



01168
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

TESIS

METODOLOGÍA PARA EL MEJORAMIENTO DE UN PROGRAMA
DE ITINERARIOS

PRESENTADA POR:

LIC. YANET OROZCO CARMONA

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA
(INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES)

DIRIGIDA POR:

DR. JOSÉ JESÚS ACOSTA FLORES



CIUDAD UNIVERSITARIA

OCTUBRE 2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Metodología para el Mejoramiento de un Programa de Itinerarios



AGRADECIMIENTOS

Al Doctor José Jesús Acosta Flores

Por su enseñanza académica y la asesoría brindada durante el desarrollo del presente trabajo, el cual se vio enriquecido con sus consejos y comentarios.

A mis sinodales

Por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo, así como sus valiosos comentarios que ayudaron a mejorarlo

A mis profesores y compañeros

Por los conocimientos adquiridos y las horas gratas que pasamos juntos

A TAESA

Por todo el apoyo que recibí

ÍNDICE

	Pag.
1. Introducción	
1.1 Problemática	1
1.2 Objetivo	1
1.3 Breve descripción de los capítulos y apéndices	2
2. Metodología	
2.1 Metodología	3
3. Estructura de aerolíneas	
3.1 Análisis de aerolíneas	7
3.2 Indicadores operativos	10
3.3 Consideraciones sobre un itinerario	11
4. Programa de itinerarios	
4.1 Estructura de rutas	16
4.2 Itinerario base	18
4.3 Pronóstico de pasajeros	20
4.4 Pasajeros reservados	24
4.5 Aeronaves	24
4.6 Tripulación	26
4.7 Otras consideraciones	27
5. Asignación de equipos	
5.1 Consideraciones	28
5.2 Análisis del modelo desarrollado por American Airlines Decisión Technologies	28
5.3 Propuesta de solución al problema	34
5.4 Análisis de escenarios.....	38
5.5 Análisis de variables de decisión.....	41
Conclusiones	51
Aportaciones	52
Apéndice	
Código fuente de la rutina principal	53
Pantallas	58
Bibliografía	62

Capítulo 1. Introducción

1.1 Problemática

La razón de cambio es una característica importante del transporte aéreo lo cual hace difícil, aún bajo las mejores circunstancias, el desarrollo de un sistema que sea capaz de responder a estos cambios.

El grado de exactitud y el rango de opciones que se puedan dar para la toma de decisiones es primordial para el éxito en la planeación y operación de vuelos, ya que el factor "sorpresa" es uno de los puntos más importantes a considerar, así como las leyes de Murphy que están siempre presentes en el pensamiento de cualquier persona relacionada con la aviación. Como se puede intuir el tipo de metodología, modelos y sistemas que traten con este tipo de problemas deberán ser lo suficientemente robustos pero a la vez contemplar un alto grado de confiabilidad, y además tener un tiempo de respuesta aceptable.

La parte de creación de itinerarios dentro de una aerolínea es importante, ya que de aquí depende en gran medida el éxito de la empresa puesto que su objetivo es elaborar una serie de rutas y programas de vuelo que serán operados por su flota en el corto plazo, optimizando el uso de los recursos disponibles, buscando la mayor rentabilidad, y cuidando siempre el buen posicionamiento en el mercado. Una planeación a largo plazo no sería confiable, en primera instancia, debido a la gran incertidumbre que se respira en el transporte aéreo, pero una metodología que nos de una aproximación de ésta puede ser de gran utilidad.

La realización de este trabajo fue posible gracias al apoyo de las diferentes áreas de la aerolínea TAESA que me brindaron el soporte necesario para el desarrollo del mismo durante los 8 años que trabajé con ellos. La idea de presentar una metodología que integre la experiencia de los expertos en el ramo con un conjunto de aplicaciones informáticas surge de una necesidad de la empresa que fui desarrollando durante mis estudios de maestría y que posteriormente se implementó dando como resultado un cambio de mentalidad en las áreas relacionadas con el proceso de realización, análisis y mejoramiento de los programas de itinerarios lo cual se vio reflejado en los principales indicadores de la empresa.

1.2 Objetivo

El objetivo de este trabajo es desarrollar e implementar una metodología para el mejoramiento de los programas de itinerarios que se operan en una línea aérea, que es una empresa de servicio que se encarga de transportar pasajeros y/o carga desde un origen hasta un destino en base a un itinerario publicado o a servicios previamente contratados por un tercero, y cuyo objetivo es proporcionar a los usuarios un servicio seguro, puntual, eficiente, de la mejor calidad y con la mayor calidez, así como una adecuada rentabilidad para los socios accionistas.

El éxito o fracaso de este tipo de empresas se basa en el rendimiento que se logra de sus tres principales propiedades : rutas, aeronaves y personal. En especial, la interacción entre aeronaves y rutas ejerce un notable impacto sobre su rentabilidad , objeto de un estudio preciso para asegurar no solo el logro de la rentabilidad, sino el cumplimiento de los objetivos de la línea aérea como sociedad.

Quise incursionarme en este campo porque la Investigación de Operaciones es la aplicación del método científico a problemas de decisión, constituyendo una manera eficiente de predecir el

comportamiento futuro de los fenómenos observados, preservar la experiencia acumulada del ser humano, enriquecerla, comunicarla y enseñarla. Las reglas para predecir el comportamiento futuro se representan en un modelo, concepto central de la Investigación de Operaciones y que sobre el cual estaremos trabajando a lo largo de este trabajo, así como, en el desarrollo de un sistema por medio del cual se pretende llevar a la práctica estos conceptos.

1.3 Breve descripción de los capítulos y apéndices

El capítulo dos presenta la metodología que se va a llevar a cabo durante el desarrollo de este trabajo.

El tercer capítulo analiza la estructura de una línea aérea, haciendo énfasis en los principales indicadores que serán decisivos para cada etapa de toma de decisiones.

De manera consecuente, en el cuarto capítulo se determina un itinerario base sobre el cual se realiza un pronóstico de tráfico de pasajeros.

El capítulo cinco se enfoca en la asignación de equipos a un itinerario en constante cambio, por lo cual se expondrá un modelo de asignación que nos permitan llegar a la solución en un tiempo menor, así como un análisis de los principales indicadores que se han venido manejando a lo largo del trabajo para consolidarlos en una toma de decisiones que nos permita retroalimentar el sistema, es decir, mejorar el programa de itinerarios base.

Finalmente, se expresan algunas reflexiones personales sobre el presente estudio, que al integrarse con la dinámica de la operación llevada a la práctica, constituye la principal aportación del trabajo.

Los apéndices contienen el código fuente de la rutina principal del programa, así como las pantallas principales del sistema desarrollado.

Capítulo 2. Metodología

2.1 Metodología

La metodología que se presenta a continuación se basa en el enfoque de sistemas y se apoya de la algunos conceptos de planeación y de calidad.

El enfoque de sistemas nos ayuda a definir el papel que juega el sistema en el entorno que se desenvuelve, así como su alcance ya que se basa en el desarrollo de conceptos y lineamientos para estudiar la realidad como sistema, el desarrollo de esquemas metodológicos para orientar el proceso de solución de problemas en sus distintas fases y el desarrollo de técnicas y modelos para apoyar la toma de decisiones, así como para obtener y analizar la información requerida.

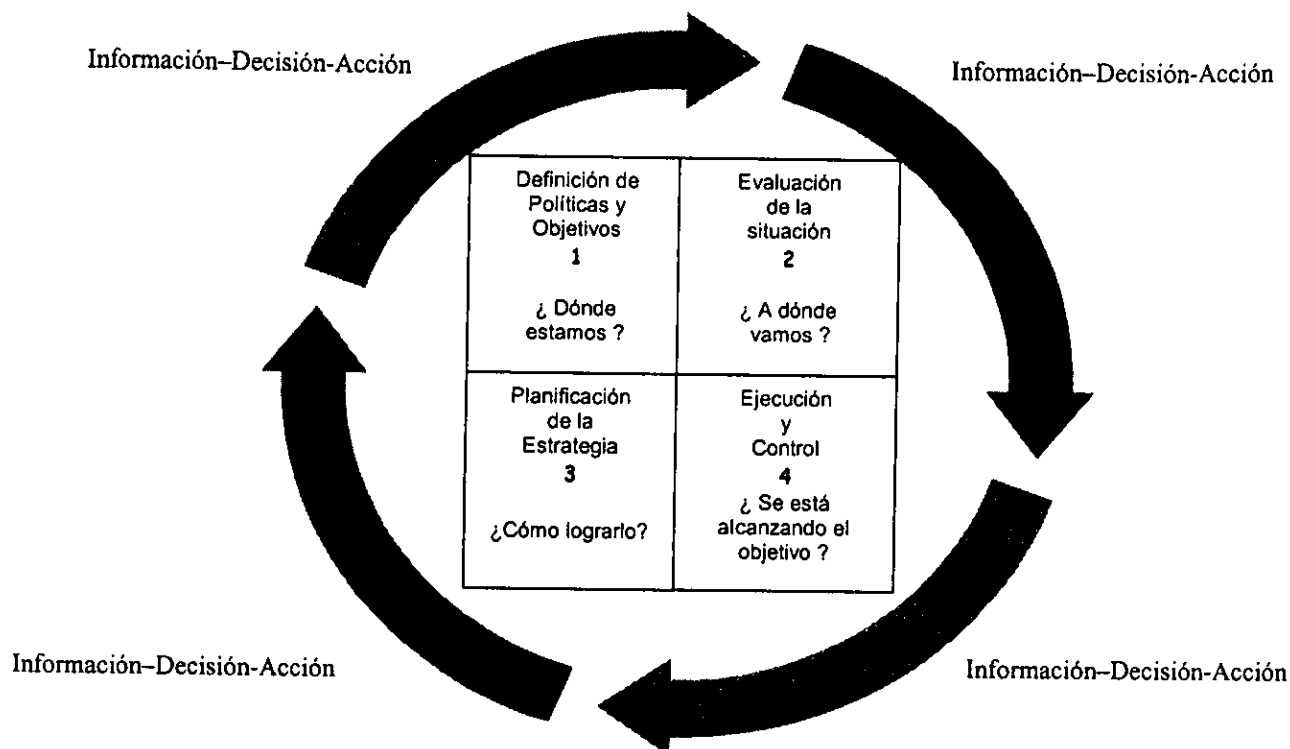
La planeación concibe planes funcionales como resultado de una elección previa de estrategias, coordina el planteamiento resultante con la acción y el control, y se basa en un proceso continuo de adaptación al entorno utilizando herramientas metodológicas que ayudan al razonamiento, como por ejemplo la matriz DAFO en la que se identifican debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades.

De las técnicas de control de calidad se utilizó la idea del ciclo de Deming: Planear-Hacer-Revisar-Actuar que representa un proceso de análisis para lograr mejoras en métodos y procedimientos. Esta técnica se enfoca en la corrección y prevención de errores

La metodología propuesta entonces, consiste en combinar cuatro etapas básicas :

Definición de políticas y objetivos	¿ Dónde estamos ?
Evaluación de la situación	¿ A dónde vamos ?
Planificación de la estrategia	¿ Cómo lograrlo ?
Ejecución y control	¿ Se está alcanzando el objetivo?

y tres elementos : *Información, Decisión y Acción* , que van a formar el ciclo en el cual se va a estar mejorando nuestro sistema.

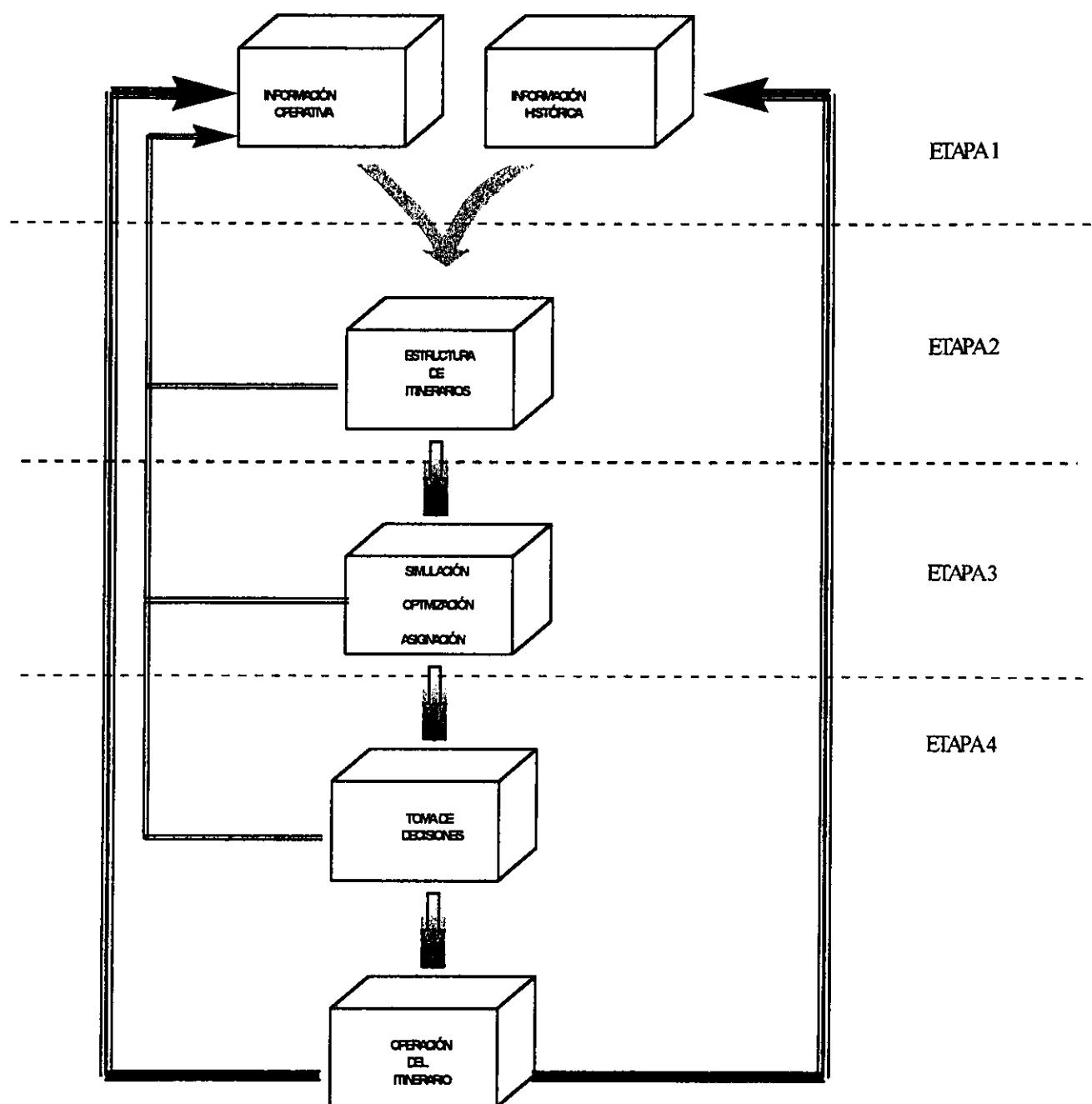


En la primera etapa se hace un análisis de la información tanto histórica como operativa, es decir la que resulta de la operación diaria, que se va generando con el fin de definir políticas y objetivos para determinar nuestra posición actual. En esta etapa se sientan las bases para generar el itinerario.

En la segunda etapa esta información es evaluada y se obtienen una serie de requerimientos, que implican cambios en la estructura del itinerario que pueden afectar desde un solo vuelo hasta un cambio radical en la operación a partir de un momento específico en el tiempo.

La tercera etapa se encarga de planear la estrategia para alcanzar los requerimientos que mediante procesos de asignación, optimización y simulación nos genera una serie de soluciones factibles.

En la última etapa se evaluarán y se tomará la decisión de realizar el vuelo o bien de regresar a cualquiera de las etapas anteriores en busca de una mejor solución. Esta última etapa también se encarga de llevar el control de las variaciones de la estructura de itinerarios y retroalimentar el proceso.



Considerando una programación de Itinerarios mensual podemos analizar la metodología para la empresa TAESA como sigue:

Etapas 1

El área de Planeación Estratégica da las pautas para la generación del programa de itinerarios inicial, es decir define las políticas y objetivos a alcanzar en un mes. Nos presenta la situación actual basándose en el análisis de los indicadores de la información operativa e histórica resultante de los programas de itinerarios históricos así como de la situación de la industria aeronáutica actual. Esta etapa la podemos analizar en el capítulo 3 y el punto 5.5 de este trabajo.

Etapas 2

Esta etapa involucra el área de Planeación Flota que se encarga de validar la factibilidad del itinerario propuesto en un futuro próximo apoyándose de un pronóstico de pasajeros, así como de las condiciones actuales de la empresa (flota, programa de mantenimientos, tripulaciones, etc.) . Esta etapa la podemos analizar en el capítulo 4 de este trabajo.

Etapas 3

El área de Control Operacional lleva el programa de itinerarios a un ambiente operativo, es decir realizan la asignación de aeronaves y se encargan de que se lleve a cabo el programa de itinerarios en la práctica. Esta etapa la podemos analizar en los incisos 5.1, 5.2 y 5.3 de este trabajo.

Etapas 4

Si se presenta algún problema en la etapa anterior el área de Control Operacional en conjunto con la de Planeación Flota realizan una simulación de los posibles escenarios y hacen cambios al programa de itinerarios inicial de acuerdo a la opción más adecuada. Se encargan de alcanzar el objetivo, es decir de cubrir el programa de itinerarios lo más cercano posible a lo programado. Esta etapa la podemos analizar en los incisos 5.4 y 5.5 de este trabajo.

En cada una de las etapas tenemos las variables Información, Decisión, y Acción que nos van a ayudar a mejorar nuestra toma de decisiones en cada parte del proceso como por ejemplo:

Etapas	Variable	Ejemplo
1	Información Decisión Acción	Indicadores Operativos Nueva ruta Generar los cambios necesarios para incluirla
2	Información Decisión Acción	Pronóstico de pasajeros Nueva combinación de tipos de equipos en el programa de itinerarios Generar la asignación de los tipos de equipo en el programa de itinerarios
3	Información Decisión Acción	Mantenimiento correctivo Cambio de tipo de equipo Notificar para análisis de factibilidad
4	Información Decisión Acción	Cambio de tipo de equipo Demora r el vuelo Reprogramar el programa de itinerarios

Capítulo 3. Estructura de aerolíneas

3.1 Análisis de aerolíneas

Para comprender lo que es una estructura de itinerarios, primero debemos analizar la estructura general de las aerolíneas para obtener los elementos necesarios a considerar en el modelo.

Una aerolínea la podemos conceptualizar desde cinco áreas de análisis:

Análisis de aeronaves.

En esta área se consideran las especificaciones de las diferentes aeronaves como son sus configuraciones interiores, tipos de motor, pesos de operación, pesos permisibles de despegue y aterrizaje, su capacidad de carga, consumos de combustible, tripulación necesaria, alcances, ruido, punto de equilibrio del rango de carga pagada, costos operacionales adquiridos, tiempo de entrega del turn around, etc. También debemos de considerar el papel que juegan los aeropuertos en aspectos como longitudes de pista, altitud, temperatura, las zonas libres y de frenado, los espacios aéreos, las distancias a los aeropuertos alternos y las diferentes condiciones meteorológicas. Todos estos aspectos van a influir en nuestra estructura de rutas desde el punto de vista de la factibilidad técnica y los recursos necesarios para realizar un vuelo.

Análisis de mercados.

La información resultante de esta área junto con la anterior son las principales entradas para el análisis operacional. Aquí se analiza la demanda de pasajeros, la temporalidad, las horas pico, la competencia, los mercados cautivos, los tipos de usuarios y sus preferencias, así como las autorizaciones de cada una de las rutas con la finalidad de generar un pronóstico de la demanda de pasajeros con el objetivo de determinar el comportamiento general de la aerolínea.

Análisis operacional.

Ésta área constituye la parte medular de este trabajo, aunque requiere de las demás áreas para consolidarse. En las aerolíneas, como en muchas otras empresas, el trabajo debe ser multidisciplinario.

El elemento principal a considerar para analizar ésta área es la estructura de itinerarios, la cual va a resultar de un estudio de mercado que nos dé los picos de demanda de pasajeros diarios, semanales y anuales, los tiempos apropiados de salidas y llegadas, una pauta para determinar la separación de vuelos y tiempos de tránsitos, así como del estudio de aeronaves que nos indique la composición de la flota de aeronaves y personal de vuelo, su programación de mantenimientos y la disponibilidad de posiciones en las terminales aéreas.

Análisis económico.

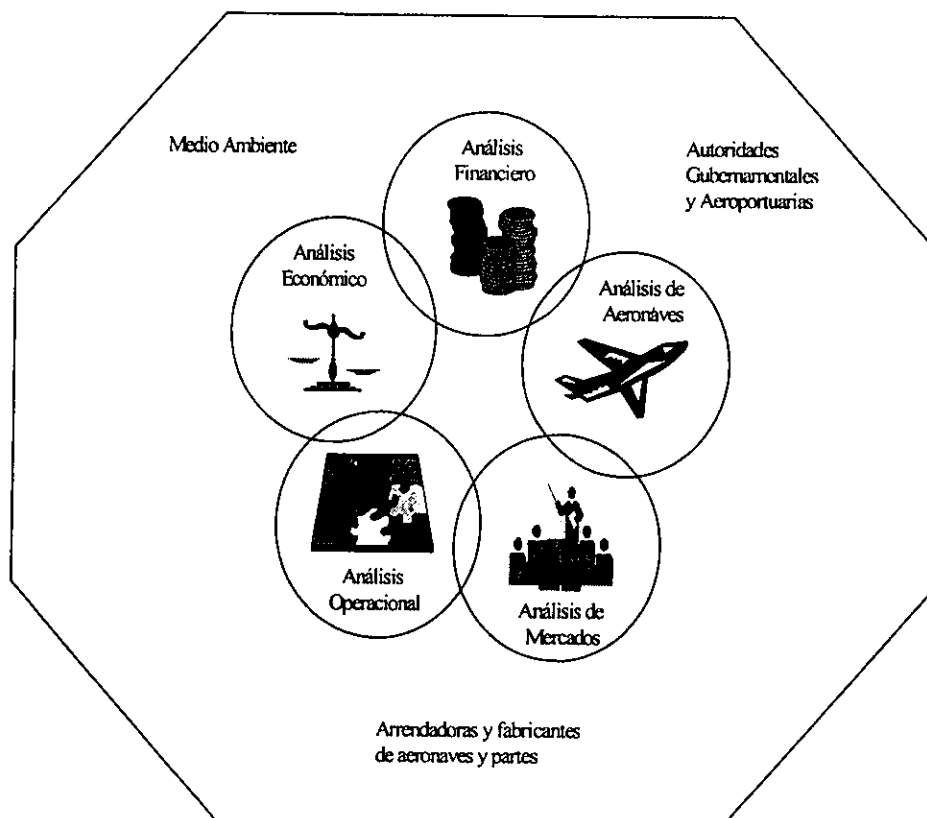
Una vez generado un itinerario, esta área se encarga de analizar los costos de operación (gastos directos, indirectos, intereses, etc.) en relación a los ingresos. De aquí surge el yield o administrador de la rentabilidad de la empresa que es uno de los

principales indicadores que más adelante analizaremos. El análisis de la demanda es tal vez el elemento más importante dentro del proceso de planeación sobre el cual estaremos trabajando a lo largo de este estudio. La demanda es la razón de ser de cualquier industria de servicio, incluyendo a las aerolíneas, y la satisfacción de esta demanda de una manera eficiente y económica es la base de cualquier plan de negocio.

Análisis financiero.

Por último en este análisis vamos a integrar los otros tipos de análisis en términos financieros para evaluar el impacto financiero total. Este se presenta en términos de ingreso neto, flujos de efectivo, hojas de balance, tasas de descuento, inversiones, estudios de financiamiento, tasas de retorno de la inversión, etc.

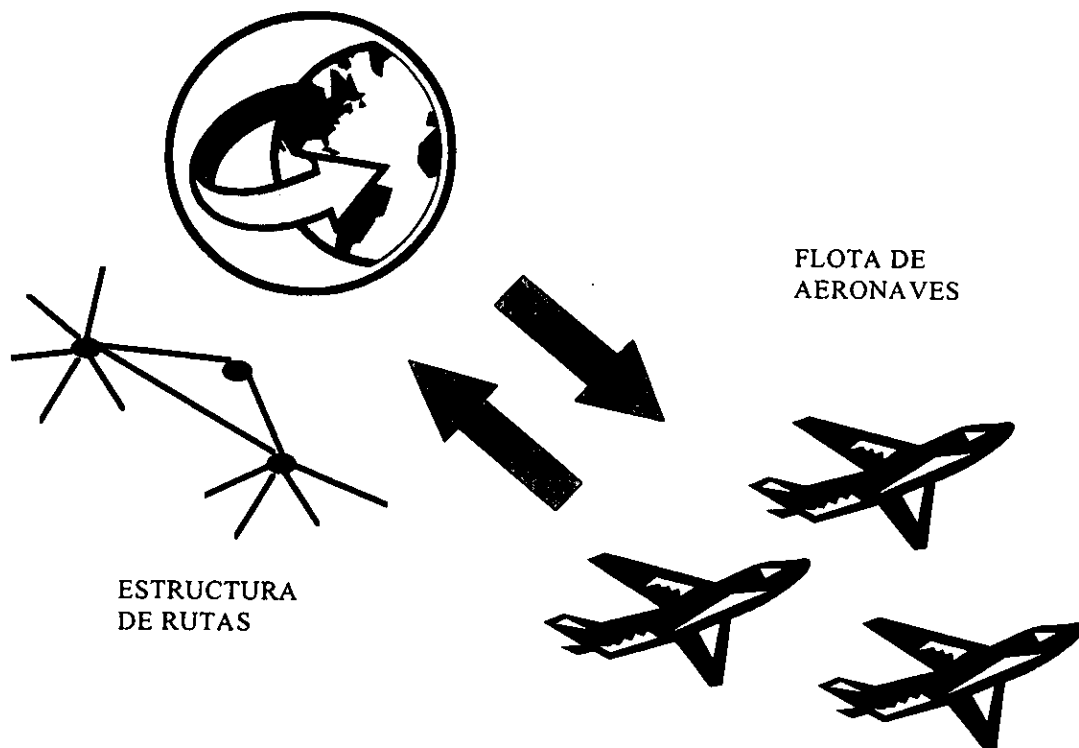
Estas áreas de análisis están íntimamente relacionadas, además de estar influenciadas por las autoridades gubernamentales y aeroportuarias, el medio ambiente del negocio, y las limitantes de compra, fabricación, y mantenimiento por parte tanto de la aerolínea como del fabricante de aeronaves, equipos y partes.



De aquí podemos detectar algunos problemas a los que se enfrentan las aerolíneas como son:

- Determinar el tamaño actual del mercado y su crecimiento en un futuro
- Estimar los efectos de cambio en el mercado (precio, horarios)
- Anticipar las posibles acciones de los competidores y planear estrategias para contrarrestarlas.
- Evaluar el beneficio de las posibles opciones
- Demanda de pasajeros en las rutas, incluyendo conexiones entre aeronaves
- Sensibilidad para cambiar los patrones de los itinerarios
- Dificultades operacionales al hacer cambios (ruta, equipo, tripulación, horarios, mantenimiento, etc.)
- Cambios en la configuración y capacidad de los equipos. Evaluar el impacto de adquirir un nuevo tipo de equipo
- Impacto del factor de ocupación en las utilidades (complicaciones al crear tarifas promocionales)

de los cuales observamos que la estructura de rutas junto con la asignación de equipos juega un papel primordial dentro de las aerolíneas.



3.2 Indicadores operativos

Como es natural, para cada tipo de empresa existen una serie de indicadores operativos que nos van a servir para medir el comportamiento de la misma, conocer sus fortalezas y debilidades y sobre todo para el proceso de toma de decisiones.

Los principales indicadores operativos para las aerolíneas son:

1. *Asientos ofrecidos* . Nos indican la oferta que brinda la ruta
2. *Pasajeros reservados*. Son de gran ayuda para supervisar la demanda y en un momento dado, poder realizar modificaciones que mejoren el itinerario .
3. *Pasajeros transportados*. Con esta información se forma una base de información histórica de la aerolínea con la cual podemos generar información estadística y realizar una serie de proyecciones.
4. *Pasajeros-kilómetro (rpks) y asientos-kilómetro (asks)*. Estos indicadores son similares a los anteriores, pero en ellos se agrega un factor de ponderación (que en este caso son los kilómetros recorridos) con la finalidad de darle un peso a la cantidad de pasajeros, asientos o carga de acuerdo a la ruta que se esté operando.
5. *Factor de ocupación (F.O.)*. Es la relación entre los pasajeros-kilómetro y los asientos-kilómetro y nos va a indicar el nivel de ocupación desde un vuelo en particular hasta la operación diaria, mensual o anual.
6. *Yield*. O también conocido como administrador de la rentabilidad es la relación existente entre el ingreso neto resultante de una mezcla tarifaria y los pasajeros-kilómetro obtenidos por el transporte de pasajeros.
7. *Factor de ocupación en el punto de equilibrio (F.O.P.E)*. Es la razón entre el costo de operación por asiento-kilómetro y el yield, esto es, el factor de ocupación mínimo necesario para que el total de gastos sea igual al total de ingresos y no tengamos pérdidas en una ruta. Este se compara con el factor de ocupación para darle seguimiento a cada una de las rutas operadas por la aerolínea.

Los indicadores antes mencionados pueden utilizarse para el concepto de vuelos de carga, con la diferencia de que en lugar de analizar pasajeros se analizan toneladas de carga y en lugar de analizar asientos se tiene la capacidad de carga de la aeronave. Existen vuelos solamente de pasajeros, vuelos solamente de carga y vuelos combinados, es decir que transportan pasajeros y carga.

Para la obtención del factor de ocupación en el punto de equilibrio se requieren otros conceptos que desde otro punto de vista también se pueden ver como indicadores operativos:

1. *Gastos totales de operación*. Lo que nos cuesta realizar el vuelo como por ejemplo el consumo de combustible, tiempo de estacionamiento, la tripulación por hora, el mantenimiento por hora, la renta del equipo (si aplica), el seguro del equipo, gastos de rampa y de hangar, etc.
2. *Ingresos totales de operación*. Son los ingresos que nos genera el vuelo principalmente por los pasajeros y/o carga transportada.
3. *Horas voladas*. Es el tiempo que tarda una aeronave en realizar un vuelo. Se consideran dos tiempos de vuelo: el que realiza la aeronave desde que despegue hasta que aterriza (tiempo de vuelo), y el que realiza la aeronave desde que se coloca en la posición para despegar hasta cuando llega de nuevo a la posición de aterrizaje (tiempo de vuelo más rodajes)
4. *Horas voladas programadas*. Es el tiempo promedio definido en el itinerario en el que una aeronave realiza un vuelo

Debe de existir un equilibrio entre el yield y el factor de ocupación para asegurar la buena salud de la empresa por lo que un itinerario óptimo es aquél que es rentable, eficiente y, además mantiene un equilibrio entre decisiones enfocadas en el mercado y decisiones de carácter operativo. También se debe considerar que está dentro de un mercado altamente cambiante y bajo una reglamentación gubernamental en evolución constante.

3.3 Consideraciones sobre itinerarios

¿Qué es un itinerario?

Un itinerario de una aerolínea es análogo a tratar de armar un rompecabezas multidimensional con piezas cuyas formas están en constante cambio.

Los itinerarios son una parte muy importante para el buen desempeño de una aerolínea que es una industria de servicio donde la atención al cliente es lo más importante, por lo cual, el programa de itinerarios es uno de los principales medios para acercarnos al cliente. Entre más estructurada esté nuestra red de destinos y seamos capaces de ofrecer al pasajero una gran variedad de opciones para llegar a su destino, así mismo será nuestra razón de crecimiento.

Un itinerario no solamente consta de una red estructurada de destinos y horarios, sino que también de un proceso de asignación de flota y está bajo una serie de restricciones operacionales internas a la compañía así como de políticas y reglas impuestas por organismos reguladores del transporte aéreo. Además un itinerario debe ser lo suficientemente robusto para aceptar modificaciones dependiendo de los cambios que se den en el mercado, en la situación del país, o bien en la situación interna de la compañía.

También debe de pensarse en un proceso de retroalimentación constante que permita mejorarlo. Dicho proceso deberá utilizar la información de la operación diaria resultado de esos itinerarios (esto se conoce como el seguimiento diario) para generar una serie de indicadores operativos que reflejen el comportamiento de la compañía con el fin conocer día con día el comportamiento de las operaciones, así como crear una base de información ejecutiva para mantener informados a los directivos sobre la evolución de la empresa y que les permita poder tomar decisiones. Esto es, se debe considerar como un aspecto fundamental de la planeación, la dedicación de los altos mandos al proceso, un enfoque de equipo multidisciplinario, una estructura organizacional adecuada,

medios correspondientes de planificación, énfasis sobre los resultados proyectados a largo plazo y un ambiente receptivo de ideas innovadoras.

Existen varias pruebas para analizar un itinerario :

- El grado de participación en cada mercado
- Su beneficio, esto es, la respuesta del mercado al itinerario
- Los mercados no satisfechos
- Su rentabilidad, mediante el equilibrio de factor de ocupación por clase tarifaria
- La Relación capacidad - demanda de pasajeros
- Conexiones
- Factibilidad operativa

El desarrollo de un itinerario operacionalmente factible que genere un producto bastante vendible y con resultados operativos beneficiosos es una tarea difícil. El planeador debe desarrollar rutas que conecten segmentos de vuelos de tal forma que se creen patrones de flujo de pasajeros basados en requerimientos de mercado y restricciones operacionales.

El itinerario propuesto por lo tanto deberá :

- Combinar los requerimientos de la demanda con el tamaño óptimo de las aeronaves dando como resultado una transición entre la temporada normal y la temporada alta
- Prevenir cambios de aeronaves sin afectar demasiado el itinerario
- Localizar las estaciones para carga de combustible, mantenimientos (menores y/o mayores), pernoctas de tripulaciones, y determinar el tiempo requerido
- Acomodar transferencias de carga en el sistema, y
- Realizar requerimientos extras como por ejemplo servicios charter y secciones extra

El cliente y el itinerario

En cuanto al cliente podemos decir que se tienen principalmente dos tipos de pasajeros: los que viajan por negocios y los que lo hacen por placer. Dado esto se pueden ubicar las rutas en varias regiones:

1. Nacionales o domésticos
 - Turístico: playas, reservas ecológicas, ciudades coloniales
 - Negocios: ciudades de negocios, complejos industriales, comercio
 - Ciudades fronterizas
2. Internacionales

De acuerdo al tipo de cliente se evalúan varias opciones de tipos de equipos, lo cual tiene influencia en la rentabilidad de la aerolínea principalmente de dos formas. Primero, inherente a las diferencias entre tipos de aeronaves (unas nos brindan mayor comodidad que otras, pero esto repercute en el precio) y, segundo los horarios de los vuelos, ya que para algunos pasajeros la diversidad de opciones que se le presenten es muy importante mientras que para otros solo les interesa llegar a un buen horario a su destino.

Importancia del itinerario

De una investigación realizada por el fabricante de aeronaves Boeing y otras organizaciones se determinaron que dada una serie de tarifas competitivas, el proceso de selección de un vuelo por parte de un pasajero se basa en tres categorías básicas de preferencias : itinerario, aerolínea y aeronave. Para vuelos cortos (menores a dos horas), la mayoría de los pasajeros se inclinan al itinerario, mientras que para viajes más largos (2 a 5 horas o más) los pasajeros se detienen a pensar en su comodidad que está basada en el tipo de aeronave y el servicio que le ofrece la aerolínea. Estos incluyen factores internos como la experiencia del vuelo, la comodidad en los asientos y el espacio entre éstos, el servicio a bordo y el servicio antes y después del vuelo. Hay factores externos como el tamaño de la aeronave, la imagen de la empresa y la familiaridad que se tenga con ésta.

La hora del día impacta la demanda

Debido a que el itinerario es generalmente lo más importante para el pasajero cuando selecciona un vuelo de una aerolínea, es necesario entender cuales son las horas del día que prefiere el pasajero para determinados vuelos.

La demanda de pasajeros para segmentos individuales de vuelos es el resultado de una demanda verdadera origen-destino y el flujo en las rutas creadas por la red de una aerolínea. Cada mercado tiene una distribución de demanda única que está en función de la hora del día, día de la semana, estación del año y direccionalidad. La composición de pasajeros en un segmento de un vuelo está compuesto normalmente de demandas de varios mercados origen-destino, de ahí que, el itinerario de cada despegue requiere un compromiso entre estas demandas individuales.

La demanda por día de la semana es muy complicada ya que podemos obtener curvas de demanda muy diferentes ya que derivan de mercados atípicos. En aviación todos los mercados son atípicos. Un ejemplo de esto son los viajes a ciudades de negocios como Monterrey en las que es más factible que se viaje entre semana que en fin de semana como sucedería en un destino turístico como es el caso de Acapulco.

Las relaciones de demanda por hora del día pueden relacionarse más directamente a la diferencia entre los tiempos de salida y llegada locales. Esto es, el pasajero parece tener en cuenta ambos tiempos, a fin de conocer el tiempo total del viaje para poder preferir un vuelo en lugar de otro, aunque cabe mencionar que se debe tener en cuenta las diferencias de uso horario de los diferentes destinos ya que estos tiempos en un momento dado pueden ser los mismos.

Las curvas de hora del día se derivan empíricamente de datos históricos de las compañías de acuerdo a ciertos rangos de mercado, que se tienen que ir actualizando constantemente para poder llegar a una curva que nos muestre la mayoría de las preferencias de los pasajeros.

Un itinerario beneficioso

Otro factor importante es el de analizar si se tienen los equipos adecuados para los diferentes vuelos. Esto depende de la demanda y debemos evaluar de acuerdo al factor de ocupación para ver qué tan rentable es el vuelo. Atender una ruta con una aeronave que es demasiado pequeña para satisfacer la demanda reduce los beneficios que se podrían obtener y descuida ese mercado en el cual otras aerolíneas pueden entrar y generar mayor competencia. En el caso contrario estamos teniendo pérdidas por costos operativos y la tarifa tenderá a subir por lo que tampoco es recomendable. Es importante llegar a un equilibrio para que realmente obtengamos un beneficio.

Típicamente la demanda promedio es menor que la capacidad, y la demanda pico es mayor que la capacidad.

Con los asientos y pasajeros promedio por semana tomados del total del mercado, así como los de una aerolínea en específico podemos obtener su participación en el mercado. Esto nos va a permitir conocer a nuestras regiones mejor con el fin de poder hacer un pronóstico de demanda más acertado.

Las combinaciones de tarifas en los vuelos

Otra parte importante es examinar el factor de ocupación por clase de tarifa para incrementar el beneficio del itinerario. Una aerolínea puede tener altos factores de ocupación por ofrecer bajas tarifas pero esto no puede darle beneficios, por lo cual es importante un análisis de esto.

Cuando un vuelo despegue con asientos vacíos no hay forma de recuperarlos, es por esto que las tarifas promocionales tienen éxito, ya que es mejor obtener un ingreso aunque sea pequeño que no obtener nada.

Las tarifas promocionales le dan una oportunidad a la aerolínea de incrementar sus beneficios ya que se utilizan para ocupar asientos vacíos e incrementar así el factor de ocupación. Una estructura de tarifas bien diseñada puede atraer más pasajeros en vuelos que no tienen un buen mercado, pero si no están bien diseñadas pueden contribuir a grandes pérdidas.

Hay un límite para estas reducciones de tarifas, las reducciones menores son efectivas mientras que las reducciones mayores a veces producen solo ganancias marginales por estimulación.

Para ayudar a regular estas tarifas cuando la demanda normal es baja podemos utilizar algunas restricciones como una estancia mínima, que sea solo en un determinado día de la semana, que no se acepten cancelaciones hasta dos días antes de efectuar el vuelo, etc.

Compaginar capacidad con demanda

Este es uno de los objetivos primarios de los itinerarios, por ejemplo, asumamos que tenemos 600 pasajeros por día. Si la flota de la aerolínea estuviera limitada a un solo tipo de aeronave y a un factor de ocupación del 65% que permitiera picos de demanda, este mercado podría atenderse con dos 747 o tres DC-10 o cuatro 767 o tal vez seis 727. Se puede dar el caso que los factores de ocupación mayores se darían con los equipos menores dado que éstos brindan una mayor cantidad de frecuencias. La aeronave única tiene limitaciones, pero si está en el mismo horario y ruta de muchas pequeñas, ésta será la que se prefiera. Como vemos de nuevo todo depende del mercado. Estas no son las únicas consideraciones, la desventaja de aviones pequeños con muchas frecuencias es la cantidad de personal necesario para atenderlos, así como los gastos de mantenimiento y operativos, en particular el personal de vuelo.

Vuelos directos y con escalas

Exclusivamente desde un punto de vista de mercado, el mejor método de compaginar demanda y capacidad es el ofrecer vuelos directos a cada par de ciudades, con un itinerario arreglado para soportar variaciones pico en la demanda. La desventaja son la cantidad de aeronaves requeridas.

Algunos de estos mercados origen-destino no son lo suficientemente grandes para sostenerse, por lo que se tienen que hacer escalas a fin de captar una mayor cantidad de pasaje y elevar el factor de ocupación.

Conexiones

Hay aeropuertos que sirven de conexión para muchos destinos en intervalos de tiempo muy cortos y que permiten el acceso a destinos que por sí solos no tienen la capacidad de mercado necesaria para llegar a ellos de una manera rentable. Se deben analizar bien, sobre todo por su localización geográfica, reciben y despachan una gran cantidad de vuelos de diversas aerolíneas y tipos de equipo a una gran cantidad de destinos, pero tienen la desventaja de que necesitan de una gran cantidad de personal y facilidades por parte de las aerolíneas, así como un sistema de control de pasajeros, y casi siempre hay una gran demanda por lo que se provocan demoras y si a esto adicionamos problemas meteorológicos, el despacho de vuelos y la cantidad de demoras se vuelven un gran problema.

Un itinerario flexible puede incrementar la productividad

Los fabricantes de aeronaves nos brindan una gran variedad de capacidades en función de la configuración de asientos y carga. Bajo estas condiciones las aeronaves pueden asignarse a vuelos de acuerdo a la demanda. Estas asignaciones se hacen en el contexto de máximo beneficio.

Con una mejor mezcla entre asientos y demanda tenemos la oportunidad de aumentar el factor de ocupación, reducir costos operativos y potencialmente reducir las inversiones por aeronaves.

Las técnicas de administración de capacidades también permiten a la aerolínea responder a eventos inesperados como cuestiones meteorológicas, demoras por congestión, y problemas mecánicos porque con un margen de holgura entre la cantidad de pasajeros y carga se puede en un momento dado encontrar una mejor configuración de la aeronave para un caso específico.

Capítulo 4. Programa de itinerarios

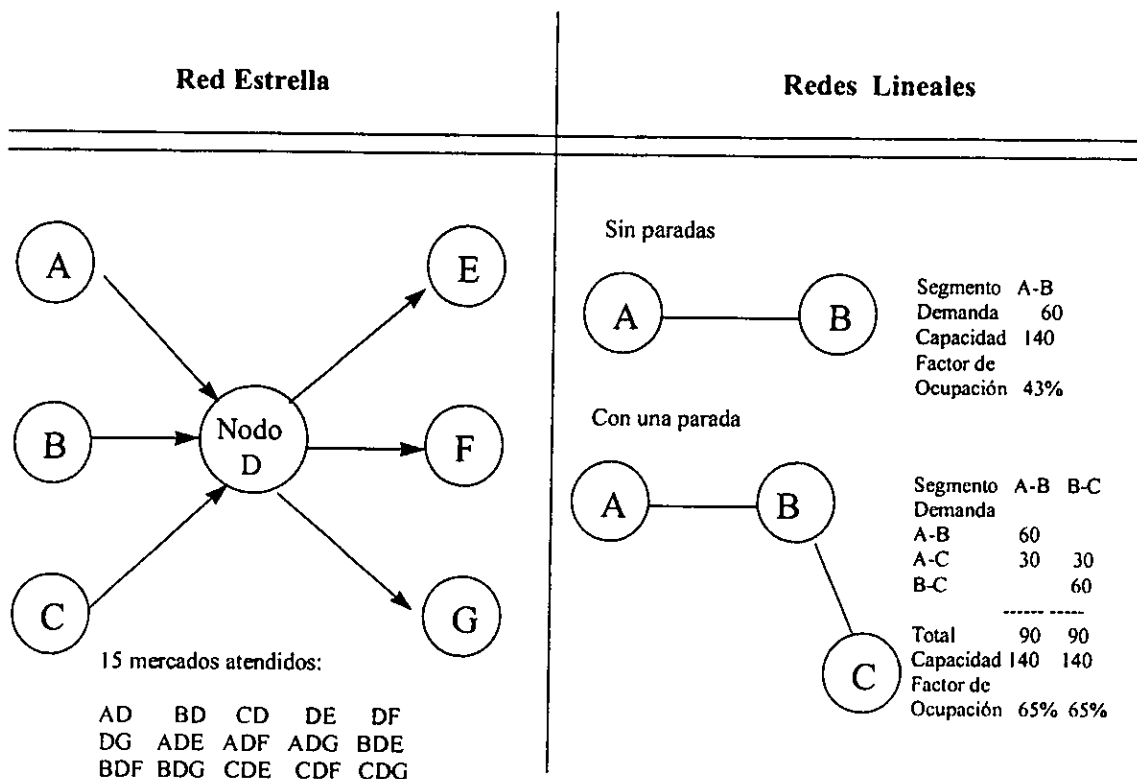
Para poder analizar un itinerario es necesario conocer cada una de las partes que lo componen y su interrelación

4.1 Estructura de rutas

Un itinerario es un compromiso entre lo que el consumidor desea y lo que la línea aérea puede ofrecer obteniendo ganancias y se enfoca en atender una cantidad de destinos que a su vez pueden conectarse de diversas formas mediante una estructura de rutas o red. Existen dos tipos básicos de redes: estrella y lineal.

En la red estrella se concentra la mayor cantidad de tráfico en un destino que sirve de pivote para servir a otros destinos y los viajes entre éstos se facilitan debido a las conexiones que tienen con el nodo base, por lo regular las operaciones se hacen en un periodo mínimo (una hora o menos dependiendo de la conexión). Este tipo de red se da en destinos que son dominados por determinadas aerolíneas y nos brinda muchas frecuencias en las que se requiere de aeronaves pequeñas. La desventaja de este tipo de red es que demanda un mayor número de aeronaves, personal y facilidades de las aerolíneas así como un sistema de control de pasajeros bastante complejo. Además la congestión y las demoras son características de este tipo de red que nos pueden llevar a severos problemas durante periodos en los que tengamos malas condiciones climatológicas.

Las redes lineales se asocian con vuelos largos que requieren de varias paradas en las que se generen pasajeros, pero tienen la desventaja de que tienden a limitar los factores de ocupación debido a dificultades en la planeación de tráfico de cada sector. A continuación se muestra un ejemplo de estos dos tipos de redes.

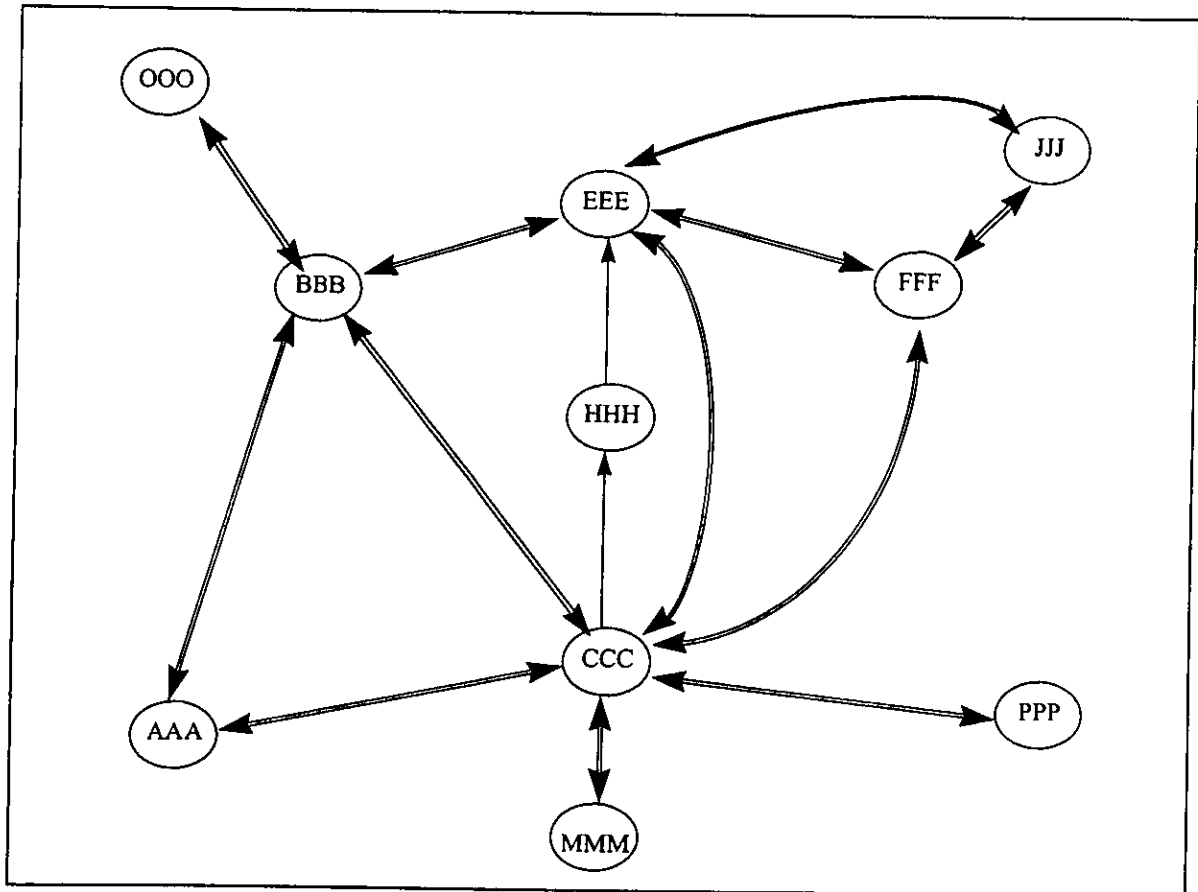


En la práctica no es muy común que se tenga un solo tipo de red, por lo que se dio origen a las redes híbridas que son una combinación de las dos anteriores.

En la planeación de flota, la estructura de rutas ejerce una influencia considerable en el tipo de aeronave a escoger. La red no solo decidirá el máximo nivel de utilización de la aeronave, sino también la habilidad de la aerolínea para retener pasajeros en servicios de conexión y todo esto para mejorar el yield.

Una red que permita retroalimentación tendrá un efecto beneficioso en la demanda de pasajeros total de la aerolínea y su rentabilidad, además de que deberá considerar aspectos como la congestión de tránsito aéreo, las regulaciones del aeropuerto (por ejemplo el ruido), la disponibilidad de posiciones, el límite de la fuerza de trabajo en las estaciones, la disponibilidad de la tripulación, la demanda de pasajeros en las conexiones, los requerimientos de mantenimiento de las aeronaves, los efectos de los usos horarios, y los acuerdos del servicio aéreo internacional. Esto es, un itinerario debe ser tolerante a demoras técnicas y operacionales.

A continuación se muestra una red híbrida que consta de diez nodos



4.2 Itinerario base

En el caso de una aerolínea que apenas empieza el itinerario base surge de un estudio de mercado y sobretodo se apega a los recursos con que se cuente. Cuando la aerolínea ya tiene cierto tiempo de operaciones el itinerario base es generado de la experiencia su personal de planeación principalmente y respaldado por información histórica, de la competencia, del mercado total y por una serie de proyecciones que nos van a dar la pauta para hacer mejoras a esta programación inicial de vuelos.

Durante el proceso tan dinámico que sigue un itinerario, vamos a tener en cierto momento que parar este proceso y comenzar de nuevo con un itinerario base. Esto es debido a que hay infinidad de factores de cambio que lo afectan y se puede dar el caso que haya cambios drásticos, por lo que es más sano comenzar un nuevo análisis, al principio tal vez llevando la tendencia de lo que se estaba trabajando hasta que madure el nuevo itinerario.

La información básica que se maneja en un itinerario es la siguiente:

Airline	Identificador de la aerolínea (v.g. GD - TAESA, MX - Mexicana, AM - Aeroméxico)
Tpoeqp	Tipo de equipo (v.g. 733 - Boeing 737-300)
Numvlo	Número de vuelo
leg	Segmento del vuelo (v.g. una ruta AAA-BBB-CCC tiene 2 segmentos : AAA-BBB [1] y BBB-CCC [2])
frec	Frecuencia del vuelo (v.g. 1-3-5-- opera lunes, miércoles y viernes)
fini	Fecha de inicio de operaciones del vuelo
ffin	Fecha de terminación de operaciones del vuelo
etd	Tiempo de salida del vuelo en horario local de la estación de origen
org	Origen del vuelo
dst	Destino del vuelo
eta	Tiempo de llegada del vuelo en horario local de la estación destino
etdz	Tiempo de salida del vuelo en horario zulu (zulu es el horario internacional de acuerdo al meridiano de Greenwich)
etaz	Tiempo de llegada del vuelo en horario zulu
tpovlo	Tipo de vuelo (SKD - itinerario, CHR - charter, CGO - carga, FRY - ferry)

con la cual observamos que podemos ir por una aerolínea de un origen a un destino en determinados días del mes con un horario preestablecido y utilizando un cierto tipo de equipo.

De acuerdo a la estructura de rutas que se vio en el tema anterior se presenta a continuación un itinerario base.

airline	tpoeqp	numvto	leg	frec	fini	ffin	etd	org	dst	eta	etdz	etaz	tpovto		
XX	DC9	62	1	5:7	01/01/97	12/31/97	1845	CCC	BBB	1945	45	145	SKD		
XX	DC9	62	2	5:7	01/01/97	12/31/97	2020	BBB	OOO	2100	220	300	SKD		
XX	DC9	63	1	5:7	01/01/97	12/31/97	2130	OOO	BBB	2210	330	410	SKD		
XX	DC9	63	2	5:7	01/01/97	12/31/97	2245	BBB	CCC	2345	445	545	SKD		
XX	DC9	118	1	4:67	01/01/97	12/31/97	755	CCC	BBB	855	1355	1455	SKD		
XX	DC9	118	2	4:67	01/01/97	12/31/97	930	BBB	EEE	1030	1530	1830	SKD		
XX	DC9	119	1	4:8	01/01/97	12/31/97	1640	EEE	BBB	2115	40	315	SKD		
XX	DC9	119	2	4:6	01/01/97	12/31/97	2150	BBB	CCC	2250	350	450	SKD		
XX	737	128	1	4	01/01/97	12/31/97	740	CCC	HHH	820	1340	1420	SKD		
XX	737	128	2	4	01/01/97	12/31/97	900	HHH	EEE	1020	1500	1820	SKD		
XX	DC9	130	1	1234:7	01/01/97	12/31/97	830	CCC	AAA	920	1430	1520	SKD		
XX	DC9	130	1	5	01/01/97	12/31/97	735	CCC	AAA	825	1335	1425	SKD		
XX	DC9	130	2	1234:7	01/01/97	12/31/97	1155	CCC	AAA	1245	1755	1845	SKD		
XX	DC9	130	2	5	01/01/97	12/31/97	955	AAA	BBB	1100	1555	1700	SKD		
XX	DC9	130	2	5	01/01/97	12/31/97	900	AAA	BBB	1005	1500	1605	SKD		
XX	DC9	130	2	6	01/01/97	12/31/97	1320	AAA	BBB	1425	1920	2025	SKD		
XX	DC9	130	3	1234:7	01/01/97	12/31/97	1135	BBB	EEE	1235	1735	2035	SKD		
XX	DC9	130	3	5	01/01/97	12/31/97	1040	BBB	EEE	1140	1640	1940	SKD		
XX	DC9	130	3	6	01/01/97	12/31/97	1500	BBB	EEE	1600	2100	0	SKD		
XX	DC9	131	1	1234:7	01/01/97	12/31/97	1320	EEE	BBB	1755	2120	2355	SKD		
XX	DC9	131	1	5	01/01/97	12/31/97	1230	EEE	BBB	1705	2030	2305	SKD		
XX	DC9	131	1	6	01/01/97	12/31/97	1145	EEE	BBB	1620	1945	2220	SKD		
XX	DC9	131	2	1234:7	01/01/97	12/31/97	1825	BBB	AAA	1930	25	130	SKD		
XX	DC9	131	2	5	01/01/97	12/31/97	1735	BBB	AAA	1840	2335	40	SKD		
XX	DC9	131	2	6	01/01/97	12/31/97	1650	BBB	AAA	1755	2250	2355	SKD		
XX	DC9	131	3	1234:7	01/01/97	12/31/97	2000	AAA	CCC	2050	200	250	SKD		
XX	DC9	131	3	5	01/01/97	12/31/97	1910	AAA	CCC	2000	110	200	SKD		
XX	DC9	131	3	6	01/01/97	12/31/97	1825	AAA	CCC	1915	25	115	SKD		
XX	DC9	135	1	7	01/01/97	12/31/97	1640	EEE	BBB	2115	40	315	SKD		
XX	727	136	1	5	01/01/97	12/31/97	820	CCC	FFF	925	1420	1525	SKD		
XX	727	136	2	5	01/01/97	12/31/97	1000	FFF	EEE	1050	1600	1850	SKD		
XX	727	137	1	4	01/01/97	12/31/97	1145	EEE	FFF	1610	1945	2210	SKD		
XX	727	137	2	4	01/01/97	12/31/97	1655	FFF	CCC	1755	2255	2355	SKD		
XX	727	138	1	4:67	01/01/97	12/31/97	1000	FFF	EEE	1050	1600	1850	SKD		
XX	727	139	1	3:567	01/01/97	12/31/97	1145	EEE	FFF	1610	1945	2210	SKD		
XX	737	152	1	45:7	01/01/97	12/31/97	1645	HHH	EEE	1805	2245	205	SKD		
XX	737	153	1	56	01/01/97	12/31/97	200	EEE	HHH	655	1000	1255	SKD		
XX	732	154	1	6	01/01/97	12/31/97	1030	HHH	EEE	1150	1630	1950	SKD		
XX	737	154	1	12345:7	01/01/97	12/31/97	1030	HHH	EEE	1150	1630	1950	SKD		
XX	732	155	1	6	01/01/97	12/31/97	1235	EEE	HHH	1730	2035	2330	SKD		
XX	737	155	1	12345:7	01/01/97	12/31/97	1235	EEE	HHH	1730	2035	2330	SKD		
XX	737	156	1	567	01/01/97	12/31/97	900	HHH	EEE	1020	1500	1820	SKD		
XX	737	157	1	1:4567	01/01/97	12/31/97	1105	EEE	HHH	1600	1905	2200	SKD		
XX	DC9	168	1	1:34:6	01/01/97	12/31/97	915	CCC	FFF	1020	1515	1620	SKD		
XX	DC9	168	1	5:7	01/01/97	12/31/97	800	CCC	FFF	905	1400	1505	SKD		
XX	DC9	168	2	1:34:6	01/01/97	12/31/97	1055	FFF	JJJ	1240	1655	1840	SKD		
XX	DC9	168	2	5:7	01/01/97	12/31/97	940	FFF	JJJ	1125	1540	1725	SKD		
XX	DC9	168	3	1:34:6	01/01/97	12/31/97	1310	JJJ	EEE	1315	1910	2115	SKD		
XX	DC9	168	3	5:7	01/01/97	12/31/97	1155	JJJ	EEE	1200	1755	2000	SKD		
XX	DC9	169	1	1:34:6	01/01/97	12/31/97	1400	EEE	JJJ	1745	2200	2345	SKD		
XX	DC9	169	1	5:7	01/01/97	12/31/97	1245	EEE	JJJ	1630	2045	2230	SKD		
XX	DC9	169	2	1:34:6	01/01/97	12/31/97	1815	JJJ	FFF	1950	15	150	SKD		
XX	DC9	169	2	5:7	01/01/97	12/31/97	1700	JJJ	FFF	1835	2300	35	SKD		
XX	DC9	169	3	1:34:6	01/01/97	12/31/97	2020	FFF	CCC	2120	220	320	SKD		
XX	DC9	169	3	5:7	01/01/97	12/31/97	1905	FFF	CCC	2005	105	205	SKD		
XX	727	184	1	3	01/01/97	12/31/97	1150	CCC	EEE	1325	1750	2125	SKD		
XX	727	185	1	3	01/01/97	12/31/97	1410	EEE	CCC	1915	2210	115	SKD		
XX	727	186	1	12:4567	01/01/97	12/31/97	800	CCC	EEE	935	1400	1735	SKD		
XX	737	186	1	3	01/01/97	12/31/97	800	CCC	EEE	935	1400	1735	SKD		
XX	727	187	1	12:4567	01/01/97	12/31/97	1750	EEE	CCC	2255	150	455	SKD		
XX	737	187	1	3	01/01/97	12/31/97	1750	EEE	CCC	2255	150	455	SKD		
XX	732	189	1	2:4	01/01/97	12/31/97	1230	EEE	BBB	1705	2030	2305	SKD		
XX	732	190	1	2:4	01/01/97	12/31/97	900	CCC	BBB	1000	1500	1600	SKD		
XX	DC9	190	1	3	01/01/97	12/31/97	900	CCC	BBB	1000	1500	1600	SKD		
XX	732	190	2	2:4	01/01/97	12/31/97	1040	BBB	EEE	1140	1640	1940	SKD		
XX	DC9	190	2	3	01/01/97	12/31/97	1040	BBB	EEE	1140	1640	1940	SKD		
XX	DC9	191	1	3	01/01/97	12/31/97	1230	EEE	BBB	1705	2030	2305	SKD		
XX	DC9	191	2	3	01/01/97	12/31/97	1740	BBB	CCC	1840	2340	40	SKD		
XX	727	192	1	1234567	01/01/97	12/31/97	1520	CCC	EEE	1655	2120	55	SKD		
XX	727	193	1	1234567	01/01/97	12/31/97	930	EEE	CCC	1435	1730	2035	SKD		

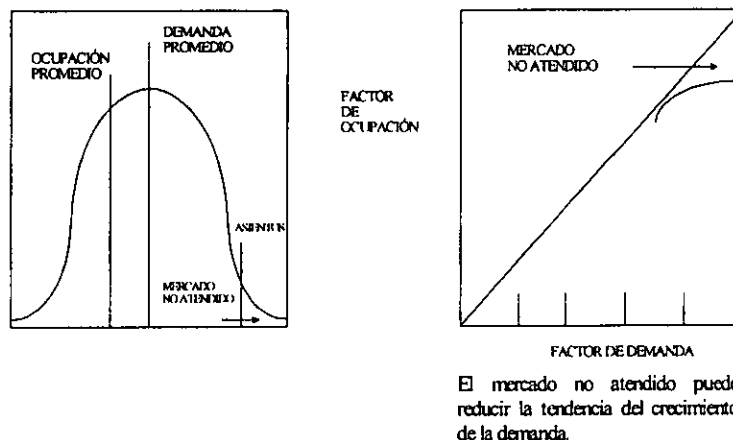
4.3 Pronóstico de demanda de pasajeros

El itinerario, en forma aislada, como se vio en el punto anterior nos muestra tan solo la estructura de las rutas. No se puede comprender su comportamiento y mucho menos la forma de mejorarlo.

Es esencial realizar un estudio de la posición que se tiene en el mercado, la demanda potencial que existe, los recursos con los que contamos para lo cual vamos a comenzar con un pronóstico de demanda de pasajeros.

Los principales determinantes de este pronóstico son:

- a) Demanda no satisfecha. Cuando una aeronave es demasiado pequeña para un mercado, la aerolínea puede perder una porción de la demanda del mercado. Esta demanda es aprovechada por otras aerolíneas o bien por otros modos de transporte por lo que resultaría en pérdida de rentabilidad para esos vuelos. Se puede cuantificar la demanda no satisfecha de un vuelo operado por cierta aeronave mediante una distribución de probabilidad normal basada en la información actual. Casi siempre la demanda promedio es menor que la capacidad y el pico de demanda es mayor que ésta.



El mercado no atendido puede reducir la tendencia del crecimiento de la demanda.

- b) Los efectos de la red. La naturaleza de la red de la aerolínea puede influenciar la demanda. Las redes estrellas estimulan los vuelos interlineales. El aumento de frecuencias o capacidad en una ruta puede generalmente provocar un crecimiento en la demanda de pasajeros, por lo que la simulación de tráfico en una ruta se ve reflejada en las demás y viceversa.
- c) Los efectos de precio / volumen. Una reducción en la tarifa por una aerolínea o sus competidores frecuentemente estimula la demanda y en la mayoría de los casos distorsiona de manera razonable el pronóstico. La elasticidad del precio de la demanda por lo tanto varía por segmento de mercado.

d) La influencia de los productos de las aerolíneas. Los productos son una serie de valores agregados y condiciones especiales dentro de un vuelo en específico, por ejemplo la atención especial a los pasajeros de negocios. Una aerolínea que ofrece una tarifa alta pero a cambio garantiza un servicio de primera que requiere el hombre de negocios deteriora al mercado de viajeros por placer, mientras que , otro producto que no ofrezca todas estas comodidades pero que sea con un costo mucho más económico deteriora al mercado de negocios. Ambos productos pueden ser beneficiosos pero su pronóstico aunque sea hacia el mismo destino será muy diferente. Otro aspecto que se toma en cuenta para promocionar un nuevo producto es la evaluación de aeronaves ya que ejercerá gran influencia en los niveles de demanda de pasajeros, mercados compartidos, capacidad de carga, yield y rentabilidad. Estos productos pueden ser influenciado por factores como:

- Configuración interior de la aeronave
- Nivel de servicio a bordo
- Filosofía del itinerario (a qué tipo de pasaje se enfoca)
- Políticas de reservaciones y venta de boletos
- Estándares de servicio en tierra

e) Problemas de localización de pasajeros. La distribución de pasajeros de un par de ciudades de una aerolínea del mercado total es complicado por diversos factores que influyen la demanda, esto es, puede decirse que el mercado compartido de una aerolínea está en función de:

- Frecuencias compartidas
- Número de escalas en ruta / Tiempo ahorrado relativo / Costo del transporte por pasajero
- Capacidad de la aeronave / Tipo / Velocidad
- Percepciones del consumidor / Fuerza de mercado

Para realizar un pronóstico partimos de la hipótesis básica que el desempeño de los datos involucrados continuará ocurriendo en por lo menos el futuro inmediato y que por lo general se dan en forma de series de tiempo, es decir, se resumen los cambios en los valores de las variables como una función del tiempo. Las variaciones que se pueden observar en las series de tiempo por lo regular son ocasionadas por: fluctuaciones aleatorias sin tendencia, fluctuaciones aleatorias con tendencia, de acuerdo a un patrón estacional, y a un patrón estacional con tendencia.

Al pensar en un pronóstico debemos de minimizar estas fluctuaciones aleatorias para lo cual el procedimiento más común es el de graficar los datos históricos contra el tiempo y al analizar visualmente la gráfica resultante podemos obtener una evaluación inicial de la naturaleza de los datos respecto a fluctuaciones aleatorias, estacionales y de tendencia.

Un modelo de pronóstico es el de regresión y nos sirve para detectar tendencias en los datos. Su forma más simple supone una tendencia lineal con el tiempo.

Si $\hat{y}$ representa el valor estimado de la variable en el tiempo t , el modelo de regresión está dado por:

$$\hat{y} = a + bt$$

las constantes a y b se determinan a partir de los datos primarios con base en el criterio de los mínimos cuadrados, es decir, sean (y_i, t_i) los datos primarios demanda real y tiempo podemos definir :

$$S = \sum (y_i - a - bt_i)^2$$

como la suma de los cuadrados de las desviaciones entre los valores de la demanda observada y la estimada. Los valores de a y b se determinan al resolver las condiciones necesarias para la minimización de S quedando las siguientes ecuaciones:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i t_i - n \bar{y} \bar{t}}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - n \bar{t}^2} \quad a = \bar{y} - b \bar{t}$$

donde :

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

y para probar que tanto se ajusta $\hat{y}$ a los datos primarios calculamos el coeficiente de correlación r usando la fórmula :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n y_i t_i - n \bar{y} \bar{t}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n t_i^2 - n \bar{t}^2)(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2)}}$$

donde $-1 \leq r \leq 1$, se tiene un ajuste lineal perfecto si $r = \pm 1$, por lo que entre más nos acerquemos a 1 será mejor el ajuste. Pero si $r = 0$ es muy probable que nuestras variables sean independientes.

Otro modelo es el de promedio móvil que estima la demanda real del siguiente período como el promedio de la demanda real de los últimos m periodos; esto es:

$$\hat{y}_{t+1} = \frac{y_t + y_{t-1} + \dots + y_{t-m+1}}{m}$$

El pronóstico de pasajeros para nuestro caso práctico lo vamos a conformar desde dos fuentes de información: industria y aerolínea. Para obtener la información referente a la industria nos apoyamos en la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) que es la dependencia gubernamental de nuestro país que regula esta industria, así como, de organizaciones internacionales como la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA) y la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) que manejan una serie de estadísticas a nivel mundial de las aerolíneas afiliadas. La información de la aerolínea se divide en dos partes, la información histórica y la información de reservaciones.

De la información de la DGAC y la aerolínea podemos obtener la cantidad de pasajeros transportados por un par de ciudades mes a mes. Considerando que se tiene información de 1994 a 1996 y utilizando los métodos antes descritos podemos obtener una proyección para 1997 de pasajeros transportados mes a mes, con las cuales se podrá integrar una serie de curvas anuales que nos muestren el comportamiento de cada uno de los pares de ciudades.

De dichas curvas y con la información del itinerario sobre un vuelo específico se podrá calcular la cantidad de pasajeros esperados para un determinado periodo como muestra a continuación:

RUTA		AÑO	FUENTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOT	
CCC-EEE		94	DGAC	45,000	28,356	35,345	37,108	29,100	25,109	36,327	38,231	26,187	28,934	26,687	30,765	387,149	
		95	DGAC	57,718	36,279	46,070	43,548	38,456	31,418	44,146	48,283	33,282	31,390	27,524	34,199	472,313	
		96	DGAC	44,860	28,547	33,169	29,331	28,300	25,882	37,364	39,440	26,655	38,049	34,309	40,504	406,410	
		97	TENDENCIA	49,053	31,252	36,019	28,885	31,152	28,243	40,316	43,194	29,176	41,906	37,129	44,895	441,218	
		94	AEROLÍNEA	13,134	10,236	11,234	13,289	10,387	9,123	10,145	12,349	7,867	6,589	7,564	10,298	122,215	
		95	AEROLÍNEA	16,154	12,912	16,358	15,133	12,965	10,803	14,685	14,891	8,211	7,715	8,955	11,551	150,133	
		96	AEROLÍNEA	13,914	9,730	11,126	9,823	9,005	8,094	11,315	11,820	8,236	5,956	5,905	9,646	114,570	
		97	TENDENCIA	15,181	10,453	12,798	9,282	9,404	8,244	13,218	12,491	8,474	6,120	5,816	9,846	121,328	
	CURVAS DE TEMPORALIDAD																
			DGAC	11.12	7.08	8.16	6.55	7.06	6.40	9.14	9.79	6.61	9.50	8.42	10.18		
		AEROLÍNEA	12.51	8.62	10.55	7.65	7.75	6.80	10.89	10.30	6.98	5.04	4.79	8.12			
		MEDIA MÓVIL	11.81	7.85	9.36	7.10	7.41	6.60	10.02	10.04	6.80	7.27	6.60	9.15			
PARTICIPACIÓN DE LA EMPRESA EN EL MERCADO																	
				30.95%	33.45%	35.53%	32.14%	30.19%	29.19%	32.79%	28.92%	29.04%	14.60%	15.66%	21.93%		
PRONÓSTICO DE PASAJEROS PARA UN VUELO																	
		FRECS	27	24	27	25	27	26	26	27	25	27	26	26			
		PASAJEROS	2,790	1,134	2,575	1,349	2,163	1,647	2,915	1,999	1,203	2,218	1,679	2,659			
VUELO 186																	
FRECUENCIA 12:34567																	
RUTA CCC-EEE																	
MES BASE DICIEMBRE																	
PAX TRANSPORTADOS																	
EN EL PERIODO BASE 1920																	

Pronóstico de vuelos a través de la información de la DGAC y TAESA

Un punto muy importante para afinar el pronóstico es realizar un análisis de sensibilidad que involucre el cambio de supuestos a fin de establecer su impacto en el pronóstico y determinar que tan sensible es a cambios en factores que podrían quedar fuera de control.

Los factores que pueden influenciar los pronósticos del tránsito de pasajeros son :

- El desempeño de la economía nacional y regional
- Las tendencias socio-económicas y demográficas nacional y regional
- La competencia de otras aerolíneas y/o otros medios de transporte
- La capacidad y frecuencias compartidas
- La política de precios y la desregulación
- La filosofía de servicio
- La fuerza del mercado
- La estructura de rutas
- Percances

Toda esta serie de cambios en el pronóstico de la demanda de pasajeros, se observarán durante el proceso del itinerario y finalmente se reflejarán en pérdidas y ganancias de la aerolínea.

4.4 Pasajeros reservados

Los pasajeros reservados son otro indicador importante ya que con ellos podemos supervisar el comportamiento de los pasajeros en el tiempo, y detectar aspectos como la falta de pasajeros para que un vuelo sea rentable o bien la sobreventa de boletos. Con ellos realizar modificaciones al itinerario antes de la operación y así mejorarlo.

4.5 Aeronaves

Hasta aquí tenemos una estructura de rutas, y una cierta demanda entre cada tramo, ahora necesitamos satisfacerla para lo cual vamos a incluir en el análisis a las aeronaves.

Una aeronave puede ser rentada o propia. La decisión de comprar o rentar una aeronave es bastante compleja. El costo es un factor importante pero también lo son los objetivos de la aerolínea, por lo que la persona responsable del análisis deberá asignar un cierto peso a cada factor que considere importante para el proceso de toma de decisiones. La importancia de cada factor varía de aerolínea en aerolínea, y a veces hasta dentro de la misma aerolínea. A continuación se muestra un cuadro con las principales ventajas y desventajas de estas decisiones.

Compra de aeronaves

Ventajas	Desventajas
Flexibilidad financiera Futuras reventas pueden servir para comprar aeronaves nuevas Retorno de ventas o rentas puede proveer efectivo para inversiones, reducción de deuda o generación de capital de trabajo	Pagos adelantados
Reducción de cargos por deducciones de impuestos en depreciación e intereses	Se requiere financiamientos con cuotas bajas
En aeronaves nuevas el comprador recibe soporte por parte del vendedor (entrenamientos y garantía)	Acuerdos a mayor plazo que en las rentas
Flexibilidad operacional Después de terminar de pagar la aeronave, ésta opera sin ninguna restricción	Altos costos de financiamiento (intereses) en los primeros años del convenio
	Puede impactar negativamente la habilidad de la aerolínea para obtener préstamos

Renta de aeronaves

Ventajas	Desventajas
No se requieren pagos adelantados	Dependiendo del análisis de la situación de la empresa, la operación en aeronaves rentadas puede ser más costosa que si se compran.
Minimiza la deuda en la hoja de balance, preservando su capacidad de obtener préstamos, y así tiene una mayor facilidad para actualizar la flota.	Se tiene que pagar la renta aún en el caso que la aeronave no esté en operación
Flexibilidad financiera a) Está en la capacidad de negociar los pagos según sus necesidades b) Está latente la opción de compra Debido al convenio de corto plazo que se maneja en la renta, la aerolínea puede probar nuevos mercados	La renta requiere del pago de reservas para mantenimiento en algunos casos
Las arrendadoras pueden ofrecer aeronaves en un periodo de tiempo mucho menor que cuando se compra una	La renta de aeronaves no le da a la aerolínea equidad en su flota
En aeronaves nuevas el arrendador le da a la aerolínea entrenamiento y garantía como si las fuera a comprar	El soporte por parte del arrendador difiere del que se da cuando se trata de la compra de una aeronave.
El arrendador puede brindar servicios adicionales como mantenimiento, entrenamiento de pilotos, y hasta una tripulación si es necesario	

Para complementar el itinerario es necesaria una asignación de equipos, para lo cual debemos de conocer las principales características de las aeronaves.

Capacidad de la aeronave	Es el número de asientos que puede ofrecer, así como la cantidad y capacidad de compartimientos de carga. Hay aeronaves de pasajeros, de carga y combis, es decir que se combinan los dos aspectos anteriores.
Rango de operación	Dependiendo del tamaño, peso y tipo de motores, las aeronaves tienen un alcance de ciertos kilómetros . Esto representa una restricción para la asignación de un equipo a una ruta ya que si la distancia del par de ciudades es mayor al rango de operación de la aeronave, se tendrá que realizar una escala para poder realizar el vuelo, o simplemente asignar otro equipo a la ruta.
Características de la aeronave	El aspecto tecnológico, las dimensiones del equipo, su nivel de ruido, etc. son restricciones para que una aeronave pueda aterrizar en un aeropuerto. También se deben de considerar las restricciones del país en el que se va a aterrizar en el caso de vuelos internacionales; por ejemplo, en Estados Unidos se deben de cumplir las especificaciones dictadas por la FAA.
Configuración de la aeronave	A nivel mundial existen básicamente tres tipos de servicio: de primera clase, de negocios y la clase turista. La diferencia entre estas es la amplitud entre asientos y el servicio al pasajero.
Consumo de combustible	Dependiendo de la antigüedad de la aeronave y de las características de operación es el consumo de combustible, el cual se reflejará en los costos de operación.
Velocidad	Es importante este aspecto, ya que representa la oportunidad de operar más vuelos en un mismo periodo
Pesos de operación	Este concepto es importante ya que la mayoría de los cobros por conceptos de operación están relacionados de forma directa con las restricciones y seguimiento de los pesos de operación.
Tipos de servicio de mantenimiento	Cada aeronave tiene un programa de mantenimiento específico, y dicho mantenimiento se rige por las horas de vuelo y los ciclos de operación, por lo tanto, dichos servicios deberán programarse junto con el itinerario para no afectar la operación.
Tripulación	Personal a bordo requerido para efectuar un vuelo

4.6 Tripulación

La tripulación es un aspecto también importante puesto que es el grupo de personas que van a realizar un vuelo. Este grupo está formado por pilotos, copilotos, primeros oficiales y sobrecargos. A veces se requiere de un mecánico y de un asesor.

Cada aeronave, como lo vimos en sus características, requiere de una tripulación por lo que para fines de este trabajo se manejarán en grupos, no de forma individual. Haciendo la observación que en el caso de los primeros oficiales y sobrecargos, éstos pueden realizar su trabajo en cualquier tipo de aeronave con un mínimo de entrenamiento mientras que los pilotos y copilotos requieren de capacitación especial para volar cada uno de los diferentes equipos.

En la administración de las tripulaciones es compleja ya que se debe llevar un control estricto de las horas de vuelo por contrato colectivo y por seguridad, y tomar en consideración aspectos como: horas de descanso mínimas, estaciones de pernocta, la disponibilidad de la tripulación ya que pueden tomar vacaciones o bien solicitar días por enfermedad, o bien estar en un programa de entrenamientos, etc.

4.7 Otras consideraciones

Existen infinidad de factores adicionales involucrados en la operación de un vuelo como por ejemplo: el servicio de comisariato, el proceso de carga de combustibles, las revisiones gubernamentales, etc., pero para fines de este trabajo nos vamos a enfocar en un itinerario que surge de una demanda, que es operado por una flota de aeronaves, con una tripulación, y que es susceptible a cambios que debemos de controlar y analizar para mejorarlo.

Capítulo 5. Asignación de flota

La asignación de flota es el motor del itinerario ya que sin aeronaves la operación no es posible, y de ellos depende que se atienda la demanda y se obtengan beneficios. Su objetivo es obtener la máxima utilidad, así como el máximo rendimiento de los equipos.

5.1 Consideraciones

En un itinerario existe un patrón de vuelos repetitivo de manera semanal y el objetivo del proceso de asignación de flota es asignar la mayor cantidad de segmentos de vuelo como sea posible en una semana tipo a una aeronave sin descuidar las restricciones operativas. Cuando se tiene variedad en la flota es probable que la mejor aeronave para cada vuelo no es la que nos brinda el mayor beneficio, ya que entre otras razones debemos considerar los tiempos de mantenimiento y el número de aeronaves disponibles para cubrir cualquier contingencia.

A continuación se realiza el análisis del modelo utilizado por American Airlines Decision Technologies que es una empresa de software que desarrolla una gran variedad de sistemas relacionados con la aviación y del cual se tomaron las bases para realizar un programa de cómputo para resolver este problema.

5.2 Análisis del modelo desarrollado por American Airlines Decision Technologies

American Airlines Decisión Technologies que en lo subsecuente denominaremos SABRE es la empresa líder a nivel mundial en soluciones de tecnología de información para la industria del transporte. Aplican tecnología de información innovadora y la inmensa experiencia para entregar soluciones progresivas en dos áreas importantes:

1. Soluciones para compañías de transporte altamente eficientes en tecnología de información
2. Soluciones que representen un ahorro significativo en el proceso de reservaciones de pasajeros

SABRE es pionera en servicios de tecnología de información para aerolíneas. Virtualmente cada aerolínea importante en el mundo tiene al menos un producto o servicio de SABRE para facilitar sus operaciones.

Esta compañía formuló y resolvió el problema de asignación de flota con un modelo de programación lineal. El modelo contempla dos casos: el caso en el que se tiene una programación de vuelos, y el caso en el que además de esta programación existe una lista adicional de vuelos que se denominan secciones extra

En lo subsecuente se presentará el análisis de restricciones, la función objetivo, el tamaño del problema y tiempo computacional requerido así como su formulación

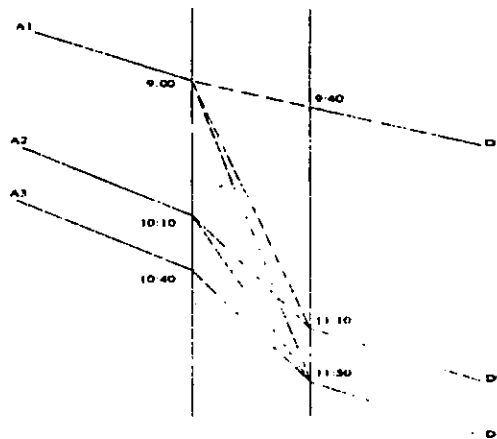
➤ Restricciones

Se mostrarán 5 grupos principales de restricciones de los cuales 4 son intrínsecos al modelo mientras que el quinto es opcional ya que depende de las necesidades de operación de una aerolínea en específico.

1. Cobertura de vuelos

Deben existir por lo menos 40 minutos entre aterrizajes o llegadas y despegues o salidas si es que se considera un vuelo de conexión.

Conexiones vuelo a vuelo usualmente se definen como vuelos directos. Típicamente, una llegada puede ser el regreso de más de una salida como se muestra en la siguiente figura:



Considere A1, A2 y A3 como aterrizajes y D1, D2 y D3 como despegues. Si permitimos un tiempo mínimo de conexión de 40 minutos solamente podemos hacer las siguientes conexiones de vuelos: A1-D1, A1-D2, A1-D3, A2-D2, A2-D3, A3-D3 ya que A2-D1 y A3-D1 no son factibles ya que D1 despegue antes que llegue A2 o A3 y A3-D2 solo tiene un tiempo de conexión de 30 minutos.

Para prevenir que los vuelos se contabilicen dos veces, cada vuelo debe estar limitado a que no sea atendido más de una vez, es decir, no más de un posible regreso de un vuelo puede estar activo. Si todos los vuelos deben ser atendidos, la restricción podría especificar que cada vuelo debe ser atendido solo una vez.

2. Continuidad del tipo de equipo

Es necesario que cada vuelo sea atendido de principio (secuencia de origen o continuada por otro vuelo) a fin (secuencia de terminación o regreso dentro de otro vuelo) en el mismo tipo de aeronave. Eso asegura la integridad de la red por tipo de equipo.

3. Balanceo del itinerario por estación y tipo de aeronave

Un exceso de llegadas sobre las salidas o viceversa en una estación produce un desbalanceo en el itinerario, ya que nos quedamos cortos para completar la operación planeada.

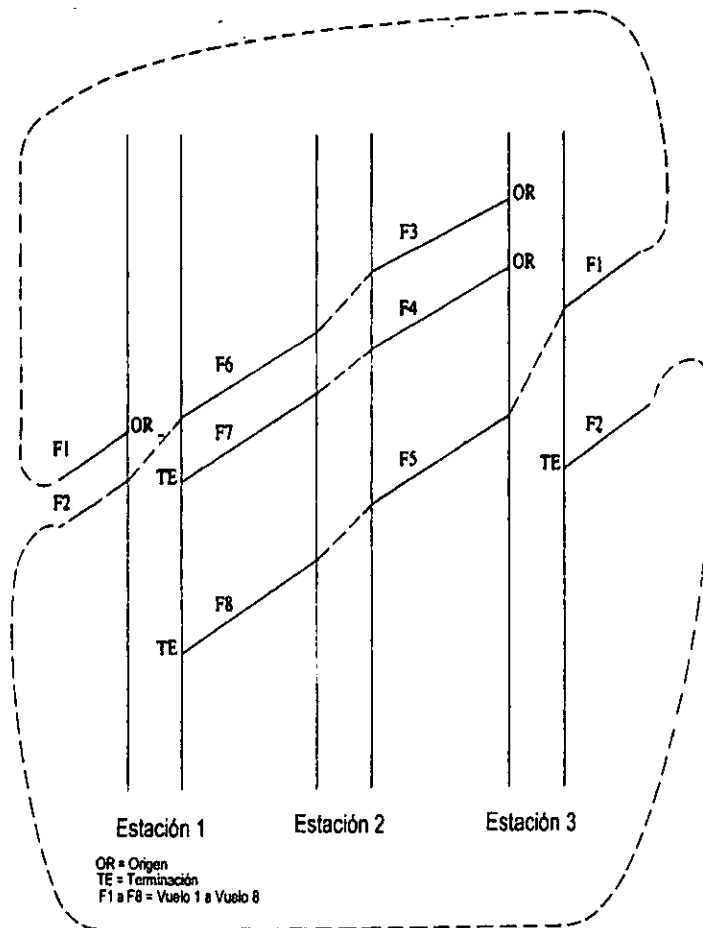
Una diferencia entre el total de salidas y el total de llegadas en un itinerario representa un desbalanceo físico. A pesar de esto un

itinerario físicamente balanceado de manera general puede tener desbalances dentro de dos o más tipos de aeronaves

El problema de balanceo se maneja introduciendo una variable de mínimas llegadas y salidas para cada estación y combinación de tipo de aeronave.

La suma de la secuencia de salidas y su variable debe ser igual a la suma de la secuencia de llegadas y su variable. Esta es una forma de la ley de conservación de flujos de Kirchoff.

En la figura siguiente se muestra un desbalanceo en las estaciones 1 y 3 (debido a que tienen diferente número de salidas y llegadas) y una secuencia balanceada en la estación 2.



La figura muestra tres secuencias que provocan un itinerario desbalanceado :

Secuencia 1) F1 Despega de Estación 1 y Aterrizo en Estación 3

F5 Despega de Estación 3 y Aterrizo en Estación 2

F8 Despega de Estación 2 y Aterrizo en Estación 1

Secuencia 2) F3 Despega de Estación 3 y Aterrizo en Estación 2

F6 Despega de Estación 2 y Aterrizo en Estación 1

F2 Despega de Estación 1 y Aterrizo en Estación 3

Secuencia 3) F4 Despega de Estación 3 y Aterrizo en Estación 2

F7 Despega de Estación 2 y Aterrizo en Estación 1

La estación 2 está balanceada ya que tiene 3 despegues y 3 aterrizajes, pero las estaciones 1 y 3 no. Nos quedamos cortos en la estación 1 y en la estación 3 ya que los despegues no son iguales a los aterrizajes.

Cantidad de aeronaves	Se lleva una cuenta de la cantidad de aeronaves necesarias. Un objetivo secundario de este modelo es minimizar el número de aeronaves utilizadas. Por consiguiente, si el itinerario es demasiado pequeño para las aeronaves disponibles, solo se utilizará una parte de ellas. Si el itinerario es demasiado grande, algunos vuelos no podrán ser operados, ya que las aeronaves no serán suficientes hasta que se incorporen más.
Otras restricciones (no se consideran en este modelo ya que entre más detalle se tenga se incrementará más el tiempo de procesamiento de la solución)	Límites en las aeronaves que pernoctan en una estación o grupo de estaciones Cantidad de vuelos diarios por aeronave Límite en los costos de operación Forzar regresos en un vuelo en específico

➤ Función Objetivo

Maximizar el beneficio de la contribución que nos pueda brindar cada vuelo menos el costo de uso de la aeronave y el costo de desbalanceos del itinerario

➤ Tamaño del problema y tiempo computacional requerido

Cada combinación de vuelo-aeronave representa una variable de decisión, por lo que el número potencial de vuelos redondos en una estación es igual a $0.5n^2$ donde n es el número de llegadas o salidas de una estación. Obviamente, el promedio de vuelos redondos es mayor en las estaciones tipo estrella que en las lineales. Para propósitos de estimación, el modelo contempla una mezcla típica de estos dos tipos de redes que nos da aproximadamente 3 vuelos redondos por vuelo, por lo que cada vuelo puede generar aproximadamente 5 variables ($0.5 \cdot 3^2$). Si asumimos que cada vuelo puede ser realizado en una aeronave resulta un total de $5FK$ variables donde F y K son el número de vuelos y aeronaves respectivamente.

También se pueden considerar las variables de balanceo, dos en cada estación por cada aeronave nos da un total de $2KS$ donde S es el número de estaciones. Finalmente, hay K variables extra de aeronave.

Los renglones básicos generarían F ecuaciones de cobertura de vuelos, FK de continuidad de equipos, KS de balanceo y K de cantidad de aeronaves, además de cualquier otra restricción que tomemos en cuenta.

El tamaño del problema para un itinerario de 400 vuelos con 60 estaciones y tres tipos de aeronaves generaría 6,300 columnas y 1,800 renglones de una matriz de programación lineal. El tamaño del problema se basa en el hecho de que las variables de decisión deben ser enteras por lo que requiere un algoritmo de programación entera.

➤ Formulación del modelo

Variables

X_{ijk}	Ruta (representa la secuencia de orígenes y destinos que cubre diariamente una aeronave) El segmento de vuelo i regresa al segmento de vuelo j en la aeronave k . Si $i=0$ entonces j es el origen de la ruta Si $j=0$ entonces i es el destino de la ruta
e_k	Aeronave extra de tipo k usada más allá del número predeterminado
M_k	Aeronave disponible del tipo k
P_{jk}	Beneficio de operar el vuelo j en la aeronave k
O_{sk}	Secuencia de origen de la ruta de la aeronave k en la estación s
T_{sk}	Secuencia de destino de la ruta de la aeronave k en la estación s
Y_{sk}	Indicador de servicio/no servicio de la aeronave k en la estación s
C_1	Costo nominal por aeronave usada (valor típico = 1)
C_2	Costo por aeronave extra (valor típico = 800,000 usd)
C_3	Costo por desbalanceo (valor típico = 500,000 usd)
F	Número de vuelos
$\sum F$	Sumatoria del número de vuelos
K	Número de aeronaves
$\sum K$	Sumatoria de las aeronaves
S	Número de estaciones
A_s	Conjunto de llegadas a la estación s
D_s	Conjunto de salidas de la estación s
CS_k	Costo impuesto por cada estación operada por una aeronave

Donde

$X_{ijk} = 0, 1$

$Y_{sk} = 0, 1$

$O_{sk}, T_{sk} = 0, 1, 2, \dots$

Restricciones

La ecuación siguiente representa la cobertura de vuelos, esta restricción indica que cada vuelo operado debe ser una secuencia de origen o continuación de otro vuelo del mismo tipo.

$$\sum_{i=0}^F \sum_{k=1}^K X_{ijk} \leq 1 \text{ para todo } j$$

La restricción de continuidad del equipo se muestra a continuación, aseguramos que la aeronave k que viene del origen i y va al destino l continúe del destino l (que en ese momento se vuelve origen) al destino j

$$\sum_{i=0}^F X_{ilk} = \sum_{j=0}^F X_{ljk} \text{ para todo } l, k$$

El Balanceo del itinerario por estación y tipo de aeronave que es otra restricción la observamos a continuación como la igualdad entre el conjunto de salidas de un origen determinado y el conjunto de llegadas a un destino

$$\sum_{i \in D_s} X_{Oik} + O_{sk} = \sum_{i \in A_s} X_{i0k} + T_{sk} \text{ para todo } s, k$$

La restricción por cantidad de aeronaves se muestra a continuación como la igualdad entre las aeronaves disponibles y las aeronaves que requiere el itinerario menos las aeronaves extra que se pudieran llegar a utilizar

$$\sum_{i=1}^F X_{Oik} - e_k = M_k \text{ para toda } k$$

Función Objetivo

La ecuación que se muestra a continuación involucra el beneficio de operar cada uno de los vuelos en una aeronave considerando los costos nominales por aeronave usada, aeronave extra, desbalanceo, así como el costo impuesto por cada estación operada por una aeronave dependiendo del indicador de servicio de la aeronave en cada una de las estaciones.

Maximizar

$$\begin{aligned} Z = & \sum_{i=0}^F \sum_{j=0}^F \sum_{k=1}^K P_{jk} X_{ljk} \\ & - C_1 \sum_{i=1}^F \sum_{k=1}^K X_{Oik} \\ & - C_2 \sum_{k=1}^K e_k \\ & - C_3 \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K (O_{sk} + T_{sk}) \\ & - \sum_k C S_k \sum_s Y_{sk} \end{aligned}$$

5.3 Propuesta de solución al problema

Definición del problema

Asignar una aeronave a un vuelo de manera tal que se cubra un itinerario dinámico

Variables

A continuación se muestra una serie de variables a considerar en el sistema agrupadas principalmente en ocho tablas:

TABLA	DESCRIPCIÓN
Itinerario	Esta tabla es la información básica, ya que contiene el programa de vuelos a operar en un periodo determinado. Este programa durante el transcurso de la operación puede cambiar pero no se debe perder de vista la información inicial ya que nos determina qué tan buena fue nuestra planeación, así como los puntos críticos en ella.
Vuelos (desglose diario)	Contiene la información desglosada por vuelo de un itinerario predeterminado. Esta es la tabla sobre la cual se tiene que asignar a cada vuelo una aeronave, y por lo tanto la base de este trabajo. Es una tabla sumamente dinámica, porque en ella se reflejan los cambios que hacen posible la operación diaria
Demanda Estimada	Nos brinda información de pasajeros reservados, así como pronosticados para cada uno de los vuelos con el fin de tener un parámetro para poder tomar una decisión en la asignación de aeronaves
Aeronaves	Es el inventario de las aeronaves con las que contamos y sus principales características
Disponibilidad de las aeronaves	Esta tabla nos indica cuándo está disponible una aeronave y en qué lugar se encuentra, así como cual ha sido su uso promedio en un determinado periodo
Restricciones debidas a los aeropuertos	En esta tabla se reflejarán las restricciones que tienen cada una de las aeronaves para aterrizar y/o despegar en cada aeropuerto de la ruta
Restricciones debidas a mantenimientos	En esta tabla se reflejarán las restricciones que tienen cada una de las aeronaves debidas a la programación de los mantenimientos necesarios para que el equipo esté en buen estado

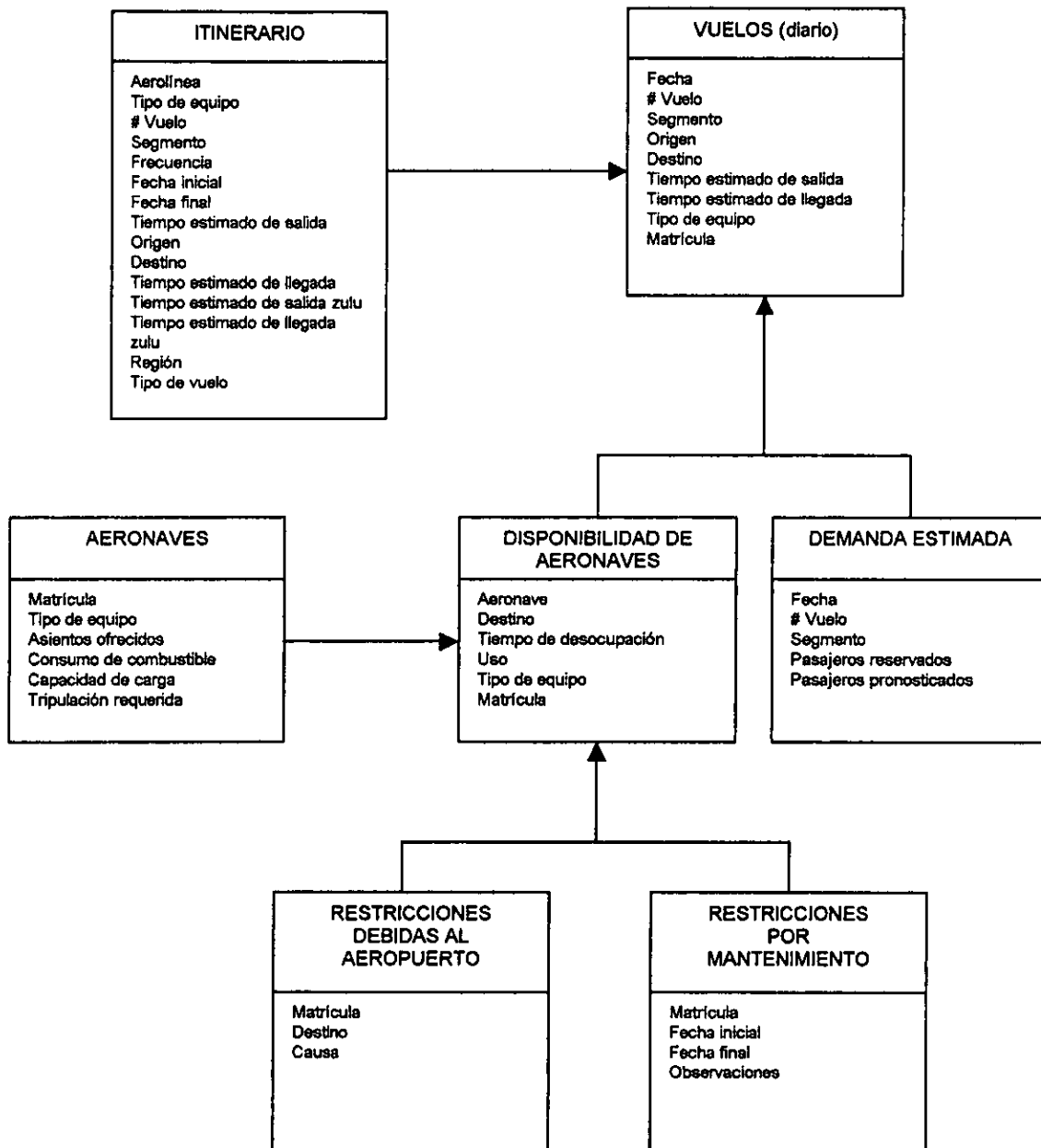
Relaciones entre variables

La tabla de *itinerario* es la generadora de las tablas de *vuelos*, mediante un proceso que se encarga de desglosar cada vuelo dependiendo de su frecuencia.

En el caso de la tabla de *vuelos (desglose diario)* se tiene una relación de 1:1 con la tabla de *demanda estimada*, es decir por cada vuelo que exista tendremos la información de sus pasajeros pronosticados y reservados. También se relaciona con la de *disponibilidad de aeronaves* como apoyo para la asignación de matrículas a la operación diaria, y con las tablas de *restricciones*, que validarán la factibilidad de la asignación.

Entre las tablas de *vuelos*, *aeronaves* y *disponibilidad de aeronaves* existen dos campos que las relacionan: tipo de equipo y matrícula.

Las tablas de *restricciones debidas al aeropuerto* y *por mantenimiento* están relacionadas directamente con la tabla de *aeronaves* y nos brindan información del aeropuerto al que dicha aeronave no puede entrar debido a alguna restricción, así como en que periodos estará en mantenimiento; Esto nos servirá posteriormente para decidir qué aeronave en específico (matrícula) se puede asignar al vuelo.



Aspectos generales del algoritmo

Al desarrollar un algoritmo surgen una serie de condiciones previas las cuales deben ser analizadas cuidadosamente con el fin de tener una fase de preprocesamiento que nos permita simplificar y agilizar la solución de nuestro problema. En algunos casos, esta fase puede llegar a resolver problemas sencillos.

El grado de complejidad de un problema tiene que ver con el tiempo y posibilidad de alcanzar la solución óptima. Si lo más importante para nosotros es obtener una solución en poco tiempo aunque no sea la óptima, es recomendable buscar o diseñar algoritmos que nos den una muy buena aproximación a la solución exacta en un tiempo polinomial. En términos generales se puede decir que son algoritmos que se basan en una apelación intuitiva a una regla interna o particular para trabajar con un aspecto del problema que se esté resolviendo.

Este tipo de algoritmos son implementados mediante un programa de computación, y su aplicación típica es en el área de los problemas combinatorios extensos donde el criterio implícito del investigador es obtener una solución adecuada y rápida en oposición a una solución óptima que puede ser más valiosa y satisfactoria. Esta filosofía encaja bien, en particular, en problemas que más bien son difíciles en su formación, tales como los problemas de alto nivel con objetivos sustitutos, o para los cuales hay numerosos criterios en conflicto de intereses y para los que, en consecuencia, no está definida con claridad una sola función objetivo.

En la implantación de un modelo con estos algoritmos, la administración de iteraciones y la retroalimentación desempeñan un papel quizá mayor que en el caso de la construcción de modelos más formales, ya que en este caso el investigador de operaciones debe evaluar no sólo el modelo, sino en forma implícita también el algoritmo. Esto se debe a que, para el mismo modelo, puede haber algoritmos diferentes que conducen a soluciones distintas.

Esta relación entre el modelo y el que toma las decisiones se manifiesta en la programación meta que permite al planeador acercarse lo más posible a la satisfacción de metas con restricciones diversas, así como incorporar su sistema de preferencias al trabajar con metas múltiples en conflicto. A veces se considera como un intento de poner en el contexto de la programación matemática el concepto de satisfacción. Este término ha sido acuñado para comunicar la idea de que, a menudo, los individuos no buscan soluciones óptimas, sino más bien quieren soluciones que sean suficientemente aceptables o bastante próximas.

La programación meta se basa en la intuición. En la programación de metas con prioridades absolutas, el investigador debe considerar con cuidado la importancia relativa o utilidad de sus metas. Según el resultado del modelo, quien toma las decisiones puede querer cambiar las prioridades, o aún el número de metas, y volver a correr el modelo. En otras palabras, así como con la programación lineal, el análisis de sensibilidad viene a ser una parte importante de la implementación. Dado que la programación de metas está más o menos en la infancia, el campo se desarrolla a gran velocidad, desde el punto de vista teórico, y parece claro que esto impulsará un uso mayor de la técnica, en especial cuando el análisis de sensibilidad se considere con mayor importancia.

Los métodos de búsqueda con este tipo de algoritmos pueden describirse independientemente de cualquier tarea en particular o problema, pero cuando se aplica a problemas particulares su eficacia depende ampliamente de la forma en que se explota el dominio de ciertos conocimientos y que por sí mismos son incapaces de superar la explosión combinatoria para lo cual los procesos de búsqueda son demasiado vulnerables. Por esta razón, éstos métodos son frecuentemente llamados métodos débiles. Pese a sus limitaciones estas técnicas continúan proporcionando la estructura en la cual el dominio de ciertos conocimientos puede ser considerados como resultado de un aprendizaje automático. Algunas de las técnicas de búsqueda de este tipo son: Generación y

prueba, escalamiento (hill climbing), búsqueda del mejor-primero, reducción del problema, satisfacción de restricciones y análisis de medios finales.

El papel de estos algoritmos es entonces: "Enfocar la atención sobre las estrategias más promisorias e intentar encontrar una solución sin explotar todas las posibles opciones".

Algoritmo de asignación de flota

Inicialización o fase de preprocesamiento	Inicializa el campo de matrícula con un valor nulo en la tabla de vuelos Ordena la tabla de vuelos de forma ascendente de acuerdo al tiempo estimado de salida
Paso 1	Selecciona de la tabla de vuelos los vuelos cuyo segmento sea igual a 1
Paso 2	Verificar en la tabla de disponibilidades para ese tipo de equipo si existe una aeronave asignada que pueda atender el vuelo, es decir que esté en el aeropuerto de origen del vuelo a la hora adecuada
Paso 3	Verifica si existe en la tabla de disponibilidad de aeronaves una aeronave de su tipo de equipo que esté en su origen antes de su tiempo estimado de salida (zulú)
Paso 4	Si existe Calcula el uso de esa ruta Verifica restricciones operativas (por aeropuertos y mantenimientos) Si no hay restricciones operativas Actualiza las tablas de disponibilidad de aeronaves y vuelos Ir al Paso 1
Paso 5	En otro caso ir al Paso 5 Si no existe Selecciona de la tabla de aeronaves una matrícula del tipo de equipo de la tabla de vuelos Calcula el uso de la ruta Verifica restricciones operativas (por aeropuertos y mantenimientos) Si no existen restricciones operativas Actualiza las tablas de disponibilidad de aeronaves y vuelos En otro caso Se realiza un cambio de tipo de equipo por uno similar de acuerdo a los pasajeros reservados (demanda) Ir al paso 2

En los anexos se puede revisar el código del programa

5.4 Análisis de escenarios

Este algoritmo se comporta de manera diferente dependiendo del escenario en el que estemos trabajando. A continuación se realiza un análisis de este comportamiento:

Escenario 1: Se toma una semana tipo
 Se consideran las siguientes condiciones iniciales
 Se considera un tiempo mínimo entre vuelos de 20 minutos
 Se utiliza la cantidad de pasajeros reservados para seleccionar otro tipo de equipo en caso de que ya no se puedan realizar vuelos con el tipo de equipo planeado

CONDICIONES INICIALES

Estas condiciones iniciales son de posicionamiento, es decir la posición actual de cada una de las aeronaves

dst	Ti	uso	tpoeqp	mat
MEX	3/10/99 11:00	0	727	RRA
MEX	3/10/99 11:00	0	727	RRB
MEX	3/10/99 11:50	0	DC9	SXS
MEX	3/10/99 12:00	0	DC9	SXT
MEX	3/10/99 12:00	0	DC9	SXV
MEX	3/10/99 22:50	0	732	SIW
MEX	4/10/99 13:00	0	DC9	SYF
MEX	7/10/99 22:50	0	732	SIX
MID	4/10/99 20:00	0	DC9	SZC
TAP	3/10/99 10:30	0	DC9	TDC

Estación	Disponible a partir de:	Tipo de Equipo	Matrícula	Uso (mins)	Uso por Tipo de Equipo	% Ocupación en la ruta	% Desviación por tipo de equipo	Desviación Total
MEX	09/10/99 19:45	727	RRA	2695		50%	0%	
MEX	10/10/99 03:45	727	RRB	2695		50%	0%	
					5390			0
MEX	09/10/99 13:35	732	SIW	610		65%	15%	
MEX	08/10/99 16:15	732	SIX	329		35%	-15%	
					939			30
MEX	10/10/99 00:05	DC9	SXS	3559		23%	6%	
MTY	08/10/99 13:20	DC9	SXT	1325		9%	-8%	
MEX	10/10/99 03:35	DC9	SXV	2539		16%	0%	
MEX	10/10/99 03:35	DC9	SYF	3599		23%	7%	
TAP	10/10/99 02:35	DC9	SZC	1515		10%	-7%	
MEX	10/10/99 02:20	DC9	TDC	2930		19%	2%	
					15467			15
			TOTAL	21796	21796			

En este escenario podemos observar que la manera en que se utilizan cada una de las aeronaves no difiere mucho, su desviación total (es la suma de las diferencias de los valores máximos y mínimos de los porcentajes de ocupación de cada una de las aeronaves de cierto tipo de equipo; la

ocupación está en función del uso total del tipo de equipo) es moderada. Hay tres casos, el de los 727 que son rutas bien definidas y están balanceadas al 100% pero que si tenemos un cambio por mínimo que este sea ya no será posible cubrir la demanda, a menos que ingresemos otra aeronave. El segundo caso (con los equipos 732) se trata de dos rutas muy diferentes y que no puede utilizarse una aeronave para cubrir la otra por lo que cualquier cambio en el itinerario afecta significativamente y están subutilizadas. El tercer caso con los DC9 se tiene una cierta holgura que permitirá ciertos tipo de cambio en el itinerario sin afectar la cantidad de aeronaves ni el balanceo de estos

Escenario 2: Se toma una semana tipo
Se consideran las mismas condiciones iniciales que en el escenario 1
Se considera un tiempo mínimo entre vuelos de 30 minutos
Se utiliza la cantidad de pasajeros reservados para seleccionar otro tipo de equipo en caso de que ya no se puedan realizar vuelos con el tipo de equipo planeado

Estación	Disponible a partir de:	Tipo de Equipo	Matrícula	Uso (mins)	Uso por Tipo de Equipo	% Ocupación en la ruta	% Desviación por tipo de equipo	Desviación Total
MEX	10/10/1999 03:45	727	RRA	2695		52%	2%	
TIJ	10/09/1999 23:45	727	RRB	2500		48%	-2%	
					5195			4
MEX	10/09/1999 13:35	732	SIW	610		65%	15%	
MEX	10/08/1999 16:15	732	SIX	329		35%	-15%	
					939			30
MEX	10/10/1999 00:05	DC9	SXS	3559		23%	6%	
MTY	10/08/1999 13:20	DC9	SXT	1325		9%	-8%	
MEX	10/10/1999 03:35	DC9	SXV	2539		16%	0%	
MEX	10/10/1999 03:35	DC9	SYF	3599		23%	7%	
TAP	10/10/1999 02:35	DC9	SZC	1515		10%	-7%	
MEX	10/10/1999 02:20	DC9	TDC	2930		19%	2%	
					15467			15
				21601	21601			

En este caso se hizo un cambio mínimo (solamente se considera un tiempo mínimo entre vuelos de 30 minutos en lugar de 20) y podemos observar que los 727 fueron los únicos que sufrieron un cambio drástico en su balanceo ya que las rutas que manejan no tenían margen de holgura y por lo tanto no se pudo completar el itinerario, para esto debemos ingresar una aeronave más. En los otros dos casos por el tipo de rutas no se observó cambio en la flota, solo en la distribución.

- Escenario 3: Se toma una semana tipo
 Se consideran las siguientes condiciones iniciales, en las que agregamos dos aeronaves
 Se considera un tiempo mínimo entre vuelos de 20 minutos
 Se utiliza la cantidad de pasajeros reservados para seleccionar otro tipo de equipo en caso de que ya no se puedan realizar vuelos con el tipo de equipo planeado
 Se agregan restricciones de mantenimiento y destinos a los que no puede volar una aeronave

CONDICIONES INICIALES

dst	ti	uso	tpoeqp	mat	Se agregaron las restricciones :
MEX	10/03/1999 11:00	0	727	RRA	1. El equipo SXV no puede aterrizar en LRD 2. El equipo SIX paró por mantenimiento correctivo el 10/08/99 de 05:00 a 15:00
MEX	10/03/1999 11:00	0	727	RRB	
MEX	10/03/1999 22:50	0	732	AAA	
MEX	10/03/1999 22:50	0	732	SIW	
MEX	10/07/1999 22:50	0	732	SIX	
MEX	10/03/1999 12:20	0	DC9	BBB	
MEX	10/03/1999 11:50	0	DC9	SXS	
MEX	10/03/1999 12:00	0	DC9	SXT	
MEX	10/03/1999 12:00	0	DC9	SXV	
MEX	10/04/1999 13:00	0	DC9	SYF	
MID	10/04/1999 20:00	0	DC9	SZC	
TAP	10/03/1999 10:30	0	DC9	TDC	

Estación	Disponible a partir de:	Tipo de Equipo	Matrícula	Uso (mins)	Uso por Tipo de Equipo	% Ocupación en la ruta	% Desviación por tipo de equipo	Desviación Total
MEX	09/10/99 19:45	727	RRA	2695		50%	0%	
MEX	10/10/99 03:45	727	RRB	2695		50%	0%	
					5390			0
MEX	08/10/99 16:15	732	AAA	165		18%	-16%	
MEX	09/10/99 13:35	732	SIW	610		65%	32%	
HMO	08/10/99 03:15	732	SIX	164		17%	-16%	
					939			48
MEX	10/10/99 00:05	DC9	BBB	2139		14%	0%	
MTY	08/10/99 13:20	DC9	SXS	1505		10%	-5%	
TAP	10/10/99 02:35	DC9	SXT	1814		12%	-3%	
MEX	10/10/99 03:35	DC9	SXV	1989		13%	-1%	
MEX	10/10/99 03:35	DC9	SYF	2960		19%	5%	
MEX	09/10/99 22:50	DC9	SZC	1420		9%	-5%	
MEX	10/10/99 02:20	DC9	TDC	3640		24%	9%	
					15467			14
				21796	21796			

En este escenario observamos que en el caso de los 737 aumentó el grado de desbalanceo, ahora tenemos una desviación total de 48 en lugar de 30 además de adicionar una aeronave más, esto es debido al tipo de rutas, pero en los DC9 debido a la holgura que tienen se pudieron soportar los cambios incrementando una aeronave pero sin desbalancear el itinerario

5.5 Análisis de las variables de decisión

Las variables de decisión más importantes son:

1. Factor de ocupación (F.O.)
2. Yield.
3. Factor de ocupación en el punto de equilibrio (F.O.P.E.)

El factor de ocupación lo podemos obtener al realizar un análisis de la información de pasajeros transportados (tob , es decir los pasajeros totales a bordo en cada tramo) ponderados con los kilómetros en cada tramo del itinerario como se muestra en el siguiente ejemplo de la ruta México-Guadalajara- Vallarta:

numvto	leg	org	dst	ruta	km	frecuencia	ast	tpax	pax	tob	paxkm	Askm	fo%
262	11	MEX	GDL	MEXGDL	464	9	90	289	508	508	235712	375840	62.72%
262	12	MEX	PVR	MEXGDL		9		219	0	0	0	0	
262	21	GDL	PVR	MEXGDL	200	9	90	187	187	406	81200	162000	50.12%
263	11	PVR	GDL	PVRGDL	200	9	90	26	355	355	71000	162000	43.83%
263	12	PVR	MEX	PVRGDL		9		329	0	0	0	0	
263	21	GDL	MEX	PVRGDL	464	9	90	128	128	457	212048	375840	56.42%

Donde:

Km	Distancia en kilómetros de los segmentos MEX-GDL, GDL-PVR, PVR-GDL, GDL-MEX
Frecuencia	Cantidad de operaciones en el periodo a examinar
Ast	Asientos que nos ofrece la configuración de la aeronave
Tpax	Pasajeros transportados en cada uno de los segmentos (MEX-GDL, MEX-PVR, GDL-PVR, PVR-GDL, PVR-MEX, GDL-MEX)
Pax	Pasajeros transportados por tramo. Se calculan de la siguiente manera: Pasajeros MEX-GDL = pasajeros MEX-GDL + pasajeros MEX-PVR (los que subieron en MEX pero su destino final es PVR Pasajeros MEX-GDL = 289 + 219 = 508 Pasajeros GDL-PVR = pasajeros GDL-PVR = 187 Pasajeros PVR-GDL = pasajeros PVR-GDL + pasajeros PVR-MEX (los que subieron en PVR pero su destino final es MEX Pasajeros PVR-GDL = 26 + 329 = 355 Pasajeros GDL-MEX = pasajeros GDL-MEX = 128
Tob	Pasajeros totales a bordo. Se calculan de la siguiente manera: Pasajeros MEX-GDL = pasajeros MEX-GDL + pasajeros MEX-PVR (los que subieron en MEX pero su destino final es PVR

Pasajeros MEX-GDL = $289 + 219 = 508$
 Pasajeros GDL-PVR = pasajeros GDL-PVR +
 Pasajeros MEX-PVR (los que vienen en tránsito desde MEX)
 Pasajeros GDL-PVR = $187 + 219 = 406$
 Pasajeros PVR-GDL = pasajeros PVR-GDL +
 pasajeros PVR-MEX (los que subieron en PVR pero su destino final es MEX)
 Pasajeros PVR-GDL = $26 + 329 = 355$
 Pasajeros GDL-MEX = pasajeros GDL-MEX +
 Pasajeros PVR-MEX (los que vienen en tránsito desde PVR)
 Pasajeros GDL-MEX = $128 + 329 = 457$

Paxkm Pasajeros kilómetro = $\text{pax} * \text{km}$
 Askm Asientos kilómetro = $\text{ast} * \text{frecuencia} * \text{km}$
 Fo% Factor de ocupación = $(\text{paxkm} / \text{askm}) * 100$

En el caso del yield o administrador de la rentabilidad debemos considerar también los ingresos de una cierta ruta y relacionarlos con los asientos kilómetro, es decir la relación entre los ingresos y la oferta de kilómetros.

El factor de ocupación y el yield junto con un análisis del costo operativo de una ruta en un determinado tipo de equipo nos lleva a obtener el factor de ocupación en el punto de equilibrio que es indispensable para conocer si una ruta es factible o no. Se compara el factor de ocupación con el factor de ocupación ponderado con los ingresos (fope) y si este es mayor nos indica que nuestra ruta es factible, si es igual no perdemos ni ganamos y si es menor comenzamos a tener pérdidas. A continuación se muestra un ejemplo de este tipo de análisis.

Ejemplo : Análisis de la Ruta Morelia-Zacatecas-Chicago

Paso 1. Obtención del factor de ocupación de cada uno de los tramos, haciendo un análisis anual de la cantidad de pasajeros transportados (pax tramo), la demanda generada (paxkm = pasajeros/kilómetro) y su oferta de asientos (askm = asientos/kilómetro)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Vuelo 664 FREC	18	17	17	17	18	17
Equipo 737						
MLM ZCL	13	36	41	32	33	11
MLM ORD	1,043	597	721	881	517	629
PAX TRAMO	1,056	633	762	913	550	640
PAXKM	401,280	240,540	289,560	346,940	209,000	243,200
ASKM	978,120	922,260	922,640	910,480	1,010,420	958,360
F.O. %	41.03%	26.08%	31.38%	38.11%	20.68%	25.38%
ZCL ORD	765	429	643	820	786	616
PAX TRAMO	1,808	1,026	1,364	1,701	1,303	1,245
PAXKM	4,563,392	2,589,624	3,442,736	4,293,324	3,288,772	3,142,380
ASKM	6,496,776	6,125,748	6,128,272	6,047,504	6,711,316	6,365,528
F.O. %	70.24%	42.27%	56.18%	70.99%	49.00%	49.37%
PAX VUELO	1,821	1,062	1,405	1,733	1,336	1,256
PAXKM	4,964,672	2,830,164	3,732,296	4,640,264	3,497,772	3,385,580
ASKM	7,474,896	7,048,008	7,050,912	6,957,984	7,721,736	7,323,888
F.O. %	66.42%	40.16%	52.93%	66.69%	45.30%	46.23%

	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Vuelo 664 FREC	18	18	16	18	17	21
Equipo 737						
MLM ZCL	41	51	24	43	39	43
MLM ORD	1,147	1,053	504	489	372	754
PAX TRAMO	1,188	1,104	528	532	411	797
PAXKM	451,440	419,520	200,640	202,160	156,180	302,860
ASKM	1,057,740	1,017,260	904,400	1,045,380	956,080	1,181,040
F.O. %	44.44%	41.24%	22.18%	19.34%	16.34%	25.64%
ZCL ORD	1,211	1,401	751	557	424	858
PAX TRAMO	2,358	2,454	1,255	1,046	796	1,612
PAXKM	5,951,592	6,193,896	3,167,620	2,640,104	2,009,104	4,068,688
ASKM	6,746,652	6,756,748	6,007,120	6,943,524	6,350,384	7,844,592
F.O. %	88.22%	91.67%	52.73%	38.02%	31.64%	51.87%
PAX VUELO	2,399	2,505	1,279	1,089	835	1,655
PAXKM	6,403,032	6,613,416	3,368,260	2,842,264	2,165,284	4,371,548
ASKM	7,762,392	7,774,008	6,911,520	7,988,904	7,306,464	9,025,632
F.O. %	82.49%	85.07%	48.73%	35.58%	29.64%	48.43%

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Vuelo 665 FREC	13	13	16	14	19	17
Equipo 737						
ORD ZCL	433	347	664	703	750	1,065
ORD MLM	443	412	729	505	761	993
PAX TRAMO	876	759	1,393	1,208	1,511	2,058
PAXKM	2,211,024	1,915,716	3,515,932	3,048,992	3,813,764	5,194,392
ASKM	4,629,016	4,669,400	5,754,720	4,924,324	7,087,392	6,365,528
F.O. %	47.76%	41.03%	61.20%	61.92%	53.81%	81.60%
ZCL MLM	22	14	39	23	83	14
PAX TRAMO	465	426	768	528	794	1,007
PAXKM	176,700	161,880	291,840	200,640	301,720	382,660
ASKM	696,920	703,000	866,400	741,380	1,067,040	958,360
F.O. %	25.35%	23.03%	33.68%	27.06%	28.28%	39.93%
PAX VUELO	898	773	1,432	1,231	1,544	2,072
PAXKM	2,387,724	2,077,596	3,807,772	3,249,632	4,115,484	5,577,052
ASKM	5,325,936	5,372,400	6,621,120	5,665,704	8,154,432	7,323,888
F.O. %	44.83%	38.67%	57.51%	57.36%	50.47%	76.15%

	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Vuelo 665 FREC	17	18	17	17	17	14
Equipo 737						
ORD ZCL	1,073	1,126	850	823	664	895
ORD MLM	1,097	905	836	795	641	869
PAX TRAMO	2,170	2,031	1,686	1,618	1,305	1,760
PAXKM	5,477,080	5,126,244	4,255,464	4,083,832	3,293,820	4,442,240
ASKM	6,370,576	6,756,748	6,383,196	6,567,448	6,350,384	5,229,728
F.O. %	85.97%	75.87%	66.67%	62.18%	51.87%	84.94%
ZCL MLM	47	30	34	25	24	17
PAX TRAMO	1,144	935	870	820	665	882
PAXKM	434,720	355,300	330,600	311,600	252,700	335,160
ASKM	959,120	1,017,260	961,020	982,680	956,080	787,360
F.O. %	45.32%	34.93%	34.40%	31.71%	26.43%	42.57%
PAX VUELO	2,217	2,061	1,720	1,643	1,329	1,777
PAXKM	5,911,800	5,481,544	4,586,064	4,395,432	3,546,520	4,777,400
ASKM	7,329,696	7,774,008	7,344,216	7,550,128	7,306,464	6,017,088
F.O. %	80.66%	70.51%	62.44%	58.22%	48.54%	79.40%

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Vuelo 664 FREC	31	29	33	31	37	34
Equipo 737						
MLM ZCL	35	50	80	55	66	25
MLM ORD	1,486	1,009	1,450	1,386	1,278	1,622
PAX TRAMO	1,521	1,059	1,530	1,441	1,344	1,647
PAXKM	577,980	402,420	581,400	547,580	510,720	625,860
ASKM	1,675,040	1,625,260	1,789,040	1,651,860	2,077,460	1,916,720
F.O. %	34.51%	247600.00%	32.50%	33.15%	24.58%	32.65%
ZCL ORD	1,198	776	1,307	1,523	1,536	1,681
PAX TRAMO	2,684	1,785	2,757	2,909	2,814	3,303
PAXKM	6,774,416	4,505,340	6,958,668	7,342,316	7,102,536	8,336,772
ASKM	11,125,792	10,795,148	11,882,992	10,971,828	13,798,708	12,731,056
F.O. %	60.89%	41.73%	58.56%	66.92%	51.47%	65.48%
PAX VUELO	2,719	1,835	2,837	2,964	2,880	3,328
PAXKM	7,352,396	4,907,760	7,540,068	7,889,896	7,613,256	8,962,632
ASKM	12,800,832	14,420,408	13,672,032	12,623,688	15,876,168	14,647,776
F.O. %	57.44%	39.51%	55.15%	62.50%	47.95%	61.19%

	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Vuelo 664 FREC	35	36	33	35	34	35
Equipo 737						
MLM ZCL	88	81	58	68	63	60
MLM ORD	2,244	1,958	1,340	1,284	1,013	1,619
PAX TRAMO	2,332	2,039	1,398	1,352	1,076	1,679
PAXKM	886,160	774,820	531,240	513,760	408,880	638,020
ASKM	1,974,860	2,034,520	1,865,420	2,028,060	1,912,160	1,968,400
F.O. %	44.87%	38.08%	28.48%	25.33%	21.38%	32.41%
ZCL ORD	2,284	2,527	1,601	1,380	1,088	1,753
PAX TRAMO	4,528	4,485	2,941	2,664	2,101	3,372
PAXKM	11,428,672	11,320,140	7,423,084	6,723,936	5,302,924	8,510,928
ASKM	13,117,228	13,513,496	12,390,316	13,510,972	12,700,768	13,074,320
F.O. %	87.13%	83.77%	59.91%	49.77%	41.75%	65.10%
PAX VUELO	4,616	4,566	2,999	2,732	2,164	3,432
PAXKM	12,314,832	12,094,960	7,954,324	7,237,696	5,711,804	9,148,948
ASKM	15,092,088	15,548,016	14,255,736	15,539,032	14,612,928	15,042,720
F.O. %	81.60%	77.79%	55.80%	46.58%	39.09%	60.82%

Paso 2. Obtención de los costos de operación. Aquí es importante determinar el tipo de equipo con el que se va a realizar el análisis ya que la mayoría de las variables dependen de éste. Cabe mencionar que todos los costos están expresados en dólares americanos.

Variables Operacionales	MLMZCL	ZCLORD	ORDZCL	ZCLMLM			TOTAL
Equipo	DC-9	DC-9	DC-9	DC-9			
Tiempo	0.92	3.33	4.00	0.75			8.25
Capacidad de asientos	85	85	85	85			
Frecuencias	1	1	1	1			
Distancia SENEAM (km)	380	595	595	380			
Distancia (km)	380	2524	2524	380			
Peso del equipo (tons)	38	38	38	38			
Consumo de turbosina por hora	3730.7	3730.7	3730.7	3730.7			
Tiempo de estacionamiento	1	1	1	1			
Factor de Ocupación	23.75%	56.66%	55.41%	36.89%			
Pasajeros productivos (tob)	28	67	66	44			160.80
Asientos km tramo	32300	214540	214540	56240			461380.00
Total de horas de vuelo	0.92	3.33	4.00	0.75			8.25
Utilidad promedio mensual	250	250	250	250			
Tipo cambio en pesos (mes)	7.5	7.5	7.5	7.5			7.50

Costos							
Tripulaciones por hora	148.11	148.11	148.11	148.11			
Mantenimiento por hora	267.61	267.61	267.61	267.61			
Renta equipo de vuelo por hora	103.57	103.57	103.57	103.57			
Seguro equipo de vuelo por hora	60.2	60.2	60.2	60.2			
Gastos de rampa por hora	14.06	14.06	14.06	14.06			
Gastos de hangar por hora	8.43	8.43	8.43	8.43			
Gastos de administración por hora	28.11	28.11	28.11	28.11			
Combustible por litro	0.207235	0.21302	0.192376	0.21302			
Aterrizaje por tons	0.93	3.52	2.2	0.93			
Estacionamiento por tons y horas	0.64	1.91	1.2	0.64			
SENEAM por km	0.2078	0.2078	0.2078	0.2078			
SENEAM por origen-destino	35.37	19.81	15.55	35.37			
Revisión a pasajeros	0.22	0.22	0.22	0.22			
Alimentos por pasajero	1	2.21	3.18	1.09			
Telereservaciones por pax	5.76	5.76	5.76	5.76			
Costo de la base MEX por ask's	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039			
Costo de la base por operación	182.02	3020.74	182.02	213.43			

Variables Operacionales	MLMZCL	ZCLORD	ORDZCL	ZCLMLM			TOTAL
Equipo	B737-300	B737-300	B737-300	B737-300			
Tiempo	0.92	3.33	4.00	0.75			8.25
Capacidad de asientos	148	148	148	148			
Frecuencias	1	1	1	1			
Distancia SENEAM (km)	380	595	595	380			
Distancia (km)	380	2524	2524	380			
Peso del equipo (tons)	56	56	56	56			
Consumo de turbosina por hora	3248.41	3248.41	3248.41	3248.41			
Tiempo de estacionamiento	1	1	1	1			
Factor de Ocupación	23.75%	56.66%	55.41%	36.89%			
Pasajeros productivos	35	84	82	55			201.00
Asientos km tramo	56240	373552	373552	56240			803344.00
Total de horas de vuelo	0.92	3.33	4.00	0.75			8.25
Utilidad promedio mensual	393.25	393.25	393.25	393.25			
Tipo cambio (mes)	7.5	7.5	7.5	7.5			7.50

Costos							
Tripulaciones por hora	159.52	159.52	159.52	159.52			
Mantenimiento por hora	444.55	444.55	444.55	444.55			
Renta equipo de vuelo por hora	571.02	571.02	571.02	571.02			
Seguro equipo de vuelo por hora	79.31	79.31	79.31	79.31			
Gastos de rampa por hora	10.17	10.17	10.17	10.17			
Gastos de hangar por hora	6.1	6.1	6.1	6.1			
Gastos de administración por hora	20.34	20.34	20.34	20.34			
Combustible por litro	0.207235	0.21302	0.192376	0.21302			
Aterrizaje por tons	0.93	0.93	0.93	0.93			
Estacionamiento por tons y horas	0.64	0.64	0.64	0.64			
SENEAM por km	0.2078	0.2078	0.2078	0.2078			
SENEAM por origen-destino	35.37	19.81	15.55	35.37			
Revisión a pasajeros	0.22	0.22	0.22	0.22			
Alimentos por pasajero	1	2.21	3.18	1.09			
Telereservaciones por pax	5.76	5.76	5.76	5.76			
Costo de la base MEX por ask's	0.0036	0.0039	0.0039	0.0039			
Costo de la base por operación	182.02	3020.74	182.02	213.43			

Costos Directos de Operación	MLMZCL	ZCLORD	ORDZCL	ZCLMLM	TOTAL
Costos fijos					
Tripulaciones	135.77	493.70	592.44	111.08	1332.99
Mantenimiento	245.32	892.02	1070.44	200.71	2408.49
Rentas/Financiamiento/dep.	94.94	345.23	414.28	77.68	932.13
Seguro de equipo	55.19	200.66	240.80	45.15	541.80
Subtotal de Costos Fijos	531.22 27%	1931.61 20%	2317.96 32%	45.15 3%	5215.41
Costos variables					
Gasto de combustible	708.73	2649.02	2870.79	596.04	6228.54
Gasto de aterrizaje	35.34	133.76	83.6	35.34	252.70
Gasto de estacionamiento	24.32	72.58	45.6	24.32	142.50
Gastos SENEAM	114.334	143.451	139.191	114.334	396.98
Gastos revisión a pasajeros	6.16	14.784	14.432	9.68	35.38
Gastos de alimentos	28	148.512	208.608	47.96	385.12
Gastos de telereservaciones	161.28	387.072	377.856	253.44	926.21
Subtotal de Costos Variables	1078.16 55%	3549.18 37%	3740.08 51%	1081.11 68%	8367.42
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	1609.38 82%	5480.79 58%	6058.04 83%	1126.26 71%	13582.83

Costos Indirectos de Operación					
Costos fijos					
Gastos de rampa	12.8888	46.8662	56.24	10.545	116.00
Gastos de hangar	7.727781	28.0997	33.72	6.3225	69.55
Gastos de administración	25.76844	93.6991	112.44	21.0825	231.91
Subtotal de Costos Fijos	46.38502 2%	168.665 2%	202.4 3%	37.95 2%	417.45
Costos variables					
Gasto de la base MEX por operación	125.97	836.706	836.706	219.336	1799.38
Gasto de la base por operación	182.02	3020.74	182.02	213.43	3384.78
Subtotal de Costos Variables	307.99 16%	3857.45 41%	1018.726 14%	432.766 27%	5184.16
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS	354.375 18%	4026.11 42%	1221.126 17%	470.716 29%	5601.612
TOTAL COSTOS DE OPERACIÓN	1963.76 100%	9506.90 100%	7279.16 100%	1596.98 100%	19184.44
Costo por hora	2142.20	2852.10	1819.79	2129.30	2131.60
Costo por ask's	0.0608	0.0443	0.0339	0.0284	0.04
Costo por pax	70.13	141.47	110.96	36.29	93.67

Paso 3. Por último, con la información de los pasos 1 y 2 se puede obtener el factor de ocupación en el punto de equilibrio

RUTA	EQUIPO	COSTO OPERACIÓN	INGRESOS BRUTOS	PAXKM	ASKM
MLM - ZCL - ORD - ZCL - MLM	737 - 300	25924.54	33582	914895	1504272
	DC - 9	19184.44	33582	914895	1504272
MLM - ZCL - OAK - ZCL - MLM	737 - 300	26072.58	33721	246760	441040
	DC - 9	19,288	33,721	246,760	441,040
GLD - ZCL - OAK - ZCL - GDL	737 - 300	25,149	33,505	288,197	377,520
	DC - 9	18,655	33,505	288,197	377,520
ZCL - GDL - OAK - GDL - ZCL	737 - 300	25,591	33,391	335,795	385,271
	DC - 9	19,678	33,391	335,795	385,271

	737 - 300	DC - 9
MLM - ZCL - ORD - ZCL - MLM		
f.o. % (paxkm/askm)	60.82%	60.82%
Ingreso neto (ingreso bruto -20 % de comisión)	\$26,866.00	\$26,866.00
Yield (ingreso neto / paxkm)	0.0294	0.0294
costo / ask	0.0173	0.0128
f.o.p.e. % ((costo/ask) / yield)	58.76%	43.43%
variación f.o. Vs f.o.p.e. % (fo% - fope%)	3.51%	40.04%
MLM - ZCL - OAK - ZCL - MLM		
f.o. % (paxkm/askm)	55.95%	55.95%
Ingreso neto (ingreso bruto -20 % de comisión)	\$26,977.00	\$26,977.00
Yield (ingreso neto / paxkm)	0.1093	0.1093
costo / ask	0.0591	0.0437
f.o.p.e. % ((costo/ask) / yield)	54.07%	40.00%
variación f.o. Vs f.o.p.e. % (fo% - fope%)	3.47%	39.87%
GLD - ZCL - OAK - ZCL - GDL		
f.o. % (paxkm/askm)	76.34%	76.34%
Ingreso neto (ingreso bruto -20 % de comisión)	\$26,804.00	\$26,804.00
Yield (ingreso neto / paxkm)	0.0930	0.0930
costo / ask	0.0666	0.0494
f.o.p.e. % ((costo/ask) / yield)	71.63%	53.13%
variación f.o. Vs f.o.p.e. % (fo% - fope%)	6.58%	43.68%
ZCL - GDL - OAK - GDL - ZCL		
f.o. % (paxkm/askm)	87.16%	87.16%
Ingreso neto (ingreso bruto -20 % de comisión)	\$26,713.00	\$26,713.00
Yield (ingreso neto / paxkm)	0.0796	0.0796
costo / ask	0.0664	0.0511
f.o.p.e. % ((costo/ask) / yield)	83.50%	64.21%
variación f.o. Vs f.o.p.e. % (fo% - fope%)	4.38%	35.75%

Como podemos observar no es suficiente tomar en cuenta el factor de ocupación o el yield por sí solo, sino que debemos realizar este tipo de análisis para obtener una información más precisa.

En este ejemplo podemos concluir que utilizar equipos DC9 es más recomendable ya que nos brinda una variación del factor de ocupación en referencia al factor de ocupación en el punto de equilibrio mayor, a pesar que sus factores de ocupación y yield son iguales. La diferencia está marcada por los costos de operación iniciales que son menores.

Este tipo de análisis es importante para complementar un ciclo de retroalimentación constante, ya que nos brinda variables que nos permiten decidir dependiendo de la ruta qué aeronave es más idónea, detectar si hay rutas que no son rentables, determinar los ingresos esperados, analizar los costos, etc.

Existen una serie de sistemas que se encargan por separado del análisis de los indicadores, la propuesta de la metodología es formar un sistema integral que parta de una sola fuente de información y de ahí se realice un ciclo Información - Decisión - Acción.

Conclusiones

A lo largo del trabajo siempre se tuvo en mente llevar la teoría a la práctica para resolver un problema y brindar una herramienta a un área estratégica con datos de la compañía TAESA con el fin de que se pudieran tomar decisiones de una manera más sólida y oportuna. El hecho de que un área tan importante dentro de una empresa cuente con un sistema de este tipo permite que sea más productiva, ya que no desperdicia la capacidad intelectual de las personas en trabajos que bien puede realizar una máquina.

Este trabajo se basa en la experiencia del personal de la empresa con lo que se conoció el negocio de la aviación como una industria sumamente cambiante, ya que existen un número significativo de variantes tanto internas como del medio ambiente que le afectan. De ahí la importancia de identificar los indicadores operativos más significativos y trabajar con ellos para poder utilizarlos como un sistema de información ejecutiva.

Otro aspecto importante fue implementar la metodología propuesta al área de planeación estratégica como cultura de la empresa, es decir, se les condujo a utilizar de manera más cotidiana y casi natural el manejo del ciclo Información – Decisión – Acción lo cual genera un sistema de retroalimentación que nos permite la mejora continua del proceso con el fin de que la empresa obtenga una mejor productividad

Para manejar este ciclo fue indispensable el manejo de la investigación de operaciones en cuatro aspectos: estadísticas que nos ayudan con el manejo de la información histórica, pronósticos para la información futura, un algoritmo de asignación basado en metas, y por último un análisis de los indicadores operativos para la toma de decisiones.

Para resolver este tipo de problemas que deben apegarse a la realidad de una empresa en específico, se observó que los sistemas que existen en el mercado deben adecuarse a la empresa lo cual eleva el costo de los mismos en gran medida, por lo que una buena opción es buscar un paquete inicial que brinde la operación en general pero, para el caso del manejo de la operación propia de la aerolínea es mejor tener un sistema desarrollado en casa que esté basado en un algoritmo más sencillo, pero que cuente con la información inicial bien definida (una etapa de preprocesamiento) así como una meta que alcanzar (programación por metas). Un ejemplo de esto fue que a partir de un sistema de manejo de itinerarios desarrollado por la compañía SABRE, se desarrollaron de manera interna una serie de aplicaciones e interfaces hacia otros sistemas que permiten la explotación e interacción de los mismos como si fuera un sistema integral. De esta manera se formaron las bases para un sistema de información ejecutiva que brinde información oportuna a los niveles ejecutivos de la empresa para la mejor toma de decisiones.

Aportaciones

Brindar la confianza necesaria al personal de una empresa, así como una herramienta de trabajo que les permita interactuar de manera sencilla entre las diferentes áreas es la clave para incrementar la productividad. Por esta razón se encaminaron los esfuerzos a la integración de los sistemas informáticos para generar una sola fuente de información, con lo que se reduce la duplicidad de captura y revisión de datos. El personal entonces, puede dedicar más tiempo al análisis lo cual se ve reflejado en una mejor toma de decisiones en todos los niveles.

La aportación de este trabajo es que la metodología propuesta se estableció como un marco de referencia a la forma de trabajo de las personas, no de la empresa en específico, con la finalidad de que se pudiera aplicar a cualquier proceso.

Apéndice

1. Código Fuente de la rutina principal

El programa se desarrolló en Visual Basic 5.0 que es un lenguaje de tercera generación cuya característica principal es la de desarrollar diferentes partes del mismo programa de manera independiente. Para realizar esto, este tipo de lenguajes compila por separado cada módulo (un módulo se utilizan para agrupar subprogramas que cambian de la misma manera). Este lenguaje permite desarrollar en un tiempo relativamente corto aplicaciones con interfaces gráficas y tiene la capacidad de interactuar con diferentes bases de datos como son oracle, sybase e informix. Fueron estas propiedades, además de ser un estándar de desarrollo en TAESA el motivo por el que se eligió.

Los lenguajes de cuarta generación u orientados a objetos serían una mejor solución para este tipo de sistemas (por ejemplo, lenguajes orientados a objetos puros: smalltalk, eiffel y snap; lenguajes orientados a objetos híbridos: c++, objective c, modula 3), ya que contemplan un ciclo de vida en espiral que les permite depurarse continuamente conforme se van desarrollando, en lugar de un ciclo de vida lineal

A continuación se muestra la rutina de la aplicación que hace mención este trabajo:

```
Private Sub Command6_Click()
```

```
Dim mdb_asig As Database
```

```
Dim instSQL As String
```

```
Dim mirset01 As Recordset
```

```
Dim mirset02 As Recordset
```

```
Dim mirset03 As Recordset
```

```
Dim recordsettemp As Recordset
```

```
Dim recordsettemp1 As Recordset
```

```
Dim recordsettemp2 As Recordset
```

```
Dim recordsettemp3 As Recordset
```

```
Dim etdz_var As Date
```

```
procesa.Caption = "PROCESANDO . . ."
```

```
procesa.Refresh
```

```
Set mdb_asig = OpenDatabase("c:\asig\asig.mdb")
```

```
instSQL = "delete * from asig105 "
```

```
mdb_asig.Execute instSQL
```

```
instSQL = "insert into asig105 ( av,dst,ti,uso,tpoeqp,mat) values (0,'TAP','10/03/1999 10:30',0,'DC9','TDC')"
```

```
mdb_asig.Execute instSQL
```

```
instSQL = "insert into asig105 ( av,dst,ti,uso,tpoeqp,mat) values (0,'MEX','10/03/1999 11:50',0,'DC9','SXS')"
```

```
mdb_asig.Execute instSQL
```

```
instSQL = "insert into asig105 ( av,dst,ti,uso,tpoeqp,mat) values (0,'MEX','10/03/1999 12:00',0,'DC9','SXT')"
```

```
mdb_asig.Execute instSQL
```

```
instSQL = "insert into asig105 ( av,dst,ti,uso,tpoeqp,mat) values (0,'MEX','10/03/1999 12:00',0,'DC9','SXV')"
```

```
mdb_asig.Execute instSQL
```

```
instSQL = "insert into asig105 ( av,dst,ti,uso,tpoeqp,mat) values (0,'MEX','10/04/1999 13:00',0,'DC9','SYF')"
```

```
mdb_asig.Execute instSQL
```

```
instSQL = "insert into asig105 ( av,dst,ti,uso,tpoeqp,mat) values (0,'MID','10/04/1999 20:00',0,'DC9','SZC')"
```

```
mdb_asig.Execute instSQL
```

```
instSQL = "insert into asig105 ( av,dst,ti,uso,tpoeqp,mat) values (0,'MEX','10/03/1999 11:00',0,'727','RRA')"
```

```
mdb_asig.Execute instSQL
```

```
instSQL = "insert into asig105 ( av,dst,ti,uso,tpoeqp,mat) values (0,'MEX','10/03/1999 11:00',0,'727','RRB')"  
mdb_asig.Execute instSQL  
instSQL = "insert into asig105 ( av,dst,ti,uso,tpoeqp,mat) values (0,'MEX','10/03/1999 22:50',0,'732','SIW')"  
mdb_asig.Execute instSQL  
instSQL = "insert into asig105 ( av,dst,ti,uso,tpoeqp,mat) values (0,'MEX','10/07/1999 22:50',0,'732','SIX')"  
mdb_asig.Execute instSQL
```

```
instSQL = "update asig100 set mat = 'xxx' "  
mdb_asig.Execute instSQL  
instSQL = "select * from asig100 where leg=1 order by etdz"  
Set mirset01 = mdb_asig.OpenRecordset(instSQL, dbOpenDynaset)  
Set recordsettemp = mdb_asig.Recordsets(0)  
banyan% = 0
```

Do Until recordsettemp.EOF 'Do loop 1

Label2:

```
    fecvlo$ = recordsettemp.Fields(0).Value  
    numvlo$ = recordsettemp.Fields(1).Value  
    leg$ = recordsettemp.Fields(2).Value  
    org$ = recordsettemp.Fields(3).Value  
    dst$ = recordsettemp.Fields(4).Value  
    etdz$ = recordsettemp.Fields(7).Value  
    etaz$ = recordsettemp.Fields(8).Value
```

If banyan% = 1 Then

banyan% = 0

Else

tpoeqp1\$ = recordsettemp.Fields(10).Value

End If

etdz_var = CDate(etdz\$)

etdz_var = DateAdd("n", -1 * Val(minsvlo.Text), etdz_var)

etdz\$ = CStr(etdz_var)

etdz\$ = Format(etdz\$, "mm/dd/yy hh:nn")

```
    instSQL = "select * from asig105 where tpoeqp ='" + tpoeqp1$ + "' and dst='" + org$ + "' and ti  
<=cdate('" + etdz$ + "') order by ti desc"
```

Set mirset02 = mdb_asig.OpenRecordset(instSQL, dbOpenDynaset)

Set recordsettemp1 = mdb_asig.Recordsets(1)

i% = 0

Do Until recordsettemp1.EOF

```
    av_1$ = recordsettemp1.Fields(0).Value  
    dst_1$ = recordsettemp1.Fields(1).Value  
    ti_1$ = recordsettemp1.Fields(2).Value  
    uso_1$ = recordsettemp1.Fields(3).Value  
    tpoeqp_1$ = recordsettemp1.Fields(4).Value  
    mat_1$ = recordsettemp1.Fields(5).Value  
    recordsettemp1.MoveNext
```

i% = i% + 1

Loop 'do loop 1

mirset02.Close

```

If i% = 0 Then ' PARTE I No existe en asig105
Label1:
    instSQL = "SELECT mat,tpoeqp,cappax from asig101 where ltrim(tpoeqp)="" +
LTrim(tpoeqp1$) + "" order by prioridad "
    Set mirset02 = mdb_asig.OpenRecordset(instSQL, dbOpenDynaset)
    Set recordsettemp2 = mdb_asig.Recordsets(1)
    Do Until recordsettemp2.EOF 'do loop 2
        Gmat$ = recordsettemp2.Fields(0).Value
        uso% = 0
        ii% = 0
        instSQL = "SELECT * from asig105 where ltrim(mat)="" + LTrim(Gmat$) + ""
        Set mirset03 = mdb_asig.OpenRecordset(instSQL, dbOpenDynaset)
        Set recordsettemp3 = mdb_asig.Recordsets(2)
        Do Until recordsettemp3.EOF
            av_1$ = recordsettemp3.Fields(0).Value
            dst_1$ = recordsettemp3.Fields(1).Value
            ti_1$ = recordsettemp3.Fields(2).Value
            uso_1$ = recordsettemp3.Fields(3).Value
            tpoeqp_1$ = recordsettemp3.Fields(4).Value
            mat_1$ = recordsettemp3.Fields(5).Value
            ii% = 1
        Exit Do
    Loop
    mirset03.Close

    instSQL = "SELECT org,dst,etdz,etaz,datediff('n',etdz,etaz) from asig100 where numvlo="" +
numvlo$

    instSQL = instSQL + " and fecvlo=cvdate("" + fecvlo$ + "") order by etdz "
    Set mirset03 = mdb_asig.OpenRecordset(instSQL, dbOpenDynaset)
    Set recordsettemp3 = mdb_asig.Recordsets(2)
    Do Until recordsettemp3.EOF 'do loop 3
        Gorg$ = recordsettemp3.Fields(0).Value
        Gdst$ = recordsettemp3.Fields(1).Value
        Getdz$ = recordsettemp3.Fields(2).Value
        Getaz$ = recordsettemp3.Fields(3).Value
        ti$ = recordsettemp3.Fields(4).Value
        uso% = uso% + Val(ti$)
        checa_restricc
        If Gnok% = 1 Then
            Exit Do
        End If
        recordsettemp3.MoveNext
    Loop 'do loop 2
    mirset03.Close

    If ii% = 0 Then 'No Existe la mat en asig105
        instSQL = "insert into asig105 (av,dst,ti,uso,tpoeqp,mat) values (0,"
        instSQL = instSQL + Gdst$ + "," + Format(Getaz$, "mm/dd/yy hh:nn") + "," +
Str(uso%)

        instSQL = instSQL + "," + tpoeqp1$ + "," + LTrim(Gmat$) + ""
        mdb_asig.Execute instSQL
        instSQL = "update asig100 set mat="" + Trim(Gmat$) + "" where numvlo="" +
numvlo$ + " and fecvlo=cvdate("" + fecvlo$ + "")"

```

```

        mdb_asig.Execute instSQL
        Exit Do
    End If
    recordsettemp2.MoveNext
Loop 'do loop 1
mirset02.Close
If Gnok% = 1 Then 'if 2
    If Gorg$ = dst_1$ And ti_1$ <= CDate(etdz$) Then
        ' todavía puedo actualizar esta matrícula
        instSQL = "update asig105 set dst=" + Trim(Gdst$) + ",uso=(uso+" + Str(uso%) + "),"
        instSQL = instSQL + "ti=" + Format(Getaz$, "mm/dd/yy hh:nn") + " "
        instSQL = instSQL + "where mat=" + Trim(Gmat$) + ""
        mdb_asig.Execute instSQL
        instSQL = "update asig100 set mat=" + Trim(Gmat$) + " where numvlo=" + numvlo$ + "
and fecvlo=cdate(" + fecvlo$ + ")
        mdb_asig.Execute instSQL
    Else 'NO SE TIENE UNA MAT DE ESTE TIPO DE EQUIPO DISPONIBLE PROBAR
CON OTROS TIPOS DE EQUIPO
        If LTrim(tpoeqp1$) = "727" Then
            tpoeqp1$ = "732"
        ElseIf LTrim(tpoeqp1$) = "732" Then
            tpoeqp1$ = "727"
        ElseIf LTrim(tpoeqp1$) = "DC9" Then
            tpoeqp1$ = "732"
        End If
        banyan% = 1
        GoTo Label2
    End If
End If
Else 'PARTE II existe en asig105
    Gmat$ = mat_1$ 'mat final de la ruta
    instSQL = "SELECT org,dst,etdz,etaz,datediff('n',etdz,etaz) from asig100 where numvlo =" +
numvlo$ + " and fecvlo=cdate(" + fecvlo$ + ") order by etdz "
    Set mirset02 = mdb_asig.OpenRecordset(instSQL, dbOpenDynaset)
    Set recordsettemp2 = mdb_asig.Recordsets(1)
    uso% = 0
    Do Until recordsettemp2.EOF 'do loop 2
        Gorg$ = recordsettemp2.Fields(0).Value
        Gdst$ = recordsettemp2.Fields(1).Value
        Getdz$ = recordsettemp2.Fields(2).Value
        Getaz$ = recordsettemp2.Fields(3).Value
        ti$ = recordsettemp2.Fields(4).Value
        uso% = uso% + Val(ti$)
        checa_restricc
        If Gnok% = 1 Then
            Exit Do
        End If
        recordsettemp2.MoveNext
    Loop 'do loop 1
    mirset02.Close

    If Gnok% = 0 Then 'if 2
        instSQL = "update asig105 set dst=" + Trim(Gdst$) + ",uso=(uso+" + Str(uso%) + "),"
        instSQL = instSQL + "ti=" + Format(Getaz$, "mm/dd/yy hh:nn") + " "

```

```

        instSQL = instSQL + "where mat=" + Trim(Gmat$) + ""
        mdb_asig.Execute instSQL
        instSQL = "update asig100 set mat=" + Trim(Gmat$) + " where numvlo=" + numvlo$ + "
and fecvlo=cvdate(" + fecvlo$ + "")"
        mdb_asig.Execute instSQL
        Else 'NO SE PUEDE UTILIZAR LA MAT YA QUE ESTA RESTRINGIDA
        GoTo Label1

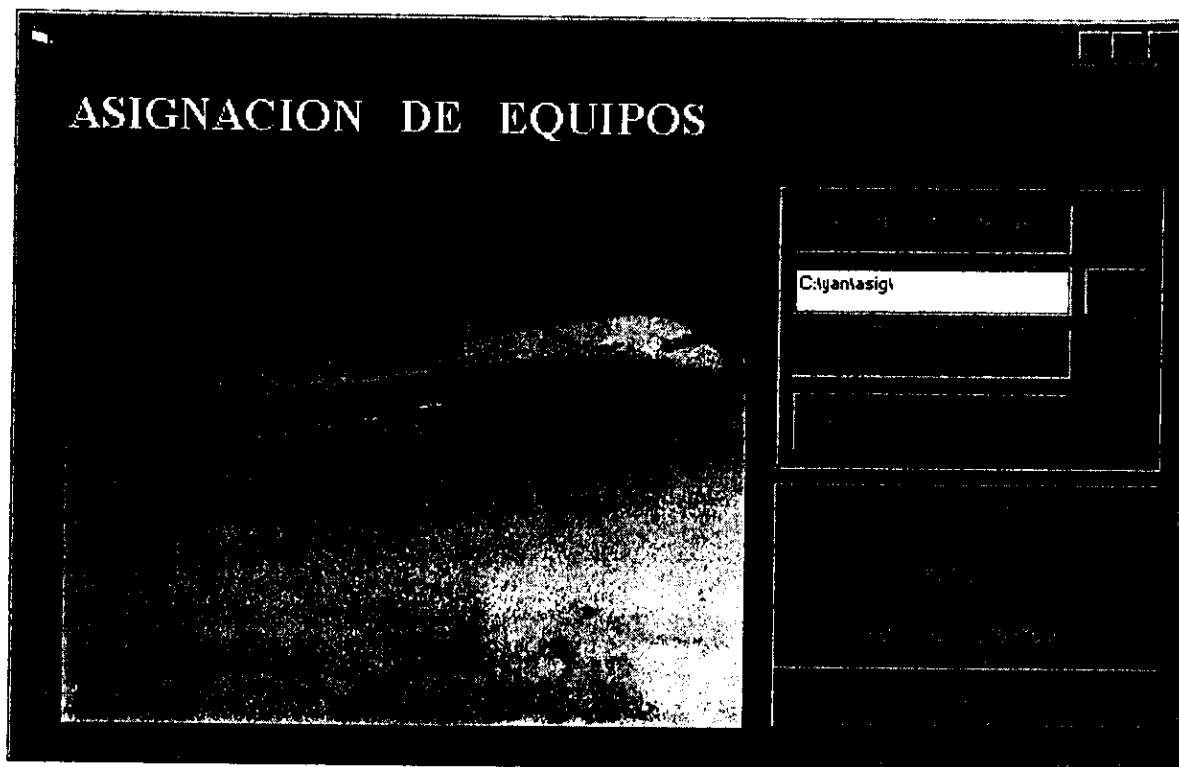
    End If
End If 'if 1
recordsettemp.MoveNext
Loop 'do loop 0

mdb_asig.Close
procesa.Caption = ""
procesa.Refresh
COMANDO$ = "select * from asig100 order by etdz"
Data5.RecordSource = COMANDO$
Data5.Refresh
MsgBox "PROCESO TERMINADO"
End Sub

```

2. Pantallas

Pantalla inicial



Esta es la pantalla inicial del sistema, desde donde podemos cargar un nuevo itinerario y acceder las ventanas de itinerarios, vuelos, y restricciones, o bien salir del sistema

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Itinerarios

Itinerario

10/03/1999	788	1	MEX	TU	08:00	09:10	13:00	16:10	RRA	727	SKD
10/03/1999	793	1	TU	MEX	09:30	14:45	16:30	19:45	RRA	727	SKD
10/03/1999	792	1	MEX	TU	15:35	16:45	20:35	23:45	RRB	727	SKD
10/03/1999	787	1	TU	MEX	17:30	22:45	00:30	03:45	RRB	727	SKD
10/04/1999	788	1	MEX	TU	08:00	09:10	13:00	16:10	RRA	727	SKD
10/04/1999	793	1	TU	MEX	09:30	14:45	16:30	19:45	RRA	727	SKD
10/04/1999	792	1	MEX	TU	15:35	16:45	20:35	23:45	RRB	727	SKD
10/04/1999	787	1	TU	MEX	17:30	22:45	00:30	03:45	RRB	727	SKD
10/05/1999	786	1	MEX	TU	08:00	09:10	13:00	16:10	RRA	727	SKD
10/05/1999	793	1	TU	MEX	09:30	14:45	16:30	19:45	RRA	727	SKD
10/05/1999	792	1	MEX	TU	15:35	16:45	20:35	23:45	RRB	727	SKD
10/05/1999	787	1	TU	MEX	17:30	22:45	00:30	03:45	RRB	727	SKD
10/06/1999	786	1	MEX	TU	08:00	09:10	13:00	16:10	RRA	727	SKD
10/06/1999	793	1	TU	MEX	09:30	14:45	16:30	19:45	RRA	727	SKD
10/06/1999	792	1	MEX	TU	15:35	16:45	20:35	23:45	RRB	727	SKD
10/06/1999	787	1	TU	MEX	17:30	22:45	00:30	03:45	RRB	727	SKD
10/07/1999	786	1	MEX	TU	08:00	09:10	13:00	16:10	RRA	727	SKD
10/07/1999	793	1	TU	MEX	09:30	14:45	16:30	19:45	RRA	727	SKD
10/07/1999	792	1	MEX	TU	15:35	16:45	20:35	23:45	RRB	727	SKD
10/07/1999	787	1	TU	MEX	17:30	22:45	00:30	03:45	RRB	727	SKD

Desg por fecha de operación

1999

10

727

727

732

262

262

263

Esta pantalla es la primera que debemos acceder ya que nos permite desglosar el itinerario a trabajar. De este módulo obtenemos el itinerario por día

Restricciones

Restricciones Operacionales

SV	LRD	SIX	10/08/99 05:00	10/08/99 15:00	MEX	MANTENIMIENTO CORP
----	-----	-----	----------------	----------------	-----	--------------------

Restricciones de aeropuertos

Mantenimientos

Esta pantalla nos permite manejar las restricciones debidas a aeropuertos y mantenimientos de aeronaves

Vuelos

Vuelos

312	1	TAP	MEX	07:00	08:20	12:00	9	13:25	TDC	DC9
768	1	MEX	ZCL	08:00	09:00	13:00	9	14:00	SXS	DC9
730	1	MEX	ACA	08:30	09:20	13:30	9	14:20	SXT	DC9
750	1	MEX	AGU	08:30	09:25	13:30	9	14:25	SKV	DC9
315	1	MEX	MID	09:30	11:10	14:30	9	16:10	TDC	DC9
768	2	ZCL	CJS	09:35	11:15	14:35	9	16:15	SXS	DC9
730	2	ACA	GDL	09:55	11:00	14:55	9	16:00	SXT	DC9
750	2	AGU	TJ	10:00	10:40	15:00	9	17:40	SKV	DC9
730	3	GDL	TJ	11:35	12:15	16:35	9	19:15	SXT	DC9
768	3	CJS	TJ	11:45	11:45	16:45	9	19:45	SXS	DC9
314	1	MID	MEX	11:45	13:25	16:45	9	18:25	TDC	DC9
751	1	TJ	AGU	11:25	16:10	16:25	9	21:10	SKV	DC9
769	1	TJ	CJS	12:30	16:25	18:30	9	21:25	SXS	DC9
731	1	TJ	GDL	13:05	17:50	20:05	9	22:50	SXT	DC9
751	2	AGU	MEX	16:50	17:45	21:50	9	22:45	SKV	DC9
751	2	CJS	ZCL	18:55	19:15	21:50	9	22:15	SXS	DC9

Desglose por fecha de operación

DC9	262
727	262
732	263
DC9	280
DC9	281

30

BBB	DC9	18	90
SXS	DC9	2	90
SXT	DC9	3	90
SKV	DC9	4	90
SYF	DC9	5	90
SZC	DC9	6	90
TDC	DC9	1	90

Equipos

0	MEX	0/99 00:00	2139	DC9	BBB
0	MEX	0/99 02:50	1420	DC9	SZC
0	MEX	0/99 03:35	2960	DC9	SYF
0	MEX	0/99 03:35	1988	DC9	SKV
0	TAP	0/99 02:35	1814	DC9	SXT
0	MTY	0/99 13:20	1505	DC9	SXS
0	MEX	0/99 02:20	3640	DC9	TDC

Usos Promedio

Esta es la pantalla principal ya que desde aquí se realiza el proceso de asignación de matrículas tomando en cuenta la información de la pantalla de vuelos y de la pantalla de restricciones. Se puede ir navegando entre ellas para realizar cambios en el itinerario o bien anexar restricciones.

Bibliografía

Hamdy A. Taha, **Investigación de Operaciones**, Alfaomega, 1995

Melchor Rodríguez Caballero, **Métodos modernos de planeación programación y control de procesos productivos**, Limusa, 1995

Alfredo Adam Adam y Mohanmmad Naghi Namakforoosh, **Investigación de Operaciones**, Facultad de contaduría de la UNAM,

Arturo Fuentes Zenón, **El enfoque de sistemas en la solución de problemas**, División de estudios de posgrado, 1993

Arturo Fuentes Zenón, **Un sistema de metodologías de planeación**, División de estudios de posgrado, 1994

Rodolfo E. Biasca, **Resizing**, Ediciones Macchi, 1992

Arturo Fuentes Zenón, **Las armas del estratega**, La planeación en imágenes, 1998

José Luis Delgado Alfaro, José Pablo García y García, y Larissa Sánchez Pineda, **Organizaciones y técnicas de control de calidad**, Fundación de la industria de la construcción, 1996

Peter Checkland, **Pensamiento de sistemas, prácticas de sistemas**, Noriega Editores, 1997

Toribio Andaluz Rivas, **Metodología de análisis de una línea aérea nacional**, Tesis de maestría, 1995

Merced David Pérez, **Métodos heurísticos para la solución de problemas de optimización combinatorios**, Tesis de maestría, 1996

Competencia de altura: más lejos, más negocios, más placenteramente, Revista estrategia industrial, ejemplar número 140 año XII

Aviación de negocios, una necesidad a todo lujo, Revista América vuela, ejemplar número 21 1994/95

Jeph Abara, **Applying integer linear programming to the fleet assignment problem**, Interfaces, ejemplar número 19 : Julio-Agosto 1989 (pp. 20-28)

Comentarios de actualidad, Revista América vuela, ejemplar número 25, 1995

Airplane evolution seminar Boeing, Comercial airplane group, 1995

Sabre Decisión Technologies support tools : Fight Scheduling users conference, the premier flight scheduling solution, SDT, 1997

Matthew E. Berge & Craig A. Hopperstad, **Demand driven dispatch: a meted for dynamic aircraft capacity assignment, models and algorithms**, The Boeing Company, 1992

An overview of flight planning models: their purposes and role in airline corporate, Flight transportation laboratory, department of aeronautics an astronautics MIT,

Metodología para el desarrollo de sistemas, TAESA, 1997