

2010



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Luis Fernando
Alvarado Bojorges

César Rubén
Miranda Sosa



[AHORRO DE ENERGÍA EN TRANSPORTE AÉREO]

Mejoras en operaciones aeroportuarias y métodos de ahorro en combustibles.

FOTO: RICARDO MORALES
CORTESÍA AIRLINERS.NET

Agradecimientos

A nuestro querido tutor Dr. José Luis Fernández Zayas y al Mtro. Norberto Chargoy del Valle por su inagotable asesoramiento, apoyo y motivación para la realización de esta tesis.

A Rosalba Paulín de Aeropuertos y servicios Auxiliares (ASA) por su apoyo dentro del área.

A Manuel Miranda y Elizabeth Luna de ASA Combustibles por los datos proporcionados.

A Marcia María da Silva Bueno y André Vecchiato de Embraer por los datos proporcionados.

A nuestros compañeros de Aviacsa por las facilidades y apoyo que nos brindaron dentro de la aerolínea.

A la Dr. María Cristina León, al Ing. Mariano García y al M.I. Edgar Isaac Ramírez por toda su disposición.

A Mónica Villalobos por su comprensión y apoyo.

A mis padres y amigos que sin ellos, esta tesis no hubiera sido posible.

ADVERTENCIA

Este documento fue elaborado como tesis en el Instituto de Ingeniería para la Universidad Nacional Autónoma de México. Los puntos de vista que se presentan no pretenden reflejar carencias o desacreditar a la administración y operación aeroportuaria mexicana.

Las fuentes de información usadas en este documento están en constante cambio, pues las fuentes revisan la información que han presentado anteriormente con fin de corregir errores o hacer modificaciones. Para los fines de este documento, usamos información de la EPA (Environmental Protection Agency), CCA (Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte), OMM (Organización Meteorológica Mundial), PNUMA (Programas de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y el MIT (Massachusetts Institute of Technology) presentada en informes anuales de compañías o de otras fuentes de acceso público, según se indica a lo largo de este informe.

También usamos datos de emisiones tomados de un informe de investigación en el que aplican factores de emisión normalizados combinados con datos de consumo de combustible y generación correspondientes a 2002 facilitados por la Secretaría de Energía (SENER).

La CCA está consciente de que puede haber cambios en los datos usados en este documento después del periodo en el que recabamos la información. Todo informe que en el futuro elabore la CCA reflejará estos cambios mediante comparaciones de un año a otro.

AUTORES

Luis Fernando Alvarado Bojorges y César Rubén Miranda Sosa.

DIRECTOR DE TESIS

Dr. José Luis Fernández Zayas. Investigador Titular C de T. C. Instituto de Ingeniería. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.

Nota de los autores

Debido a la contaminación de la atmósfera por los incendios forestales y la quema de combustibles en las industrias, transportes y hogares de todo el mundo, entre otras causas atribuidas en gran parte a la actividad humana, nuestro planeta absorbe cada vez más radiación solar y se está calentando en forma alarmante. Lo que ocurre es que algunos gases como el bióxido de carbono (CO_2), y el metano (CH_4), principalmente, impiden que se disipe el calor que la Tierra recibe del Sol, igual que sucede en un invernadero al quedar atrapado el aire caliente.

El resultado es que nuestro planeta, según explican los investigadores, está sufriendo un "calentamiento global", por ende, un "cambio climático" que se ha relacionado con las catástrofes como tormentas, ciclones o huracanes que han venido ocurriendo en varios países como el nuestro y que traen consigo graves consecuencias.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), con el objeto de evaluar la información disponible sobre el cambio climático han concluido que de no frenarse o disminuir el problema del calentamiento de la Tierra, este fenómeno podría provocar un aumento en la temperatura mundial (entre 1.4 y 5.8 grados centígrados), lo que ocasionaría el deshielo de los polos glaciares y, como consecuencia, un aumento en el nivel de los océanos (entre 11 y 88 centímetros), que afectaría a muchas zonas costeras de bajo nivel, en unos cuantos años. Con base en el Tercer Reporte del IPCC, publicado en marzo de 2001, se confirmó que el cambio climático antropogénico (que causa el hombre) es un fenómeno real. En lo que existe incertidumbre aún es en el grado de aumento de la temperatura del planeta.

El Protocolo de Kioto, busca remediar gradualmente esta problemática. Por ejemplo, establece plazos y medidas concretas para que los países industrializados reduzcan sus emisiones de bióxido de carbono (CO_2). Aunque transcurrieron menos de 100 años desde el primer vuelo a motor, la industria aeronáutica ha experimentado un rápido crecimiento y se ha constituido en parte integrante y vital de la sociedad moderna. En ausencia de una intervención normativa, es probable que dicho crecimiento continúe. Es por ello muy pertinente que se examinen los efectos actuales y los posibles en el futuro de las emisiones de motores de aeronaves en la atmósfera. La necesidad de reducción del consumo de combustibles fósiles es ya una realidad y la aviación es el único transporte que no ha contribuido en reducir sus índices contaminantes, sin embargo se ha tratado de minimizar el uso de los motores de las aeronaves mediante la energización externa con equipo de soporte en tierra mejor conocido del inglés "Ground Support Equipment (GSE)". Aunque este último también utiliza motores de combustión interna por lo que reduce el costo de operación y mantenimiento pero aún sigue produciendo grandes cantidades de contaminantes.

Es por eso que un aspecto único de esta tesis es el concientizar a la aviación civil sobre el ahorro de energía en sus actividades aeroportuarias y que no solo derive en ahorro de costos sino también de contaminantes.

ÍNDICE

Agradecimientos 2

Nota de los autores 4

1

ANTES DE EMPEZAR

1.1 Introducción. 7
1.2 Contexto. 9

2

MANTENIMIENTO

2.1 Seguridad aérea 11
2.2 Mantenimiento. 12
2.3 Aeronaves 17

3

AHORRO EN TIERRA

3.1 Equipo que utiliza turbosina. 25
3.2 Equipo eléctrico. 26
3.3 Equipo diesel. 28
3.4 Uso de lámparas autónomas . 30
3.5 Uso de equipo no motorizado. 31

4

AHORRO EN AIRE

4.1 Efectos aerodinámicos. 33
4.2 Peso y balance. 37
4.3 Aeronaves. 42

5

CONCLUSIÓN

5.1 Panorama actual del combustible. 47
5.2 Economía ambiental. 48
5.3 Economía energética. 53
5.4 Toma de decisión 56
5.5 Consideraciones finales. 61

6

METODOLOGÍA

6.1 Apéndice 62
6.2 Normativa 68
6.3 Bibliografía 73

Antes de empezar

CAPÍTULO I

T2 Aeropuerto Internacional Benito Juárez 

La aviación civil utiliza grandes cantidades de recursos energéticos no renovables.

El uso eficiente de energéticos contribuirá a mejorar las operaciones aeroportuarias y reducción de costos.

1.1. Introducción

1.1.1. Energía

La energía es la capacidad de alterar cualquier estado de la materia. De ella dependen la iluminación, el calentamiento y refrigeración de nuestras casas, el transporte de personas y mercancías, la obtención de alimento y su preparación, el funcionamiento de las fábricas y otros.

Hace poco más de un siglo las principales fuentes de energía eran la fuerza animal, humana y el calor de la combustión. El ingenio humano también había desarrollado algunas máquinas con las que aprovechaba la fuerza hidráulica para moler los cereales o preparar el hierro en las herrerías, o la fuerza del viento en los barcos de vela o los molinos de viento. Pero la gran revolución vino con la máquina de vapor, y desde entonces, el gran desarrollo de la industria y la tecnología han cambiado, drásticamente, las fuentes de energía que mueven a la sociedad moderna.

Ahora, el desarrollo de un país está ligado a un creciente consumo de energía de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas natural.

1.1.2. Fuentes de energía

Los combustibles fósiles son el carbón, el petróleo y el gas, estos han sido los grandes protagonistas del impulso industrial desde la invención de la máquina de vapor hasta nuestros días. De ellos depende la mayor parte de la industria y el transporte en la actualidad. Entre los tres conforman casi el 90% de la energía comercial empleada en el mundo.

Un combustible fósil está compuesto por los restos de organismos que vivieron hace millones de años. El carbón se formó a partir de plantas terrestres, el petróleo y el gas natural a partir de microorganismos y animales principalmente acuáticos.

La energía se obtiene al quemar estos productos, proceso en el que se forman grandes cantidades de anhídrido carbónico y otros gases contaminantes que se emiten a la atmósfera.

Estos combustibles han permitido avances significativos en la historia humana, pero son fuentes de energía que llamamos no renovables. Esto significa que cantidades que han tardado en formarse miles de años se consumen en minutos y las reservas de estos combustibles van disminuyendo a un ritmo creciente debido al uso excesivo e ineficiente de los mismos. Además, estamos agotando un recurso del que se pueden obtener productos muy valiosos, como plásticos, lubricantes y medicinas entre otros.

Otra de las fuentes de energía no renovable es el uranio que se usa en las centrales de **energía nuclear**. El uso de la energía nuclear tiene importantes repercusiones ambientales.

La industria nuclear produce residuos radiactivos muy peligrosos que duran miles de años, cuyo almacenamiento definitivo plantea muy graves problemas.

Las fuentes de energía renovable o alternativa no consumen un recurso finito como un combustible fósil o una sustancia radiactiva, además, causan menos impactos ambientales negativos.

Entre estas energías tenemos:

- Energía hidroeléctrica
- Energía solar
- Energía de la biomasa
- Energía obtenida de los océanos
- Energía geotérmica

El principal obstáculo que frena a estas fuentes de energía renovables es el económico, porque normalmente son más caras (si se emplea el sistema de contabilidad convencional, que ignora los costos ambientales) que los combustibles fósiles o la energía nuclear. Desde otro punto de vista, no es tan raro que las energías tradicionales sean más baratas, pues si incluyéramos el costo de la limpieza de la contaminación que provocan o consideramos la disminución de sus daños ambientales, el precio de la energía obtenida del petróleo, carbón, gas o uranio, sería bastante más alto del que tienen en el mercado.

A partir de 1973 (a causa de la recesión económica de los Estados Unidos), el precio del petróleo subió, la investigación y el uso de estas fuentes alternativas creció, pero desde que el uso de esta energía se ha estabilizado en bastantes países desarrollados y el precio de las fuentes clásicas de energía ha bajado, se ha perdido parte del interés por estas energías renovables.

Se sigue investigando, sobre todo en aquellos aspectos que las pueden hacer económicamente más rentables o por lo menos más competitivas a la energía no renovable.

Cada uno de los habitantes de los países desarrollados usa unas diez veces más energía que una persona de un país no desarrollado. La mitad de la población mundial todavía obtiene la energía principalmente de la madera, el carbón vegetal o el estiércol.

En los países más desarrollados el consumo de energía se ha estabilizado o crece muy poco, gracias a que se usa cada vez con mayor eficiencia.

En los países en vías de desarrollo está creciendo el consumo por persona de energía porque, para su progreso, necesitan más y más energía.

Dos vías de solución parecen especialmente prometedoras para hacer frente a esta importante problemática. Por una parte aprovechar más eficientemente la energía y por otra acudir a fuentes de energía renovables.

1.2. Contexto

En los países desarrollados, el consumo de energía en los últimos veinte años, no sólo no ha crecido como se había previsto, sino que ha disminuido. Las industrias fabrican sus productos empleando menos energía; los aviones y los automóviles consumen menos combustible por kilómetro recorrido y se gasta menos combustible en la calefacción de las casas porque los aislamientos son mejores. Se calcula que desde 1970 a la actualidad se usa un 20% de energía menos, de media, en la generación de la misma cantidad de bienes.

En cambio en los países en desarrollo, aunque el consumo de energía por persona es mucho menor que en los desarrollados, la eficiencia en el uso de energía no mejora. Sucede esto, entre otros motivos, porque muchas veces las tecnologías que implantan son obsoletas e inadecuadas.

El transporte emplea más o menos la mitad de todo el petróleo consumido en el mundo. Los automóviles, especialmente, junto a los demás medios de transporte, son los principales responsables del consumo de petróleo, de la contaminación y del aumento de CO₂ en la atmósfera. Por esto, cualquier ahorro de energía en los motores o el uso de combustibles alternativos que contaminen menos, tienen una gran repercusión.

Las mejoras en el diseño aerodinámico, la disminución de peso y las nuevas tecnologías usadas en los motores permiten construir aeronaves más eficientes.

También se están construyendo interesantes prototipos de motores que funcionan con electricidad, metanol, etanol o con otras fuentes de energía alternativas que contaminan menos y ahorran combustible.

Los motores eléctricos pueden llegar a ser interesantes cuando sus costos y rendimientos sean competitivos, pero siempre que usen electricidad producida por medios limpios. Si consumen electricidad producida en una central termoeléctrica, pueden generar más contaminación que un motor de combustión.

El uso de hidrógeno como combustible es especialmente interesante. Los científicos están estudiando la manera de producirlo con ayuda de celdas fotovoltaicas cuya electricidad se usa para descomponer el agua por electrólisis en hidrógeno y oxígeno.

Por ahora se han construido algunos prototipos, pero todavía sus costos y sus prestaciones no son suficientemente buenos para comercializarlos.

Sin duda, el futuro del transporte irá por combustibles alternativos y motores que consuman menos, pero además del avance tecnológico, es necesario que la legislación favorezca la implantación de los nuevos modelos y que se cree un estado de opinión entre los consumidores de vehículos que favorezca la venta de los motores que ahorren energía.

Mantenimiento

CAPÍTULO II

El mantenimiento alarga la vida de los motores en las aeronaves, además ayuda a mantener niveles óptimos sobre consumo de combustible.



2.1. Seguridad aérea

La aviación comercial es una actividad excepcional en la historia de la humanidad por los avances tecnológicos que ha experimentado en un corto período de tiempo. Éstos, están permitiendo poner a disposición de personas y sociedades un medio de transporte cada vez más rápido, accesible y confiable, que impulsa el crecimiento tanto económico como social, así como la comunicación entre pueblos y países.

Pero si algo ha supuesto los espectaculares avances tecnológicos vividos, es la mejora continua en la seguridad para los usuarios, como lo demuestra el que año tras año los índices de seguridad de la aviación se incrementen.

Desde los comienzos del desarrollo comercial del transporte aéreo, la seguridad siempre se ha tomado como prioridad máxima, al ser ésta una exigencia impuesta por los pasajeros. Además, el transporte aéreo es seguro por los propios principios físicos que explican el vuelo de un avión. La imagen I2.1 ilustra algunos ejemplos



Fig. I2.1 Imágenes alusivas a la seguridad aeroportuaria. Cortesía Airlines.

Los sistemas y organizaciones de gestión del tránsito aéreo cuentan con diferentes mecanismos de gestión de la seguridad en cuestión de mantenimiento como:

- **Renovación periódica de sistemas para la Navegación Aérea** utilizando tecnología de última generación en continua actualización.
- **Sistema permanente de supervisión, evaluación, control y mejora** a través del reporte obligatorio de sucesos e incidencias que puedan afectar a la seguridad a todos los niveles.

Los errores debidos a la actuación humana son sin duda uno de los factores que pueden contribuir a la aparición de accidentes aéreos, y por tanto al descenso de los índices de seguridad. Se explica así que unas de las principales defensas de la seguridad aérea son la emisión de licencias que controlan el acceso, la formación y el ejercicio profesional, y la puesta al día permanente de los profesionales mediante entrenamiento.

La mejora de los índices de seguridad de la aviación, se fundamenta en el aseguramiento de la capacitación profesional de las personas cuyo trabajo se encuentra estrechamente ligado con el desarrollo de la operación aérea, como son:

- Los tripulantes de vuelo (pilotos).
- Los tripulantes de cabina de pasajeros (TCPs).
- Los técnicos de mantenimiento.
- Los mecánicos de vuelo.
- Los controladores del tráfico aéreo.

Todos estos profesionales se someten, sin excepción alguna, a un estricto programa de formación para acceder a la posibilidad de desempeñar su profesión, que no alcanzan hasta obtener una licencia habilitadora emitida por la DGAC como garantía de capacitación.

2.2 Mantenimiento

A lo largo de la vida útil de un avión, la compañía aérea operadora del mismo es responsable de realizar por su cuenta o por servicios externos a ella, un mantenimiento del mismo, de modo que en todo momento se garanticen las condiciones de vuelo seguras.

2.2.1 Equipos de soporte en tierra

2.2.1.1 Motores diesel y motores a gasolina

Si se desea un funcionamiento óptimo de un motor diesel, ya sea para uso continuo o intermitente, requieren de un buen mantenimiento.

A continuación se hace una propuesta para la mejora en el mantenimiento de las UPT (Unidades de Potencia Terrestres). *Ver apéndice.*

- **Combustible y sistema de combustible**

Durante la vida de un motor diesel, el combustible representa el 75 % del total de los costos de operación. Si la calidad del combustible no se mantiene puede causar falla o un mal funcionamiento. Hay varios aspectos que se deben tomar en cuenta del combustible empleado para el funcionamiento de un motor diesel:

1. Conocer la calidad del combustible

Las especificaciones técnicas de desempeño de un motor diesel están basadas en un tipo de combustible, al considerar el rendimiento del motor, es necesario conocer las propiedades del

combustible utilizado. Además de las consecuencias por usar combustibles por fuera de las especificaciones, podría haber riesgos mecánicos a largos plazos.

Los combustibles más ligeros pueden reducir la vida útil de componentes del sistema de combustible porque su baja viscosidad reducirá el nivel de lubricación. Los combustibles más pesados pueden reducir la vida útil del revestimiento y los anillos de los cilindros debido a los mayores depósitos en la cámara de combustión. La tabla T2.1 presenta las propiedades del grado de combustible.

Grado del Combustible	Gravedad API	Poder Calorífico [BTU/lb]
1-D	40-44	18,510-19,860
2-D	33-37	18,335-19,650

Tabla T2.1

Las características importantes de los combustibles diesel son:

- **Punto de Nublado:** La temperatura a la que una nube o niebla aparece en el combustible. Causado por la solidificación de parafinas en el combustible, estos sólidos pueden causar el taponamiento del filtro de combustible. El funcionamiento del motor en, ó por debajo del punto de nublado puede verse seriamente afectado en serio por un flujo inadecuado de combustible debido al taponamiento del filtro. Si se prevé tal funcionamiento, se deben instalar calentadores de combustible. La dilución del combustible con queroseno o agregarle un aditivo para mejora del flujo (modificadores de cristal de cera) también puede ser de ayuda.
- **Punto de Flujo:** Temperatura 15 [°C] más caliente que aquella en la que el combustible fluirá. El funcionamiento confiable de los motores diesel requiere un punto de flujo igual o inferior al de la temperatura ambiente.
- **Contenido de Agua:** Un contenido de agua superior al 0.05% por volumen (permitido en ambos tipos de combustibles 1-D y 2-D) es un contaminante del combustible. La separación de agua por sedimentación o por filtro combinado debe ser la adecuada para remover el agua del combustible antes de que éste llegue a la bomba de inyección. Las concentraciones de agua por encima del 0.05% por volumen causarán daños al sistema. La presencia de agua también puede promover el crecimiento bacteriano, lo que constituye un serio riesgo para el sistema de filtración. Se recomienda tratar todo el combustible diesel con un biocida.

2. Edad del combustible

El combustible diesel es más propenso a la oxidación que la gasolina. Nunca debe permanecer en almacenamiento por más de 12 meses. Deben hacerse los arreglos correspondientes ya sea para consumir el combustible o rotarlo al inventario de petróleo para el quemador.

3. Número de cetano

Este índice clasifica el combustible de acuerdo con su propensión a encenderse por presión y calor. Los combustibles con un número de cetano bajo padecerán de ignición tardía y pueden

causar dificultades de arranque o golpeteo del motor, lo cual puede ocasionar daño. La emisión de humo blanco y los olores durante el encendido en clima frío son indicadores de combustible con número de cetano bajo.

El índice de cetano mínimo es de 40 para todos los motores. Si bien algunos motores con cámara de precombustión funcionarán con un combustible con índice de cetano de 35, una buena regla para seguir con cualquier motor diesel es usar combustibles con un índice de cetano superior a 40. Siempre deben atenderse las recomendaciones del fabricante del motor.

4. Limpieza

Los sistemas de inyección de combustible diesel dependen de ductos de flujo pequeños y de espacios libres muy reducidos, que no toleran impurezas en el combustible. Esto significa que los filtros deben recibir mantenimiento de acuerdo a la programación publicada por los fabricantes, o más frecuentemente si las condiciones del inventario de combustible lo exigen. Todos los filtros deben ser como mínimo de la misma calidad que los originales del equipo.

Los filtros de aire son igualmente importantes para la longevidad de motor, actúan como trampa para retener los abrasivos antes de que puedan entrar en las cámaras de combustión del motor. La falta de un filtrado de aire apropiado podría causar un rápido desgaste de anillos, pistones, y revestimientos. Es necesario cambiar los filtros de aire por lo menos con la misma frecuencia con que lo recomienda el fabricante y usar un filtro de reemplazo como mínimo de la misma calidad que los originales del equipo.

- Refrigerante y sistema de enfriamiento

El sistema de enfriamiento de un motor diesel debe ser capaz de remover de manera continua aproximadamente el 30% del calor generado por la combustión de su combustible sin recalentarse. Asumiendo que se cuenta con un sistema razonablemente limpio. Además del nivel del refrigerante, hay varios puntos que deben ser revisados:

1. Nivel del refrigerante

El nivel del refrigerante es crítico para el funcionamiento apropiado de un sistema de enfriamiento. Si el nivel del refrigerante cae hasta un punto donde el aire es arrastrado hacia las camisas de enfriamiento, la capacidad de enfriamiento se reducirá, resultando en daños mecánicos serios, incluyendo la corrosión por cavitación.

2. Composición del refrigerante

El refrigerante de motores por lo general es una mezcla de etileno o de anticongelante con base de glicol propileno y agua. El punto de congelación de la mezcla dependerá de la cantidad relativa de glicol usada. Es importante usar la mejor agua disponible mezclada con no más de un 60% de anticongelante con base de glicol etileno, o no más de un 50% de anticongelante con base de glicol propileno.

Es igualmente importante nunca usar exclusivamente agua como refrigerante del motor. (El agua es corrosiva a las temperaturas de operación del motor). La calidad del agua es importante. La siguiente tabla muestra las características mínimas aceptables recomendadas para el agua del sistema de enfriamiento, según un fabricante (Caterpillar, Inc.):

Calidad mínima del agua para uso como refrigerante: la siguiente tabla T2.2 muestra los límites de la cantidad de compuestos permisibles en el agua para uso como refrigerant

Propiedades	Límites	Pruebas ASTM
Cloruro (Cl) g/gal (ppm)	2.4 – 40	D512B, D512d, D4327
Sulfato (SO ₄) g/gal (ppm)	5.9 – 100	D516b, D516d, D4327
Dureza Total, g/gal (ppm)	10 – 170	D1126b
Sólidos Totales, g/gal (ppm)	20 – 340	D1888a
PH	5.5 – 9.0	D1293

Tabla T2.2

- Aditivos e Inhibidores

Los fabricantes de motores proporcionan guías detalladas acerca de los aditivos necesarios para prevenir la corrosión o proporcionar lubricación suplementaria a los componentes del sistema de enfriamiento. Es importante no exceder las concentraciones recomendadas de estos aditivos, pues las altas concentraciones pueden causar precipitación de sólidos, ocasionar el daño de sellados y otras partes internas.

Por otro lado, la baja concentración de aditivos refrigerantes puede causar perforaciones en la cavitación del revestimiento de los cilindros que está en contacto con el agua.

- Integridad del sistema de enfriamiento

La inducción de aire en un sistema de enfriamiento por cualquier motivo es una cuestión seria, dado que puede causar cavitación interna y manchas de corrosión en las camisas de agua, sobre todo en las partes de más altas temperaturas, como las fundas de los cilindros.

Debe prestarse más cuidado a los motores que tienen mangueras con empaques de silicona dado que las mangueras no se adherirán a las conexiones del motor. Sólo deben usarse abrazaderas de resorte de tensión constante para sujetar estas mangueras y su integridad debe ser verificada rutinariamente

2.2.1.2 Lubricación

La lubricación del motor es el elemento individual más importante de un buen programa de mantenimiento. El aceite del motor lubrica las partes móviles; proporciona protección contra la corrosión; absorbe y neutraliza los contaminantes; sirve como refrigerante; y es un sellador. A través de cambios regulares de aceite y filtros, el aceite remueve las materias extrañas del motor, mientras contribuye a la limpieza interior y minimiza el desgaste.

- **La selección del aceite del motor**

Quizás ninguna otra de las propiedades de los aceites lubricantes para motor causa tanta confusión como los sistemas de clasificación promulgados por el Instituto Americano de Petróleo (American Petroleum Institute –API-) y algunas agencias europeas. Para evitar esa confusión, sólo se necesita consultar las recomendaciones del fabricante del motor y estar consciente de que sólo unas pocas de estas clasificaciones aplicarán para un motor en particular. El sistema API de clasificación de aceites los divide en dos grandes clases: los aceites de Estación de Servicio (Clase API SA-SH), y los aceites Comerciales (Clase API CA-CG-4). Para los efectos de esta discusión se asume que se toman en consideración sólo los motores diesel, y por consiguiente los aceites de Estación de Servicio, destinados para ser usados en motores de gasolina del tipo de los de los automóviles, no aplicará.

Clasificaciones API actuales para aceites de motor comerciales: la tabla T2.3 muestra la clasificación de los lubricantes

Categoría de Servicio	Breve Descripción
CD-II	Trabajo Pesado para servicio de motores diesel de 2 tiempos, controla desgaste y depósitos.
CE	Servicio para motores diesel turbo cargados de trabajo pesado. Puede reemplazar a los anteriores aceites de clase CD.
CF	Mejorados por encima del tipo CD de API para combustibles de alto contenido de azufre. Reemplaza el CD de API.
CF-II	Actualización superior al API CD-II para motores diesel de dos tiempos. Reemplaza al API CD-II
CF-4	Servicio de motores diesel 1990 de cuatro tiempos de alta velocidad. Excede los requisitos de la categoría API CE.
CG-4	Servicio de motores diesel 1995 para desgaste del motor y problemas de depósitos ligados a especificaciones del combustible y de diseño del motor, requeridas para cumplir con las regulaciones de 1994 de la EPA para combustibles con bajo contenido de azufre (0.05%).

Tabla T2.3

Es importante anotar que cualquier fabricante puede describir sus productos de acuerdo con estas clasificaciones, pero sólo las compañías autorizadas pueden usar el símbolo API en sus empaques. A dichas compañías autorizadas les es exigido certificar que sus productos cumplen los estándares de desempeño técnico de cada categoría de servicio API.

La viscosidad es la propiedad que resiste el flujo del aceite y le proporciona la habilidad de formar una película con capacidad de carga entre las partes móviles. Mientras más viscoso sea el aceite, mayor será la fortaleza de la película y por ende la habilidad de soportar una carga de presión. Desafortunadamente, esa misma viscosidad más alta impedirá el flujo del aceite dentro de los conductos y pasos de aceite, de manera que la viscosidad debe ser escogida teniendo presentes estas dos necesidades.

Esta selección se complica aún más por el hecho de que para la mayoría de los aceites la viscosidad cambia con la temperatura y el funcionamiento en climas más calurosos requerirá de mayor viscosidad.

- Pruebas para aceite del motor

Los motores que representan una inversión significativa y que realizan funciones críticas deben ser sometidos a un programa regular de pruebas del aceite; estas confirmarán el estado de la carga de aceite de lubricación y también le proporcionarán información importante sobre las condiciones internas del motor.

El análisis del aceite puede descubrir contaminantes como el combustible diesel, hollín, refrigerante, sal, arena, suciedad o polvo, y, metales indicadores de desgaste de componentes internos. Es importante considerar el análisis de aceite como parte de todo programa de Mantenimiento Preventivo para motores diesel.

Las pruebas del aceite deben incluir los siguientes análisis:

1. **Pruebas química y físicas para determinar la presencia de contaminantes (agua, combustible, anticongelante, etc.)**
2. **Análisis de desgaste para identificar los componentes desgastados en el aceite.**
3. **Análisis de la condición del aceite para cuantificar los productos de hollín, azufre, nitración, y oxidación en el aceite.**
4. **Número Base Total.** El Número Base Total es un índice de la capacidad de neutralización de productos derivados del azufre por parte del aceite del motor. Dado que virtualmente todos los combustibles diesel contienen un poco de azufre, y dado que los aceites de motor contienen aditivos diseñados para neutralizar los compuestos de azufre producidos por la combustión, este índice constituye una manera apropiada para juzgar hasta qué punto se ha agotado dicha capacidad de neutralización.
5. **Contenido de Sulfato de Ceniza en las Cenizas.** Virtualmente todos los aceites dejarán un residuo no combustible si son quemados. Ese residuo no combustible, si es excesivo, puede acumularse en algunas áreas de altas temperaturas dentro del motor, y pueden causar daños.

2.3 Aeronaves

- Fabricantes

El actual panorama mundial del mercado de fabricantes de aviones comerciales de pasajeros, presenta, por las elevadas barreras de entrada tecnológicas, una situación competitiva donde **existen fundamentalmente dos grandes fabricantes**: la empresa estadounidense **Boeing**, y el

consorcio europeo **Airbus**.

Si bien ambos fabricantes compiten a través de distintos modelos de negocio, un elemento común a sus estrategias es el de centrar la mayor parte de su trabajo y desarrollos tecnológicos en **garantizar la seguridad de sus productos**.

- La seguridad operacional de los aviones depende en gran medida de su etapa inicial de diseño y fabricación, etapa en la que el rigor de los fabricantes garantiza la máxima fiabilidad de los equipos y sus productos.
- Ningún otro medio de transporte sigue procedimientos tan exhaustivos para diseñar, fabricar y mantener en perfecto estado cada una de las piezas como en la industria aérea.
- Los aviones son diseñados y construidos para anticipar, prevenir y evitar los posibles problemas derivados de su operación en situaciones adversas.

Durante la etapa de diseño el principal condicionante es la seguridad, siendo el criterio empleado garantizar que la probabilidad de que un único fallo tenga efectos catastróficos para la aeronave sea de 1 entre mil millones, es decir extremadamente remota. Esta cifra está elegida de manera que sea superior a la vida en servicio de la flota total de aviones de cualquier tipo de avión, por lo que implica que ese fallo no debería aparecer en toda su vida operativa.

Para ello los pilares básicos sobre los que se garantiza la seguridad de las futuras aeronaves son:

- La **redundancia** de sistemas estructurales y funcionales críticos para la seguridad.
- La **robustez y resistencia de la estructura**, así como su capacidad frente a los efectos de la fatiga de los materiales y de tolerancia a los daños.
- La **fiabilidad** de funcionamiento de los sistemas.
- La efectividad de los **sistemas de aviso y detección** de anomalías o mal funcionamiento de sistemas.
- El establecimiento de **intervalos de mantenimiento programado** que garanticen la detección a tiempo de cualquier problema, en función de las características de la estructura y la fiabilidad de los sistemas.
- La **mejora continua** del producto.

De esta forma, los aviones modernos, de los que cada día se fabrica una unidad por cada modelo, son vehículos extremadamente fiables y seguros. Las compañías aéreas apuestan por la seguridad debido a que se trata de una obligación impuesta por los reguladores y de una exigencia de sus clientes.

Desde el momento en que una compañía aérea adquiere un avión, la seguridad del mismo queda determinada por:

- El **trabajo de mantenimiento** de la o las organizaciones de mantenimiento a las que la compañía aérea encarga ese trabajo, el cual culmina con la puesta a disposición del avión para ser operado con las máximas garantías de seguridad.
- La **gestión por la compañía aérea de las operaciones en vuelo**, en las máximas condiciones de seguridad.
- La **labor específica del personal aeronáutico de la compañía aérea**, que debe poseer la calificación y competencia adecuada para desempeñar su trabajo de forma que se garanticen las máximas condiciones de seguridad.

Por ello, las compañías aéreas tienen tres grandes responsabilidades en el ámbito de la seguridad aérea:

- Asegurarse de que se lleva a cabo un **programa de mantenimiento preventivo** a toda su flota de aviones.
- Realizar las operaciones de los aviones de acuerdo a lo establecido por el **Manual de Operaciones**.
- Ejecutar los **programas de entrenamiento y certificación de personal** de acuerdo a lo establecido por el Manual de Operaciones.

De esta forma, junto con el área de Mantenimiento, la **Dirección de Operaciones** es la parte de la organización de una compañía aérea donde mayor responsabilidad se deposita para garantizar la seguridad.

Normalmente, la Dirección de Operaciones es responsable de **velar tanto por el desarrollo seguro de las operaciones durante el vuelo, como de mantener en continua formación a los tripulantes técnicos y de cabina**, tarea ejercida desde la Dirección de Instrucción de Tripulaciones.

Para garantizar el cumplimiento de las anteriores responsabilidades, la **Dirección de Seguridad y Calidad** de una compañía aérea **monitorea y audita** de forma regular que las Direcciones de Mantenimiento, Operación e Instrucción, cumplen con la norma sin que existan desviaciones que pongan en peligro la seguridad del avión y sus pasajeros.

“El mantenimiento de las aeronaves es una actividad central en el funcionamiento de las compañías aéreas”.

Para el ahorro de combustible en el área del transporte aéreo es primordial considerar tres aspectos muy importantes para un buen desempeño y optimización del consumo de energía de una aeronave. Estos puntos son:

- El mantenimiento del fuselaje del avión
- El mantenimiento de los motores
- El mantenimiento de los sistemas

El exceso de contaminantes es una pérdida de carga en el transporte, un mantenimiento regular minimiza el deterioro de la aeronave y es obligatorio revisar puntos como la calibración de los instrumentos de vuelo, el mantenimiento de los motores, superficies limpias, alineamiento aerodinámico, etc.

Una compañía aérea destina al mantenimiento de sus aviones aproximadamente \$ 7 500.00 M.N. por cada hora de vuelo, en el caso de los aviones de corto y medio alcance. En el caso de los aviones de largo alcance la cifra alcanza hasta los \$ 16 500. 00 M.N., por cada hora de vuelo.

La naturaleza de las actividades de mantenimiento a las que se ve sometido un avión, puede ser doble:

- **Mantenimiento programado:** Corresponde con todas las actividades cuya realización es impuesta por el programa preventivo de revisiones establecido por el fabricante, y que tiene como finalidad mantener el alto nivel de fiabilidad y rendimiento de los aviones.
- **Mantenimiento no programado:** Corresponde con las actividades de mantenimiento que se realizan cuando surgen incidentes inesperados en el avión. Dependiendo del nivel de importancia de éstos, puede ocurrir que la reparación de los efectos del incidente puedan diferirse (el avión puede seguir volando ya que no existe un riesgo significativo para la seguridad del vuelo) o puede ocurrir que deban repararse de inmediato.

Durante todas las operaciones de mantenimiento se sigue un **registro de incidencias y datos de evaluación** de los componentes, para mantener la aeronavegabilidad continua.

Mantenimiento programado

Para garantizar la aeronavegabilidad continua de los aviones, las compañías aéreas llevan a cabo sobre los mismos un programa de mantenimiento, dirigido a **conservar siempre las condiciones iniciales de aeronavegabilidad y fiabilidad** que impone el fabricante y que validan las autoridades aeronáuticas competentes.

El fabricante, de acuerdo con la autoridad, establece un **programa de mantenimiento mínimo, único para cada tipo de avión**, que posteriormente se singulariza para cada compañía aérea. El programa de mantenimiento se elabora junto con el fabricante, enfocándolo a mantener en todo momento al avión en las condiciones establecidas por el **tipo de certificado**. El **fabricante participa en todo momento** en cualquier modificación que la compañía aérea pueda realizar sobre el programa de mantenimiento.

El programa de mantenimiento tiene que ser **aprobado por la DGAC**.

El mantenimiento programado de un avión se divide en tres categorías distintas que cubren inspecciones determinadas cuyos intervalos y tareas, van siendo progresivamente más extensas:

1. **Mantenimiento en línea**
2. **Mantenimiento menor**

3. Mantenimiento mayor

1. Mantenimiento en línea

Incluye tres inspecciones pre vuelo, diaria y semanal:

- **Inspección prevelo:** se realiza en la escala entre cada aterrizaje y el siguiente despegue del avión. Es llevada a cabo por el piloto o un técnico de mantenimiento, el cual revisa el estado general de motores (si hay alguna pérdida de combustible), de otros mandos e instrumentos de vuelo (timones de dirección y profundidad, tren de aterrizaje, flaps, etc) y vigila que no haya algún registro abierto.
- **Inspección diaria:** se realiza como máximo cada 47 horas y 59 minutos. se inspeccionan de forma detallada el exterior del avión, incluyendo estado de ruedas y frenos, lubricación de los amortiguadores de trenes de aterrizaje, comprobación de niveles de aceite, hidráulico, presión de oxígeno de sistema auxiliar de tripulación técnica y revisión del equipo de emergencia a bordo. Su duración aproximada es de dos horas.
- **Inspección semanal:** se realiza cada cien horas de vuelo ó 7 días de calendario. Se inspeccionan aspectos más detallados relacionados con la seguridad alrededor del avión. Su duración es de unas tres horas y es llevada a cabo por técnicos de mantenimiento de vuelo calificados en los hangares.

2. Mantenimiento menor

Integrado por tres tipos de inspección: A, B y C:

- **Inspección tipo A:** realizada **mensualmente**, incluye una inspección general de sistemas, componentes y estructura, tanto desde el interior como desde el exterior, para verificar su integridad.
- **Inspección tipo B:** realizada **semestralmente**, también comprueba la seguridad de sistemas, componentes y estructura, pero con mayor alcance y profundidad que la anterior.
- **Inspección tipo C:** realizada **anualmente**, se lleva a cabo una inspección completa y extensa, por áreas, de todas las zonas interiores y exteriores del avión, incluyendo los sistemas, las instalaciones y la estructura visible.

3. Mantenimiento mayor. “Gran parada”

Las aeronaves se someten al llamado Mantenimiento Mayor, con el que se cubre completamente el denominado Programa de Inspección Estructural. Este programa define inspecciones interiores y exteriores de todos los elementos estructurales.

La gran parada, corresponde con la revisión más completa que se puede realizar a un avión, y se

realiza cuando éste ha cumplido entre 4000 y 5000 horas de vuelo. El objetivo es revisar meticulosamente todos y cada uno de los elementos o herramientas que conforman la estructura del avión y cumplir con las exigencias requeridas para la confirmación del buen estado de todos los aparatos. El buen estado técnico del avión garantiza en gran medida la seguridad del vuelo.

En la **gran parada** se engloban trabajos como:

- a. El decapado completo de la **pintura exterior** del aparato.
- b. El **desmontaje** de todas las butacas, los cristales de las ventanillas, los rótulos exteriores e interiores y todos los paneles de revestimiento interiores, tanto de los laterales como del suelo.
- c. La **inspección de todos los elementos estructurales del avión** (estado de paneles, remaches, etc.) garantizando su integridad mediante la detección y reparación ante grietas o corrosiones.
- d. El desmontaje e inspección completa del **interior de los motores**.
- e. La inspección detallada con **rayos X** del estado de los trenes de aterrizaje.
- f. La revisión de todo del **sistema eléctrico** del avión.
- g. La inspección completa de **los mandos de vuelo**.
- h. La revisión de los **sistemas de seguridad del avión**, como los sistemas de comunicación, navegación, piloto automático, protección contra el hielo o anti incendios.

Una vez revisado el fuselaje y los componentes del avión, limpiados y sustituidos los componentes necesarios, el avión se reconstruye y se vuelve a pintar. Completadas estas operaciones, se realiza un vuelo de pruebas para comprobar su efectividad. Así, durante varias horas, los pilotos, los mecánicos de vuelo y los ingenieros de mantenimiento someten al avión a situaciones límite, conforme a protocolos previamente establecidos, que es casi imposible que sucedan en la realidad. Durante las pruebas, se paran motores (nunca simultáneamente) y se vuelven a poner en marcha en pleno vuelo; se realizan virajes pronunciados, se reduce la velocidad al mínimo y se eleva al máximo permitido y se prueban los trenes de aterrizaje y el resto de sistemas. Una vez finalizada la gran parada, el avión vuelve a ser operado de forma normal por la compañía aérea (ver Fig. 12.2). El costo total de esta operación de mantenimiento supera los **1,7 millones de USD** en el caso de un avión de largo alcance, y los **500.000 USD** en el caso del corto alcance.



Fig. I2.2 El mantenimiento asegura el correcto funcionamiento de la aeronaves. Cortesía Airlines.

Mantenimiento no programado

Al margen de las revisiones programadas, el resto de componentes (rampas, butacas, bombas hidráulicas, flaps, tren de aterrizaje, etc.) y motores tienen su propio mantenimiento en taller.

- a. El tren de aterrizaje se desmonta pieza a pieza cada diez años o 20.000 ciclos, (el intervalo depende de cada tipo de aeronave) pero además, se somete periódicamente a exhaustivos controles de fiabilidad, pues es uno de los componentes con mayor desgaste. Después de cada aterrizaje, se vigila el estado de las ruedas y la temperatura de los frenos, que son de discos de carbono, precisamente para soportar mejor un calentamiento extremo y mayor eficacia de frenado. Las llantas, además de la revisión básica, se someten cada 400 ciclos a un proceso que permite, sin dañarlas, ver si tienen grietas internas.
- b. A los motores se les revisan diariamente los niveles, se les hace una inspección detallada de la zona de entrada y escape vigilando que no tengan pérdidas. Con intervalos variables dependiendo de la flota se somete al motor en ala a inspecciones boroscópicas, que permiten ver el interior del mismo en detalle en una pantalla, para inspeccionar cualquier daño, y en algunas flotas se procede a un lavado del motor en ala para aumentar su eficiencia.
- c. La mayoría de los componentes de un motor, como los álabes de turbina, son de muy alta fiabilidad y sólo requieren desmontaje cada tres o más años. Ese es, más o menos, el intervalo para el desmontaje pieza a pieza de un motor y su posterior revisión. Después de su reparación y montaje, se somete al motor a una operación completa incluyendo el régimen de despegue distintos exámenes en el banco de pruebas, antes de instalarlo de nuevo en el avión.

Ahorro en tierra

CAPÍTULO III

Los aviones han ayudado a la comunicación mundial. Actualmente la aviación produce el 2% de las emisiones contaminantes a nivel mundial. Sin embargo la aviación sigue sin tomar medidas para utilizar energías limpias y dejar de contribuir al calentamiento global.

Ahorro en tierra

Mario Molina, el más reciente premio Nobel mexicano, dijo: “afecta a toda la economía, nos afecta a la producción de alimentos, nos afecta al funcionamiento de todo el sistema ecológico del que dependemos para nuestra subsistencia”.

La Unión Europea (UE) que firmó el protocolo de Kyoto ya está consciente y están empezando a tomar medidas para el ahorro energético. La utilización absoluta de equipo eléctrico para energizar aeronaves es una de sus más recientes implementaciones, además de investigar el posible uso de hidrógeno en los aviones.

Actualmente México se encuentra entre los principales productores y exportadores de electricidad. En 2001, generó aproximadamente 167 [TWh] de electricidad a partir de una base de capacidad instalada de 38.5 [GW]. A semejanza de muchos países en desarrollo y subdesarrollados, la mayoría de la capacidad instalada de generación en México se basa en combustibles fósiles. Sin embargo, el perfil de generación de electricidad de México difiere significativamente del de muchos otros países en desarrollo por su gran capacidad.

Ground support o soporte en tierra es todo aquel dispositivo que se utiliza en un aeródromo para brindarle energía y servicios a un aeronave. Estos dispositivos, en su mayoría son para proporcionar agua, alimentos y limpieza. Pero también están presentes aquellos que se utilizan para ahorrar energía en forma de combustible que utiliza el avión. Los dispositivos que ahorran energía son motores que funcionan en su mayoría con diesel como combustible y proporcionan energía eléctrica o neumática para una aeronave.

3.1 Equipo que utiliza turbosina

3.1.1 Unidad de potencia auxiliar (UPA)

La UPA o APU (del inglés auxiliar power unit), es un dispositivo, con estructura idéntica a la de un motor, pero con la característica de no producir energía mecánica, sino que actúa como fuente de energía para la aeronave, suministrándole a ésta la energía eléctrica necesaria para todas sus funciones, así como energía para que los motores puedan llevar a cabo su arranque. Dicho motor tiene un alto consumo de combustible y altas emisiones sonoras (arriba de 100 [dB]), por lo que se reduce su uso con equipo de soporte en tierra, con equipos que suministren energía desde afuera de la aeronave, como plantas eléctricas, neumáticas y aire acondicionado.

Este motor está generalmente situado en la cola de los aviones, aunque puede localizarse en lugares donde el fabricante de la aeronave lo crea necesario (se hablará de la emisiones de la UPA en el capítulo de conclusiones).

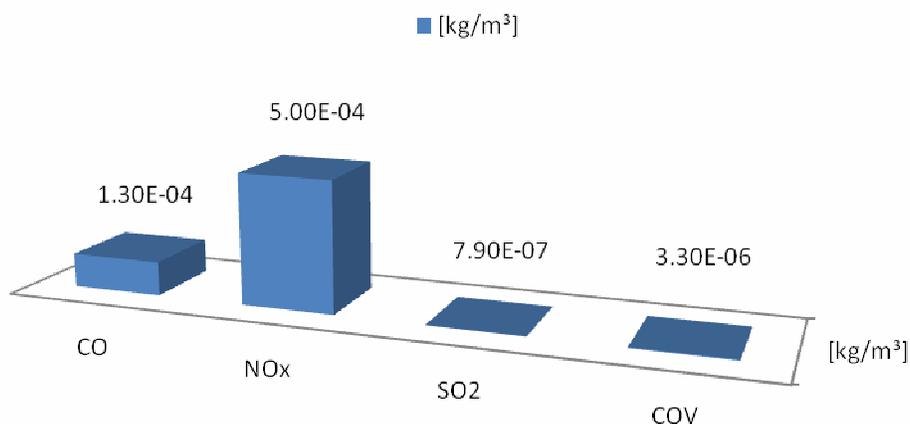
3.1.2 Arrancadores neumáticos

Los arrancadores neumáticos o air starters son dispositivos que incorporan una turbina de gas para generar aire comprimido que al conectarse a una aeronave permite arrancar los motores sin la necesidad de encender la UPA. Este dispositivo no es de uso muy común ya que sigue utilizando turbosina como combustible y solo evita que se utilice la UPA reduciendo los gastos por mantenimiento. La contaminación sonora que produce es similar a la que produce la UPA, así como su consumo de combustible (véase tabla T3.1 y gráfica G3.1).

Turbosina	[kg/m ³]	[kg/l]
CO	0.00013	0.00000013
NO _x	0.0005	0.0000005
SO ₂	0.00000079	7.9E-10
COV	0.0000033	3.3E-09

Tabla T3.1

Arrancador neumático



Gráfica G3.1

3.2 Equipo eléctrico

En la actualidad existen en el mercado diversos dispositivos de “ground service” que funcionan con energía eléctrica. Dichos dispositivos son muy eficientes lo que quiere decir que aprovechará al máximo la energía suministrada. Además reducen significativamente las emisiones sonoras y de gases contaminantes. Cabe destacar que el mantenimiento de este equipo es más costoso a largo plazo además de no contar con la versatilidad de movimiento de los equipos a base de combustible fósil.

3.2.1 Transformadores de frecuencia de estado sólido (TFES)

Los TFES actuales funcionan con una eficiencia del 93%. Esto quiere decir que es un transformador de alta eficiencia y pierde sólo el 7% de energía, que se propaga al ambiente en alguna forma de energía. Este tipo de plantas obtiene energía eléctrica directamente de la corriente según las especificaciones de cada fabricante, que pueden ser de más de 208 volts de corriente alterna. Además requieren de un transformador externo para prevenir fallas en el suministro de energía, así como posibles cortos circuitos.

Las emisiones que generan los TFES en el lugar de trabajo son solamente térmicas y radiaciones electromagnéticas. Las emisiones contaminantes a la atmósfera se generan en la planta generadora que suministra al TFES, en nuestro caso la Central Termoeléctrica Valle de México suministra al Distrito Federal, contando con un motor fijo de combustión interna que funciona con gas natural. Por lo tanto utilizamos factores relativos a las emisiones. Los datos se refieren a toneladas por [kWh] de suministro en la tabla T3.2.

Contaminante	Factor de Emisión [Ton/kWh]
CO ₂	0.000818
NO _x	.00000231
SO _x	0
Hg	N/A

Tabla T3.2

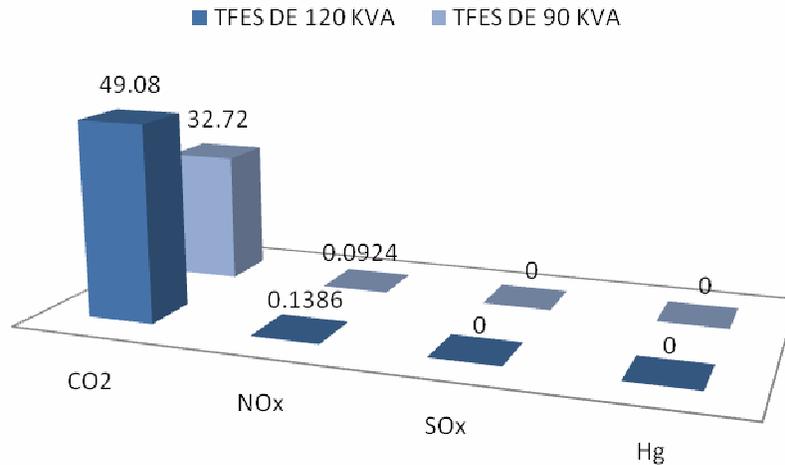
Así obtuvimos una gráfica de la contaminación que generaría un TFES, suponiendo que tomamos una entrada de [VAC] (volts de corriente alterna) a un nivel de A (amperaje) adecuado para su funcionamiento.

Para estimar el consumo de energía por unidad de tiempo se utilizó la literatura proporcionada por Luz y Fuerza del Centro. La tabla T3.3 y posteriormente la gráfica G3.2 muestran el valor de emisión en [kg/h].

Contaminante	Emisión por Unidad de 120 [kVA] en [kg/h]	Emisión por Unidad de 90 [kVA] en [kg/h]
CO ₂	49.08	32.72
NO _x	0.1386	0.0924
SO _x	0	0
Hg	N/A	N/A

Tabla T3,3

Emisión de contaminantes



Gráfica G3.2

El ruido provocado por un TFES es menor a 65 [dB] según lo especificado por el fabricante por lo tanto no se requiere de alguna protección física para operar cerca de un TFES, y por lo tanto está dentro de normativa.

3.3 Equipo diesel

La gran mayoría del ground support (soporte en tierra) utiliza diesel como combustible, ya sean tractores, camionetas, plantas eléctricas entre otros. En esta sección hablaremos de las UPT's ya que son las más importantes para ahorrar energía.

3.3.1 Unidades de potencia en tierra (UPT)

El desempeño de un motor puede caracterizarse por sus curvas de torque y potencia, obtenidas según procedimientos estándar de la SAE (Society Automotive Engineering); sobre dinamómetros de banco, se establece una carga mecánica determinada y se permite que el motor se establezca en una velocidad de rotación.

Las UPT tienen un alto consumo de diesel. A continuación se presenta una tabla que indica el rendimiento del promedio de todas las marcas existentes.

Las emisiones de contaminantes no sólo dependen del tipo de combustible, sino también del tipo y la configuración de la planta.

Para una composición de combustible dada, es posible calcular valores bastante precisos de este importante gas de invernadero. Suponiendo una combustión completa, es fácil calcularlos a partir de la composición química del combustible.

En su mayoría, los factores de emisión están basados de la compilación AP-42 de la EPA (Environmental Protection Agency), con la base de datos de factores de emisión sección 3.3 Gasoline And Diesel Industrial Engines Table 3.3-1 disponible en el sitio web de la EPA. Para el cálculo de CO₂.

En la tabla T3.4, se indican los factores de emisión usados para combustible diesel según los diferentes tipos de combustión y las diferentes configuraciones.

Contaminante	Factor de emisión para la entrega de potencia [kg/kw h]	Factor de emisión para la entrada de combustible [ng/J]
CO ₂	0.6992	70520
NO _x	0.0188	1896.3
SO _x	0.0012	124.7
PM-10 ^b	0.0013	133.3
Aldehídos	0.0002	30.1

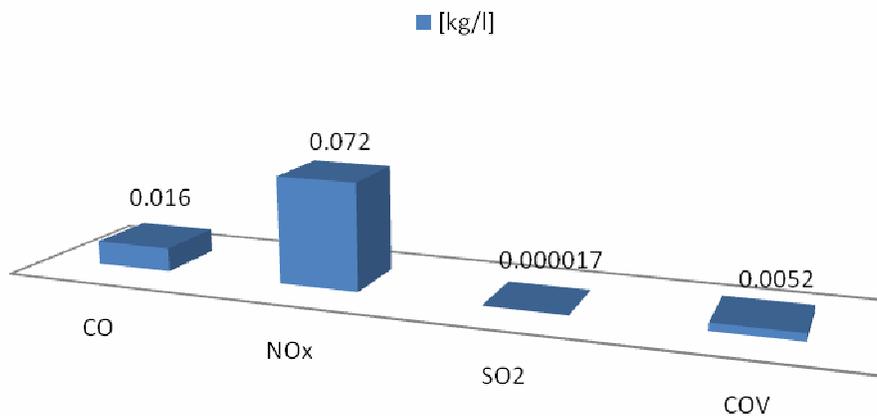
Tabla T3.4

A continuación se presenta el cuadro, donde se muestra la emisión de los contaminantes UPT's.

Diesel	[kg/m ³]	[kg/l]
CO	16	0.016
NO _x	72	0.072
SO ₂	0.017	0.000017
COV	5.2	0.0052

Tabla T3.5

Plantas eléctricas



Gráfica G3.3

Para la emisiones sonoras, según datos del fabricante las emisiones de una UPT son menores a 95 [dB], y de acuerdo a la norma 11 de la Secretaría de trabajo y Previsión Social establece el Nivel de

Exposición a Ruido (NER) permisible para los trabajadores a ruido estable, inestable o impulsivo durante el ejercicio de sus labores en una jornada laboral de ocho horas, a continuación se muestra la tabla T3.6 con el Tiempo Máximo Permisible de Exposición (TMPE) y la tabla T3.7 con los factores de carga y consumo de combustible.

NER [dB]	TMPE [h]
90	8
96	2
93	4
99	1
102	0.5
105	.25

Tabla T3.6

Capacidad del generador [kW]	1/4 de Carga [gal _{diesel} /h]	1/2 de Carga [gal _{diesel} /h]	3/4 de Carga [gal _{diesel} /h]	Carga completa [gal _{diesel} /h]
20	0.6	0.9	1.3	1.6
30	1.3	1.8	2.4	2.9
40	1.6	2.3	3.2	4
60	1.8	2.9	3.8	4.8
75	2.4	3.4	4.6	6.1
100	2.6	4.1	5.8	7.4

Tabla T3.7

3.4 Uso de lámparas autónomas

Como ya hemos mencionado, el uso de la UPA es demasiado costoso para proveer de energía eléctrica al avión, sin embargo también ya examinamos el equipo adecuado para reducir su uso. Sin embargo cuando la aeronave debe ser remolcada a un hangar con fines de pernocta, el uso de de la UPA es inaplazable.

El uso de lámparas que no son propias del avión, ayudarán a disminuir el costo de operación de la UPA. Estas lámparas se constituyen con base en LED's alimentados por una batería recargable y que se ajustan al perfil alar del avión mediante un compresor neumático. Dichas lámparas deberán ser colocadas por el personal de operaciones para su montaje.

Como dicta la norma deben colocarse tres lámparas.

3.5 Uso de equipo no motorizado

Es muy importante saber que equipos comprar u obtener para realizar las operaciones aeroportuarias, tanto en el aeródromo como en el hangar.

Si se obtienen equipos de soporte que no sean motorizados (de jalón) se pensaría que no hay que pagar por combustible ya que no lo requieren, sin embargo algunos equipos no motorizados necesitan de un tractor para ser movidos debido a su gran volumen y peso. Los equipos no motorizados indispensables en un aeropuerto son:

- Escalera para pasajeros (sólo en aeródromos que no cuenten con pasillos telescópicos).
- Carros portaequipaje.



Fig. I3.1 Algunos ejemplos de equipo no motorizado. Cortesía askungerfirst

En el hangar es posible incrementar el ahorro de energía, ya que existen en el mercado toda clase de equipos que pueden ser operados sin una fuente de energía motorizada. Entre ellos destacan,

- Escalera para pasajeros.
- Plataformas móviles.
- Escaleras con plataforma.
- Torres.

Con el uso de estos aparatos se obtendrá un ahorro de combustible apreciable, que se analizará en el tema de planeación (ver ejemplos en la Fig. I3.1).

Ahorro en aire

CAPÍTULO IV

Las condiciones atmosféricas a las que está sometida una aeronave reducen su eficiencia produciendo un mayor costo de operación, por lo que toda mejora aerodinámica ayudará a contrarrestar el medio en el que se traslada.

Ahorro en aire

Los primeros aviones que se construyeron fueron accionados mediante propulsores activados esencialmente por máquinas similares a las de los automóviles y diseños poco aerodinámicos.

El principal avance en la aviación comercial sucedió en 1952 cuando se introdujo el turboreactor. A lo largo de la historia se ha intentado generar un motor de alta eficiencia combinando motores accionados por hélice y propulsión. En la actualidad el motor más usado es el motor turbofan (ventirreactor), donde un ventilador accionado por una turbina obliga a que una gran cantidad de aire circule por un ducto que rodea a la máquina.

El alto consumo de combustible de estos motores ha producido grandes costos a las líneas aéreas, por ello en este tema analizaremos como puede disminuirse el consumo de combustible debido a malas operaciones aéreas y aeroportuarias.

4.1 Efectos aerodinámicos

4.1.1 Operación óptima de crucero

Los aviones pueden equiparse con perfiles aerodinámicos de bajo arrastre para conseguir un funcionamiento excelente en condiciones de crucero. Sin embargo, como el coeficiente de sustentación máximo es bajo para perfiles aerodinámicos delgados es necesario llevar a cabo un esfuerzo adicional para obtener velocidades de aterrizaje aceptablemente bajas.

“En condiciones de vuelo de estado estable, la sustentación debe ser igual al peso del avión y el empuje igual al arrastre”. Por lo tanto la fuerza de arrastre y sustentación en estas condiciones pueden expresarse de la siguiente manera.

$$F_R = C_R A \frac{1}{2} \rho V^2 = W \dots (1)$$

$$F_S = C_S A \frac{1}{2} \rho V^2 = T \dots (2)$$

Sustituyendo (1) en (2) y despejando V podemos obtener la velocidad óptima de crucero

$$V = \sqrt{\frac{2F_S}{C_R \rho A}} \dots (3)$$

Los motores consumen combustible en proporción al empuje entregado. La condición de crucero óptima es a una velocidad máxima para un empuje dado. En vuelo horizontal estable, se anotó arriba, el empuje y el arrastre son iguales. La condición de crucero óptima ocurre cuando se minimiza la relación entre la fuerza de arrastre y la velocidad del aire.

4.1.2 Reducción de velocidad

El término "velocidad mínima controlable" significa una velocidad en la cual cualquier incremento del ángulo de ataque o del factor de carga, o una reducción de potencia, causará una situación de pérdida inminente. Esta velocidad mínima dependerá de varias circunstancias: el peso y localización del centro de gravedad del aeroplano; el factor de carga impuesto por la maniobra; la altitud de densidad, etc.

En la figura I4.1 podemos observar la **curva de potencia**, en la cual podemos observar tres regímenes de vuelo.

- El rango de velocidades mínimas controlables.
- El régimen de menor resistencia.
- El que corresponde a velocidades normales de vuelo.

El límite superior del régimen de vuelo normal viene dado por la velocidad máxima (5), mientras que el límite inferior de las velocidades mínimas controlables está en la velocidad de pérdida (1).

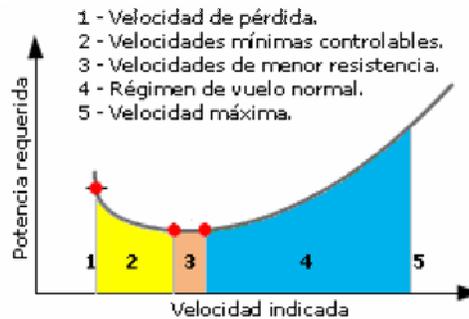


Fig I.4.1 Potencia requerida contra velocidad

Tomando como base el régimen de menor resistencia (3), volar con velocidades superiores (4) supone menor ángulo de ataque, lo cual implica menos resistencia inducida, pero esta reducción no es suficiente para amortiguar el incremento de resistencia parásita, resultando que es necesaria mayor potencia, como bien muestra la curva.

En el régimen que para este capítulo nos interesa, el de velocidades mínimas controlables (2), sucede a la inversa; la resistencia parásita se reduce en proporción a la velocidad, pero en cambio el incremento del ángulo de ataque para mantener la altitud provoca un acusado incremento de la resistencia inducida; resultado: se necesita mayor potencia. Por poner un ejemplo, reducir la velocidad a la mitad, cuadruplica la resistencia inducida, y aunque la resistencia parásita decrezca no es suficiente para evitar que la resistencia total se incremente.

Por esto es posible reducir la velocidad de crucero a unas cuantas décimas de Mach e incrementar el tiempo de vuelo en dos o tres minutos para reducir costos en el combustible.

4.1.3 La importancia de los “Winglets”.

Las mejoras recientes en la modelación y en las capacidades de cómputo han hecho posible diseñar secciones de perfil aerodinámico que generan un nivel alto de sustentación mientras mantienen un bajo arrastre.

Los efectos de los extremos sobre las alas de tramo infinito reducen la sustentación y aumentan el arrastre. De tal modo, las relaciones sustentación/arrastre que pueden conseguirse en la práctica son menores que las obtenidas de pruebas de secciones de perfiles aerodinámicos (ver diagrama D4.1).

Los efectos de envergadura finita pueden relacionarse empleando la proporción dimensional definida como:

$$ar = \frac{b^2}{A_p} \dots (4)$$

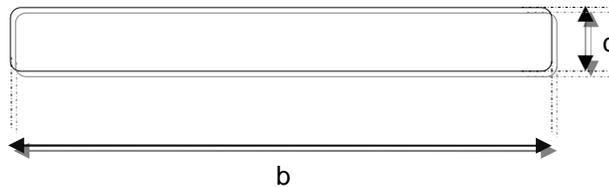


Diagrama D4.1

Donde A_p es el área de ala de avión y b es la envergadura del ala. Para un ala de avión rectangular de envergadura b y cuerda c .

$$ar = \frac{b^2}{A_p} = \frac{b^2}{bc} = \frac{b}{c} \dots (5)$$

Por lo tanto un avión ligero con $ar = 12$ podría tener aproximadamente una razón sustentación/arrastre máxima de $S/R = C_s/C_R = 20$.

El winglet se utiliza para disminuir el efecto negativo de los vórtices de punta de las alas (ver diagrama D4.2 y figura I4.2).

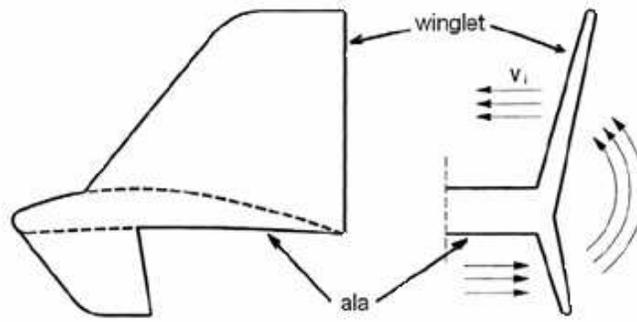
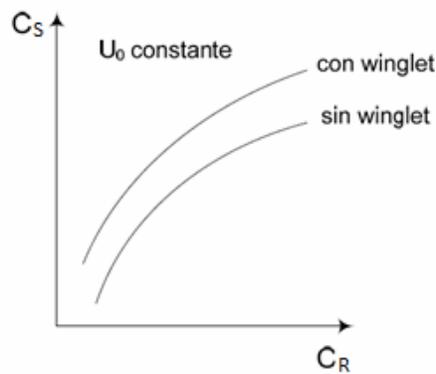


Diagrama D4.2

Efectos del winglet sobre la sustentación y arrastre.



Gráfica G4.1

Como puede observarse en la gráfica G4.1, el winglet aumenta la sustentación del avión y reduce la resistencia, evitando vórtices de estela.



Fig. 14.2 Spoiler y winglet en un aeronave. Cortesía Airliners.

Un ala de envergadura finita lleva con ella un sistema de vórtices de estela, siempre que genera sustentación. Los vórtices de estela resultan de flujo de fuga alrededor de las puntas de ala, desde la alta presión debajo del ala hasta la baja presión arriba del ala. Estos vórtices pueden ser muy intensos y pueden presentar peligro en aviones ligeros.

Es posible aumentar la proporción dimensional efectiva para un ala de una proporción dimensional geométrica determinada para disminuir la vorticidad agregando una placa en el extremo. Una placa en el extremo puede ser una simple placa unida a la punta, perpendicular a la envergadura del ala.

4.1.4 La pintura en los aviones.

Una característica sencilla pero más importante de lo que podría creerse, es el uso de un solo color en las aeronaves. Se ha descubierto que los aviones monocromos permiten que haya una menor resistencia al aire en pleno vuelo, lo que permite un gran ahorro de combustible por año y avión.

Aprovechando el flujo laminar de las corrientes de aire, se evitan los flujos turbulentos, lo que deriva en un menor consumo de carburantes.

Una leve corriente de aire más amplia de flujo laminar fluye, sobre la superficie de carga o compartimiento de pasajeros. Mantener dicho fluido sobre esa parte del avión puede reducir el rozamiento de la nave con el viento y, por tanto, reducir también el consumo de combustible.

Para conseguir mantenerlo resulta necesaria una superficie continua y fina, que no tenga irregularidades en la pintura, irregularidades que suelen producir los cambios de color de los esmaltes o de los detalles pintados que se añaden a los aviones. Las capas de pintura, comunes en los aviones para identificar las aerolíneas, incrementan el consumo de combustible hasta 113,562 litros por año y avión, por lo que un cambio así, teniendo en cuenta el precio actual de los combustibles, contribuirá positivamente a las economías de las aerolíneas.

4.2 Peso y balance.

En una aeronave al igual que en cualquier motor de combustión interna se genera una potencia al freno, es decir una fuerza que se opone a la fuerza de propulsión (empuje). Mientras más se incrementa el peso de la aeronave mayor será la fuerza necesaria para contrarrestar la potencia al freno generada por el peso de aeronave y por la resistencia al aire, que se traduce en mayor consumo de combustible. De igual forma que el peso el balance juega un papel importante, si esta operación no está bien realizada puede modificarse la estabilidad del avión generándose mayor resistencia al viento y por lo tanto mayor consumo de combustible.

De las fuerzas fundamentales que actúan sobre un avión, hemos visto con cierto detalle a lo largo de los capítulos anteriores, distintos aspectos que afectan principalmente a tres de ellas: sustentación, resistencia, y empuje o tracción, quedando por detallar con un poco más de

profundidad la restante: el peso. Esta fuerza no tiene menor importancia que las otras ni mucho menos, de hecho si no existiera los aeroplanos no tendrían razón de ser; es más, el peso es uno de los mayores problemas a resolver a la hora de diseñar un aeroplano. A lo largo de este capítulo y el siguiente se abordan los dos aspectos fundamentales del peso en relación con el vuelo: su cantidad y la distribución del mismo en el aeroplano.

4.2.1 Control del peso.

Retomando algunos conceptos conocidos, el peso es la fuerza de atracción gravitatoria ejercida de forma perpendicular a la superficie de la tierra (más exactamente al centro de la tierra), con un sentido hacia abajo y con una intensidad proporcional a la masa del cuerpo sobre el cual se ejerce (ver figura I4.3). Esta fuerza gravitatoria atrae continuamente al avión hacia la tierra, por lo cual ha de ser contrarrestada por la fuerza de sustentación para mantener al avión en vuelo.



Fig. I4.3 Peso del avión. Cortesía Embraer.

Ahora bien, la cantidad total de sustentación producida por un aeroplano no es infinita, sino que está limitada por el diseño del ala, el ángulo de ataque, la velocidad y la densidad del aire. Si la sustentación tiene un límite, es lógico deducir que el peso, fuerza opuesta, también debe tenerlo, pues en caso contrario la sustentación podría ser insuficiente para contrarrestar el peso y mantener al aparato en vuelo. Por otra parte, un avión se diseña en función del uso al cual está destinado, carga, deportivo, fumigación, militar, transporte de pasajeros, etc.. No hay más que mirar las diferencias entre un caza y un avión comercial. Cada diseño específico, supone pues tener en cuenta una serie de factores, fruto de lo cual se establecerá el mejor compromiso entre los componentes del aeroplano. Pues bien, un factor fundamental a tener en cuenta es el peso, pues aunque los constructores tratan de hacer los aeroplanos lo más ligeros posible, sin sacrificar seguridad ni robustez, el peso supone una limitación por su influencia sobre:

- Los elementos estructurales que deben soportar dicho peso, principalmente las alas.
- El rendimiento y capacidad de maniobra del avión, que está en función del peso del mismo.
- La estabilidad o inestabilidad del aeroplano.
- La cantidad de sustentación a generar, que como sabemos es limitada.

Por todas estas razones, el fabricante limita la capacidad máxima de carga y la distribución de la misma en el aeroplano, siendo responsabilidad del piloto al mando de cualquier avión, comprobar que la carga del mismo es acorde con las especificaciones dadas por el constructor. Para realizar dicha comprobación, el piloto debe asegurarse, que el peso está por debajo del límite máximo y que el Centro de Gravedad está dentro del rango de límites especificados.

4.2.2 Efectos del sobrepeso.

El piloto de un avión debe ser plenamente consciente de las consecuencias que un exceso de peso puede acarrear sobre su persona y sobre el aparato. Cada avión tiene unos límites que si se sobrepasan resultan en un rendimiento sensiblemente inferior al que tendría en condiciones normales, pudiendo incluso dar lugar a un desastre. El primer aviso de este pobre rendimiento debido al sobrepeso suele darse durante el despegue, que no es desde luego el mejor momento para que el piloto y el avión se encuentren con problemas.

Algunas de las deficiencias de rendimiento más importantes producidas en un avión sobrecargado son.

- Se necesita mayor velocidad de despegue.
- La carrera de despegue se hace más larga y se necesita por tanto más longitud de pista.
- La tasa de ascenso se reduce y puede ser comprometido salvar obstáculos.
- El techo máximo de operación del avión es más bajo.
- La distancia máxima alcanzable es más corta.
- La velocidad de crucero es menor.
- La capacidad de maniobra del avión se empobrece.
- La posibilidad de daños estructurales volando en áreas turbulentas aumenta.
- La entrada en pérdida del avión se produce con una velocidad mayor que en condiciones normales.
- La velocidad de planeo y aterrizaje se incrementa.
- Se necesita más longitud de pista en el aterrizaje.
- El esfuerzo sobre el tren de aterrizaje es mayor.
- La capacidad de frenar se reduce.

Es muy importante resaltar que aunque los constructores dejan unos márgenes de seguridad, los límites dados por los mismos deben respetarse escrupulosamente. Pero no caigamos en el error de creer que con no exceder el peso máximo es suficiente, pues hay otros factores que afectan al rendimiento del avión (día caluroso y húmedo, pista cuesta arriba, aeródromo a mucha altitud, etc...) que rebajan los límites de seguridad y que combinados con un exceso de peso pueden hacer del vuelo algo impredecible. Es obligación del piloto conocer y reducir los factores que afectan al rendimiento del avión, y aunque obviamente no puede reducir la altura del aeródromo o cambiar las condiciones climatológicas, si puede reducir el peso transportado, el número de pasajeros o la cantidad de combustible repostado, y en último caso desistir de realizar el vuelo.

4.2.3 Limitaciones de peso.

Para mantener el rendimiento y las características de vuelo para las cuales ha sido diseñado el aeroplano, este debe volar siempre con el peso y la posición del Centro de Gravedad dentro de los límites dictados por el fabricante. A continuación se detalla la nomenclatura de los pesos máximos que suelen especificarse en los Manuales de Vuelo, dejando para al capítulo próximo lo relativo a la posición del Centro de Gravedad.

Peso máximo de despegue. En ingles Maximum Takeoff Weight (MTOW), es el peso máximo aprobado para el aeroplano al comienzo de la carrera de despegue, peso que no debe nunca excederse. Este dato es un límite no una garantía, así que a la hora de evaluar el despegue han de tenerse en cuenta otros factores que pueden influir en el mismo y obligarnos quizá a disminuir el peso del avión. Salvo que la situación sea muy clara, conviene consultar en las tablas del Manual de Vuelo el peso máximo y la longitud de pista necesaria para el despegue en las condiciones actuales. Si es necesario, habrá que disminuir el peso del avión y si no queda más remedio suspender el vuelo.

Peso máximo de aterrizaje. En ingles Maximum Landing Weight (MLW), es el peso máximo aprobado que puede tener el avión a la hora de aterrizar. Este límite depende principalmente de la resistencia estructural del tren de aterrizaje. Además de contar con la limitación al peso del avión para aterrizar, debemos contar como siempre con otros factores que influyen en la toma. En aviones ligeros no es frecuente, pero en caso de aviones pesados, debe tenerse en cuenta además las características de la pista en cuanto a peso que soporta, dato que se incluye en las cartas de aproximación.

Peso máximo sin combustible. En ingles Maximum Zero Fuel Weight (MZFW), es el peso máximo aprobado para el avión descontado el combustible. La razón de este límite viene dada por el efecto de contrapeso que ejerce el combustible en los depósitos del ala a las cargas impuestas sobre las mismas por ráfagas o turbulencias (ver figura 14.4). Con este límite se reduce la posibilidad de un fallo estructural en las alas.

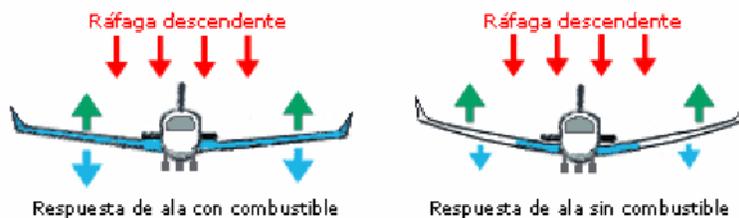


Fig. 14.4 respuesta del ala a una ráfaga en avión con sobrepeso.

Mientras que el cálculo del peso en aviones comerciales se realiza atendiendo a cifras medias, dada la imposibilidad de pesar por ejemplo el pasaje, en aviones ligeros el cómputo debe realizarse con base en los pesos reales. El peso máximo permitido nunca puede excederse; si por algún medio se carga combustible adicional, el peso en exceso debe ser balanceado minorando el peso del pasaje o del equipaje.

4.2.4 Objetos para el servicio de pasajeros.

Cualquier fuerza aplicada a un avión para desviar su trayectoria de vuelo recto, produce un esfuerzo en su estructura cuya magnitud se denomina factor de carga.

El factor de carga es la relación entre la carga de aire total sobre la estructura del avión (sustentación) y el peso bruto del avión ($FC = L/W$). Por ejemplo, un factor de carga de tres significa que la carga total sobre la estructura del avión es tres veces mayor a su peso bruto.

Los factores de carga son expresados generalmente en términos de “g” (gravedad). Cuando un avión está expuesto a 3 g’s en una trepada por ejemplo, el piloto ó sus pasajeros serán comprimidos sobre sus asientos con una fuerza igual a 3 veces sus propios pesos. Los factores de carga son importantes para el piloto, debido a la posibilidad de imponer una sobrecarga peligrosa a la estructura del avión y también porque un factor de carga elevado incrementa la velocidad de pérdida.

Los vuelos en virajes y maniobras producen un efecto en la velocidad de pérdida el cual es similar al efecto del peso. Un viraje coordinado exige que la componente vertical de la sustentación sea igual al peso del avión y la componente horizontal sea igual a la fuerza centrífuga. De esta manera el avión en un giro coordinado desarrolla una sustentación mayor a su peso y como resultado experimenta un aumento en la velocidad de pérdida. La siguiente fórmula ejemplifica lo anterior

$$V_{p2} = V_{p1}\sqrt{FC} \dots (6)$$

V_{p1} = Velocidad de pérdida a 1G

V_{p2} = Velocidad de pérdida en vuelo a valores distintos de 1G

FC = Factor de carga

Todos los accesorios para llevar a cabo un vuelo comercial tienen un costo unitario del combustible que se ocupa para realizar una ruta, por lo tanto si la aeronave lleva enseres no necesarios se traducirá en peso que no necesita la aeronave, por ejemplo si en la cocina se lleva comida extra podría convertirse en el peso de un pasajero y, por lo tanto equivale a un boleto que no generó ganancias.

Deben considerarse los siguientes reajustes para disminuir peso en el aeronave.

- Restringir el uso de periódicos y revistas a los pasajeros.
- Llevar solo los alimentos y bebidas necesarios.
- Utilizar materiales ligeros en revestimientos de los asientos.
- Limpieza en el interior de la aeronave.
- Agua suficiente para el servicio de sanitarios.

4.2.7 Combustible.

Antes del vuelo o durante éste es imprescindible tratar de obtener la mezcla perfecta de aire-combustible para aprovechar al máximo la entrega de potencia del motor y no desperdiciar energía. Una mezcla de aire y combustible demasiado rica (demasiado combustible para el peso de aire) puede provocar:

- Un consumo excesivo, lo cual significa un menor tiempo de vuelo y un menor radio de operación.
- Funcionamiento irregular del motor, lo cual puede llevar a que no desarrolle toda su potencia.
- Temperatura de operación del motor más baja de lo deseable.

Por otra parte, una mezcla demasiado pobre (combustible escaso para el peso del aire) puede producir:

- Pérdida de potencia.
- El motor gira abruptamente y está sujeto a excesivas vibraciones.
- La temperatura del motor puede alcanzar niveles indeseables.
- La posibilidad de detonación se incrementa.

Una de las principales causas de los accidentes de aviación, sobre todo en aviones ligeros, se debe a problemas con el combustible. Sin embargo es relativamente sencillo evitar estos problemas siguiendo una sencilla rutina en la inspección prevuelo y vigilando el consumo durante el propio vuelo.

Aunque en el capítulo relativo a mantenimiento se detallan los procedimientos a seguir, veamos algunos referentes al combustible:

- Asegurar que la cantidad cargada es suficiente. El consumo puede ser mayor al esperado; cabe la posibilidad de tener que aterrizar en un aeropuerto distinto del previsto; un exceso de tráfico puede incrementar nuestro tiempo de vuelo; etc.

-Drenar los depósitos para comprobar que no queda agua o impurezas en el mismo y que efectivamente lo que hay allí dentro es combustible.

- Cerrar bien tapones y drenadores.

- Los indicadores de cantidad pueden estar estropeados o sufrir errores. Comprobar la cantidad contenida en los depósitos visualmente.

- Verificar el funcionamiento de la bomba auxiliar, si el avión dispone de este dispositivo.

- Calcular el consumo. La mayoría de las tablas de rendimiento de un avión proporcionan el consumo en galones a distintos regímenes de funcionamiento del motor.

- Durante el vuelo, además de verificarr los medidores de combustible, teniendo en cuenta el tiempo volado, hay dos cuestiones básicas a tener en cuenta:

- Si el avión dispone de selector de depósito, se debe ir alternando la alimentación de uno a otro cada cierto tiempo (por ejemplo cambio cada 1/2 hora). Esperar a que se agote el combustible de un depósito para pasar al otro puede provocar fallos de motor.

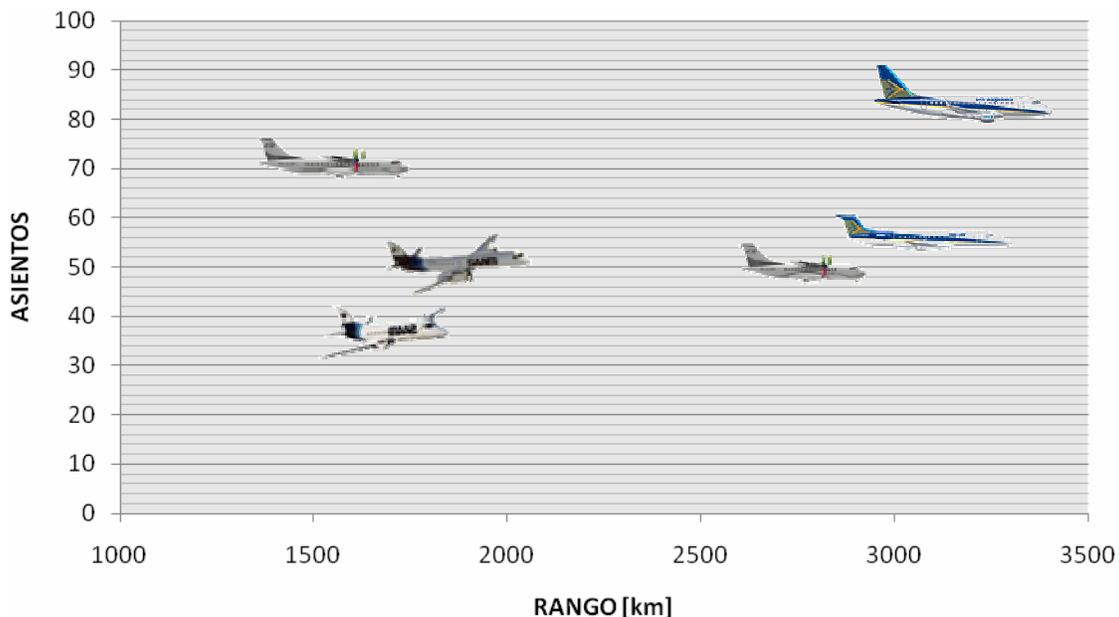
- Al cambiar de altitud puede ser conveniente ajustar la mezcla para asegurarse que la proporcionada al motor es la adecuada.

4.3 Aeronaves

Existen diversos tipos de aviones comerciales con diversos constructores. En el mercado nacional predominan dos grandes fabricantes Boeing y Airbus ambos con gran fama por la economía y diseño de sus aviones. Sin embargo uno de los males de las pequeñas aerolíneas comerciales es tratar de competir con las grandes aerolíneas comprando los mismos aviones que las compañías grandes pero con vuelos más cortos y pensando que pronto podrán realizar rutas más largas y más benéficas. Este dilema ha contribuido al desperdicio de energía, aunado a la compra de aeronaves usadas y en mal estado, pensando solo en los beneficios a corto plazo que no siempre dan buenos resultados.

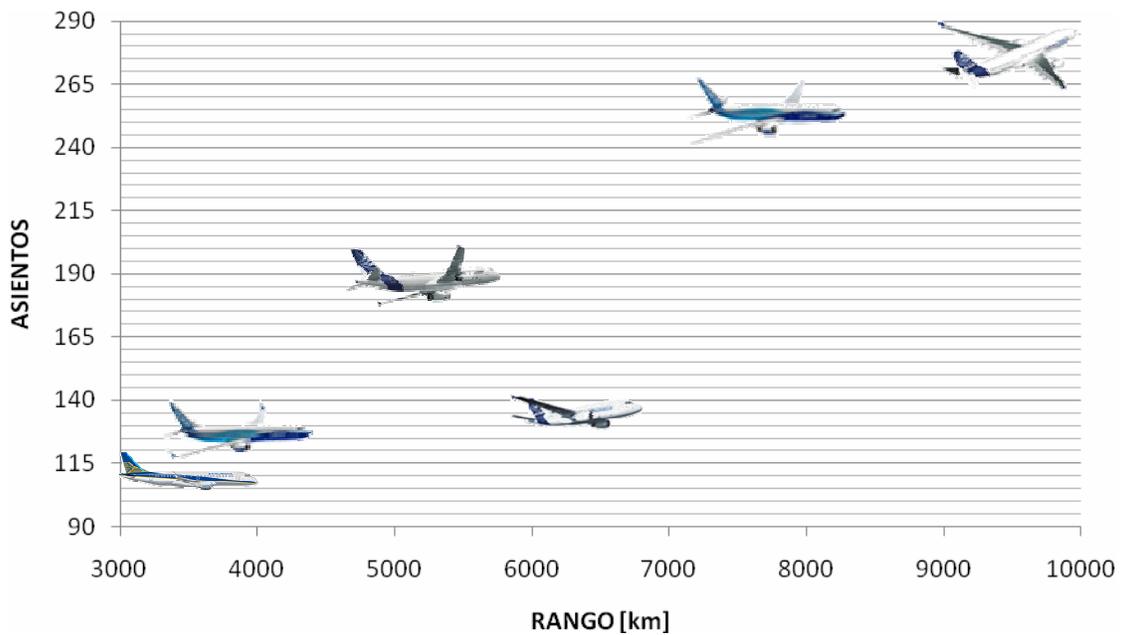
Los fabricantes de aviones también enfrentan una problemática con el aumento de los combustibles por lo que cada vez reducen el consumo en sus aeronaves y exigen trabajar junto a otras compañías para obtener los más eficientes y mejores motores en el mercado.

Es posible reducir el consumo de combustible si solo se rentan los aviones por un determinado periodo en lugar de comprarlos y es mucho más importante saber qué tipo de avión es el conveniente para nuestra ruta y cantidad de demanda (ver gráficas G4.2, G4.3 y G4.4).



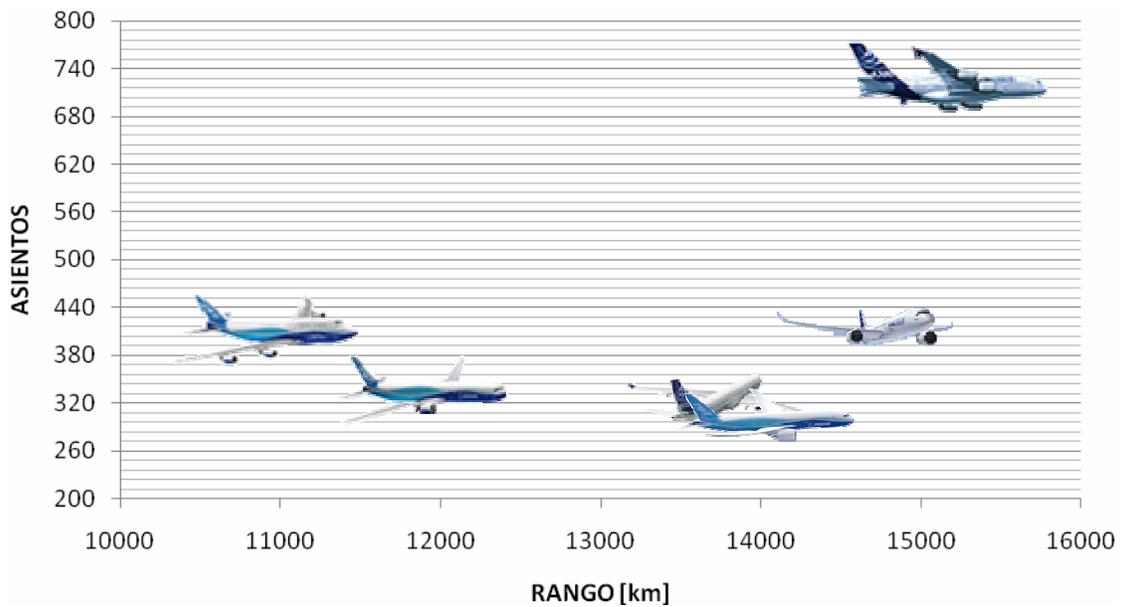
De izquierda a derecha. Aerospatiale ATR 72, Saab 340, Saab 2000, Aerospatiale ATR 42, Embraer E-140 y Embraer E-170.

Gráfica G4.2 Aeronaves para poca demanda y distancias cortas.



De izquierda a derecha. Embraer E-190, Boeing 737, Airbus A320, Airbus A319, Boeing 767 y Airbus A330.

Gráfica G4.3 Aeronaves con demanda regular y distancia media.



De izquierda a derecha. Boeing 747, Boeing 777, Airbus A340, Boeing 787 Dreamliner, Airbus A350XWB y Airbus A380.

Gráfica G4.4 Aeronaves de gran demanda y larga distancia.

Es imprescindible tener la mejor aeronave. Los nuevos diseños están reemplazando drásticamente a los aviones que actualmente están en el aire. Sin duda estamos experimentando una nueva generación de aeronaves más potentes y más eficientes, quedaron atrás los modelos robustos y se da cabida a formas aún más aerodinámicas. Ahora el mercado de los aviones de corto alcance que dominaban Boeing y Airbus está siendo rivalizado por la empresa Embraer que tiene aeronaves muy eficientes y a un costo adecuado.

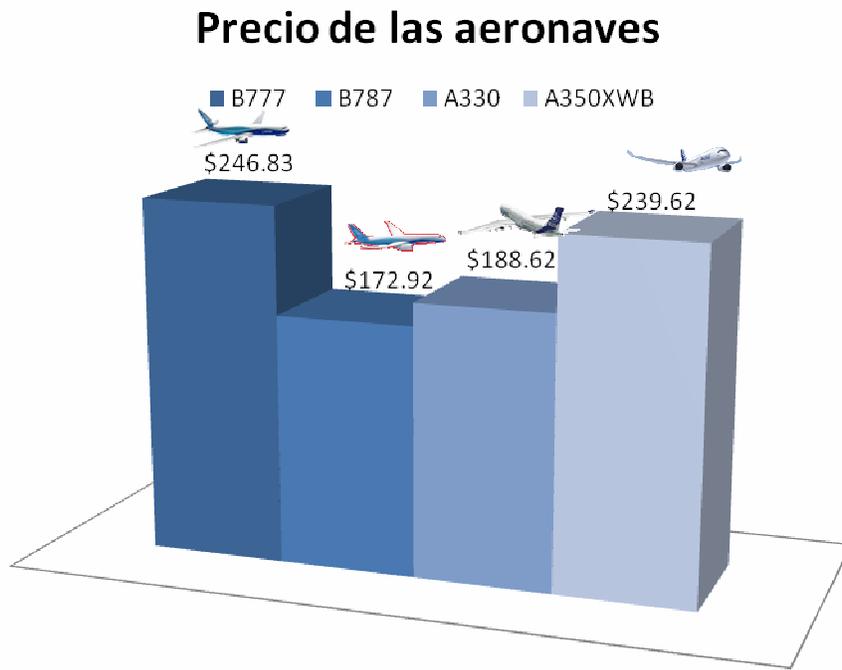
Es muy importante saber el costo de la aeronave y el consumo energético que requiere, ya que no sólo se debe tomar la decisión basándose en el precio, también debemos tomar en cuenta las emisiones que genera, los requerimientos de mantenimiento y de combustible.

Sin embargo considerando el alcance que tienen y el nivel de equipamiento y disponibilidad hace tener cierta preferencia sobre algunas empresas y modelos. Cabe señalar que en el espacio aéreo nacional dominan solo dos empresas que utilizan aeronaves de corto alcance, por tal motivo sólo consideramos a las aeronaves que se utilizan con mayor frecuencia en nuestro país; B737, B777, A319, A320, A330 y consideramos dos propuestas de nueva generación B787, A350XWB y E190.

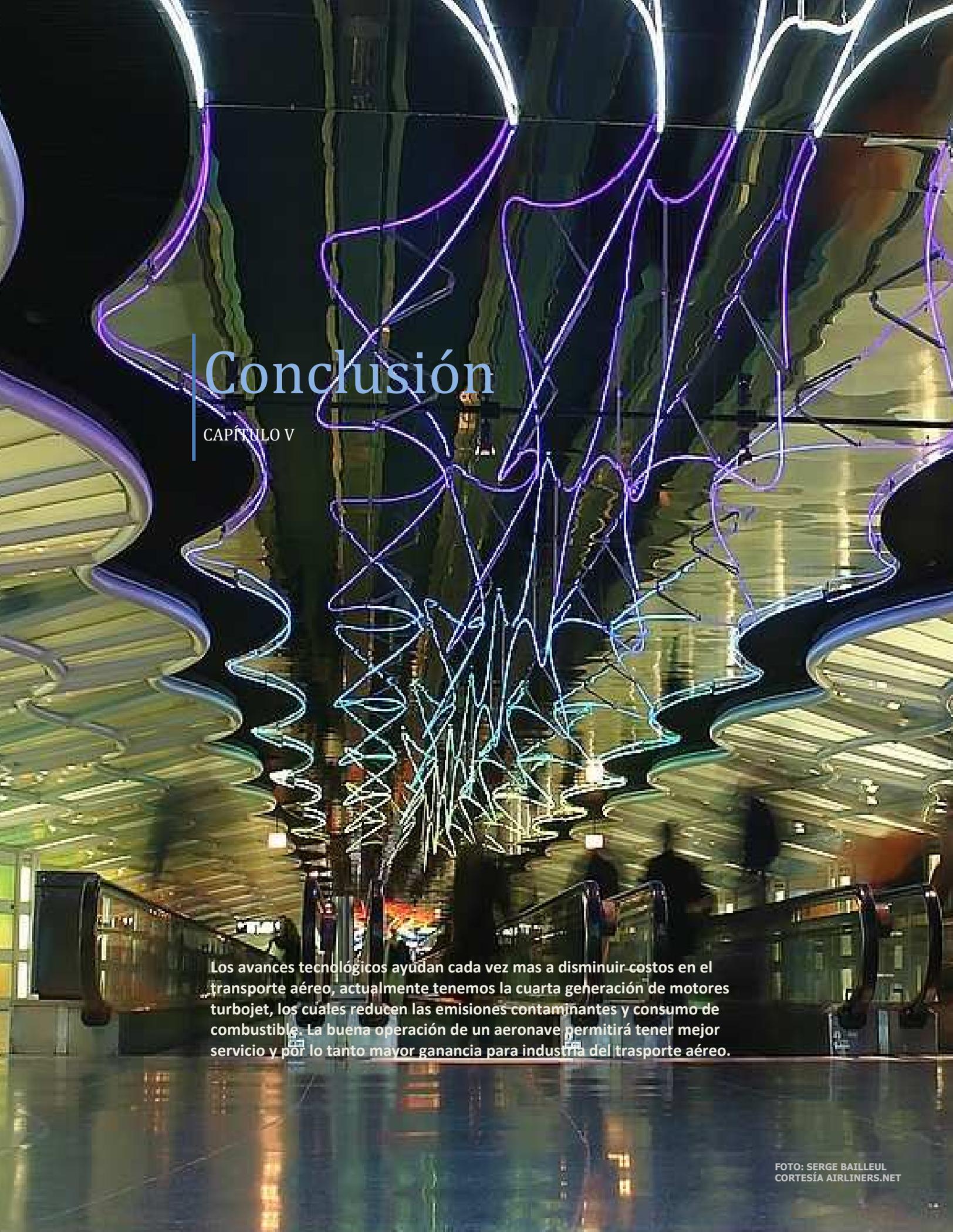
La nueva generación además de su alta eficiencia y novedosos diseños incorpora modelos en los cuales se puede mezclar turbosina con algún biocombustible, lo que permite un menor consumo de combustible fósil y ayudar a proteger el medio ambiente, las siguientes gráficas comparan 2 clasificaciones de aeronaves.



Gráfica G4.5. Aeronaves para distancias cortas.



Gráfica G4.5. Aeronaves para distancias largas.



Conclusión

CAPÍTULO V

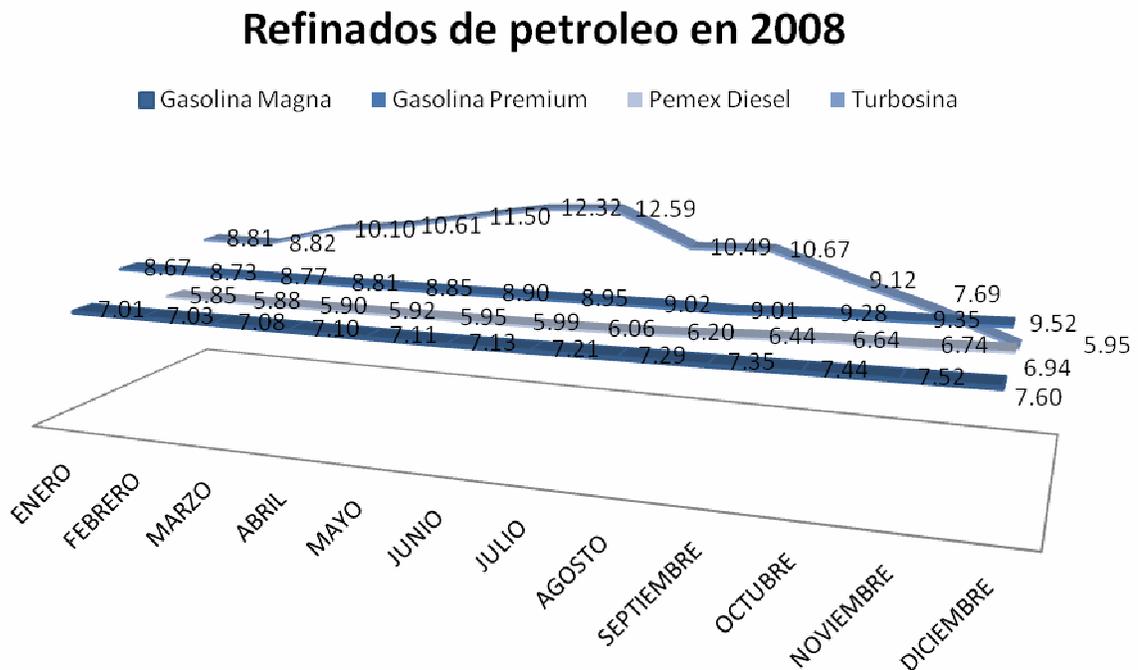
Los avances tecnológicos ayudan cada vez mas a disminuir costos en el transporte aéreo, actualmente tenemos la cuarta generación de motores turbojet, los cuales reducen las emisiones contaminantes y consumo de combustible. La buena operación de un aeronave permitirá tener mejor servicio y por lo tanto mayor ganancia para industria del transporte aéreo.

5.1 Panorama actual del combustible.

A principios del 2008 la industria de la refinación sufrió por la especulación de la escasez de petróleo, llevando al precio de la turbosina a precios muy elevados en todo el mundo. Este problema está siendo originado principalmente por las economías emergentes de países como China e India en donde el consumo del energético es cada vez mayor.

Sin embargo la problemática de precios comienza desde los atentados del 11 de Septiembre en Estados Unidos, que provocaron la caída de las empresas de aviación; estrategias de ahorro y mercadotecnia permitieron a algunas seguir en operación.

En 2003 aún sin tener una economía sana entre las aerolíneas, aparece un nuevo problema, el incremento en el costo de los combustibles. Esto obligó a la fusión de aerolíneas, reducción de destinos y retiro de aviones para tratar de paliar el problema. La siguiente gráfica (G5.1) presenta los refinados de petróleo en 2008



Gráfica G5.1

En el entorno nacional en 2008 la situación se agravó, la turbosina sufrió un incremento de 357% con respecto a los precios del 2003, la gasolina, el gas y el diesel también sufrieron incrementos significativos. Este impacto fue devastador en las aerolíneas de bajo costo ya que el combustible era el 50% de su costo de operación.

Entre los diversos problemas de la industria aérea nacional, está el que PEMEX maneja los precios del combustible al costo de referencia internacional (Houston), aún cuando es producida en nuestro país, por lo anterior el precio no debería ser tan elevado y añadiendo que es el único combustible que no está subsidiado (aunque el subsidio no es viable dada la entrada de aerolíneas internacionales).

Para el presente año la crisis económica mundial agrava la situación financiera de toda la industria aérea, en México se busca que ASA (Aeropuertos y Servicios Auxiliares) pondere los precios de la turbosina para que no se tenga un ahorro de \$150,000,000 en la transportación del combustible. Además permitirá crear mejores esquemas económicos a las aerolíneas.

El 2009 también traerá ciertos beneficios ya que el precio de la gasolina mantendrá su precio, no así el diesel ni el gas, pero la utilización de vehículos que quemen gasolina como combustible será de gran importancia para las aerolíneas de bajo costo.

Debemos de entender que una aerolínea que tenga una buena operación en sus aeronaves tendrá menores pérdidas de dinero. ASA (Aeropuertos y servicios auxiliares) ha bajado el costo de la turbosina considerablemente, es vital que aerolíneas de bajo costo aprovechen ésta situación, ya que los precios del crudo deberán subir debido a la escasez del petróleo y a la alta demanda ya mencionada. Igualmente deben buscar reducir sus emisiones contaminantes para evitar los efectos del calentamiento global.

5.2 Economía ambiental

5.2.1 Análisis costo beneficio

Este procedimiento sirve para compartir posibles decisiones alternas de inversión o acción con base en los beneficios que se puedan obtener, ya sea tangibles o intangibles. Los costos y beneficios se miden en términos monetarios: cuando éstos son intangibles se necesita una evaluación más amplia para determinar si el beneficio social contribuye a un beneficio monetario.

En resumen el análisis costo beneficio puede considerarse como un intento por aumentar la calidad de la toma de decisiones y los efectos sociales. Es una aplicación de la economía moderna del bienestar que, en términos generales, aumenta la eficiencia de la aplicación de recursos.

En este caso utilizaremos el análisis costo beneficio (ACB) para determinar el costo de oportunidad de los recursos implícitos.

- Ahorros en tiempo de desplazamiento, derivados de opciones alternas de transporte.
- Costos y beneficios impuestos a terceros.
- Efectos sobre el empleo.
- Implicaciones para la calidad de vida

Estas consideraciones tienen implicaciones para la evaluación del impacto ambiental y las declaraciones reglamentarias del impacto en las que se evalúan los posibles costos y beneficios de las normas establecidas. Entre las herramientas del ACB destacan.

- Optimización o aprovechamiento máximo de los recursos.
- Desarrollo sostenible y evaluación ecológica.
- Precios fantasmas, que reflejan la verdadera escasez de los recursos naturales para la sociedad en general.

Entre los beneficios que deja el ACB se tiene

- Ahorro de los costos.
- Mejoras ambientales y otros beneficios sociales.
- Valor residual del equipo industrial.
- Contribución al desarrollo sostenible.
- Contribución a la infraestructura social.

Se debe desalentar la esperanza de que el ACB sea método mediante el cual todos los valores en conflicto que intervienen en la toma de decisiones ambientales se podrían convertir en cifras proporcionales y adjuntarlas en un cálculo universal. Es evidente que algunos bienes ambientales son factibles de evaluar en términos monetarios, muchos de los más importantes no se deben evaluar de esa manera. Es necesario evaluar en forma directa los efectos de los bienes ambientales insustituibles, como a los que se ve expuesto la vida humana. Estas opciones deben ser cuestión de juicio, no de cálculo.

5.2.2 Contaminación urbana del aire

El Sistema Global de Monitoreo Ambiental (GEMS, Global Environmental Monitoring System) se creó en 1974 por la Naciones Unidas. Como parte del GEMS se creó la Red Básica de Monitoreo de la Contaminación del Aire en Zonas urbanas. Al principio la evaluación de la calidad del aire se concentraba en cinco contaminantes: dióxidos de azufre (SO_2), partículas suspendidas (PM_{10}), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y plomo (Pb) (ver gráfica G5.2 y tabla T5.1 para ver las emisiones por aeronave). Dicha evaluación implicaba la recopilación de 50 naciones, que arrojó como resultado que solo el 20% de los habitantes de zonas urbanas en el mundo viven en ciudades donde la calidad del aire es aceptable.

El acelerado crecimiento de las ciudades, el tránsito cada vez más denso, la utilización de procesos industriales obsoletos, el consumo cada vez mayor de energía, la planificación inadecuada, y la existencia de leyes ambientales débiles y mal aplicadas son factores que contribuyen a la mala calidad del aire y el deterioro de la salud pública.

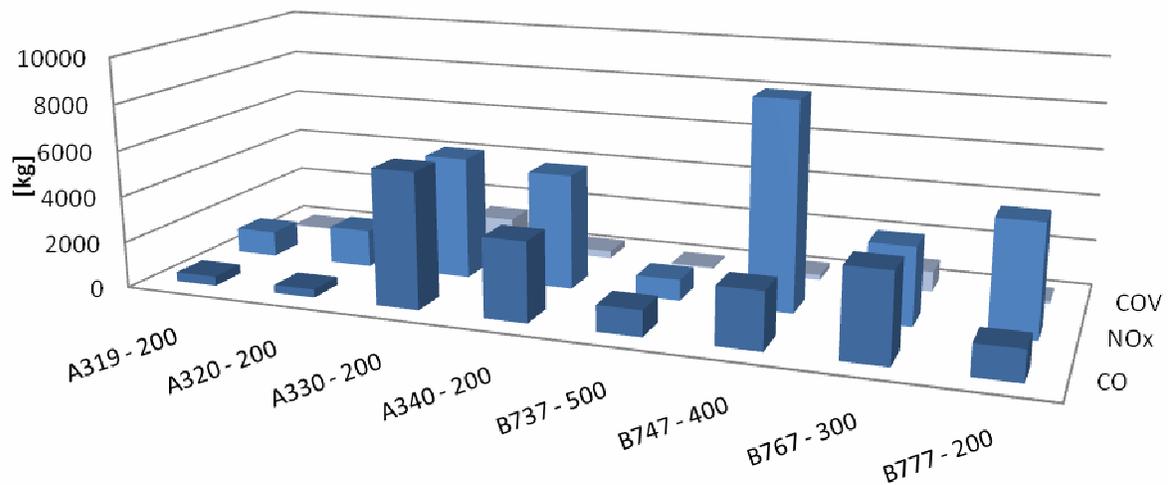
Muchas de las naciones desarrolladas han disminuido los niveles de contaminación debido a que los efectos acumulativos de las leyes para tener aire limpio tienen 40 años o más.

Esto demuestra que el crecimiento económico, la urbanización y la industrialización pueden tener mayores efectos en la contaminación de lo que se ha pronosticado. Sin embargo, si en las naciones

en desarrollo no se hacen esfuerzos por controlar la contaminación (de todas las fuentes) se tendrán serias pérdidas económicas.

- Pérdidas económicas a causa de la contaminación de aire.
- Pérdidas médicas directas
- Pérdida del ingreso debido al ausentismo laboral
- Menor productividad.
- Mayores costos de limpieza.
- Disminución del valor de las propiedades.
- Pérdidas por mala combustión de los hidrocarburos.

Emisiones por tipo de aeronave



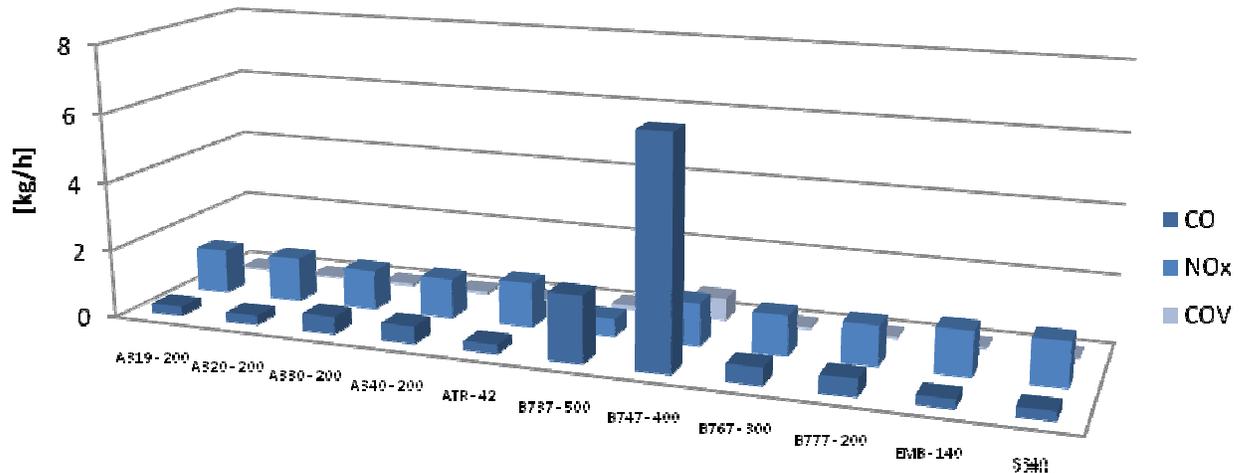
Gráfica 5.2 Contaminación de aeronaves.

Aeronave	Motor	Fabricante	Volumen [l]	Emisiones [kg]		
				CO	NO _x	COV
A319 – 200	PW41452	Pratt & Whitney	29840	402.78032	1106.46123	33.7150821
A320 – 200	IAEV2500	IAV	29680	348.775616	1633.11826	15.317848
A330 – 200	CF6 - 80C2A1	GE	139100	5858.02402	5314.63265	1368.6394
A340 – 200	CFM56 - 5 - A1	CFM Int.	155040	3434.5391	4985.62128	320.064576
B737 – 500	CFM56 - 3B	CFM Int.	23800	1118.14732	911.034012	61.226928
B747 – 400	PW4056	Pratt & Whitney	216840	2444.82763	8901.23863	226.232641
B777 – 200	PW4056	Pratt & Whitney	117000	1319.1516	4802.8266	122.067972

Tabla T5.1

Otra fuente de emisión de contaminantes a la atmósfera es el uso de la UPA. En capítulos anteriores se mostraron los beneficios del uso de soporte en tierra, ahora veremos el consumo y la contaminación que genera dicho dispositivo (ver gráfica G5.2 y tabla T5.2).

Emisiones de APU por tipo de aeronave



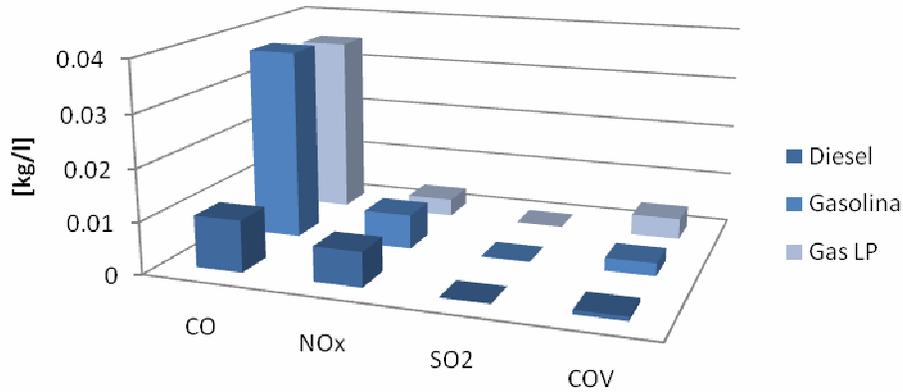
Gráfica G5.3

Aeronave	Motor	Fabricante	Gasto [kg/h]	Emisiones [kg/h]		
				CO	NO _x	COV
A319 - 200	GTCP 36	Allied Signal Inc.	128.27	0.2629535	1.295527	0.0282194
A320 - 200	GTCP 36	Allied Signal Inc.	128.27	0.2629535	1.295527	0.0282194
A330 - 200	GTCP 331	Allied Signal Inc.	121.78	0.5029514	1.1581278	0.0572366
A340 - 200	GTCP 331	Allied Signal Inc.	121.78	0.5029514	1.1581278	0.0572366
ATR - 42	GTCP 36	Allied Signal Inc.	128.27	0.2629535	1.295527	0.0282194
B737 - 500	GTCP 85	Allied Signal Inc.	106.95	1.9240305	0.5080125	0.1208535
B747 - 400	PW 901A	Pratt & Whitney	392.24	6.5817872	1.235556	0.6432736
B767 - 300	GTCP 331	Allied Signal Inc.	121.78	0.5029514	1.1581278	0.0572366
B777 - 200	GTCP 331	Allied Signal Inc.	121.78	0.5029514	1.1581278	0.0572366
EMB - 140	GTCP 36	Allied Signal Inc.	128.27	0.2629535	1.295527	0.0282194
S340	GTCP 36	Allied Signal Inc.	128.27	0.2629535	1.295527	0.0282194

Tabla T5.2

Los vehículos que se operan en un aeródromo son muy variados y se prefiere el uso de los equipos que utilizan diesel como combustible, sin embargo el alza de precios en el combustible provoca que se utilicen vehículos que funcionan con gas LP y gasolina, pero que tan benéfico puede ser esto además del beneficio económico. Recordemos que en un aeródromo se despiden emisiones contaminantes que pueden afectar a los que laboran en el lugar y a sus alrededores. A continuación presentamos las emisiones que presentan los vehículos y tractores que se utilizan en un aeródromo (véanse gráficas G5.4 y G5.5. Tablas T5.3 y T5.4).

Automóviles

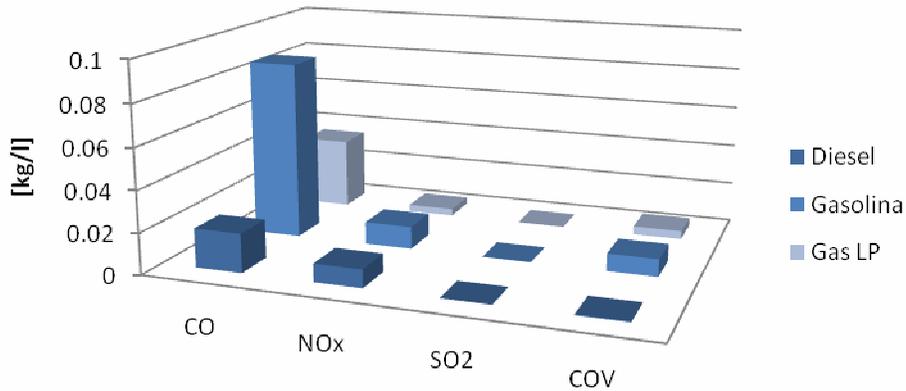


Gráfica G5.4

Diesel	[kg/m ³]	[kg/l]	Gasolina	[kg/m ³]	[kg/l]	Gas LP	[kg/m ³]	[kg/l]
CO	10	0.01	CO	37	0.037	CO	35	0.035
NO _x	6.7	0.0067	NO _x	6.7	0.0067	NO _x	3.4	0.0034
SO ₂	0.017	0.000017	SO ₂	0.098	0.000098	SO ₂	0	0
COV	0.83	0.00083	COV	2.5	0.0025	COV	4.1	0.0041

Tabla T5.3

Camionetas y tractores ligeros



Gráfica G5.5

Diesel	[kg/m ³]	[kg/l]	Gasolina	[kg/m ³]	[kg/l]	Gas LP	[kg/m ³]	[kg/l]
CO	19	0.019	CO	87	0.087	CO	35	0.035
NO _x	8.9	0.0089	NO _x	11	0.011	NO _x	3.4	0.0034
SO ₂	0.017	0.000017	SO ₂	0.084	0.000084	SO ₂	0	0
COV	0.42	0.00042	COV	8.5	0.0085	COV	4.1	0.0041

Tabla T5.4

5.3 Economía energética

5.3.1 Eficiencia energética

El transporte conlleva el uso de energía térmica, mecánica, eléctrica, entre otras. En cada uno de estos usos además, se consigue un distinto rendimiento. Pero también el uso de la energía influye sobre el medio ambiente y produce modificaciones sobre éste. Ya es incuestionable que se está produciendo el agotamiento de los recursos naturales de combustibles fósiles en todo el mundo, en primer lugar del petróleo. Al mismo tiempo es evidente que existe un incremento constante en la demanda de energía. El término eficiencia energética se refiere a las acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los servicios finales obtenidos, esto se puede lograr a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de administración y de hábitos en los trabajadores.

En el transporte aéreo es muy importante el ahorro de combustible mediante el aumento de la eficiencia de consumo de las aeronaves y vehículo, además de una adecuada administración del combustible (ver tabla T5.5 y gráficas G5.6 y G5.7).

Las medidas a considerar para tener eficiencia energética son usualmente fáciles de implementar y accesibles para el sector aéreo. Los beneficios de implementar políticas de eficiencia energética incluyen.

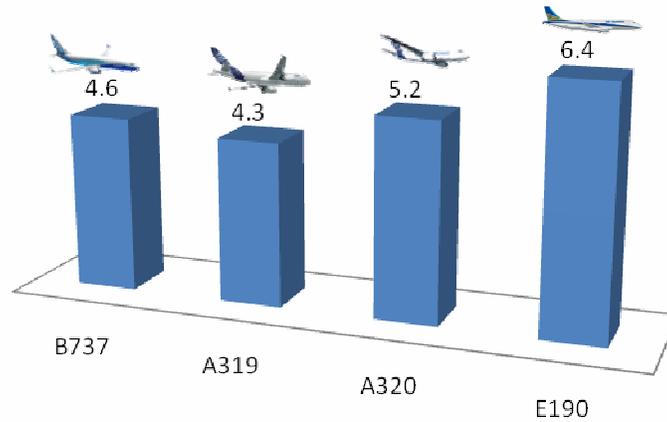
- Ahorros económicos.
- Disminución de la dependencia de energéticos.
- Disminución de la vulnerabilidad de los precios de los energéticos.

Sin embargo se requiere de cambios radicales en la proliferación de tecnologías relacionadas con el uso eficiente de energía, como la sustitución periódica de las aeronaves.

Marca	Modelo	UPA	Consumo de UPA normal [kg/h]
Boeing	737-600	GTCP 85 SERIES	95.45
	777-300	GTCP 331 SERIES	128.27
	787-9	APS 5000	252.35
Airbus	319	GTCP 36 SERIES	128.27
	320	GTCP 36 SERIES	128.27
	330	GTCP 331 SERIES	243.54
	350 XWB	HGT1700	260.98
Embraer	190	APS 2300	198.75

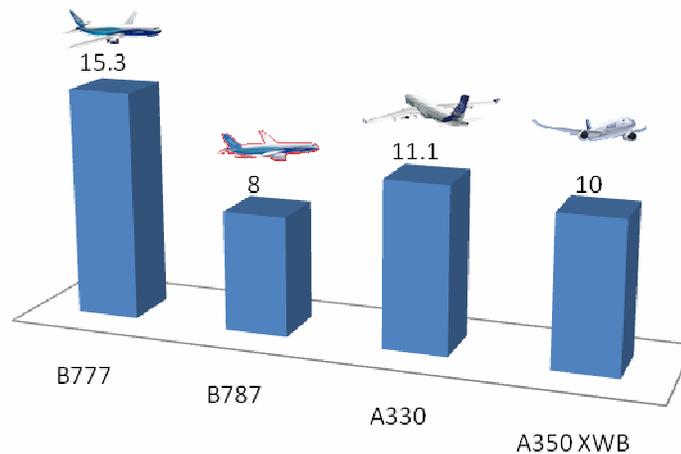
Tabla T5.5

Litros por cada kilómetro



Gráfica G5.6

Litros por cada kilómetro



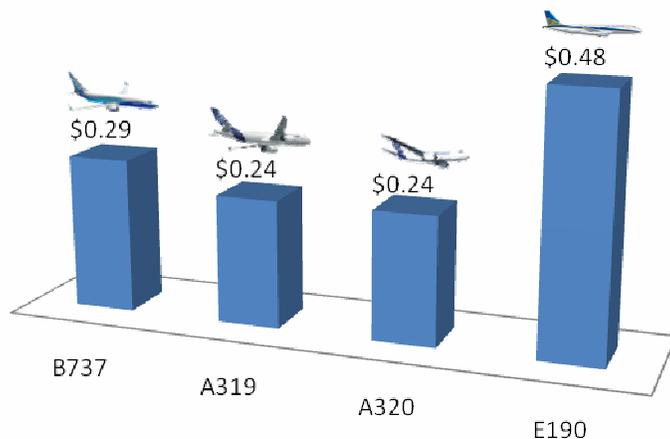
Gráfica G5.7

5.3.2 Obstáculos para la eficiencia energética

Los obstáculos que presentan las aerolíneas no solamente dependen de los costos. La falta de información, la falta de inversión de capital y las ventas por debajo del costo del servicio son los principales obstáculos para el uso eficiente de los energéticos (véanse gráficas G5.8 y G5.9).

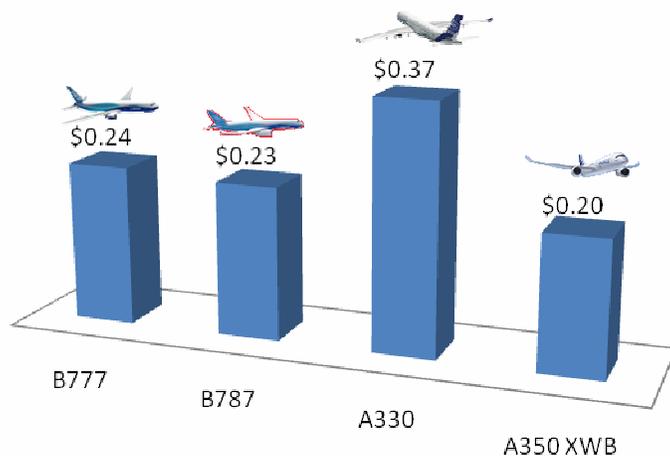
Este problema puede revertirse capacitando al personal para el uso adecuado de los equipos que consumen un alto porcentaje de combustible, creando políticas de ahorro de energía, promocionar el uso eficiente de sus recursos y búsqueda de apoyo en el sector gubernamental.

Costo kilómetros por pasajero



Gráfica G5.8

Costo kilómetros por pasajero



Gráfica G5.9

5.3.3 Energías alternas

El biocombustible es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa (organismos recientemente vivos o sus desechos metabólicos). Los combustibles de origen biológico pueden sustituir parte del consumo en combustibles fósiles tradicionales, como el petróleo o el carbón. Los biocombustibles más usados a nivel mundial son el bioetanol y el biodiesel.

Los biocombustibles están llamados a jugar un importante papel en el transporte aéreo de los próximos años, a la luz de los resultados de los vuelos de pruebas con biocombustibles que diversas compañías aéreas y fabricantes aeronáuticos han realizado últimamente.

Todas las iniciativas de sustitución del petróleo en el transporte aéreo pasan a corto y medio plazo por los biocombustibles, ya que, a diferencia de lo que ocurre en el transporte terrestre, no es factible utilizar electricidad o sistemas híbridos en aviones comerciales.

Los biocombustibles utilizados para sustituir al queroseno en la aviación comercial han de ser capaces de cumplir, entre otros aspectos, con dos requisitos fundamentales: tener un elevado contenido energético por unidad de volumen y resistir las bajas temperaturas que se registran en pleno vuelo. Así, se considera que el bioetanol es una buena alternativa para la aviación no comercial.

Este tipo de aviones no necesita consumos tan elevados como los aviones comerciales. El biodiesel presenta mejores condiciones para la aviación comercial ya que su contenido energético es más cercano al del queroseno y el desarrollo de nuevos aditivos anticongelantes está permitiendo que en un futuro muy próximo sea viable su utilización a las bajas temperaturas que se alcanzan en vuelo.

5.4 Toma de decisión

Una decisión se refiere al proceso que comienza al reconocer una necesidad y termina con la selección e implementación de una acción específica. Una toma de decisión elige entre un grupo de acciones o implementos. La finalidad de la toma de decisión es estructurar el problema para identificar las características esenciales del problema a modelar y definir los criterios que medirán el alcance de una decisión.

La toma de decisiones introduce un proceso de decisión: la selección de alternativas y atributos, la ponderación de los atributos y en la predicción y cuantificación de los datos.

Incluir intangibles en el proceso de decisión aumenta la subjetividad. El dilema incluye elegir entre usar evaluaciones subjetivas para ciertos factores que contribuyen, mientras que la subjetividad deteriora la confiabilidad, y usar solo medidas objetivas eliminará los aspectos intangibles del estudio.

5.4.1 Método de propiedades ponderadas

Este método consiste en elaborar una matriz de decisión nos permite delinear algunas conclusiones generales, para evaluar comparativamente alternativas propuestas. La matriz se elabora enumerando las propiedades que se deseen y se organizan en una columna mientras que en la primera fila se enumeran las comparaciones que se realicen entre las propiedades, otorgando un 0 para la propiedad menos importante y 1 para la más importante

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \dots (8)$$

Donde N será el número de comparaciones y n el número de propiedades. A continuación se suman las filas (DP) para determinar el factor α

$$\alpha = \frac{DP}{\sum DP} \dots (9)$$

Después se realiza otra matriz, esta vez con el fin de otorgar un porcentaje al valor numérico de cada propiedad.

$$B = \frac{\text{valor numérico de la propiedad}}{\text{valor máximo de la lista}} \rightarrow \text{para valores grandes} \dots (10)$$

$$B = \frac{\text{valor numérico de la propiedad}}{\text{valor máximo de la lista}} \rightarrow \text{para valores pequeños} \dots (11)$$

Una vez realizado este paso se determina el índice de desempeño, que oscila entre valores de 0 y 100%

$$\gamma = \sum_{i=1}^n B_i \alpha_i \dots (12)$$

A modo de ejemplo tomemos dos decisiones para determinar cuál es la mejor elección en la compra de una flota aérea, determinando los siguientes casos.

Caso 1

Una aerolínea necesita al menos 3 aeronaves para obtener el derecho de navegar en el espacio aéreo mexicano, la cual realizará 6 vuelos diarios del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (en adelante MEX por el código IATA) al Aeropuerto Internacional de Cancún (CUN). Determinar que flota será su mejor opción.

Solución

Mediante el método de propiedades ponderadas se determinó cual es la aeronave

		DP	A
A	Precio	4	0.1

B	Velocidad de crucero	2	0
C	Capacidad de pasajeros	5	0.1
D	Costo km por pasajero	2	0
E	Emisiones	4	0.1
F	Distancia máxima	0	0
G	Consumo de combustible de APU	7	0.2
H	Consumo de combustible de motores	8	0.2
I	Seguridad	4	0.1
J	Eficiencia (respecto km)	9	0.2

	J	H	G	C	A	I	E	D	B	F
B737	4.6	0.35	95.45	130	69310000.00	40	1118.14	0.29	0.78	4000
A319	4.3	0.35	128.27	135	70300000.00	20	402.78	0.24	0.82	6800
A320	5.2	0.35	128.27	180	76900000.00	20	348.77	0.24	0.82	5700
E 190	6.4	0.65	198.75	115	31150000.00	3	278.44	0.48	0.84	3300
B777	15.3	0.568	121.78	350	246830000.00	40	1319.15	0.24	0.84	12000
B787	8	0.527	252.35	330	172920000.00	40	1118.27	0.23	0.85	14000
A330	11.1	0.345	243.54	335	188620000.00	20	5858.02	0.37	0.86	10000
A350XWB	10	0.56	260.98	400	239620000.00	20	2577.44	0.2	0.89	16000

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
B737	72	54	48	88.5	90	100	100	60	100	83
A319	67	54	65	85.2	91	50	36	50	95	49
A320	81	54	65	63.9	100	50	31	50	95	58
E 190	100	100	100	100	41	7.5	25	100	93	100
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
B777	100	100	47	94.3	100	100	23	65	100	83
B787	52	93	97	100	70	100	19	62	99	71
A330	73	61	93	98.5	76	50	100	100	98	100
A350XWB	65	99	100	82.5	97	50	44	54	94	63

	Y										ΣY
B737	6	2.4	5.3	3.9	8	0	16	11	8.9	17	78
A319	6	2.4	7.2	3.8	8.1	0	6	8.9	8.5	9.7	60
A320	7	2.4	7.2	2.8	8.9	0	5	8.9	8.5	12	62
E 190	9	4.4	11	4.4	3.6	0	4	18	8.3	20	82
B777	9	4.4	5.2	4.2	8.9	0	4	12	8.9	17	72
B787	5	4.1	11	4.4	6.2	0	3	11	8.8	14	67
A330	6	2.7	10	4.4	6.8	0	16	18	8.7	20	93
A350XWB	6	4.4	11	3.7	8.6	0	7	9.6	8.4	13	71

De esta manera obtenemos que el mejor avión para una ruta nacional en el A319 de Airbus, lo siguiente sea determinar el costo de recuperación de nuestra inversión.

- Compra de aeronaves

Tres aviones Airbus 319 x 3 x 70 300 000.00 USD = 210 900 000.00 USD.

- Consumo de Turbosina

Tres aviones Airbus 319 \$ 6 684 873.92 USD.

- Mantenimiento

Corto alcance x 3 x \$ 500 000.00 USD = \$ 1 500 000.00 USD.

- Total

Aeronaves + Combustible + Mantenimiento = \$ 219 084 873.9 USD.

El ingreso será la ruta MEX-CUN de 1278 Km, suponiendo 6 vuelos diarios con los tres equipos existentes y 135 pasajeros. Tomando en cuenta tarifas de las principales aerolíneas mexicanas, consideramos un precio de \$ 14 457.66 para una primera clase y un precio de \$ 7965.97 para una clase económica, y haciendo una distribución de asientos de 10 primeras clases y 125 clases económicas. Las dos tarifas son para vuelos redondos (ver gráfica 5.10).

10 x 14 457.66 = \$ 144 576.6

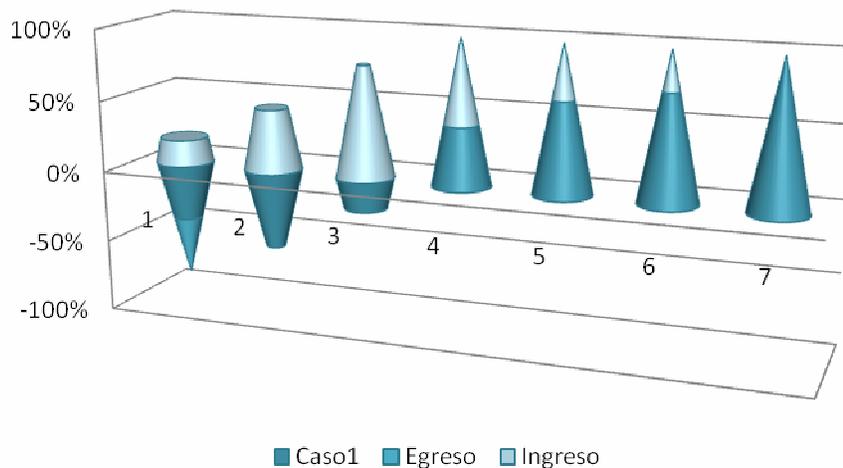
125 x 7965.97 = \$ 995 746.25

TOTAL = \$1 140 315.35 o 87716.56 USD por un vuelo.

= \$ 263 149.68 USD por tres vuelos redondos.

= \$ 96 049 633.2 USD por año.

Caso 1



Gráfica 5.10

Por lo tanto se tiene una recuperación del 100% a los 4 años.

Caso 2

Una aerolínea necesita al menos 5 aeronaves para obtener el derecho de navegar en el espacio aéreo mexicano, la cual realizará 6 vuelos diarios MEX-CUN y 104 vuelos anuales en la ruta MEX-LHR (Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México – London Heathrow Airport). Determinar la mejor aeronave.

De la matriz anterior sabemos que la mejor aeronave para rutas largas es el B787 de la empresa Boeing. Ahora verificaremos el costo de inversión y recuperación.

- Compra de aeronaves (Vuelos Internacionales y nacionales)

Tres aviones Airbus 319 x 3 x 70 300 000.00 USD = 210 900 000.00 USD

Dos aviones Boeing 787 x2 x 172 920 000.00 USD = 345 840 000.00 USD

TOTAL = 556 740 000.00 USD

- Consumo de Turbosina

Tres aviones Airbus 319 \$ 6 684 873.92 USD

Dos aviones Boeing 787 \$ 10 857 634.66 USD

TOTAL = \$ 17 542 508.58 USD

- Mantenimiento

Corto alcance x 3 x \$ 500 000.00 USD = \$ 1 500 000.00 USD

Largo alcance x 2 x \$ 1 000 000.00 USD = \$ 2 000 000.00 USD

TOTAL = \$3 500 000.00 USD

- Total

Aeronaves + Combustible + Mantenimiento = \$ 577 782 508.6 USD

Tomando en cuenta tarifas de las principales aerolíneas mexicanas, consideramos un precio de \$ 83 924.00 para una primera clase y un precio de \$ 29 476.8 para una clase económica, y haciendo una distribución de asientos de 30 primeras clases y 270 clases económicas. Las dos tarifas son para vuelos redondos (ver gráfica G.5.11).

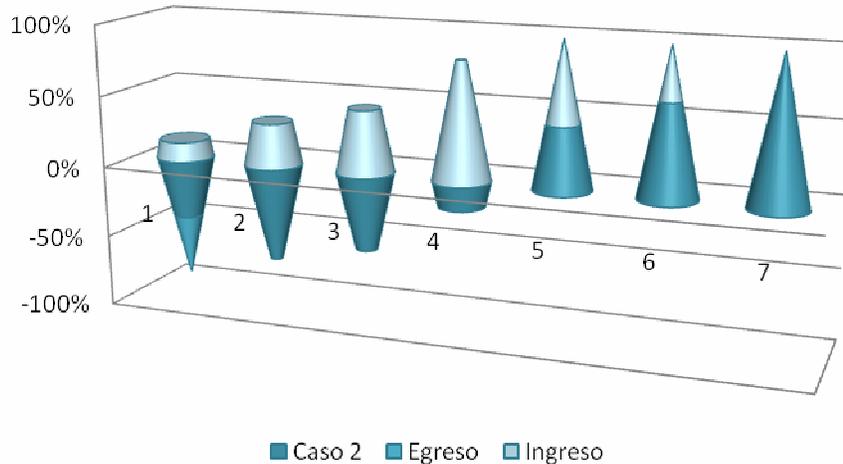
30 x 83 924.00 = \$ 2 517 720 o 193 670.76 USD

270 x 29 476.8 = \$ 7 958 736 o 612 210.46 USD

TOTAL = \$ 805 881.23 USD por un vuelo.

= \$ 83 811 647.84 USD por 104 vuelos anuales.

Caso 2



Gráfica 5.10

La inversión se recupera al 100% en 5 años.

5.5 Consideraciones finales

En la actualidad la aviación tiene un promedio de transportación anual de 2.2 millones de pasajeros. Alrededor del mundo existen aproximadamente 2100 aerolíneas lo cual nos arroja un total aproximado de 23 000 aeronaves que circulan en 3 754 aeropuertos gracias a las rutas aéreas que se extienden por varios millones de kilómetros. En el sector aéreo se paga más de 40 millones de dólares anuales por el uso de aeropuertos y servicios de navegación aérea.

A lo largo de la realización de este documento vimos a varias empresas nacionales dejar sus operaciones, tal vez por mala administración o por no invertir en tecnología. Sin embargo las empresas de bajo costo que ahora emergen en la industria realizan operaciones con varios de los puntos que en este documento tratamos. Los aviones nuevos consumen 70% menos de combustible que los que fueron fabricados hace más de 40 años y que algunas aerolíneas siguen utilizándolos erróneamente, pensando que su mantenimiento es mucho más económico que el cambio de la aeronave. Con estos avances en la aviación se han reducido la emisión de CO₂ en los últimos 40 años hasta en un 50% y de hidrocarburos hasta en un 90%.

En los últimos 15 años se ha logrado una reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) hasta en un 50 %, y cada año, el combustible desperdiciado como consecuencia del bajo rendimiento de las infraestructuras genera unos 73 millones de toneladas de CO₂.

El número de personas expuestas al ruido de los aviones en todo el mundo se redujo en un 35%, pues las nuevas flotas son 20 decibeles más silenciosos que los de hace 40 años y se estima que para 2020 se reducirá en otro 50 % el ruido producido en los despegues y aterrizajes. Estas reducciones de emisiones contaminantes, tanto sonoras como atmosféricas, permiten tener jornadas de trabajo más largas y tener un mejor ambiente de trabajo.

Se calcula que el impacto económico mundial por el transporte aéreo gira alrededor de 3.5 billones de dólares, lo que es equivalente al 8% del PIB mundial, generando un total de 32 millones de empleos en todo el mundo.

Sin duda tener la mejor tecnología en industria aeroportuaria incrementa la eficiencia energética, pero de nada serviría tener equipo de punta sin tener un compromiso de mejora en toda la empresa, ya que también deben realizarse mejores operaciones, mejor mantenimiento y mejor administración.

Esto conlleva a una mejora continua en las empresas nacionales y así su consolidación en el espacio aéreo nacional.

Metodología

CAPÍTULO VI

6.1 Apéndice

6.1.1 Pérdida

En este capítulo veremos cómo se produce una situación que, no controlada y según en qué circunstancias se produzca, puede entrañar un alto riesgo para la integridad física de los pasajeros y del aparato: la pérdida.

La pérdida (en inglés stall) es el efecto provocado por la incapacidad del ala para seguir produciendo sustentación, y se produce cuando el avión vuela con un ángulo de ataque mayor que el ángulo de ataque crítico. No hay nada mágico en este ángulo, la sustentación no cae a cero, es más, en este punto es donde se alcanza el coeficiente máximo de sustentación. Lo que sucede es que pasado este ángulo crítico disminuye la sustentación y la resistencia se incrementa dando lugar a la entrada en pérdida.

6.1.2 Capa límite

La capa molecular de aire en contacto con la superficie permanentemente adherida a esta con un deslizamiento entre las diferentes capas, que conforme están a más distancia de la superficie, tienen una velocidad mayor hasta un punto en el que la velocidad de la capa de aire correspondiente es la de la corriente libre. La zona que existe entre la superficie del perfil y el punto donde la velocidad es la de la corriente libre, se denomina capa límite.

El espesor de la capa límite es la distancia del punto de velocidad cero a otro donde la velocidad es casi la misma que la velocidad de la corriente libre (al 99%). En la figura 7.1 la velocidad de la corriente libre es U_0 y la velocidad cero o instantánea es u .

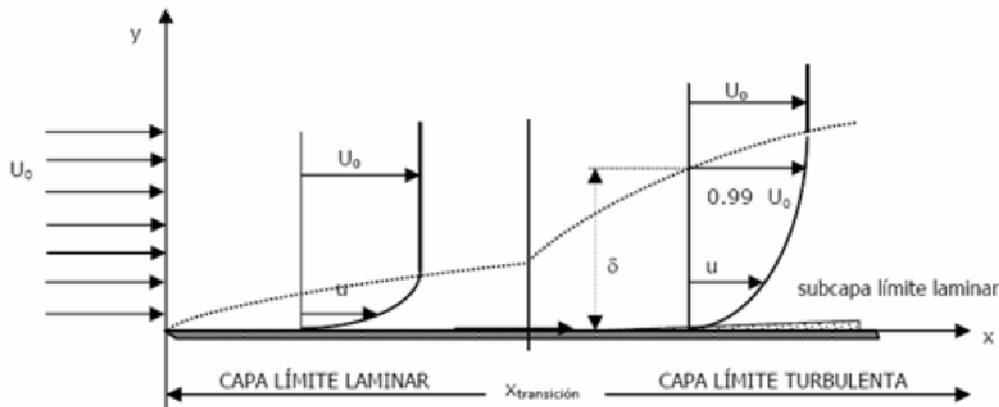


Fig 7.1. Capa límite

En los puntos próximos al borde de ataque, la capa límite es laminar, conforme el aire se va moviendo alejándose del borde de ataque, las fuerzas de rozamiento disipan más energía de la corriente de aire, haciendo que el espesor de la capa límite aumente paulatinamente. Cuando la

capa límite empieza a sufrir perturbaciones ondulatorias, que acarrearán un aumento de espesor de capa límite y destrucción de flujo laminar, la capa límite será turbulenta.

6.1.3 Arrastre (resistencia al avance)

El arrastre es la fuerza (13) que actúa que actúa sobre un cuerpo paralelamente a la dirección del movimiento.

$$C_R = \frac{F_R}{\frac{1}{2} \rho V^2 A_P} \dots (13)$$

6.1.4 Sustentación

Es la componente de la fuerza aerodinámica que actúa perpendicular a la dirección del fluido. El coeficiente de sustentación (14) puede definirse como.

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A_P} \dots (14)$$

6.1.5 Número Mach

Es una medida de velocidad relativa que se define como el cociente entre la velocidad de un objeto y la velocidad del sonido en el medio en que se mueve dicho objeto. Dicha relación puede expresarse según la ecuación (15).

$$M = \frac{V}{c} \dots (15)$$

Mach 1 equivale a la velocidad del sonido, Mach 2 es dos veces la velocidad del sonido y sucesivamente. Normalmente, las velocidades de vuelo se clasifican según su número de Mach en:

Subsónico $M < 0,7$

Transónico $0,7 < M < 1,2$

Supersónico $1,2 < M < 5$

Hipersónico $M > 5$

6.1.6 Mantenimiento de vehículos automotores

El **mantenimiento preventivo** consiste en la revisión periódica de ciertos aspectos del motor. Estos influyen en el desempeño fiable de la máquina, en la entrega de energía, en el consumo de combustible y, en el menor reemplazo de piezas. Además el mantenimiento preventivo en general se ocupa en la determinación de condiciones operativas, de durabilidad y de confiabilidad de un equipo en mención. Este tipo de mantenimiento ayuda a reducir los tiempos que pueden generarse por mantenimiento correctivo.

Algunos de los métodos más habituales para determinar que procesos de mantenimiento preventivo deben llevarse a cabo son las recomendaciones de los fabricantes, la legislación vigente, las recomendaciones de expertos y las acciones llevadas a cabo sobre activos similares.

- ¿Cómo llevar a cabo un buen mantenimiento preventivo de un motor diesel?

La tabla T6.1 muestra una propuesta para el mantenimiento de los motores de las UPT.

Tabla 6.1

Diario o al Reabastecer Combustible	Cada 250 Horas ó 3 Meses. (1), (2), (3).	Cada 500 Horas ó 6 Meses. (2), (3).	Cada 1,000 Horas. ó 1 Año. (3).	Cada 2,000 Horas. ó 2 Años.	Cada 5000 Horas, ó 4 Años
Revisar:	Revisar/Reemplazar:	Revisar/Ajustar:	Limpiar	Revisar/Reemplazar	Revisar:
<ul style="list-style-type: none"> • Revisar Reporte del Operador. • Drenar Filtro de Combustible/ Separador de Agua. • Revisar el Nivel de Aceite Lubricante. • Revisar el Nivel de Refrigerante. • Revisar el Ventilador. • Tuberías de Aire de Admisión y Postenfriador Aire- Aire. • Revisar Tubo del Respiradero del Cáster. • Drenar Tanques y Depósitos de Aire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar Restricción del filtro de Aire. • Revisar Compresor de Aire. • Revisar Postenfriador Aire- Aire. • Revisar por mantenimiento la Bomba de Inyección y Tuberías de Combustible. • Revisar Tuberías del Postenfriador de aire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba de Aire en el Combustible. • Mantenimiento Sistema de Refrigerante. • Mantenimiento a Bandas. • Cambio Filtro de Combustible. • Purgar Líneas de Alta Presión. • Cambio de Aceite (1). • Cambio Filtro de Aceite. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento Tensor Automático. • Mantenimiento a Bandas. • Mantenimiento del Cubo del Ventilador. • Revisar Juego Axial y Radial del Turbocargador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Amortiguador de Vibraciones. • Drenar/Cambiar Refrigerante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Juego de válvula en el tren de válvulas. • Mida el juego de la válvula cada 81,000 Km. [50,000 mi] después de la primera revisión del juego de la válvula.

1. Este intervalo es recomendado utilizando aceite que cumpla con **CES-20076**, y **API= CH-4**, y el motor en servicio severo. El intervalo de cambio de Aceite y Filtro se pueden ajustar basado en la calidad del aceite lubricante (Clasificación API), consumo de combustible, peso bruto de la unidad y tiempo de marcha en vacío.
2. Siga los procedimientos de mantenimiento recomendados por los fabricantes del motor de arranque, alternador, baterías, componentes eléctricos, freno de escape, postenfriador, compresor de aire, compresor de Freón y embrague del ventilador.
3. Efectúe el mantenimiento en cualquier intervalo de mantenimiento que ocurra primero. En cada intervalo de mantenimiento programado efectúe todas las revisiones de mantenimiento previas.
4. El filtro de aire se debe reemplazar cuando alcance una restricción de 25" de Agua

- ¿Cómo llevar a cabo un buen mantenimiento preventivo de un motor a gasolina?

La tabla T6.2 muestra una propuesta para el mantenimiento de los motores a gasolina.

Tabla T6.2

Diario o al Reabastecer Combustible	Cada 250 [h] ó 3 Meses ó 5000 [km]. (1), (2), (3).	Cada 500 [h] ó 6 Meses ó 10000 [km]. (2), (3).	Cada 1,000 [h] ó 1 Año ó 20000 [km]. (3).	Cada 2,000 [h]. ó 2 Años ó 40000 [km].	Cada 5000 [h], ó 4 ó Años ó 100000 [km]
Revisar:	Revisar/Reemplazar:	Revisar/Ajustar:	Revisar	Revisar/Reemplazar	Revisar:
<ul style="list-style-type: none"> • Revisar reporte del operador. • Revisar el nivel de aceite Lubricante. • Revisar el nivel de refrigerante. • Revisar el Ventilador. • Revisar tanques y depósitos de aire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar filtro de aire. • Revisar ventilador • Revisar por mantenimiento la bomba de Inyección y tuberías de combustible. • Revisar filtro de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba de aire en el combustible. • Mantenimiento sistema refrigerante. • Mantenimiento a bandas. • Cambio del filtro de combustible. • Purgar líneas de alta presión. • Cambio de aceite (1). • Cambio filtro de aceite. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento A bandas tensoras. • Mantenimiento del ventilador. • Revisar alineación y balanceo de neumáticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Amortiguadores. • Drenar/Cambiar Refrigerante. • Bomba de Combustible 	<ul style="list-style-type: none"> • Juego de válvulas de combustible. • Mida el juego de la válvula cada 81,000 Km. [50,000 mi] después de la primera revisión del juego de la válvula. • Radiador

1. Este intervalo es recomendado utilizando aceite que cumpla con especificaciones **SAE y ASME** y el motor en servicio severo. El intervalo de cambio de aceite y filtros se pueden ajustar basado en la calidad del aceite lubricante (Clasificación API), consumo de combustible, peso bruto de la unidad y tiempo de marcha en vacío.
2. Siga los procedimientos de mantenimiento recomendados por los fabricantes del motor de arranque, alternador, baterías, componentes eléctricos, freno de escape, postenfriador, compresor de aire y embrague.
3. Efectúe el mantenimiento en cualquier intervalo de mantenimiento que ocurra primero. En cada intervalo de mantenimiento programado efectúe todas las revisiones de mantenimiento previas.
4. El filtro de aire se debe reemplazar cuando alcance una restricción de 25" de Agua

- ¿Cómo llevar a cabo un buen mantenimiento preventivo de un motor a gas?

La tabla T6.3 muestra una propuesta para el mantenimiento de los motores a gas.

Tabla T6.3

Diario o al Reabastecer Combustible	Cada 250 [h] ó 3 Meses ó 5000 [km]. (1), (2), (3).	Cada 500 [h] ó 6 Meses ó 10000 [km]. (2), (3).	Cada 1,000 [h] ó 1 Año ó 20000 [km]. (3).	Cada 2,000 [h]. ó 2 Años ó 40000 [km].	Cada 5000 [h], ó 4 ó Años ó 100000 [km]
Revisar:	Revisar/Reemplazar:	Revisar/Ajustar:	Revisar	Revisar/Reemplazar	Revisar:
<ul style="list-style-type: none"> • Revisar reporte del operador. • Revisar el nivel de aceite Lubricante. • Revisar el nivel de refrigerante. • Revisar el Ventilador. • Revisar tanques y depósitos de aire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar filtro de aire. • Revisar ventilador • Revisar por mantenimiento la bomba de Inyección y tuberías de combustible. • Revisar filtro de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba de aire en el combustible. • Mantenimiento sistema refrigerante. • Mantenimiento a bandas. • Cambio del filtro de combustible. • Purgar líneas de alta presión. • Cambio de aceite (1). • Cambio filtro de aceite. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento A bandas tensoras. • Mantenimiento del ventilador. • Revisar alineación y balanceo de neumáticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Amortiguadores. • Drenar/Cambiar Refrigerante. • Bomba de Combustible 	<ul style="list-style-type: none"> • Juego de válvulas de combustible. • Mida el juego de la válvula cada 81,000 Km. [50,000 mi] después de la primera revisión del juego de la válvula. • Radiador

1. Este intervalo es recomendado utilizando aceite que cumpla con especificaciones **API grupo I SF/CC** o **API grupo II SL** para motor en servicio severo. El intervalo de cambio de aceite y filtros se pueden ajustar basado en la calidad del aceite lubricante (Clasificación API), consumo de combustible, peso bruto de la unidad y tiempo de marcha en vacío.
2. Siga los procedimientos de mantenimiento recomendados por los fabricantes del motor de arranque, alternador, baterías, componentes eléctricos, freno de escape, postenfriador, compresor de aire y embrague.
3. Efectúe el mantenimiento en cualquier intervalo de mantenimiento que ocurra primero. En cada intervalo de mantenimiento programado efectúe todas las revisiones de mantenimiento previas.
4. El filtro de aire se debe reemplazar cuando alcance una restricción de 25" de Agua

6.1.7 Gravedad API

La **gravedad API**, de sus siglas en inglés *American Petroleum Institute*, es una medida de densidad que describe que tan pesado o liviano es el petróleo comparándolo con el agua. Si los grados API son mayores a 10, es más liviano que el agua, y por lo tanto flotaría en esta. La gravedad API es también usada para comparar densidades de fracciones extraídas del petróleo.

La fórmula usada para obtener la gravedad API es la siguiente:

$$\text{Gravedad API} = (141,5/\text{GE a } 60^\circ\text{F}) - 131,5 \dots (16)$$

La fórmula usada para obtener la gravedad específica del líquido derivada de los grados API es la siguiente:

$$\text{GE a } 60^\circ\text{F} = 141,5/(\text{Gravedad API} + 131,5) \dots (17)$$

60°F (o 15 5/9 °C) es usado como el valor estándar para la medición y reportes de mediciones.

Por lo tanto, un crudo pesado con una gravedad específica de 1 (esta es la densidad del agua pura a 60 °F) tendrá la siguiente gravedad API: $(141,5/1,0) - 131,5 = 10,0$ grados API.

6.1.8 Cavitación

Los motores para equipo pesado modernos de alta velocidad utilizan camisas reemplazables de hierro fundido que están propensas a una acelerada corrosión debido a un proceso que se conoce comúnmente como “picadura de las camisas”. Cuando se utiliza únicamente agua como refrigerante, se pueden ver afectadas las camisas en un promedio de 500 horas de uso cuando las condiciones son críticas.

Es muy importante comprender las causas y cómo evitar las picaduras de las camisas: Se instalan las camisas a presión en el bloque, se utilizan juntas llamadas sellos O’ring a fin de sellar el sistema de lubricación del sistema de refrigeración, ubicado al frente de la camisa. A medida que los pistones suben y bajan golpean las camisas debido a la fuerza impartida por las bielas, ya que la fuerza de movimiento de sube y baja se traslada al movimiento giratorio del cigüeñal.

El espacio libre entre el pistón y la camisa y entre la camisa y el bloque, permite que se produzca una vibración de alta frecuencia del émbolo, algo similar como la vibración de una campana cuando se golpea. El lado de la camisa en contacto con el refrigerante se mueve primero en dirección al refrigerante, y luego se aparta de éste. Este rápido movimiento puede ocasionar pequeñas burbujas de vapor a medida que la camisa se aparta y produce la implosión a medida que la camisa regresa a su lugar. Cuando esto sucede, se originan muchas fuerzas en muchas áreas pequeñas. Este proceso se conoce como “cavitación por corrosión o erosión”.

6.2 Normativa

6.2.1 Organismos



UNEP (United Nations Environment Programme o PNUMA en español). Es el programa de la ONU encargado de evaluar y determinar el estado del medio ambiente mundial, determinar las cuestiones ambientales que requieren una cooperación internacional y proporcionar asistencia para formular una legislación ambiental internacional. (Logo cortesía UNEP).



EPA (Environmental Protection Agency). Es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente. Es el organismo más importante a nivel internacional. La agencia es dirigida por un Administrador nombrado por el presidente de Estados Unidos. La EPA no es una agencia del gabinete, pero se acostumbra conceder al Administrador dicho rango. (Logo cortesía EPA).



Department of the Environment and Water Resources. Forma parte del gobierno australiano, está encargado de concientizar a la población sobre la contaminación y recursos naturales. Entre sus servicios tiene el **NPI** (National pollution inventory) que es uno de los inventarios de contaminantes más importantes a nivel mundial. (Logo cortesía NPI).



Comisión para la Cooperación Ambiental. En términos del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN). El propósito de esta organización internacional es ocuparse de los asuntos ambientales de preocupación común, contribuir a prevenir posibles conflictos ambientales derivados de la relación comercial y promover la aplicación efectiva de la legislación ambiental. (Logo cortesía CCA).



SEMARNAT (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales). Es el organismo mexicano que tiene como encargado de fomentar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales, y bienes y servicios ambientales, con el fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable. (Logo cortesía SEMARNAT).

6.2.2 Normas

Normas EPA. Las normas de la EPA son las más específicas y tal vez las más estrictas a nivel mundial, tanto, que se tiene un programa especial para cada ciudad (California, Nueva York, entre otras) e incluso colaboración con otros países (México, Australia, Canadá, entre otros) es por ello que es difícil de considerar sólo un estándar de niveles máximos permisibles de contaminantes, pero existe una norma general para estos límites, sin que esta sea la adecuada, ya que sólo es utilizada para estimación (ver tabla T6.4).

Tabla T6.4

Norma	Contenido
AP-42 AP 42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors 5 th ed	Factores de emisión de motores de combustión

Normas nacionales. El desarrollo del marco normativo ambiental en México ha sido considerable alto a comparación de otros países latinoamericanos. Hoy se cuenta con 86 Normas Oficiales Mexicanas, lo que representa uno de los esfuerzos más importantes en su tipo en el mundo, y que sin duda nos colocan a la cabeza de América Latina en la materia. Las normas que se disponen son principalmente en materia industrial y urbanismo.

La mayoría de las normas desarrolladas en materia industrial se han caracterizado por, establecer condiciones de control de la contaminación de acuerdo con la capacidad de las industrias. Ello ha llevado a un marco normativo que se caracteriza por normas que atacan problemas al final del tubo, que establecen condiciones a giros particulares y que presentan serias diferencias en límites entre industrias.

La normas para urbanismo y más específicamente para el transporte son un tanto laxas comparadas con organismos internacionales, sin embargo éstas contribuyen a tener un poco de

control en la emisión de contaminantes a la atmósfera. Las principales normas de aplicación al transporte son las enlistadas en la tabla T6.5.

Tabla T6.5

NOM	Características
036-SCT3-2000	Establece dentro de la república mexicana los límites máximos permisibles de emisión de ruido producido por las aeronaves de reacción subsónicas, propulsadas por hélice, supersónicas y helicópteros.
043/1-SCT3-200	Regula el servicio de mantenimiento y/o reparación de aeronaves y sus componentes en el extranjero.
005-SEDG-1999	Equipo de aprovechamiento de gas LP en vehículos automotores y motores estacionarios de combustión interna. Instalación y mantenimiento.
041-ECOL-1996	Gases contaminantes de vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.
047-ECOL-1993	Emisiones de vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas LP, gas natural u otro combustible
EM-127-ECOL-1998	Establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.

6.2 Bibliografía

- WHITE, Frank. Fluid mechanics. Mc Graw Hill 4th ed. USA 1998.
- SISKIND, Charles. Electrical machines. Mc Graw Hill 2nd ed. USA 1959.
- WARK, Kenneth, et. Contaminación del aire, origen y control. Limusa 1^{era} Ed. México 2004.
- GILPIN, Alan. Economía Ambiental, un análisis crítico. Alfaomega 1^{era} ed. México 2003.
- SWAN, William, et. Aircraft trip cost parameters: A function of stage length and seat capacity. Elsevier 2005.
- SACHON, M. Et. Delays and safety in airline maintenance. Elsevier 1999.
- PEETERS, P. M. Et. Fuel efficiency of commercial aircraft, an over view of historical and future trends. National Laboratory NLR. November 2003.
- NUBLES, Jeffrey. Delta Airlines Inc. November 2002.
- BOIENG 787 Dreamliner. Airport Compatibility Brochure. September 2007.
- BOEING Commercial Airplanes. 737 Airplane Characteristics for Airport Planning. October 2005.
- EPA. AP42 Fifth edition Compilation of air pollutant emissions factors. January 1995.
- EMBRAER. Economics, Latin America. May 2008.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Technical data to support FAA's advisory circular on reducing emissions from commercial aviation. September 1995.
- ENVIRONMENT AUSTRALIA NPI. Emissions Estimation Technique Manual for airports V1.1. May 2001.
- ENVIRONMENT AUSTRALIA NPI. Emissions Estimation Technique Manual for aggregated emissions from aircraft V2.2. March 2003
- ENVIRONMENT AUSTRALIA NPI. Emission estimation technique manual for combustion engines V3.0 June 2008.
- IATA. Flight path to environment excellence. October 2001.
- IATA. Environment review. 2001
- www.airbus.com

- www.atr.fr
- www.boeing.com
- www.saabgroup.com
- www.ref.pemex.com
- www.asa.gob.mx
- www.cec.org