33
II.13 Calles de Rodaje .....	36
II.14 Edificio de Pasajeros .....	38
II.15 Horizonte de Planeación .....	43
CAPÍTULO III: PLAN MAESTRO .....	45
CONCLUSIONES .....	52
REFERENCIAS .....	55



## **INTRODUCCIÓN**

Los aeropuertos son el espacio e infraestructura en el cual se realiza la conexión entre dos medios de transporte, el terrestre y el aéreo. Su importancia radica en la conexión de zonas de desarrollo de un país para propulsar la economía, turismo, comercio y comunicación de dichas zonas.

En estos espacios deben existir los medios necesarios para satisfacer los requerimientos para una operación de manera segura, sustentable y económicamente factible además de proporcionar confort y facilidad de uso. De esta manera se hace necesario un plan en el cual se analice el diseño, construcción, operación y conservación del aeropuerto, es decir, se requiere de la planeación de aeropuertos.

Esta necesidad de organización surgió al tener sistemas cada vez más complejos y difíciles de operar, se convirtieron en sistemas con complejas interrelaciones entre ellos lo cual requería una mayor forma de análisis y desarrollo.

Para poder hablar de un sistema primero debemos definir los componentes de un sistema, los cuales son: subsistemas que lo forman, las relaciones que existen entre ellos así como las fronteras con el medio ambiente. Los subsistemas son partes del sistema que en conjunto forman un todo integrado mientras que las relaciones pueden ser muy variadas entre los subsistemas, finalmente las fronteras definen o marcan la delimitación con el medio ambiente donde se ubica el sistema.

El aeropuerto por lo tanto es un conjunto de sistemas, cada uno con una función igual de importante, los cuales se desarrollarán a profundidad más adelante. Dentro de la Ingeniería de Sistemas el aeropuerto forma parte del sistema de transporte aéreo.

La Teoría General de Sistemas ha evolucionado enormemente desde su conceptualización en el siglo pasado, al ir creciendo los sistemas fue necesario desarrollar más ampliamente esta teoría hasta que a la fecha existen diferentes tendencias que buscan la aplicación de la misma a la práctica a través de las ciencias aplicadas, entre otras están la Cibernética, la Teoría de los Juegos, la Teoría de Decisión, la Teoría de la Información, la Investigación de Operaciones y la Ingeniería de Sistemas.

Dentro de la Ingeniería de Sistemas tenemos las etapas de planeación diseño, ejecución operación y mantenimiento del sistema, en este caso el sistema es el aeropuerto y se desarrollará la etapa de planeación dentro de este trabajo.

La planeación es en esencia ver hacia el futuro, es una visión de las condiciones actuales y cómo evolucionarán, es adelantarse a las acciones que se van a presentar y tener las

condiciones óptimas para enfrentarlas. De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas, la planeación es “un proceso de elección y selección entre cursos alternativos de acción, con vistas a la asignación de recursos escasos, con el fin de obtener objetivos específicos sobre la base de un diagnóstico preliminar que cubra todos los factores relevantes que puedan ser identificados”.

En otras palabras, la planeación consiste en obtener qué se debe hacer, cómo se debe hacer y en qué momento se debe hacer desde mucho antes de que sea necesario.

La planeación existe en todos los niveles, en nuestro país existe el Plan Nacional de Desarrollo el cual es un programa que se elabora al inicio de cada sexenio en donde se delimitan las rutas y objetivos que seguirá el país en los próximos seis años. A partir de este Plan Nacional de Desarrollo parten los Planes Sectoriales para cada sector económico del país. De forma paralela existe el Programa Nacional de Infraestructura en el cual están establecidos los programas, lineamientos y objetivos que se desean alcanzar en cuestiones relacionadas con la infraestructura del país.

## **ANTECEDENTES**

La necesidad del hombre por volar se remonta hasta los registros históricos en la Antigua Grecia, alrededor del año 400 a.C., un gran matemático, llamado Arquitas de Tarento, construyó un artefacto de madera al que él mismo bautizó con el nombre de Peristera, que tenía forma de ave y era capaz de volar unos 180 metros de altura. Utilizaba un chorro de aire para alzar el vuelo, pero no se tiene constancia de qué era lo que producía ese chorro. Otro artefacto notable de esa época es la cometa, inventada por los chinos sobre el año 300 a.C.

Pese a diversos intentos por desarrollar aparatos que lograran emprender el vuelo, no fue sino hasta el año 1783 que los hermanos Montgolfier, originarios de Annonay Francia, lograron elevar una bolsa esférica de lino, forrada de papel y con una cesta enganchada al globo en donde el marqués d'Arlandes y Pilatre de Rozier hicieron el primer vuelo

tripulado, por humanos sobre París. Con el paso de los años, el uso del globo dio origen al desarrollo de los dirigibles, ya que los globos eran incontrolables, es decir, se desplazaban en la dirección del viento. El desarrollo de los dirigibles, como su nombre lo indica, era utilizar las propiedades del globo para elevarse e incluía timones y motores para poder modificar su trayectoria. El primer vuelo que se desarrolló en dirigible fue en Francia en el año de 1852, logrando recorrer 24 kilómetros a una velocidad de 8 km/h. durante finales del siglo XIX y las primeras décadas del siglo XX, el dirigible fue un método de transporte de confianza.

La necesidad de desarrollar máquinas que fueran capaces de volar por medios propios, es así como se desarrollaron los planeadores, máquinas capaces de sustentar el vuelo controlado durante algún tiempo. En 1799, George Cayley, un ingeniero inglés, desarrolló un planeador que contaba con una cola para controlarlo y un lugar donde el piloto se podía colocar, por debajo del centro de gravedad del aparato, dándole así estabilidad. A Cayley se le considera el fundador de la ciencia de la aerodinámica.

Es así como se desarrollaron a lo largo de los años diferentes prototipos, al descubrir que la sustentación era más efectiva con alas fijas, largas y delgadas capaces de soportar un aparato más pesado. Si bien se tuvieron aparatos que pudieran emprender el vuelo por cuenta propia, no eran dirigibles y hubo muchos intentos por desarrollar una máquina que pudiera reunir estas dos características.

Otro pionero de la aviación fue Samuel Langley a quien se le reconoció como el inventor de la aviación, sin embargo sus intentos no lograron alzar un vuelo por medios propios y que fuera dirigible. En el año de 1903 Orville Wright se convirtió en la primera persona en volar sobre una aeronave más pesada que el aire, propulsada por medios propios, recorriendo 37 metros a una velocidad media de 48 km/h durante 12 segundos. El 7 de noviembre de 1910 se realizó el primer vuelo comercial del mundo entre Dayton y Columbus (Ohio) durando una hora y dos minutos, recorriendo 100 km con un récord de velocidad de 97 km/h.

El brasileño Santos Dumont, otro pionero de la aviación, realizó con éxito su único vuelo el 12 de noviembre de 1906 con su modelo 14 bis, tres años después de los hermanos Wright.

A partir de este momento se desarrolló rápidamente la industria de la aviación, sobre todo impulsada por los avances que se presentaron en la primera y segunda guerra mundial, para la década de los 40's se empezaron a desarrollar turbinas a reacción, siendo el DeHavilland Comet de fabricación británica el primer avión comercial utilizando esta tecnología, alcanzando velocidades de 850 km/h.

Actualmente existen en el mercado importantes aeronaves desarrolladas por grandes empresas como lo son Boeing, de origen estadounidense y Airbus, un conglomerado europeo. Airbus produce el A-380 el avión comercial más grande del mundo, con una

capacidad de más de 550 pasajeros a una velocidad de 900 km/h y autonomía suficiente para realizar viajes de larga duración.

En el desarrollo de la aviación y con el auge que tuvo tanto la aviación militar como la comercial después de las guerras, fue necesario el establecimiento de normas que facilitaran la convivencia en el espacio aéreo, es por este motivo que al terminar la primera guerra mundial, surge la Conferencia de Paz de Versalles, y en ella se estableció la Conferencia Internacional de la Navegación Aérea, donde se menciona la internacionalización de las normas para la aviación civil. Las normas de aviación civil de esta conferencia permanecieron desde ese año y hasta 1939.

A consecuencia de la segunda guerra mundial, las normas para la aviación civil quedaron congeladas; en ese lapso de tiempo se dio un enorme avance en lo referente a la aviación militar, el desarrollo de las ayudas a la navegación, entre otros. En diciembre de 1944 se establece en Chicago, Illinois en los Estados Unidos el Convenio sobre Aviación Civil, también conocido como Convenio de Chicago. Los gobiernos que suscribían, convinieron en ciertos principios y arreglos, a fin de que la aviación civil internacional pudiera desarrollarse de manera segura y ordenada, y que los servicios internacionales de transporte aéreo se establecieran sobre una base de igualdad de oportunidades, realizándose de manera sana y económica. De igual manera se incluyó la conformación de una organización multinacional, la OACI/ICAO. Todos los acuerdos de la reunión serían

válidos una vez que un cierto número de Estados ratificaran el Convenio, lo cual sucedió en 1947. Entre tanto, la OACI operó con una estructura provisional llamada Organización Provisional de Aviación Civil Internacional (OPACI/PICAO).

Es así como en abril de 1947 queda constituida la Organización Internacional de Aeronáutica Civil (OACI), la cual es una agencia afiliada a la Organización de las Naciones Unidas y cuyos principales objetivos son:

- Fomentar las artes para diseñar rutas aéreas, aeropuertos y apoyo para la navegación aérea en la aviación civil internacional.
- Satisfacer las necesidades de los pueblos del mundo en lo tocante a transportes aéreos seguros, regulares, eficientes y económicas.
- Evitar el despilfarro de recursos económicos.
- Garantizar la seguridad internacional.
- Evitar la parcialidad Entre estados contratantes.
- Fomentar la seguridad de los vuelos en la navegación aérea internacional.
- Fomentar el desarrollo.

Durante la Conferencia de Chicago se vio la necesidad de redactar anexos técnicos al convenio, de este modo se han desarrollado progresivamente los 19 anexos que hoy en día forman parte del convenio. Unos son de carácter normativo y son los mínimos de obligado

cumplimiento para todos los estados firmantes del Convenio de Chicago, otros son recomendaciones aceptables en mayor o menor medida por los países. Los anexos de la OACI recogen prácticamente todos los aspectos del transporte aéreo y tratan sobre cuestiones técnicas fundamentales para su normalización y regulación. Dentro de estos anexos se incluye el Anexo 14 referente a Aeródromos, de suma importancia para la planeación y diseño de aeropuertos.

## **CAPÍTULO I: OBJETIVOS Y TIPOS DE PLANEACIÓN**

### **I.1 Objetivos de la Planeación**

Siendo la planeación el proceso que consiste en un análisis documentado, sistemático y tan cuantitativo como sea posible, previo al mejoramiento de una situación o a los cambios que se van a realizar en un determinado lugar, como es el caso de una obra civil, se deben tener los siguientes objetivos.

Identifica y entender los problemas presentes, su propósito es plantear y definir las posibles soluciones así como la elaboración de los programas y diseños requeridos para pasar a la fase de ejecución. El plan o programa estará sujeto a ajustes o replanteamientos al detectar errores y variaciones en la estructuración de actividades.

De igual manera, se debe tener como objetivo que el sistema de transporte aéreo opere con todos los elementos necesarios dentro del aeropuerto en condiciones adecuadas, en buen

funcionamiento y capaces de crecer de acuerdo al crecimiento futuro del tránsito aéreo, aprovechando al máximo los recursos humanos, financieros, administrativos y económicos.

La planeación de una obra civil como un aeropuerto no debe tener un corto alcance, es decir no debe estar enfocada a la planeación de la construcción, en cambio, debe englobar sobre todo las actividades que se desarrollarán al estar construido el aeropuerto, es decir, la operación, administración, conservación y mantenimiento del mismo.

Como se ha definido previamente, planeación significa establecer objetivos a alcanzar, los métodos que se utilizarán así como las acciones, recursos y responsabilidades necesarias para lograr un resultado específico.

Uno de los objetivos primordiales de la planeación debe estar enfocada al proyecto que se está desarrollando, la planeación debe ser interdisciplinaria, en conjunto con diferentes áreas del conocimiento para ejecutar los proyectos de infraestructura de la mejor manera posible.

Es por esto que la planeación debe tener los objetivos referentes y realistas con respecto al sector económico y sociedad a los cuales está dirigido. De acuerdo a lo mencionado, los métodos de construcción deben ser parte de la planeación ya que se deben elegir de acuerdo a los recursos que se encuentren al alcance y que sean los más óptimos dentro de la

situación que se desenvuelve el proyecto. Siguiendo esta línea la planeación también debe apearse a los recursos que están al alcance, no hacer un proyecto que sea insuficiente de recursos ni tampoco que sea excedente.

## **I.2 Niveles de Planeación**

Específicamente al establecer una Visión Estratégica, en donde se hace referencia a la capacidad de percibir la realidad futura de la región, de manera que garantice su crecimiento y desarrollo, se tienen 3 tipos de Planeación. A esta visión, que debe ser clara y objetiva, se le debe sumar el plan de acción (estrategia) para llegar a completar los objetivos visualizados.

- Planeación Estratégica. Es el nivel más alto de la visión estratégica en donde se determinan la misión, visión y líneas de acción.
  - La planeación estratégica es sistémica, es decir, es organizada y conducida con base en una realidad entendida.
  - Se inicia con el establecimiento de metas organizacionales-
  - Define metodología, prioridades y políticas para lograr metas específicas.
  - Desarrolla planes detallados para asegurar la implantación de las estrategias.
  - Se establece la Visión Estratégica, la propuesta de una visión hacia el futuro facilitando el diseño. La misión también se plantea con los objetivos de servicio.

- Planeación Táctica. Es el nivel intermedio de la planeación estratégica en donde se realiza la definición de la manera en la cual se va a lograr lo que define la planeación estratégica.
  - Se define un plan de acción para determinar las actividades, medios y orden en que serán implementados.
  - Define los pasos, prioridades a seguir, responsabilidades y áreas de la organización con una planeación detallada.
  - Se establecen los departamentos funcionales, los cuales tendrán una planeación desde los niveles gerenciales.
- Planeación Operativa. Es el nivel final de la visión estratégica en dónde se determina, a nivel de detalle, los recursos, programas y métodos para cumplir lo que se establece en la planeación táctica y a su vez la planeación estratégica.
  - La planeación operativa es el nivel más básico de la planeación, sin embargo es en el que se establecen las actividades diarias para mantener el ritmo de operación del sistema.
  - Define los procedimientos así como protocolos de operación de cada área y entrega responsabilidades bajo la supervisión de jefaturas.

Los tres niveles de planeación se desarrollan de manera conjunta, en el caso de aplicación de esta metodología a la planeación de aeropuertos es necesario caracterizar el aeropuerto

y definir cada una de sus áreas operativas. Así como establecer la Misión, Visión y cada uno de los elementos necesarios para el correcto diseño del aeropuerto.

La planeación también se clasifica en Global y Sectorial, dependiendo de los sectores de la economía que tomará en consideración, es decir, la planeación global abarca todos los sectores mientras que la planeación sectorial abarca solamente uno o pocos sectores económicos.

Finalmente la planeación considera también el tiempo, de esta manera existe la planeación a:

- Corto plazo (período menor a 5 años)
- Mediano plazo (período de 5 a 10 años) y,
- Largo plazo (período mayor a 10 años)

Los objetivos de la planeación para aeropuertos deben establecerse en cada uno de los puntos que se han descrito hasta ahora, se debe tener en claro la planeación estratégica, táctica y operativa, así como a corto, mediano y largo plazo.

La planeación de una actividad, específicamente la planeación de un aeropuerto lleva al desarrollo de un plan, no debe confundirse planeación con plan. El plan es en donde se

desahogan todas las estrategias, acciones y objetivos a los cuáles se llegó en el proceso de planeación.

Cada plan a su vez tiene un programa, el cuál es el conjunto de acciones y tiempos en las que serán realizadas, se puede llegar a la conclusión de que la planeación es el universo de posibilidades, como tal, tiene diversos subconjuntos, cada uno siendo un plan diferente y cada uno de estos planes tendrá un programa de trabajo específico, de los cuáles se puede elegir el de mayor beneficio en los diferentes aspectos al momento de hacer la evaluación del proyecto, en donde se incluyen propuestas técnicas, económicas, de financiamiento, entre muchas otras.

Es aquí donde radica la importancia de la planeación, no sólo permite tener una visión hacia el futuro en base a la situación actual si no que presenta una cantidad importante de opciones de trabajo.

Habiendo definido los diferentes tipos de la planeación se puede tener un mayor entendimiento de la necesidad de cada uno de éstos, es decir, la dirección que deben tomar los diferentes aspectos que harán del conjunto del aeropuerto el más óptimo y eficiente posible.

## **CAPÍTULO II: PLANEACIÓN DE AEROPUERTOS**

La planeación de un aeropuerto está basada en varios procedimientos para evaluar las necesidades, asignar prioridades, proponer diferentes opciones y justificarlas. El resultado del plan adoptado debe ser el mejor tanto técnico como práctico. Como se ha mencionado previamente la planeación debe ser integral por lo que la selección de la mejor opción no necesariamente es la óptima en un aspecto aislado sino que en conjunto generan la elección de la opción más viable.

Es importante mencionar que para entender las necesidades de planeación del aeropuerto se deben definir los elementos que se van a planear, es decir, una instalación aeroportuaria puede estar constituida desde los elementos básicos, hasta los más complejos, estos elementos están agrupados según su clasificación establecida, distribuidos en siete zonas:

1. Zona Terrestres. Esta zona es en donde se realiza el traslado de y hacia el aeropuerto por los pasajeros y trabajadores. Comprende el acceso, la liga vial, estacionamientos de corta y larga permanencia, sistemas de transporte y señalamientos.

2. Zona de Operaciones. Esta zona está destinada exclusivamente para la operación de aterrizaje y despegue de las aeronaves. Los elementos que la integran son los siguientes: pista(s), calles de rodaje, estacionamiento para aeronaves, plataformas, ayudas visuales, radioayudas.
3. Zona de Edificios de Pasajeros de Aviación Comercial. Esta zona se destina para la atención, servicio y procesos del pasajero de vuelos con itinerario fijo. Cuenta con las siguientes instalaciones: edificio de pasajeros, estacionamiento para automóviles, acceso y ligas viales.
4. Zona de Edificios de Pasajeros de Aviación General. Esta zona no existe obligatoriamente en todos los aeropuertos comerciales, en ciertas ocasiones se puede servir a vuelos comerciales de corto alcance y corto número de pasajeros, es aquí donde se da atención, servicio y proceso al usuario particular y a compañías que efectúan vuelos de corto alcance. Sus elementos son los siguientes: plataforma de estacionamiento, zona de hangares, servicios de despacho de vuelos, aduana, migración, salas de espera, cafetería, talleres, servicios de partes, así como estacionamiento para automóviles.
5. Zonas de Servicios de Apoyo a las Operaciones. Esta zona está integrada por los siguientes elementos: torre de control, edificio de oficinas, edificio de máquinas, cuerpo de rescate y extinción de incendios (CREI), mantenimiento y control del aeropuerto, oficinas de apoyo a la operación, servicios a plataforma de estacionamiento, bodegas de compañías aéreas, antenas de radio comunicación,

subestaciones eléctricas, instalaciones de agua potable, drenaje, así como comunicaciones y acceso terrestres, mantenimiento del equipo de apoyo y almacenamiento y distribución de combustibles.

6. Zona de Manejo de Carga. En este lugar se procesa y se da servicios a la carga que es enviada o recibida por vía nacional como internacional, está integrada por: plataforma de estacionamiento, bodegas, aduanas, patio de maniobras, estacionamiento para automóviles.
7. Zona de Mantenimiento para Aeronaves. En este lugar se da mantenimiento a las aeronaves que operan: normalmente el aeropuerto ofrece con cargos a las aerolíneas el terreno y servicios de energía eléctrica, agua, drenaje, comunicaciones y acceso terrestre. Las aerolíneas interesadas a su vez proporcionarán el mantenimiento a las aeronaves por medio de plataforma para mantenimiento, hangares, talleres de mantenimiento, edificios para oficinas de mantenimiento, estacionamiento para automóviles.
8. En casos muy particulares existe la Zona Presidencial. Esta zona se construye únicamente en aquel aeropuerto en cuyo entorno se encuentren poderes de la nación. Cuenta con: plataforma de estacionamiento, hangares oficiales, edificio de oficinas gubernamentales, salón oficial y estacionamiento para automóviles.

Si bien aquí se describen las principales zonas que componen un aeropuerto, no son las únicas y se debe profundizar mucho más en cada elemento para tener una correcta

planeación, sin embargo es un primer acercamiento para conocer las necesidades de cada aeropuerto y así poder avanzar con la planeación.

## **II.1 Demanda**

El número de pasajeros anuales que se mueven en un aeropuerto es la base de partida para las proyecciones por ser el factor que permite ser proyectado al futuro con más facilidad y acercarse más a la realidad. Otros usuarios que utilizarán el aeropuerto son contemplados para el cálculo, éstos son: empleados que desarrollen sus actividades en el aeropuerto, proveedores de insumos, así como visitante acompañantes o no. Datos igual de importantes como las operaciones anuales, el movimiento de carga, entre otros, se ven sujetos a un mayor número de factores que los afectan, como son los cambios del equipo de vuelo, desarrollos industriales que modifican el movimiento, entre otros.

Al proyectar el número anual de operaciones, es necesario fijar primeramente la relación de ocupación de los aviones, es decir, el número de pasajeros promedio por avión, tomar en cuenta las tendencias y cambios del equipo de vuelo y posteriormente proyectar esta ocupación al futuro. Después con esta ocupación y los pasajeros anuales, determinar el número de operaciones año por año.

Queda entonces claro que la demanda del transporte aéreo junto con las operaciones, son los factores más importantes para la planeación de un aeropuerto. La población tiene gran

influencia en el uso que tendrá el aeropuerto, para este sentido existen dos tipos de aeropuertos: de origen-destino y de conexión.

Los aeropuertos de origen-destino son aquellos en dónde la localidad y las características de la población tienen la capacidad de generar demanda suficiente para la justificación de un aeropuerto, pueden ser también receptores de demanda o ambos. En esta categoría entran zonas turísticas, comerciales, industriales, grandes ciudades, centros financieros o cualquier otra actividad importante que represente una cantidad significativa de viajes. También en estos aeropuertos la población que sirven tiene un nivel socioeconómico determinado para poder acceder al transporte aéreo.

Por otro lado los aeropuertos de conexión no generan viajes, sino que son aeropuertos que por cuestiones de logística y operaciones sirven como punto de conexión entre destinos, en estos aeropuertos si bien la cantidad de pasajeros que los utilizan es importante, el número de pasajeros que tienen como origen o destino la localidad donde se ubica el aeropuerto es reducida.

Estos factores son importantes en el momento del diseño del aeropuerto así como de las instalaciones que se incluirán y los planes futuros de crecimiento. Mientras un aeropuerto de origen-destino puede necesitar un área de documentación, migración y aduanas importante, un aeropuerto de conexión necesita mayores espacios para los pasajeros que

están en conexión. De igual manera para todos los servicios, otro aspecto siendo los estacionamientos, los cuales necesitan ser de grandes capacidades para los aeropuertos de origen-destino mientras que los de conexión no tienen este requerimiento.

Definir la demanda de transporte aéreo supone que se haya precisado previamente la clientela, o lo que se llama el área de influencia del aeropuerto. Esta área cubre el conjunto de las localidades cercanas al aeropuerto, cuyos habitantes tomarían el avión en el mismo.

## **II.2 Área de Influencia**

El área de influencia es la región geográfica donde se localizan los usuarios potenciales del aeropuerto. Para determinar el área de influencia se consideran diversos factores, tales como, antecedentes históricos, geográficos, accesos terrestres, económicos, políticos y sociales para determinar las variables a utilizar en el cálculo de los pronósticos para determinar la demanda del transporte aéreo. El área de influencia es flexible y depende de la estructura de rutas.

Para determinar este tipo de indicadores se considera:

- Cálculo estimado de la población total y la probable de usar el transporte aéreo,
- Se hace un descripción geográfica de su entorno para conocer su medio físico en cuanto al relieve, cuerpos de agua y su medio biológico, que se relaciona con la biodiversidad regional.
- Se hace un listado de las poblaciones vecinas (municipios, colonias, poblados, etc.)

- Se elabora un inventario de recursos de éstas poblaciones (infraestructura pública, etc.)

Un usuario pasajero acepta generalmente un cierto tiempo de traslado terrestre en función de la duración del tiempo de vuelo, hasta un máximo del orden de 1 a 1 hora y media.

Del área de influencia se establece un estudio geográfico, socioeconómico, político y social de la población, con el fin de mostrar la situación real de la zona seleccionada y definir los siguientes factores:

- Demográficos: Tasa de crecimiento de la población, rangos de edad, esperanza de vida y la población total, zonas generadoras y receptoras residenciales, de trabajo, u hospedaje.
- Económicos: Producto Interno Bruto, Población Económicamente Activa, ingresos per cápita.
- Turísticos: Cuartos de hotel, restaurantes, demás servicios que el servicio requiere.
- Financieros: Paridad con divisas extranjeras, servicios financieros bancarios, de casa de bolsa, entre otros.
- Aeronáuticos: Posibilidades de mercado, tomando en consideración factores de competencia económica en la zona, capacidad de gasto, entre otros.
- Tarifas nacionales e internacionales.
- Políticas: Normativas locales, estatales, federales e internacionales.

A esta población se aplicará luego cierto número de modelos de previsión de tránsito, de los cuales el más importante, el de la previsión del número anual de pasajeros comerciales. Las previsiones de tránsito serán esencialmente las siguientes:

- Pasajeros anuales comerciales nacionales,
- Pasajeros anuales comerciales internacionales,
- Operaciones anuales comerciales nacionales,
- Operaciones anuales comerciales internacionales,
- Operaciones anuales de aviación general,
- Carga anual nacional e internacional, y
- Operaciones de carga nacional e internacional.

Teniendo en consideración estos análisis también se debe considerar que el cálculo de la demanda del servicio de transportación aérea está dividido en:

- Demanda generada: usuarios de transporte aéreo que se alientan al desarrollarse más actividad económica una vez que se ha inducido el tránsito.
- Demanda atraída: es la cantidad de usuarios que abandonan otro medio de transporte para utilizar el aéreo, una vez que se ha construido el nuevo aeropuerto.
- Demanda derivada: es aquella demanda que se separa de cierto aeropuerto para trasladar a algún otro aeropuerto en la zona, pero que, la demanda del aeropuerto

receptor no es propia ni sustentable. Tal es el caso del sistema de aeropuertos metropolitanos alrededor de la Ciudad de México.

### **II.3 Oferta de Infraestructura Aeroportuaria y Capacidad**

Al tener definidas las demandas, se calcula la infraestructura aeroportuaria necesaria para satisfacer la demanda a medida que va progresando. Es necesario conocer las condiciones locales de meteorología, topografía, geología, hidrología entre otros, incluso sin haber descrito la situación actual en el caso en que un aeropuerto exista.

Una vez definidos los datos físicos básicos, es posible entonces dimensionar cada elemento del aeropuerto, utilizando procedimientos altamente especializados en dónde intervienen múltiples campos de conocimiento que permitan tener un enfoque de las inversiones compatibles con el nivel de un estudio de factibilidad, que no constituye un proyecto ni un anteproyecto.

Entre los elementos del aeropuerto que se pre-diseñan en esta etapa están principalmente las pistas de aterrizaje y despegue (número, dimensión y orientación), calles de rodaje, plataformas y edificio de pasajeros y de carga, incluyendo todos los servicios necesarios para la correcta operación y funcionamiento de las instalaciones aeroportuarias.

Cada elemento constitutivo del aeropuerto debe ser agrupado luego en el Plan Maestro a largo plazo que define la organización de dichos elementos entre sí. Es posible entonces describir el programa anual de inversiones, desde la fecha de adopción de la decisión hasta el horizonte a largo plazo (en general, más de 50 años).

El análisis de la capacidad de un aeropuerto se lleva a cabo con dos finalidades:

1. Medir con una forma objetiva la capacidad de los diferentes componentes de un aeropuerto atendiendo a los flujos de pasajeros y aeronaves previstos, y
2. Evaluar las eventuales demoras que pudieran esperarse en el aeropuerto según los diferentes niveles de la demanda.

Este análisis de la capacidad permite al proyectista determinar las posibles configuraciones que rigen la capacidad de un aeropuerto y comparar las diferentes opciones factibles.

La capacidad en la zona aeronáutica depende de una serie de condiciones existentes, tales como techo de las nubes y la visibilidad, control de tránsito aéreo, tipos de aeronaves, tipos de operaciones por hora, longitud de la pista, ubicación y tipos de calles de rodaje y plataformas.

Conforme la demanda aérea crece tiende a acercarse a la capacidad de la zona aeronáutica, la demora de los aviones crece de una forma importante, debido al congestionamiento que

se genera por el desalojo de los mismos en las pistas o estacionamientos. Por lo tanto la capacidad máxima teórica es el número de operaciones que la zona aeronáutica puede aceptar durante un intervalo de tiempo específico cuando existe una demanda continua de servicio, sean pistas, calles de rodaje y/o plataformas.

La demora de una aeronave se define como la diferencia entre el tiempo de itinerario reportado que considera el promedio del requerido para el vuelo, respecto al tiempo real efectuado en una cierta operación como consecuencia de una falta de capacidad temporal o frecuente. Ese criterio es aplicable también al edificio de pasajeros.

La capacidad de la pista de aterrizaje está definida por diversos factores, entre los que están los tiempos de ocupación y la distancia que debe existir entre las aeronaves en el espacio aéreo para la aproximación ya que por medidas de seguridad debe haber una distancia mínima entre aeronaves por los efectos de vórtices de punta de ala, efecto producido por la diferencia de presiones en la sustentación de la aeronave, por lo que la separación en el aire dependerá del tamaño de estas aeronaves. Un avión grande genera vórtices más grandes por los cuales la distancia segura para la aeronave trasera será mayor, especialmente si el avión que viene detrás de la aeronave grande es uno pequeño.

Por este motivo el proyectista debe contemplar los resultados del análisis de la demanda en dónde se presentan las aeronaves que utilizarán el aeropuerto.

Estas aeronaves deben considerarse también para la proyección al mediano y largo plazo, ya que dependiendo del crecimiento de la demanda también debe crecer la capacidad del aeropuerto. En el plan maestro deben estar considerados todos estos aspectos, dimensiones y número de pistas, calles de rodaje y plataformas para evitar el congestionamiento y hasta la saturación de los sistemas y eventual demora de las aeronaves, lo cual se traduce en molestias para los usuarios así como pérdidas económicas.

Dentro del diseño debe estar también considerada la ubicación de cada una de las instalaciones para ofrecer el mejor nivel de servicio con los tiempos óptimos de operación. La capacidad del aeropuerto como un conjunto de sistemas está limitada por cada uno de los sistemas, por ello es necesario que exista una eficiente planeación. Recordando la teoría general de los sistemas, la capacidad de un conjunto de sistemas está dada por la capacidad del sistema con menor capacidad, es decir, se puede tener un edificio de pasajeros que opere adecuadamente, pero si la pista o calles de rodaje estén congestionadas o saturadas, no se puede aprovechar al máximo las otras instalaciones, incluso no se puede aumentar la capacidad del aeropuerto hasta aumentar la capacidad de pistas y calles de rodaje, así para cada uno de los sistemas.

Dentro del análisis de la infraestructura necesaria se debe contemplar también el impacto económico que tendrá el aeropuerto sobre la región. La construcción de un aeropuerto

siempre aporta crecimiento y desarrollo socioeconómico en la región donde se ubica, por tal motivo el diseño debe contemplar este crecimiento.

#### **II.4 Estudios Técnicos**

Son estudios que deberán realizarse para la planificación, localización, construcción y operación de un aeropuerto. Se toman en consideración los siguientes: constructivos, ambientales, financieros, sociales, operacionales, de seguridad, de tipo comercial, etc.

Entre los principales estudios que se deben realizar en esta etapa son aquellos de Análisis Costo Beneficio en donde se enumeran y desarrollan las características y beneficios que aportará la construcción del nuevo aeropuerto, tales como ahorros en tiempo de traslado, incremento del desarrollo de la zona, derrama económica que puede existir así como diferentes factores que pueden aparecer con el crecimiento de las operaciones aeronáuticas. En este análisis de costo beneficio se integran además todos los elementos que se consideren importantes para el correcto desarrollo económico de la zona, recordando que los aeropuertos por si solos no generan demanda, es necesario hacer un balance cuidadoso.

#### **II.5 Estudios Constructivos: de Reconocimiento y Topográficos**

Para conocer la zona se efectuarán vuelos de reconocimiento, los cuales tienen como objetivo programar los levantamientos con sensores remotos que permiten en gabinete

estudiar la protección de los espacios aéreos y elaborar por simulación los procedimientos de vuelo.

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.

## **II.6 Estudios Meteorológicos**

Las características atmosféricas que definen un lugar son varias, pero las más importantes para el proyecto son: temperatura, barimetría así como anemometría de la zona y pluviometría.

La anemometría es de suma importancia ya que permite calcular la rosa de vientos cruzados para determinar las orientaciones de pista que cuando menos cumplen con el requisito de un 95% como mínima de que la velocidad de la componente normal es igual o menor a la escogida para la flota de aviones en estudio, en función de esto se programan las operaciones aeronáuticas. Cuando ninguna orientación sola cumple con el mínimo requerido, se necesitará una segunda pista con otra orientación.

Otro factor importante para la operación aeroportuaria es la visibilidad establecida por el techo de las nubes, esto es, la altura a la cual se encuentra la base de las nubes.

## **II.7 Estudios Económicos-Financieros**

Este tipo de estudios evaluará los elementos que se describen más 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 afectaciones y desplazamiento de particulares.
- 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: Bancos, empresas comerciales, líneas aéreas y empresas particulares.
- Gubernamentales: Instituciones de crédito, programas de apoyo con recursos federales y estatales.

## **II.8 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 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.

Por estos motivos existen estrictas normas de protección al espacio aéreo para las operaciones de aproximación, aterrizajes y despegues, así como sistemas y protocolos para la navegación a través del espacio aéreo.

Estas normas están incluidas en el Anexo 14 del Convenio Sobre Aviación Internacional en donde se enlistan todas las especificaciones referentes a la geometría y servicios en aeródromos internacionales que se deben cumplir para garantizar la seguridad. Dichas normas consideran las situaciones de aproximación, aterrizaje, ida al aire, despegue, despegue frustrado y todas las demás situaciones que se puedan presentar en la interacción de la aeronave y el aeropuerto.

## **II.9 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.

Un aeropuerto representa una inversión importante en infraestructura por lo que la elección del terreno en donde se va a construir es un factor muy importante sobre todo para el futuro desarrollo en las ampliaciones hasta alcanzar lo planeado en el plan maestro. Para determinar el área de construcción se tomará como principal determinante la orientación y longitud de las pistas ya que son los elementos de infraestructura aeroportuaria de mayores dimensiones.

Para la elección de la localización se debe asegurar que la ubicación del aeropuerto proporcione la mayor seguridad y eficiencia de las aeronaves, así como los mínimos gastos de construcción.

Los factores más importantes para la localización de un aeropuerto son los siguientes:

- Presencia de otros aeropuertos y disponibilidad de espacios aéreos. Deben estudiarse cuidadosamente las operaciones de otros aeropuertos cercanos al nuevo proyectado, 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 porque si se localizan en una misma área de influencia pueden restringir sus operaciones.
- Condiciones atmosféricas y meteorológicas: la presencia de algunos fenómenos climatológicos reduce visibilidad y por lo tanto la capacidad operacional 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, taxi o rentas y para el resto es el transporte público.
- Disponibilidad del terreno para posibles expansiones.
- Obstrucciones circundantes, el área circundante debe estar restringida y protegida de cualquier tipo de futuras edificaciones.

## II.10 Estudios de Espacio Aéreo

El objetivo de los espacios aéreos es delimitar superficies aéreas de obstáculos cercanas al aeropuerto, para permitir la operación con seguridad a las aeronaves que han de aterrizar o despegar en el lugar.

Cuando en una zona metropolitana existen dos o más aeropuertos se debe tener en consideración que la capacidad de los aeropuertos puede verse limitada por la falta de espacio aéreo, es decir, las operaciones de uno pueden interferir en otro, reduciendo la capacidad de los aeropuertos.

Las operaciones de vuelo pueden realizarse mediante dos reglas, estas son condiciones VFR (reglas de vuelo visual) y condiciones IFR (reglas de vuelo por instrumentos). En la primera, el piloto se basa en puntos de referencia visuales mientras que en la segunda existen instrumentos especializados para el vuelo y dependen del control de tránsito aéreo así como las radio ayudas.

Cuando la aproximación se realiza mediante condiciones IFR se puede tener una mayor capacidad en el caso de existir aeropuertos cercanos, esto se debe a que se permite operar con mayores condiciones de seguridad, reduciendo las distancias mínimas requeridas, por tanto, aumentando la capacidad.

Para realizar el aterrizaje existen condiciones de VMC (condiciones meteorológicas visuales) y condiciones IMC (meteorológicas por instrumentos).

En el caso de existir una instalación militar cercana se deben conocer las condiciones de restricción al espacio aéreo que existen en la zona, de manera que no afecten las operaciones del aeropuerto que se está planeando, caso similar con la existencia de otros aeropuertos.

### **II.11 Configuración del Espacio Aéreo**

Dentro de los límites de la seguridad del espacio aéreo y distancias de separación mandatorias entre las aeronaves y los edificios, los bajos volúmenes de pasajeros y de carga permiten soluciones relativamente sencillas de planeación para los edificios de pasajeros y de carga. Al incrementarse los volúmenes de carga, aeronaves, y vehículos las instalaciones se hacen más grandes, reflejando el nivel incrementado de actividades de los sistemas de transporte aéreo y terrestre.

Ciertos espacios aéreos consisten simplemente de una sola pista y de una instalación de pasajeros localizada a lo largo de la pista. El acceso vehicular es normalmente paralelo al edificio de pasajeros, el área de pasajeros está limitada en el alcance pero si es necesaria

para una expansión ésta puede ser agrandada en ambas direcciones paralela al eje de la pista.

Para incrementar la eficiencia o utilización del espacio aéreo pueden añadirse una o más pistas. Dado que estas pistas adicionales definen y frecuentemente limitan las áreas disponibles para los edificios de pasajeros y carga, deberá tenerse cuidado con su localización de forma de no imponer restricciones inaceptables a la expansión futura.

Debido al amplio rango del concepto de pistas y a opciones relacionadas disponibles, las implicaciones y consecuencias de cada configuración requieren un análisis exhaustivo y evaluación para poder obtener una solución balanceada.

## **II.12 Pistas**

La pista se define como un área rectangular de un aeropuerto preparada y diseñada para el aterrizaje y despegue de aeronaves. Para la fase de construcción el plan maestro contempla elementos como número, orientación y dimensión de la pista. Para determinar estos elementos se requiere conocer los factores que permitirán localizar el mejor lugar para ubicar la pista. Factores como viento, nubes, niebla, topografía, tipos de aviones que operarán en el aeropuerto y las características de los mismos, incluyendo el ruido, entre otros.

El número de pistas se obtiene analizando el desalojo del tránsito aéreo en las horas críticas u horas pico, considerando el número de llegadas y salidas, tipo y número de aviones y el número de operaciones que se desarrollaran en el aeropuerto. La orientación se obtiene utilizando el método de la rosa de los vientos cruzados, el cual proporciona datos como velocidades y dirección de los vientos.

Los principales elementos de una pista son:

- El pavimento que soporta los esfuerzos transmitidos por las ruedas del avión.
- Las márgenes laterales adyacentes al pavimento y que se proyectan para resistir la erosión del chorro de los motores y permiten el paso a los equipos de mantenimiento y vigilancia.
- Franja de seguridad de la pista. Incluye el pavimento, las márgenes laterales y un área despejada, drenada y nivelada. Esta franja deberá servir de soporte en caso de que un avión salga fuera del pavimento por cualquier motivo.
- Zona resistente al chorro. Es una zona diseñada para prevenir la erosión de las superficies adyacentes a los fines o cabeceras de una pista que están expuestas de manera repetida a los chorros de los motores.
- Área complementaria de seguridad. Es una prolongación de la franja de seguridad, la cual se dispone, siempre que sea posible, para reducir los accidentes de los aterrizajes cortos o de los rebases de pista. La longitud deseable recomendada es de hasta 240 metros más allá de la franja de seguridad.

Para el diseño de la pista existen dos métodos, método de correcciones (sugerido por la OACI) y método de manuales de vuelo, éstos toman en consideración la siguiente información para poder determinar la longitud de pista.

- Peso vacío. Incluye el peso de motores, fuselaje, alas, tren de aterrizaje, ductos y cables de la aeronave.
- Peso básico. Peso vacío más peso de equipo de vuelo en cabina, equipos de navegación, equipo de rescate, manuales de avión.
- Peso de operación seco. Peso básico más peso de la tripulación, compartimiento de servicios, servicios de a bordo.
- Peso cero combustible. Peso de operación seco más peso de pasajeros, correo, equipaje y carga.
- Peso de aterrizaje en destino. Peso cero combustible más el peso de combustible de reserva.
- Peso de despegue. Peso de aterrizaje en destino, más peso de carga de paga, más peso de combustible para el vuelo a destino, más peso de combustible al aeropuerto alternativo.
- Peso en la plataforma. Peso de despegue más peso de combustible para rodaje.
- Peso carga de paga. Pasajeros, mercancía, correo y cualquier otro que requiera un pago para su transportación.

- Carga útil. Carga de paga más combustible más tripulación.
- Combustible requerido. Se divide en las siguientes categorías:
  - Combustible para el rodaje. Es la cantidad de combustible necesaria para realizar el rodaje del edificio de pasajeros hacia la pista para el despegue y viceversa después del aterrizaje.
  - Combustible para cubrir la ruta. Es la cantidad de combustible necesario para que el avión se traslade del aeropuerto de origen al de destino y se da en función de la distancia, características de los motores, peso, altitud de vuelo, etc.
  - Combustible de reserva. Es una cantidad adicional con que se abastece el avión, con el objeto de que se traslade al aeropuerto alternativo, en adición a esto se incluye la cantidad suficiente para 45 minutos de vuelo a cierta altitud.

El aeropuerto alternativo es o son los aeropuertos que se asignan en el plan de vuelo y que tienen por objeto recibir a las aeronaves cuando no se pueda aterrizar en el aeropuerto de destino.

### **II.13 Calles de Rodaje**

La principal función de las calles de rodaje es la de suministrar acceso desde las pistas hasta las plataformas y hangares y viceversa. Las calles de rodaje pueden ser de entrada o de

salida y dependiendo de su función se realiza el diseño tanto de la geometría como del pavimento. Para lograr la máxima capacidad en las pistas y calles de rodaje es necesario proyectar las calles de rodaje de manera que asegure que las aeronaves puedan abandonar las pistas después del aterrizaje de manera rápida y segura.

Las calles de entrada son aquellas que conectan las plataformas con la pista, cabe recordar que el avión en la plataforma es cuando tiene el mayor peso y consume cierta cantidad de combustible en ruta al despegue, por este motivo las calles de entrada deben estar diseñadas para poder soportar el peso de la aeronave antes del despegue.

Las calles de salida son aquellas que permiten a las aeronaves que aterricen salir de la pista. Puede haber diferentes maneras de ubicar las calles de rodaje de salida. En el plan maestro se debe contemplar las etapas de desarrollo por lo que el uso de las calles de rodaje puede verse modificado, sin embargo las calles de salida sólo deben soportar el peso de la aeronave después del aterrizaje. Para aumentar la capacidad del aeropuerto e incrementar el número de operaciones por hora se puede utilizar una calle de salida rápida, la cual permite abandonar la pista a una velocidad mayor que una calle de salida perpendicular a la pista. La ubicación de las calles de salida se calcula mediante métodos numéricos tomando en consideración las estadísticas de distancias de frenado de las aeronaves en función de sus velocidades de aproximación.

Para las calles de rodaje se aplican los siguientes principios generales:

- El camino recorrido por las aeronaves en las calles de rodaje deberá ser lo más directo y sencillo posible, para generar ahorros en tiempo y costos.
- Siempre que sea posible, deberán trazarse recorridos en línea recta y los cambios de dirección deberán ser lo más pequeño y el menor número posible.
- Deberá construirse suficientes calles de entrada y salida para cada pista a fin de acelerar el movimiento de las aeronaves que entran y salen de las mismas.
- Se deberá evitar la construcción de calles que cruzan las pistas u otras calles de rodaje para evitar interrupciones en las operaciones de las aeronaves.
- Deben trazarse de tal forma que no obstruyan en las operaciones de ayudas a la navegación.
- Deben ser visibles desde la torre de control.

#### **II.14 Edificio de Pasajeros**

El proyecto del edificio de pasajeros es la instalación principal para uso público dentro de un aeropuerto, incluye un sistema de tratamiento de pasajeros, áreas de tratamiento de equipajes y las instalaciones de las compañías aéreas y actividades propias del aeropuerto.

Al desarrollar el proyecto de un edificio de pasajeros, es importante tener en cuenta que existen diferentes tipos de usuarios para los que se proyecta, estos usuarios son los pasajeros, visitantes, compañías aéreas, funcionarios del aeropuerto y concesionarios, entre

muchos otros. Debido a ello, al planear y proyectar un edificio de pasajeros se tienen diferentes objetivos y criterios, los cuales dependen de los diferentes usuarios.

Si bien el edificio de pasajeros es el enlace entre un medio de transporte y otro, no son únicamente los pasajeros los que lo utilizan. Un número importante de usuarios, a parte de los empleados, son los acompañantes de los pasajeros, ya sea para llevar o recoger alguien del aeropuerto o por algún otro motivo por el cual utilicen el edificio.

Es necesario tomar en cuenta las características del aeropuerto para poder planear un edificio de pasajeros, dependerá del uso que se requiera. Puede ser que el aeropuerto sirva vuelos nacionales solamente por lo que no requiere un área de filtros sanitarios, de aduanas y migración, en cambio si la principal función del aeropuerto es de conexión, deberá contar con la capacidad suficiente para recibir y manejar los pasajeros y equipaje que se encuentren en conexión. De igual manera si el aeropuerto es de origen-destino necesitará áreas de ventas, documentación y servicios al usuario suficientes para satisfacer la demanda.

De estos conceptos se puede desprender que se tienen criterios generales y específicos que se deben cumplir para la planeación y diseño del edificio de pasajeros, los cuáles se enlistan a continuación.

Criterios generales para la evaluación conceptual de la planeación de un edificio de pasajeros:

- Posibilidad de atender la demanda prevista.
- Compatibilidad con los tipos de aeronaves previstas
- Flexibilidad para el crecimiento y respuesta a los cambios tecnológicos.
- Compatibilidad con los modos de acceso por tierra
- Compatibilidad con la totalidad del plan maestro
- Previsión para las demoras
- Posibilidades financieras y económicas.

Criterios específicos para la evaluación conceptual de la planeación de un edificio de pasajeros:

- Distancia de recorrido según los diferentes tipos de pasajeros.
- Demora de los pasajeros en la fase de tratamiento.
- Niveles de ocupación de salas de espera y pasillos.
- Demoras debido a las operaciones de las aeronaves y los costos correspondientes.
- Costos de construcción.
- Costos de operación y mantenimiento.
- Ingresos posibles de las concesiones.

Para determinar las necesidades de espacio en el edificio se considera el número de pasajeros que pueden obtenerse de las previsiones hechas al mismo tiempo en que se hacían los estudios de planeación del aeropuerto, por lo que se utilizan dos tipos de valores como son:

1. El número anual de pasajeros, se utiliza para un dimensionamiento preliminar del edificio de pasajeros.
2. El número de hora punta de pasajeros que sirve de referencia para el desarrollo del proyecto.

Como se ha mencionado previamente, los tipos de pasajeros se identifican de acuerdo con las siguientes características: internacionales, nacionales, llegadas, salidas o conexión, con o sin equipaje documentado, entre otros. Al conocer la configuración y características de los usuarios, se puede elaborar las estimaciones necesarias para el proyecto de las diversas instalaciones.

La distribución de las instalaciones depende del criterio que se desea utilizar para la ordenación, es decir puede ser un sistema centralizado o un sistema descentralizado. El sistema centralizado alberga todas las instalaciones en un solo edificio y se utilizan para procesar a todos los pasajeros que utilizan el mismo. En el sistema descentralizado, las instalaciones se agrupan en unidades modulares que se ubican en uno o más edificios. Cada

una de estas unidades funcionan junto a una o más puertas de salida y sirven a los pasajeros que utilizan esas puertas.

En aeropuertos con un gran número de pasajeros se recomienda utilizar un sistema descentralizado, el cual es más eficiente ante el manejo de grandes volúmenes de pasajeros, equipajes, documentación, etc.

El edificio de pasajeros puede tener uno o varios niveles, de nueva cuenta esto es en función de los volúmenes, un aeropuerto pequeño con pocos usuarios difícilmente justificará la construcción de un edificio de pasajeros de más de un nivel, sin embargo se considera el crecimiento ya que en el futuro puede ser más difícil la adaptación del edificio.

En el caso de tener grandes volúmenes, un edificio con dos o más niveles se vuelve más eficiente, generalmente se distribuyen las llegadas y salidas por niveles, de este modo se pueden acomodar los servicios dependiendo de las necesidades. El pasajero que está iniciando su viaje generalmente requiere mayores espacios, estos pueden ser para taquillas, documentación, filtros de seguridad, zonas comerciales, zonas de espera y demás servicios que se puedan necesitar, por otro lado, el pasajero que está terminando su viaje necesita áreas de recolección de equipaje y en su caso aduanas y migración.

El arreglo del edificio de pasajeros se puede dar de diversas formas, cada una presenta ventajas y desventajas, dependiendo de los volúmenes y tipos de usuarios, pueden ser:

- Edificio con estacionamiento en forma lineal.
- Edificio con espigones.
- Edificio con satélites de espigones.
- Edificio con satélites remotos.
- Edificio con estacionamiento remoto con transportador.
- Edificio central con espigones remotos.

### **II.15 Horizonte de Planeación**

Los nuevos aeropuertos deberán tener planeación maestra para cuando menos 20 años en el futuro. En el lugar actual, el cual se espera que esté saturado antes de 20 años, la planeación deberá cubrir el período hasta el último desarrollo en el momento de saturación. El Plan Maestro debe reflejar el desarrollo final del aeropuerto en incrementos de 5 años y las instalaciones deberán ser construidas en etapas con previsiones para expansión futura y modificación para cubrir la fecha final de planeación.

El plan maestro deberá ponerse al día periódicamente manteniéndose con el desarrollo en el diseño de aeronaves, nuevas técnicas, entre otros. Deberá cubrir la totalidad de instalaciones del aeropuerto, espacio aéreo, capacidad del aeropuerto y tránsito vehicular terrestre.

Son prerequisites para el desarrollo del plan maestro de un aeropuerto las previsiones de tránsito que proporcionen información sobre los volúmenes de éste expresado en movimientos de aeronaves, pasajeros y movimientos de carga. Datos históricos y actuales son parte de la información total necesaria para determinar las necesidades actuales y futuras de las instalaciones. Las previsiones de tránsito deberán verificarse periódicamente contra los volúmenes reales y puestos al día de acuerdo a resultados obtenidos.

Al seleccionar el período pico, respecto a cuál previsión de tránsito se requiere, deberá realizarse una cuidadosa medida para las situaciones del tránsito pico de manera de asegurar que el aeropuerto no esté diseñado con capacidad excesiva.

Al planear progresivamente las áreas funcionales y la distribución de las diferentes instalaciones del aeropuerto dentro de los límites establecidos, el plan maestro sin inversión innecesaria deberá proporcionar crecimiento normal hasta una capacidad aproximada establecida, deberán desarrollarse planes para inversiones de capital. Finalmente con todos estos elementos se puede llegar la creación del plan maestro.

### **CAPÍTULO III: PLAN MAESTRO**

En el plan maestro de un aeropuerto se explica el desarrollo total de un aeropuerto y sus diferentes etapas de desarrollo. Incluye fases de construcción, tiempos de crecimiento, estimaciones financieras y de capacidad así como aspectos operativos.

El objetivo principal del plan maestro es el de proveer el seguimiento del desarrollo futuro del aeropuerto el cual satisfará la demanda aérea de manera que el aeropuerto sea autosuficiente y al mismo tiempo, logre integrarse con los planes urbanos de desarrollo. 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.

Como se ha descrito previamente, la planeación parte de la situación actual hacia el futuro, para la planeación de aeropuertos no debe ser diferente por eso es importante tener un análisis de las condiciones existentes y un pronóstico de la demanda.

El análisis de las condiciones actuales incluye recopilar información tal como las características físicas y ambientales del sitio, la existencia de aeropuertos cercanos, el espacio aéreo disponible, disponibilidad y ubicación de ayudas a la navegación.

También es necesario conocer el uso de suelo del área, y lo que se encuentra en la localidad como hospitales, escuelas, centros económicos o de importancia social, todo esto para conocer la demografía de la zona, obtener datos socioeconómicos, nivel de desarrollo, actividad comercial e industrial, datos de acceso terrestre, circulación y transporte.

En el pronóstico de la demanda se necesita la información necesaria para estimar el comportamiento y requerimientos del aeropuerto tales como los 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 maleras por pasajero, el número de pasajeros, así como incremento poblacional y posibles aumentos en el desarrollo de la población.

Los resultados de estos pronósticos serán de vital importancia para la planeación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y expansión del aeropuerto pues de ellos se determina la capacidad del edificio de pasajeros así como los automóviles y estacionamientos.

Para definir el número de pistas, el número de calles de rodaje, las dimensiones de las plataformas, la capacidad de almacenamiento y distribución de combustible es necesario conocer el tamaño y número de aeronaves que estará recibiendo el aeropuerto, así como la frecuencia y máximos simultáneos.

En conjunto, toda la información recabada se concentra para determinar la mejor opción para finalmente desarrollar y establecer el plan maestro que incluirá:

- Número, orientación y dimensiones de la o las pistas,
- Número, ubicación y tipos de calles de rodaje,
- Dimensiones y ubicación de plataformas,
- Tamaño y distribución del edificio de pasajeros,
- Torre de control, sistemas de control de vuelas así como para la seguridad del aeropuerto y su operación,
- Edificio de recepción y manejo de carga,
- Sistemas de rescate y extinción de incendios,
- Sistemas de hidráulicos, sanitarios, de combustible,
- Áreas de mantenimiento, hangares y reparación de aeronaves y
- Ayudas visuales y a la navegación.

Teniendo el plan maestro elaborado, se define el proyecto ejecutivo, se materializan los estudios y se elaboran los planos constructivos para la ejecución de la obra. El proyecto ejecutivo está conformado por proyectos particulares como lo son:

- Proyecto aeronáutico: Basado en estudios meteorológicos, anemométricos, topográficos, de hidrología, de espacios aéreos, de seguridad, entre otros. Es el proyecto en donde se establecen las zonas de protección para aterrizajes y despegues, las rutas de aproximación así como los tipos de ayudas a la navegación, incluidos sistemas visuales, de radio y electrónica.
- Proyecto geométrico. En éste se desarrollan a detalle los trazos geométricos de pistas, calles de rodaje, y plataformas así como las curvaturas horizontales y verticales necesarias en base al avión de diseño, el cual se establece en el plan maestro.
- Proyecto arquitectónico. Consiste en el diseño de espacios y elaboración de planos de los edificios que conformarán el aeropuerto, tales como edificio de pasajeros, de servicios, administrativos, de carga, entre otros. El proyecto geométrico debe respetar las normas establecidas por la autoridad para el diseño de dichos espacios.
- Proyecto de obra civil. En este proyecto se incluyen los estudios de mecánica de suelos, cimentaciones, análisis de costos de materiales, diseño y cálculo de

estructuras, terracerías y pavimentos, así como cualquier otra obra civil que sea necesaria para la operación segura y efectiva del aeropuerto.

- Proyecto de instalaciones electromecánicas. Incluye todos los equipos eléctricos, mecánicos u otros sistemas necesarios para la operación del aeropuerto.

El Plan Maestro puede constar de varios documentos. Normalmente se requiere de un plano general de todo el aeropuerto en donde figuren todos los elementos. Asimismo, es necesario tener siempre un plano detallado del área de edificio de pasajeros. En ciertas ocasiones se requerirán planos específicos para diferentes elementos. Tal es el caso del edificio de pasajeros que generalmente requiere planos especiales.

De igual manera serán necesarias todas las explicaciones convenientes para dejar claramente establecidas las tendencias de desarrollo y la forma en que se pretenden controlar.

El complemento de los puntos anteriores para establecer la planeación completa de un aeropuerto serían los programas de inversiones; sin embargo, para hacer una definición precisa de estos programas, se necesitan algunos anteproyectos que permitan definir los costos.

Los proyectos correspondientes deberán estar desarrollados conforme al Plan Maestro y a los parámetros de proyectos, que son los que dan la pauta al proyectista para definir la magnitud de los elementos, tales como una sala de espera, la longitud del mostrados de boletaje, la longitud de una banda de entrega de equipaje, la superficie de un estacionamiento, la superficie de la plataforma de operaciones, la de la plataforma de aviación general, el tamaño de los tanques de almacenamiento, entre otro.

Hasta aquí se ha descrito el proceso común que sirve para formular la planeación de los aeropuertos. Sin embargo, en cada caso es necesario considerar circunstancias especiales que pueden alterar este proceso, de acuerdo con la realidad de lo que ocurre.

De manera concisa se pueden agrupar todos los elementos que integran el plan maestro de la siguiente manera, los cuáles, como ya se ha mencionado, serán los mínimos indispensables.

- Demanda
  - Predicción del número de pasajeros.
  - Predicción del volumen de mercancías.
  - Predicción del movimiento de aeronaves.
  - Predicción de los movimientos de la aviación general y militar.
  - Tránsito de vehículos en superficie por transporte público y privado.
- Capacidad

- Establecimiento de la capacidad del aeropuerto por etapas de desarrollo.
- Pistas de aterrizaje, calles de rodaje, plataformas y áreas de espera.
- Edificio de pasajeros y de carga.
- Formas de acceso y estacionamientos.
- Presupuestos
  - Pistas, calles de rodaje, plataformas y áreas de espera.
  - Edificio de pasajeros y carga.
  - Ayudas a la navegación y torre de control.
  - Equipos e instalaciones auxiliares.
  - Carreteras, estacionamientos e infraestructura de acceso.
  - Instalaciones para la aviación general.
  - Áreas de mantenimiento.
- Elaboración de planos
  - Plano de localización y orientación.
  - Plano de entorno de zonificación de uso.
  - Plano de pistas, calles de rodaje y ubicación de edificio de pasajeros.
  - Planos de instalaciones y accesos.
  - Planos hidráulicos y de drenaje.

## CONCLUSIONES

1. El transporte aéreo juega un papel único en la sociedad de hoy en día, ha propiciado el desarrollo de la sociedad al reducir tiempos de recorrido, haciendo posible tener mucha mayor conectividad entre diferentes puntos.
2. Actualmente el número de pasajeros que utilizan el transporte aéreo en todo el mundo es muy importante y está en constante crecimiento, lo que sustenta la relevancia de analizar el sistema, sus elementos, su funcionamiento, sus características y todo lo relacionado.
3. Ante este constante crecimiento es indispensable tener una correcta y efectiva planeación, ya que, como se mencionó en el Capítulo I, la planeación es una visión a lo que se necesitará en el futuro. Está claro que los aeropuertos construidos antes de esta visión a largo plazo han sufrido modificaciones durante su período de operación que no siempre resultan las más eficientes, por lo que en ocasiones se llega a la capacidad máxima.

4. La planeación de aeropuertos se encargará entonces de asegurar una visión a largo plazo para que las inversiones que se hagan en este tipo de proyectos sean lo más eficientes posible y no tener que hacer modificaciones imprevistas y costosas.
5. De este concepto se desprende el desarrollo del plan maestro, al tener la visión a futuro, se conoce el número máximo de pasajeros, carga, operaciones y demás actividades que se podrán llevar a cabo cuando el aeropuerto funcione a su máxima capacidad y máximo desarrollo, sin embargo no es necesario que cuando inicie operaciones funcione de esta manera por lo que se desarrolla en diferentes etapas para irse implementando con respecto al crecimiento.
6. Dentro de la planeación de aeropuertos se deben considerar todos los factores externos que se pueden involucrar en el desarrollo de las actividades, tales como aspectos geográficos, demográficos, económicos, ambientales, entre muchos otros. Por este motivo la planeación y en consecuencia el diseño debe ser integral y tomar en cuenta la integración de todos y cada uno de los aspectos fundamentales para el correcto funcionamiento.
7. Al analizar a detalle la cantidad de elementos que componen un aeropuerto, resulta imposible no estudiarlo como un sistema complejo, en donde cada uno de los subsistemas funcionan de manera conjunta para poder realizar las actividades propias con principios de seguridad, eficiencia y comodidad para el usuario. Desde los aeropuertos locales hasta los importantes centros aeroportuarios.
8. Sin duda alguna el transporte aéreo ha sido el de más rápido crecimiento, con innovaciones tecnológicas de alto impacto que han hecho los viajes más fáciles y más accesibles, este crecimiento se hace notar en las instalaciones aeroportuarias que fueron diseñadas y construidas hace un par de décadas, dichas instalaciones han

sufrido importantes cambios por no tener una visión a largo plazo, por este motivo se deben considerar los cambios que se pueden generar en el futuro para que la planeación de aeropuertos tenga espacio para estas nuevas etapas del transporte aéreo.

## REFERENCIAS

1. Notas de clase: Aeropuertos, Ing. Federico Dovalí Ramos, Programa Único de Especialización en Ingeniería Civil, Vías Terrestres, Facultad de Ingeniería, UNAM.
2. Planeación de Infraestructura en Aeropuertos, Comunidades y Desarrollo, División de Educación Continua, Facultad de Arquitectura, UNAM.
3. Infraestructura de Aviación, Planeación de Aeropuertos y Desarrollo de Infraestructura, Dirección General de Aeronáutica Civil, Tata Technologies de México S.A. de C.V.
4. Airport Planning & Capacity, Federal Aviation Administration, [http://www.faa.gov/airports/planning\\_capacity/](http://www.faa.gov/airports/planning_capacity/)
5. Manual de planificación de aeropuertos, Organización de Aviación Civil Internacional, tercera edición 2002.
6. Airport Systems Planning, Richard de Neufville, The MacMillan Press LTD, Gran Bretaña, 1976
7. Airport Planning & Management, Alexander T. Wells, TAB Books, segunda edición, 1192