ANÁLISIS COMPARATIVO DE OPERACIONES EN EL CICLO LTO EN DISTINTOS AEROPUERTOS DE LA REGIÓN SAM

Alejandro Di Bernardi
cadibern@ing.unlp.edu.ar

Juan Ignacio D'Iorio
juanignacio.diorio@ing.unlp.edu.ar

Matías Julián Coppa
matias.coppa@ing.unlp.edu.ar

Juan Pedro Monteagudo Ahumada
juanpedro.monteagudo@ing.unlp.edu.ar

Nahuel Tomassini
tomassininahuel@gmail.com

Grupo de Transporte Aéreo GTA- Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina
Calle 116 e/ 47 y 48, 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina; +54 (221) 423 6679;

RESUMEN

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) ha estandarizado los tiempos, potencias y velocidades durante el ciclo Landing Take-Off (LTO); dichos parámetros no representan la totalidad de aeronaves, motores, configuraciones y condiciones específicas de operación. El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio comparativo de estas variables en los aeropuertos más significativos a nivel regional, para obtener así una variación respecto a los estándares impuestos por OACI. A su vez, se analiza la influencia de dicha variación en parámetros de afectación ambiental, como lo son las emisiones gaseosas contaminantes de hidrocarburos no quemados (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO).

Palabras Clave: LTO, aeropuertos, optimización, contaminantes.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años las naciones del mundo han manifestado la intención de reducir los actuales niveles de generación contaminante y prueba de ello son los distintos acuerdos que se han alcanzado y firmado.

Existen diversos organismos que intentan definir líneas de acción en función de la caracterización actual de la actividad humana y de sus respectivas proyecciones. En este contexto podemos mencionar al Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) de la World Meteorological Organization (WMO) y a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) de la ONU, cuya preocupación fundamental se centra en los gases efecto invernadero (GEIs): H_2O (vapor), CO_2, CH_4, NOx, O_3, CFCs, entre otros.

El sector aeronáutico no es ajeno a esta situación y ha asumido un rol activo en esta problemática. En el año 2007 se conformó el Grupo sobre Aviación Internacional y Cambio Climático (GIACC), dependiente de OACI. Este se encarga de desarrollar, difundir y recomendar un plan de acción que incluye estrategias económicamente eficientes y tecnológicamente factibles, así como medidas que los Estados miembros pudieran utilizar para lograr reducir emisiones de gases de efecto invernadero. Entre las principales medidas, además de las mejoras tecnológicas, se espera concretar la introducción progresiva de combustibles alternativos, desarrollo de medidas para incrementar el uso eficiente de la energía y la introducción de mejoras en las operaciones. En el año 2010, los 191 países de la OACI acordaron alcanzar un crecimiento neutro de emisiones de la aviación internacional a partir del año 2020.

De acuerdo a la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA) la industria comercial aeronáutica crecerá desde 2,4 mil millones de pasajeros en 2010 a 16 mil millones en 2050, y es por ello que se busca reducir los impactos que esta actividad genera.

La caracterización de aportes contaminantes gaseosos se realiza en diferentes escalas, desde la local (entorno aeroportuario inmediato: 30 km de radio a partir de un punto de referencia) hasta la global (a través de la circulación atmosférica: miles de kilómetros). En este contexto, el estudio se concentra en la escala local inmediata, ya que busca caracterizar el entorno para definir las servidumbres gaseosas, que junto a las acústicas y a las superficies limitadoras de obstáculos, definen los usos del suelo en el entorno aeroportuario.

Para la determinación del impacto ambiental en el entorno aeroportuario, OACI ha estandarizado los tiempos de operación de las aeronaves comerciales en la aproximación al aeropuerto, el taxeo y el despegue (Doc. 9889 Airport Air Quality Manual).

A partir de dichos tiempos estandarizados, organismos internacionales como OACI, IPCC, y la Environmental European Agency (EEA), entre otros, calculan el aporte de emisiones gaseosas en el entorno aeroportuario, por lo que el cálculo y análisis de dichos tiempos brindarán la diferencia relativa del impacto ambiental en cada aeropuerto y en la región bajo estudio.

2. DESARROLLO

Independientemente del aeropuerto y del tipo de aeronave, OACI ha definido los tiempos y la potencia utilizada en cada etapa del ciclo LTO, a saber:

- Landing: son todas aquellas operaciones que se realizan desde los 1.000 metros de altura sobre la cota del aeropuerto hasta que alcanza la superficie de la pista.

- Taxi: son las maniobras que realiza el avión hasta llegar a su puesto de

estacionamiento en plataforma en condición de Block-On (calzos colocados) y las maniobras que realiza el avión desde el Block-Off (calzos afuera) hasta llegar a la cabecera de pista.

- Take off: son las operaciones que realiza el avión en la pista para lograr el despegue.

- Climbout: son las operaciones que realiza el avión hasta alcanzar los 1.000 metros de altura sobre la cota del aeropuerto.

Estos valores son de referencia y se utilizan para todos los aeropuertos. En la Figura 1 se aprecia un esquema del ciclo LTO, y en la Tabla 1 se incluyen la duración y porcentaje de potencia de cada etapa.

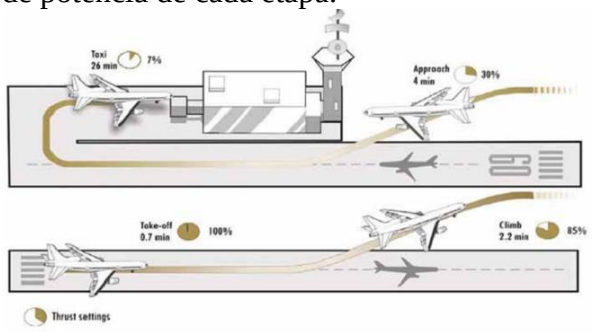


Figura 1 - Ciclo Landing Take-Off, OACI 2013.

Tabla 1 - Tiempo y Potencia asociada a cada etapa del ciclo LTO.

Etapa	*Duración (min)*	*Porcentaje de potencia (%)*
Approach	4	30
Taxi	26	7
Take – off	0,7	100
Climb	2,2	85

Anualmente OACI brinda los valores de consumo de combustible y emisiones de hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO), y óxidos de nitrógeno (NO_x) de más de 500 motores comerciales.

Los contaminantes producidos por un motor a reacción están influenciados, entre otros por: el tipo de combustible utilizado, la riqueza de la mezcla, el tipo de motor y cámara de combustión asociada y los niveles de mantenimiento que el mismo tenga. La ecuación teórica que indica la composición para un combustible del tipo C_aH_b se presenta a continuación:

$$C_aH_b + \left(a + \frac{b}{4}\right)(O_2 + 3{,}773N_2) = \quad (1)$$

$$aCO_2 + \frac{b}{2}H_2 + 3{,}773\left(a + \frac{b}{4}\right)N_2 \quad (2)$$

Donde (1) representa los reactivos y (2) los productos para una quema de combustible estequiométrica. Si la reacción se produce con un menor valor de aire del necesario, el oxígeno es insuficiente para producir la quema total del combustible, generando de esta forma los gases contaminantes estudiados en este artículo.

Dichos valores dependen del tiempo de operación de la planta poder en cada etapa del ciclo y son calculados en base a mediciones in situ sobre cada una de ellas. Generalmente, solo el 10% de todos los gases contaminantes se producen durante el ciclo LTO.

Se muestra a continuación el proceso metodológico aplicado:



Figura 2 - Proceso metodológico aplicado.

A partir del estudio de los operadores aéreos con mayor frecuencia y participación en el transporte aéreo de América del Sur y Central, se analizó la flota de cada uno para obtener las aeronaves características, que se incluyen en la Tabla 2.

Tabla 2 - Aeronaves y planta poder analizada.

Aeronave	Planta poder
Boeing 737-800	CFM56-7B
Boeing 737-800	CFM56-5B; V2527-A
Boeing 767-300	CF6-80C2B, PW4060
Airbus A320-200	CFM56-7B

Los parámetros, ajustados a la configuración real y operativa de la aeronave y al aeropuerto, calculados para la obtención de los tiempos y consumos relativos fueron los siguientes:

Approach:

- Velocidad de referencia (Vreff.)
- Velocidad de aproximación (Vapp.)
- Longitud de Campo de Referencia (LCR)
- Angulo de descenso
- Velocidad de carreteo en pista

Taxi (Taxi In – Taxi out):

- Distancias mínimas y máximas a plataforma
- Velocidades de carreteo (minima y máxima)

Take Off – Climb out:

- Velocidad de ascenso
- Angulo de ascenso
- Velocidad de rotación
- Margen (distancia remanente hasta el final de la pista o stopway

En las Figuras 3 y 4 se muestran dos ejemplos de las distancias mínimas y máximas a plataforma.



Figura 3 - Distancia mínima y máxima en el Taxi In en el Aeropuerto Internacional de Ezeiza.



Figura 4 - Distancia mínima y máxima en el Taxi In en el Aeropuerto Internacional El Dorado.

Con respecto a los aeropuertos bajo análisis, para el cálculo del tiempo específico de determinadas aeronaves en cada etapa del ciclo es posible obtener las diferencias con respecto a la estandarización de dicho parámetro, así como también la cuantificación real del impacto ambiental producto de las operaciones de las aeronaves en el ciclo LTO.

En la tabla 3 se incluyen los aeropuertos estudiados.

Las Figuras 5 y 6 incluyen los resultados obtenidos de tiempos calculados, tiempos establecidos por OACI, y los consumos de combustible calculados y los brindados por OACI y el IPCC.

Tabla 3 - Aeropuertos analizados.

Nombre	Porcentaje de potencia (%)
Aeropuerto Internacional Guarulhos	São Paulo, Brasil
Aeropuerto Internacional El Dorado	Bogotá, Colombia
Aeropuerto Internacional de Tocumén	Tocumen, Panamá
Aeropuerto Internacional Jorge Chávez	Lima, Perú
Aeropuerto Internacional Ministro Pistarini	Ezeiza, Argentina
Aeropuerto Internacional Benito Juárez	México DF, México
Aeropuerto Internacional de Carrasco	Montevideo, Uruguay
Aeropuerto Internacional Comodoro Arturo Merino Benítez	Santiago, Chile
Aeropuerto Internacional de Maiquetía Simón Bolívar	Caracas, Venezuela

Se muestran a continuación los resultados obtenidos:

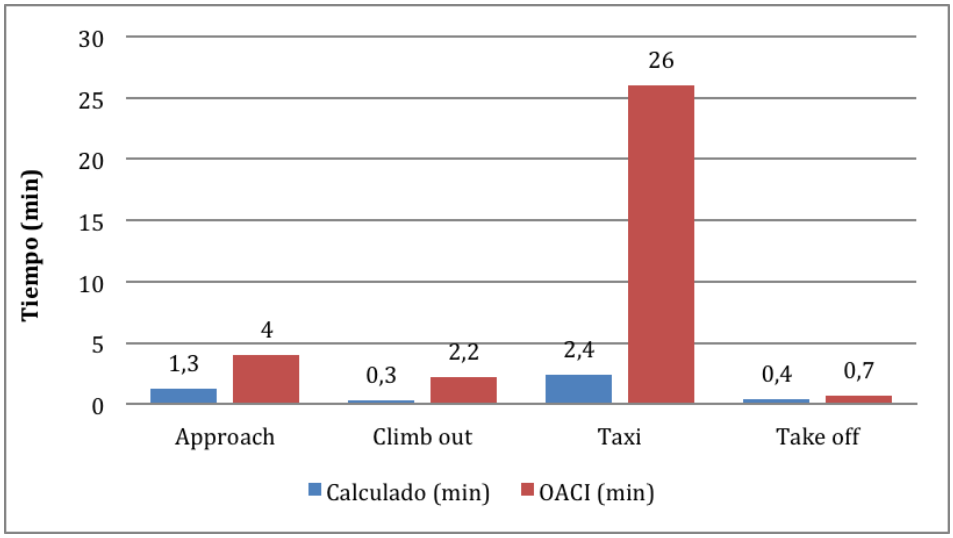


Figura 5 - Tiempos promedios totales calculados y tiempos de OACI.

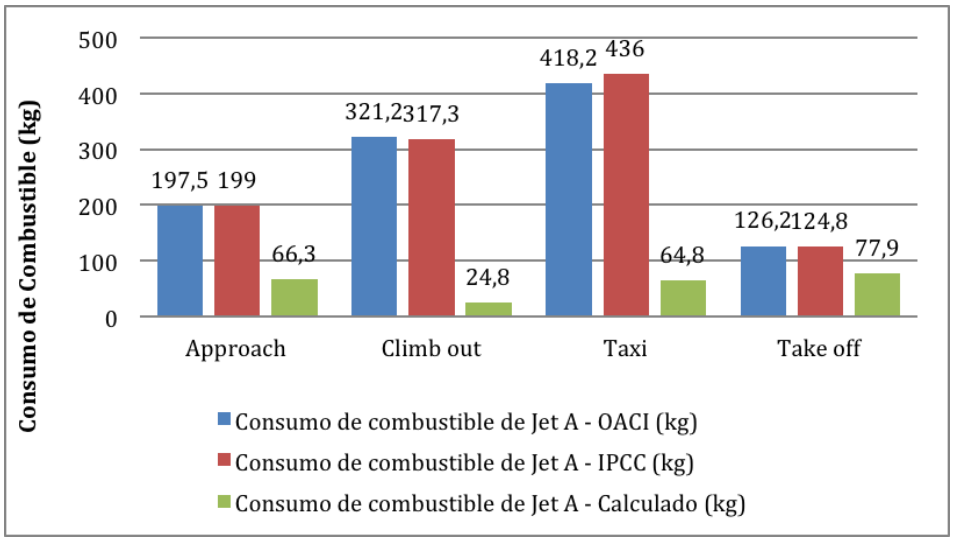


Figura 6 - Consumo de combustible según los tiempos calculados y los brindados por OACI y la IPCC.

Como se mencionó anteriormente, el consumo de combustible durante cada etapa del ciclo genera emisiones contaminantes, siendo tres gases principales: HC, CO y NO_X.

Se muestran a continuación el promedio de emisiones según los tiempos asociados al ciclo LTO y los calculados (Figuras 7, 8 y 9).

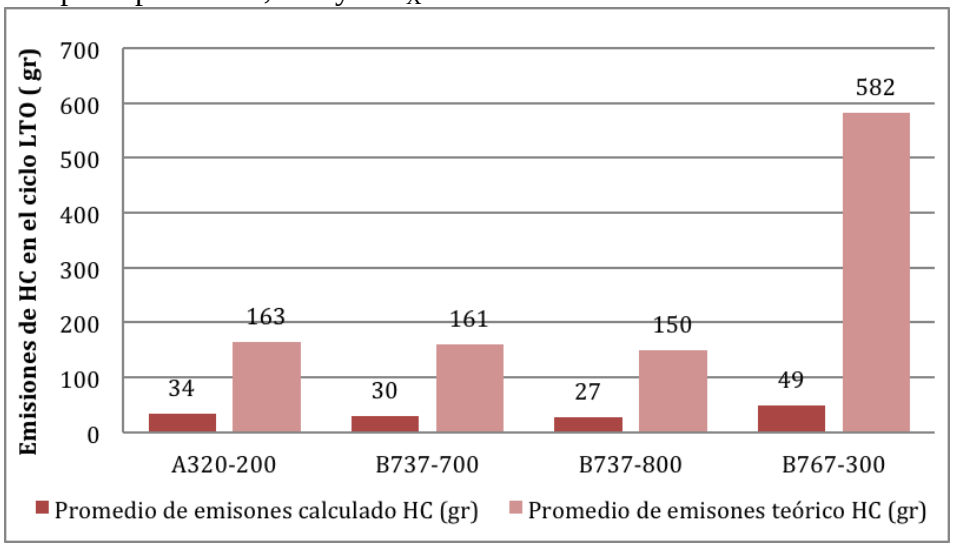


Figura 7 - Promedio de emisiones totales de HC en el ciclo LTO.

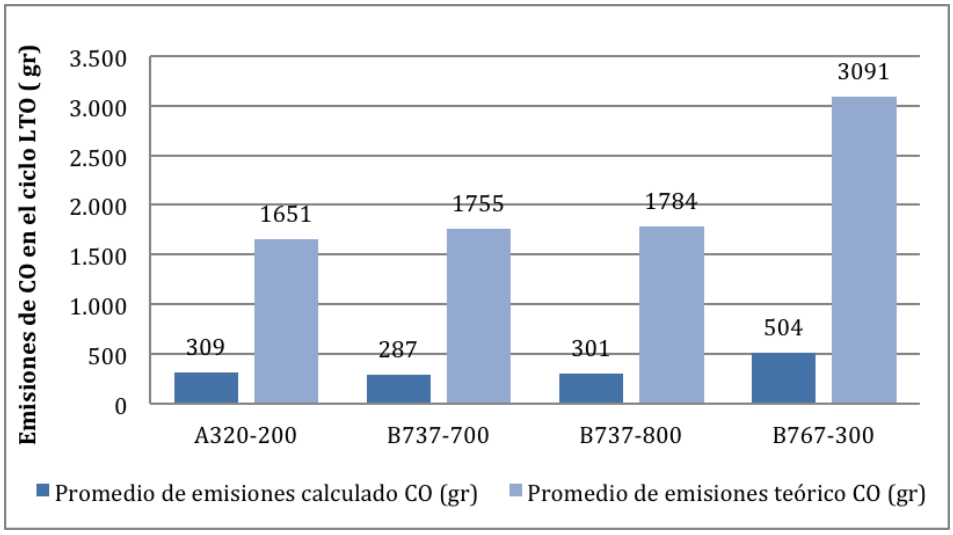


Figura 8 - Promedio de emisiones totales de CO en el ciclo LTO.

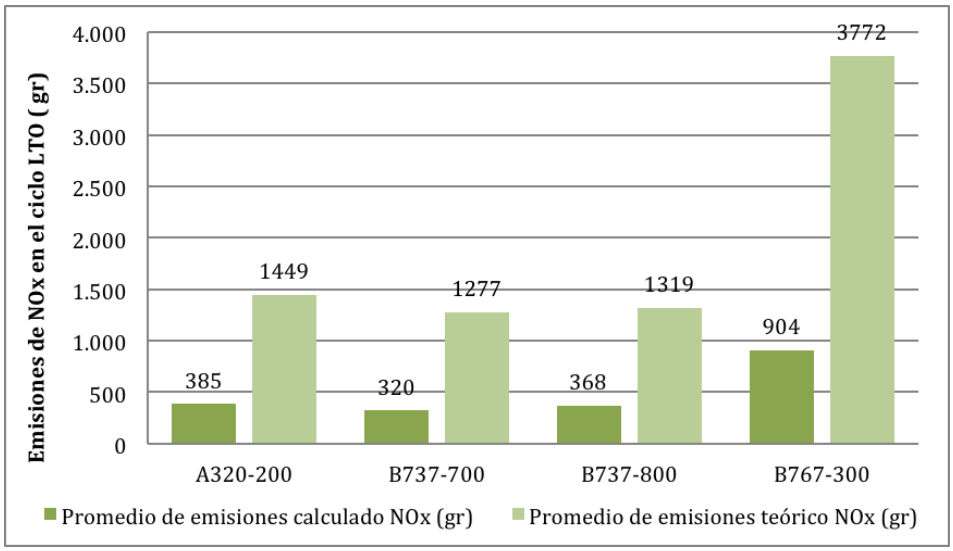


Figura 9 - Promedio de emisiones totales de NOx en el ciclo LTO.

Se muestra a continuación el tiempo promedio total del ciclo LTO por aeronave estudiada en los aeropuertos considerados. El valor promedio entre los aeropuertos es de 36 minutos (Figura 10).

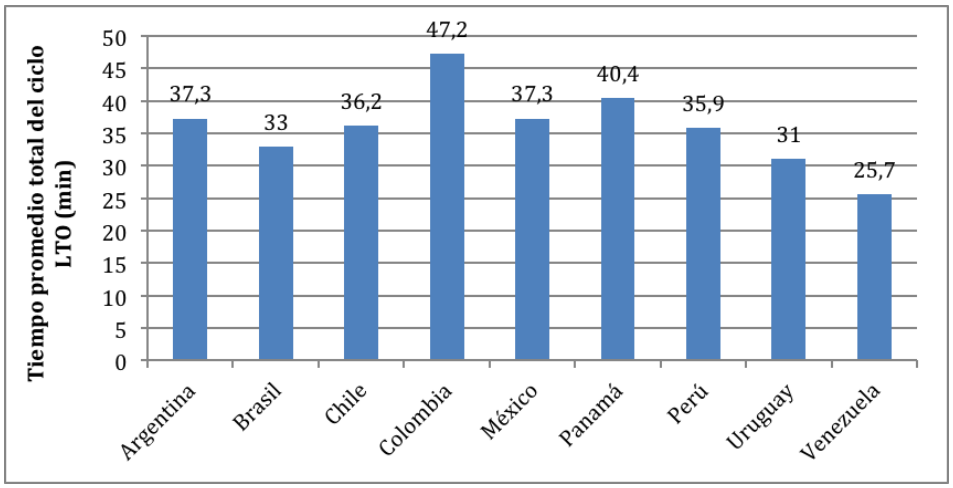


Figura 10 - Tiempos totales promedios en el ciclo LTO para los distintos aeropuertos analizados.

Se puede concluir que los tiempos empleados para las distintas fases en el ciclo LTO, dependiendo de las aeronaves y aeropuertos intervinientes, presentan diferencias, en algunos casos importantes, con respecto a los establecidos por OACI y asumido por la IPCC. Si bien no se tuvieron en cuenta las posibles esperas dentro del método de cálculo, se evidencian las diferencias. En un futuro trabajo incluiremos las demoras típicas en los aeropuertos analizados, así como también aeropuertos importantes de otras regiones y diferentes flotas.

Este trabajo tuvo la intención de poner en evidencia la diferencia del impacto ambiental producto de las operaciones en el ciclo, es por ello que se hicieron valores promedio de emisiones. El fin último es desarrollar un método de cálculo que sea dependiente de parámetros específicos, tanto del aeropuerto como de la flota en cuestión, y no uno con parámetros impuestos y genéricos como es el actual propuesto por OACI.

3. REFERENCIAS

IATA. Vision 2050. Singapore, 12 de Febrero de 2011. Disponible en: <http://www.iata.org/pressroom/facts_figures/Documents/vision-2050.pdf>. 2011.

OACI. ICAO 2013 Environmental Report. Disponible en: <http://cfapp.icao.int/Environmental-Report-2013/>. 2013.

EMEP-inventory-guidebook-Tech12-2013-final. Disponible en: <http://www.eea.europa.eu/themes/air/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook>. 2013.

OACI. ICAO Engine Emissions Databank. Disponible en: <http://easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>. 2013.

HEYWOOD, John B. "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill. 1988.

OACI. Doc. 9889 Airport Air Quality Manual. 2011.