

CALCULO DE EMISIONES GASEOSAS PRODUCIDAS EN REGIMEN CRUCERO POR UNA AERONAVE EN LA RUTA BUENOS AIRES – CORDOBA

Tomassini, Nahuel; Aulestia, Vladimir; D'Iorio, Juan I. y Di Bernardi, Alejandro

Grupo de Transporte Aéreo – UIDET GTA-GIAI, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.
tomassininahuel@gmail.com

Palabras clave: emisiones, crucero, aeronave, GEIs.

Introducción

Actualmente, la aviación comercial es responsable del 2% del total de los gases de efecto invernadero (GEIs) emitidos a la atmósfera, que son responsables del cambio climático. A pesar de que ese porcentaje es pequeño, se han tomado decisiones por parte de los estados para reducir tales emisiones. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), a través del Protocolo de Kioto (1997), formalizó el compromiso de reducir las emisiones generadas por la actividad aeronáutica civil teniendo en cuenta el sostenido crecimiento de pasajeros transportados y aeronaves en vuelo. Fue entonces necesario generar instrumentos que limiten las tasas de contaminantes gaseosos con máximos permitidos.

Como objetivo general, este GTA pretende desarrollar una herramienta de cálculo que permita obtener la masa de contaminantes gaseosos compuestas por los GEIs, utilizando elementos de libre acceso web, y tablas de emisiones contaminantes generadas en función del consumo de combustible. Dependiendo la necesidad, podrá ser empleada como calculador o como monitor.

Como resultado final de la aplicación del método, en este trabajo en particular, se deben obtener las emisiones gaseosas de gases GEI generadas por una aeronave comercial que recorre la ruta comprendida entre las ciudades de Buenos Aires y Córdoba Capital (AEP-COR).

Las cantidades totales de gases emitidos dependerán de ciertos factores como el tipo de combustible utilizado, la riqueza de la mezcla, la cantidad de combustible, el mantenimiento de la cámara de combustión o del motor en general, entre otros:

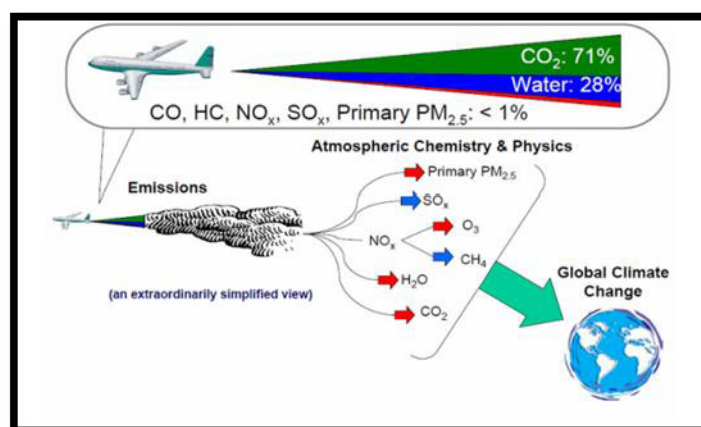


Imagen 1- Emisiones gaseosas generadas en vuelo.

Los motores a reacción que equipan las aeronaves comerciales producen dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua (H_2O), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), hidrocarburos no quemados o parcialmente quemados (también conocida como compuestos orgánicos volátiles (COV)), partículas y otros compuestos. Un pequeño subgrupo de los compuestos orgánicos volátiles y las partículas se consideran contaminantes peligrosos del aire (HAPs). El porcentaje total de emisiones se compone aproximadamente del 70 % de CO_2 , un poco menos del 30 % de H_2O , y menos del 1 % de NO_x , CO , SO_x , COV , partículas y otros componentes.

Alrededor del 10% de las emisiones de las aeronaves de todos los tipos, exceptuando hidrocarburos y CO , se producen durante operaciones a nivel del aeropuerto y durante el aterrizaje y el despegue. La mayor parte de las emisiones (90%) se producen a grandes altitudes. Con respecto a los hidrocarburos y el CO , cerca del 30% de las emisiones se produce a nivel del suelo, y 70% en altura.

Parte experimental

Actualmente, realizan vuelos comerciales de forma regular 4 compañías dentro del país: Aerolíneas Argentinas-Austral, LAN Argentina, Andes Líneas Aéreas y Sol Líneas Aéreas. Se toman en consideración las mismas debido a que son las que mayor cantidad de operaciones realizan regularmente.

Para el cálculo vamos a utilizar como referencia al Boeing 737-700, el cual presenta las siguientes características técnicas:

| BOEING 737-700 | |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Fabricante | The Boeing Company |
| Modelo | 737-700 |
| Certificado tipo | A16WE (FAA) |
| Año de certificación | 1997 |
| Capacidad máxima | 131 (2 tripulación + 128 pasajeros) |
| Largo | 33,63 m |
| Envergadura | 35,79 m |
| Peso vacío | 37.648 kg |
| Peso máximo de despegue | 69.400 kg |
| Motor | CFM 56-7B24 |

Tabla 1–Datos técnicos del Boeing 737-700.

Los pasos lógicos a seguir son:



Imagen 2- Camino lógico a seguir.

La etapa de vuelo crucero comienza durante el ascenso, desde los 3000 pies de altura, continúa con el vuelo en ruta (recto y nivelado), y finaliza en el tramo de descenso nuevamente hasta los 3000 pies. El recorrido de la aeronave se completa con el denominado ciclo LTO (*Landing-Take Off*), el cual incluye las etapas de descenso final, movimientos en tierra y ascenso inicial. Siempre se toma como límite de separación entre las fases LTO y crucero los 3000 pies.

En Argentina, las alturas de vuelo en ruta alcanzadas por los reactores comerciales son iguales o mayores a los 24.500 pies, nombrada como FL 245 (*Flight Level 245*). Para el presente análisis se tomará la mencionada altura como un mínimo durante el vuelo en ruta.

Con el objeto de unificar criterios y de simplificar el modelo, se diseña un perfil de vuelo tipo; más allá de las simplificaciones, no debe variar significativamente de la realidad para que los valores calculados sean similares a los estimados en la realidad. Para ello se divide el recorrido en tres partes: ascenso, en ruta y descenso.

En la actualidad, existen tendencias a efectuar el ascenso y descenso de forma continua, evitando así variaciones en la potencia e incrementos en el consumo de combustible. Estas maniobras son denominadas Operaciones de Ascenso Continuo y Operaciones de Descenso continuo (CCO y CDO por sus siglas en inglés).



Imagen 3- Perfil hipotético utilizado para el calculo.

Resultados y discusión

Para las etapas de ascenso y descenso se le asociará al vuelo una distancia efectiva, la cual será general para todos los vuelos que se lleven a cabo en el ámbito nacional. Para determinar dicha distancia se consultaron los manuales de vuelo y procedimientos de la aeronave utilizada (B737-700). Teniendo en cuenta el ángulo y la velocidad de ascenso, podemos obtener la distancia recorrida en el trayecto comprendido entre los 3000 pies de altura y los 24.500 pies finales. Con la finalidad de simplificar el modelo se utiliza la misma distancia para el descenso.

Se obtiene entonces la siguiente tabla de valores que conforman el perfil planteado:

| | ASCENSO | CRUCERO | DESCENSO |
|--------------------------|---------|---------|----------|
| DISTANCIA RECORRIDA [Km] | 35,32 | X | 35,32 |
| TIEMPO EMPLEADO [min] | 5 | X | 5 |

Tabla 2–Distancias y tiempos para el B737-700.

La incógnita ahora es la distancia recorrida en ruta, quedando entonces el cálculo en función del recorrido total de la trayectoria de vuelo.

Para obtener la trayectoria de vuelo se emplean herramientas de libre acceso web; las mismas son:

- Route Finder
- Sky Vector
- Flight Radar 24

Route Finder permite ingresar el aeropuerto de origen y destino, devolviendo la trayectoria completa del vuelo pero en forma de coordenadas. Con estas coordenadas ingresamos a Sky Vector, herramienta que genera un plan de vuelo con los puntos ingresados mostrando la trayectoria real del vuelo junto a la distancia recorrida. Finalmente, con Flight Radar 24 comprobamos que la trayectoria que se considera sea efectivamente recorrida a la altura de vuelo propuesta. Esta última herramienta, mediante un entorno gráfico similar a la pantalla de

un controlador aéreo, muestra datos de vuelo en tiempo real como: altura, velocidad y datos particulares de la aeronave.

Las distancias determinadas serán las desarrolladas durante el vuelo una vez alcanzada la altura crucero, quedando el ascenso y descenso como distancias conocidas una vez que los ajustes se efectúen. Se sabe que es amplio el abanico de situaciones potenciales que podrían modificar la distancia aquí determinada, como ser: factores meteorológicos, inconvenientes referidos al tránsito aéreo, esperas de asignaciones debido a saturaciones en el aeropuerto destino, fenómenos terrestres, etc. Ninguna de las situaciones anteriores serán consideradas en este estudio.

Obtenemos entonces la trayectoria comprendida entre la Ciudad de Buenos Aires y Córdoba, completando la tabla anterior:

| | ASCENSO | CRUCERO | DESCENSO | TOTAL |
|--------------------------|---------|---------|----------|--------|
| DISTANCIA RECORRIDA [Km] | 35,32 | 590 | 35,32 | 654,67 |
| TIEMPO EMPLEADO [min] | 5 | 165 | 5 | 175 |

Tabla 3–Distancias y tiempos para el B737-700.

Con la cantidad de kilómetros recorridos y el tiempo como datos conocidos, pueden estimarse las cantidades de emisiones contaminantes debido al vuelo realizado.

Optamos por utilizar el Modelo de Emisiones Avanzado (AEM), desarrollado por la Agencia Europea de Aviación (EEA); el mismo emplea datos en continua actualización, lo que asegura estimaciones más certeras.

En función de los datos de consumo de combustible, y los tiempos y potencias puestas en juego en la ruta seleccionada, se obtienen los valores de emisiones contaminante.

| RUTA | TIEMPO DE VUELO [min.] | DISTANCIA RECORRIDA [Km] | DISTANCIA RECORRIDA [mn] | CONSUMO DE COMBUSTIBLE [Kg] | NOx [Kg] | CO ₂ [Kg] | HC [Kg] |
|---------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------|----------------------|---------|
| AEP-COR | 175 | 654,67 | 355 | 1739,52 | 20,747 | 5479,61 | 0,3166 |

Tabla 4–Datos de la ruta y contaminantes estimados.

Estos datos son los que se pueden obtener utilizando la metodología desarrollada, pero teniendo como limitación que corresponden a una aeronave con capacidad máxima o con un factor de carga desconocido.

Conclusiones y bibliografía

Mediante una metodología sencilla se pueden calcular las emisiones de los GEIs producidas a partir de los 3000 pies de altura. Si bien es una primera aproximación, sirve para cuantificar los GEIs y estudiar a posteriori su interacción con el medio.

Con elementos de fácil acceso e información disponible en la web se obtuvieron valores de emisión de gases que fueron comparados con la habitual herramienta de cálculo utilizada por los operadores aéreos (calculador de OACI), demostrando que los órdenes de magnitud son correctos, aunque existen diferencias.

Los métodos más empleados a nivel mundial utilizan la base de datos recomendada por el documento *EMEP/EEA Emissions inventory guidebook*, el cual posee una de las herramientas más actualizadas y con mayor base de datos conocida para el cálculo de flujo y emisiones asociadas durante el régimen crucero: Base of Aircraft Data (BADA). La dificultad radica en la obtención de las distancias reales recorridas por las aeronaves que cubren las rutas bajo análisis y las frecuencias de uso.

La primera limitación a mencionar surge de la incertidumbre sobre la confianza de los datos utilizados. Al ser utilizados calculadores de rutas de vuelo de libre acceso no puede asegurarse la calidad del dato. Más allá de esta cuestión, al comparar los valores con el calculador OACI y obtener cuantificaciones similares, puede inferirse que el modelo, si bien básico, presenta una alternativa válida.

Otra limitación es que sólo se puede trabajar con las aeronaves que se presentan en las planillas de datos publicadas por EEA; en caso que un avión o motor que forma parte de una flota operativa no figura allí, deberá representarlo con una aeronave equivalente.

Como trabajo futuro se plantea el agregado de una mayor cantidad de aeronaves con el objeto de determinar los perfiles de ascenso y descenso, junto con una mayor cantidad de estimaciones de las distancias involucradas en la ruta, teniendo en cuenta las cartas de navegación de los espacios aéreos superiores.

Bibliografía

- EMEP-inventory-guidebook-Tech12-2013-final. Disponible en: <http://www.eea.europa.eu/themes/air/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook>.
- ICAO 2013 Environmental Report. Disponible en: <http://cfapp.icao.int/Environmental-Report-2013/>.
- ICAO Engine Emissions Databank, 2013 Disponible en: <http://easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>.
- Flight global international, <http://www.flightglobal.com>
- European Aviation Agency, <http://www.eea.europa.eu/es>
- ICAO Carbon emissions calculator methodology, version 7, junio de 2014.
- Web Flight Radar 24, <http://www.flightradar24.com>
- Web Sky Vector, <http://skyvector.com>
- Web Route Finder, <http://rfinder.asalink.net/free/>