INFORME DE RESULTADOS

MCA 022/A1-16

ACTUALIZACIÓN MEMORIA DE CÁLCULO DE EMISIONES

AEROPUERTO ARTURO MERINO BENÍTEZ, AÑO 2015

Preparado por:

Algoritmos

ISO 9001:2008
Monitoreo, medición y análisis calidad del aire; modelación atmosférica, hidrodinámica, y meteorología; muestreo, medición y análisis en laboratorio de aguas y suelos;
monitoreo y medición de fuentes fijas, ruido y vibraciones; suministro y validación de sistemas de monitoreo continuo de emisiones (CEMS)

Para:

DGAC
CHILE

Octubre, 2016

Seminario Nº 180, Providencia, Santiago de Chile • Fono: 56-2-3679620 Fax: 56-2-3679621
http://www.asesoriasalgoritmos.com

INFORME DE RESULTADOS

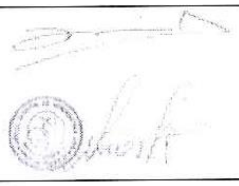
MCA 022/A1-16

ACTUALIZACIÓN MEMORIA DE CÁLCULO DE EMISIONES

AEROPUERTO ARTURO MERINO BENÍTEZ, AÑO 2015

Preparado para:

DGAC
CHILE

Versión del Documento				**C-4**	
Responsable Elaboración		***Responsable Revisión***		***Responsable Aprobación***	
Nombre:	Sebastián Díaz M. Nicolás Escárate R.	Nombre:	Evelyn Antiñir	Nombre:	Daniela Arias Hugo Luarte
Cargo:	Ingeniero de Proyecto	Cargo	Jefe Área de Modelación	Cargo:	DGAC
Fecha:	19-10-2016	Fecha:	19-10-2016	Fecha:	19-10-2016
Firma:		Firma:		Firma:	

Octubre, 2016

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción	1
2	Descripción del Modelo AEDT-2b	2
2.1	Objetivo del modelo	3
2.2	Resumen del flujo de trabajo para el cálculo de emisiones	3
3	Metodología de Cálculo de Emisiones	7
3.1	Fuentes Internas Asociadas al Aeropuerto AMB	9
3.1.1	Aeronaves	9
3.1.2	Fuentes Estacionarias	13
3.1.3	Fuentes Móviles	17
3.2	Fuentes Externas	34
3.2.1	Quemas de Residuos	34
3.2.2	Erosión Eólica en Sector de Extracción de Pumicita	37
4	Tasas de Emisión Resultante	40
4.1	Tasas de Emisión de Fuentes Internas del Aeropuerto AMB	40
4.1.1	Aeronaves, Equipo de Soporte en Tierra, Unidades de Poder Auxiliar y Fuentes Puntuales	40
4.1.2	Tránsito de Vehículos	41
4.2	Tasas de Emisión de Fuentes Externas	43
4.2.1	Quemas de Residuos	43
4.2.2	Erosión Eólica	44
4.3	Tasas de Emisión	44
5	Resultados año 2014 con modelo AEDT 2b.	46
6	Análisis comparativo de resultados	47
6.1	Aeronaves	47
6.2	Fuentes Internas Aeropuerto sin Aeronaves	48
6.3	Fuentes Externas	49
6.3.1	Erosión Eólica	49
6.3.2	Quemas de Residuos	49
7	Conclusiones	51
8	Anexo I	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nº 1 Listado de Aeronaves, helicópteros y Ciclos LTO, año 2015 11
Tabla Nº 2 Características Técnicas y de Operación de las Fuentes Estacionarias 14
Tabla Nº 3 Factores de emisión no controlada para Generadores 16
Tabla Nº 4 Características Técnicas y de Operación de las Fuentes Estacionarias 16
Tabla Nº 5 Flujo vehicular mensual por clase vehicular.....19
Tabla Nº 6 Flujo vehicular mensual por clase vehicular.....22
Tabla Nº 7 Flujo vehicular mensual por clase vehicular.....22
Tabla Nº 8 Clasificación de las distintas clases vehiculares.....23
Tabla Nº 9 Datos meteorológicos de la Estación Aeropuerto correspondientes al 23 de Noviembre del año 2015, entre las 00:00 hrs y las 11:00 hrs. 24
Tabla Nº 10 Datos meteorológicos de la Estación Aeropuerto correspondientes al 23 de Noviembre del año 2015, entre las 12:00 hrs y las 23:00 hrs. 24
Tabla Nº 11 Edad promedio de las clases vehiculares ingresadas a MOVES. 25
Tabla Nº 12 Composición de los combustibles utilizados en la simulación.....25
Tabla Nº 13 Distribución de combustibles por clase vehicular. 26
Tabla Nº 14 Distribución horaria del funcionamiento de maquinarias y vehículos no particulares en Aeropuerto 29
Tabla Nº 15 Datos meteorológicos de la Estación Aeropuerto correspondientes al 23 de Enero del año 2015, entre las 00:00 hrs y las 11:00 hrs. 32
Tabla Nº 16 Datos meteorológicos de la Estación Aeropuerto correspondientes al 23 de Enero del año 2015, entre las 12:00 hrs y las 23:00 hrs. 32
Tabla Nº 17 Edad promedio de las clases vehiculares ingresadas a MOVES para la simulación en rutas internas del Aeropuerto. 33
Tabla Nº 18 Composición de los combustibles utilizados en la simulación en rutas internas del Aeropuerto. 33
Tabla Nº 19 Categorización por tipo de combustible y cantidad para cada clase vehicular. 34
Tabla Nº 20 Factores de Emisión y Cargas de Combustible por incendios cercanos al aeropuerto 35
Tabla Nº 21 Sectores identificados con quemas de residuos 36
Tabla Nº 22 Tasas de Emisión, Operación Año 2015.....40
Tabla Nº 23 Tasas de Emisión de Tránsito de Vehículos en Aeropuerto, Operación año 2015 41
Tabla Nº 24 Tasas de Emisiones de Quemas de Residuos, año 2015 (ton/año) 43
Tabla Nº 25 Tasas de Emisión Total Aeropuerto AMB, Año 2015 45
Tabla Nº 26 Tasas de Emisión Total Aeropuerto AMB, Año 2014 46

Tabla Nº 27 Variación de las Tasas de Emisión de Aeronaves 47
Tabla Nº 28 Porcentajes del Conjunto de Aeronaves 48
Tabla Nº 29 Variación de las emisiones de las fuentes internas, sin tráfico aéreo 48
Tabla Nº 30 Variación de las Tasas de Emisión por Erosión Eólica 49
Tabla Nº 31 Variación de las Tasas de Emisión por Quema de Residuos 49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Nº 1 Límite del modelo AEDT-2b definidos por el usuario 3
Figura Nº 2 Ingreso de base de dato del aeropuerto AMB en modelo AEDT-2b..... 4
Figura Nº 3 Perfil de vuelo de despegue, altitud v/s distancia Modelo 787-9 Dreamliner..... 5
Figura Nº 4 Perfil de vuelo de aterrizaje, altitud v/s distancia Modelo 787-9 Dreamliner..... 5
Figura Nº 5 Perfil de vuelo de despegue, velocidad v/s tiempo Modelo 787-9 Dreamliner..... 6
Figura Nº 6 Perfil de vuelo de aterrizaje, velocidad v/s tiempo Modelo 787-9 Dreamliner..... 6
Figura Nº 7 Ubicación Espacial de Caminos, Fuentes Estacionarias y Pistas 8
Figura Nº 8 Cantidad de vuelos diarios para cada semana del mes de Noviembre 20
Figura Nº 9 Cantidad de vuelos horarios para el día lunes 23 de Noviembre, año 2015 21
Figura Nº 10 Cantidad de vuelos mensuales para el Año 2015.....27
Figura Nº 11 Cantidad de vuelos diarios, categorizados para cada semana del mes de Enero del Año 2015 28
Figura Nº 12 Cantidad de vuelos por hora, correspondientes al 23 de Enero del Año 2015 29
Figura Nº 13 Ubicación del Sector de Extracción Pumicita 39
Figura Nº 14 Perfil horario de emisión de contaminantes 42
Figura Nº 15 Comparación de Emisiones Totales Año 2014-2015 50

1 Introducción

El presente documento da cuenta de los resultados obtenidos al realizar la memoria de cálculo correspondiente a las emisiones de material particulado respirable MP_{10}, material particulado respirable fino $MP_{2,5}$, monóxido de carbono (CO), gases orgánicos totales (TOG), hidrocarburos no metánicos (NMHC), compuestos orgánicos volátiles (VOC), óxidos de nitrógeno (NO_X) y sulfuros (SO_X), generadas por las actividades asociadas al Aeropuerto Arturo Merino Benítez (en adelante, Aeropuerto AMB), durante el año 2015.

El inventario de Emisiones año 2015, considera además de las operaciones en Aeropuerto AMB, el flujo vehicular que accede a las distintas áreas del recinto y las emisiones de fuentes externas, como las quemas de residuos y efectos de la erosión eólica en el sector suroeste del Aeropuerto AMB, donde existe extracción de pumicita.

Para el cálculo de las emisiones asociadas a las actividades de operación del Aeropuerto AMB se utilizó el software Aviation Environmental Design Tool (AEDT) Versión 2b, desarrollado por Federal Aviation Administration (FAA) con el objetivo de generar inventarios de emisiones correspondientes a fuentes internas y aledañas a Aeropuertos Civiles. Cabe destacar que el modelo representado por el software AEDT contiene trayectorias de vuelo, variables meteorológicas y características de las aeronaves actualizadas, comparadas con su símil anterior EDMS. Dentro de las principales características que simula este nuevo software se encuentran la construcción y edición de pistas de vuelo, mejoras en la estimación de emisiones para la actividad aeroportuaria y de helicópteros en la fase de encendido de motor, inclusión de la etapa "modo taxi" (circulación de aviones previa al despegue), segmentación de las distintas fases de vuelo, tiempo de espera de las aeronaves, mejora en el cálculo de emisiones generadas por las unidades auxiliares de potencia, equipos de apoyo en tierra y finalmente la opción de compatibilizar el modelo con una amplia variedad de fuentes emisoras, no asociadas a la actividad aeronáutica.

Por otra parte el modelo AEDT emplea la base de datos de los factores de emisión de los motores de aeronaves de la Organización Internacional de aviación Civil (OACI).

Para el cálculo de emisiones debido a fuentes móviles se utilizó el MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator), el cual corresponde a un modelo avanzado basado en variables energéticas para obtener emisiones.

El cálculo de las emisiones debido a la erosión eólica, se realiza en base a los factores de emisión definidos en el documento "Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyecto Inmobiliarios", del Ministerio del Medio Ambiente. Por otra parte, el cálculo de quemas externas se realiza según el documento "*Emission Factors for Open Burning", Section 2.4*.

2 Descripción del Modelo AEDT-2b

El Modelo Aviation Environmental Design Tool (AEDT) Version 2b es un sistema integrado de información, que permite evaluar los impactos de calidad del aire de las actividades aeroportuarias, principalmente provenientes de la aviación, siendo estas: Aeronaves, Helicópteros, Unidades de Energía Auxiliar (APU), Equipo de Apoyo en Tierra (GSE) y Fuentes estacionarias.

El modelo AEDT-2b está diseñado para modelar estudios individuales, considerando un solo vuelo o para escenarios considerando un plano regional, nacional y global. AEDT aprovecha el sistema de información geográfica (GIS) y la tecnología de base de datos regional para lograr esta escalabilidad y ofrece grandes oportunidades para explorar y presentar resultados. Las versiones de AEDT se utilizan activamente por el gobierno de EE.UU. para la planificación del sistema de la aviación nacional, así como el análisis de la política medioambiental de la aviación nacional e internacional.

AEDT-2b implementa las funcionalidades clave de aplicaciones INM y EDMS, además de añadir nuevas capacidades. Un resumen de alto nivel de dichas funcionalidades es:

- Todos los resultados de dispersión de ruido y las emisiones de INM, EDMS y AEDT-2b.
- Construcción y edición de pistas de vuelo en la interfaz de usuario y dispersión de las emisiones de pistas de vuelo curvas.
- Las emisiones de los aviones y helicópteros en sus fases de inicio, vuelo y retardo de taxi - avión y modelado de secuencia.
- Las emisiones procedentes de las unidades auxiliares de energía, equipos de apoyo en tierra, y una amplia variedad de otras fuentes de emisiones no relacionadas con aeronaves.
- Modelado de varios aeropuertos en un solo estudio.
- Creación de controles personalizados altitud para aviones
- Para el cálculo de las emisiones cuenta con una actualización de las últimas aeronaves, una base de datos con los factores de emisión por modelo de aeronave y tipo de motor específico, estipulados por la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI).

Cabe señalar que el modelo AEDT-2b no incluye las fuentes de emisiones terrestres móviles que transitan en carreteras y estacionamientos, debido a que la EPA recomienda realizar este cálculo mediante el modelo MOVES (Motor Vehicle Emissions Simulator). AEDT, sin embargo, ofrece funcionalidad al usuario de importar las emisiones de estas fuentes y modelarlos por sus impactos en la calidad del aire. La FAA proporciona una guía para el uso de AEDT junto con los

estudios de MOVES que incluyen las emisiones en la ruta y de vehículos fuera de ruta.

2.1 Objetivo del modelo

El objetivo primordial del modelo AEDT-2b es proporcionar al usuario una manera eficiente de obtener consecuencias ambientales de la actividad aeronáutica.

2.2 Resumen del flujo de trabajo para el cálculo de emisiones

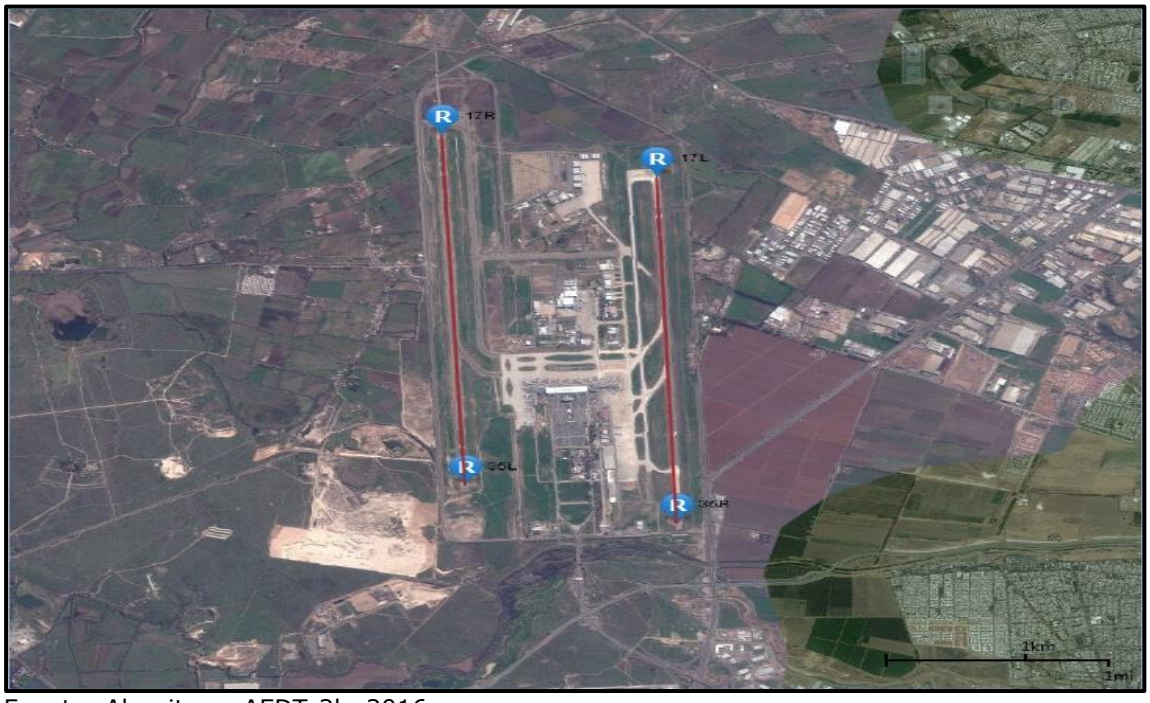
En este ápice se enlista una jerarquía de flujo de trabajo utilizado de forma general para obtener resultados del modelo AEDT-2b.

- Añadir un aeropuerto: Añadir pistas, redes de helicópteros, configuración de perfiles de operación.
- Configurar los elementos de soporte de datos del estudio: Añadir perfil operacional.

Figura Nº 1
Límite del modelo AEDT-2b definidos por el usuario

Fuente: Algoritmos AEDT-2b, 2016

Figura Nº 2
Ingreso de base de dato del aeropuerto AMB en modelo AEDT-2b



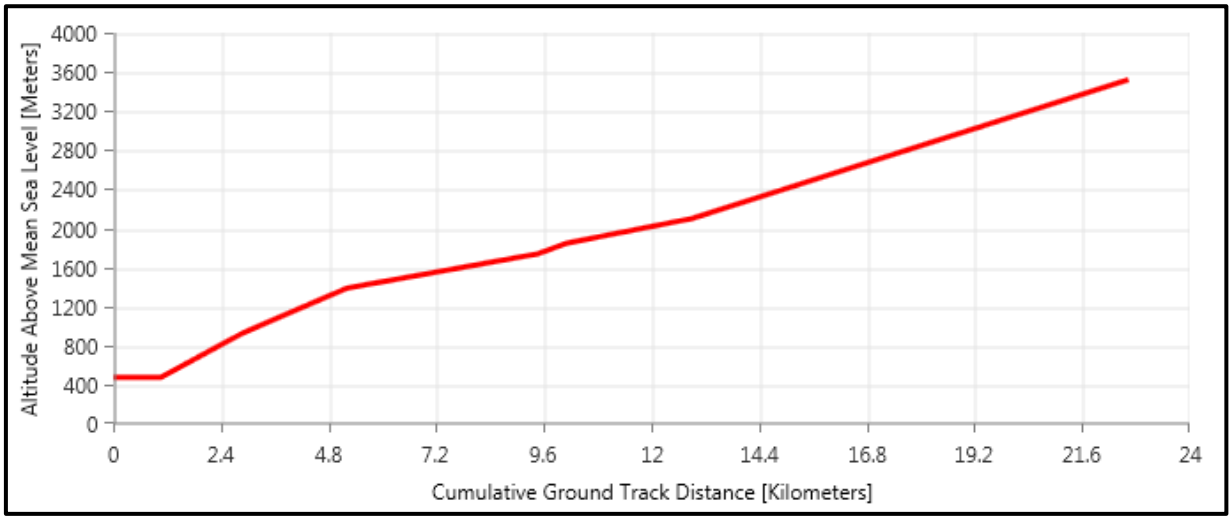
Fuente: Algoritmos AEDT-2b, 2016

- En la función operación, crear el diseño.
- En la función operación, crear operaciones deseadas.
- En la función operación, crear una publicación anual de las operaciones.
- En la ficha Resultados métricos, definir parámetros de resultados.
- En la ficha Resultados métricos, ejecutar resultados, ver capas y los informes de emisiones, consumo de combustible y perfiles de vuelo.

A continuación se presentan ejemplos de los resultados de perfiles de vuelo para el modelo de avión 787-9 Dreamliner, obtenidos del modelo AEDT-2b.

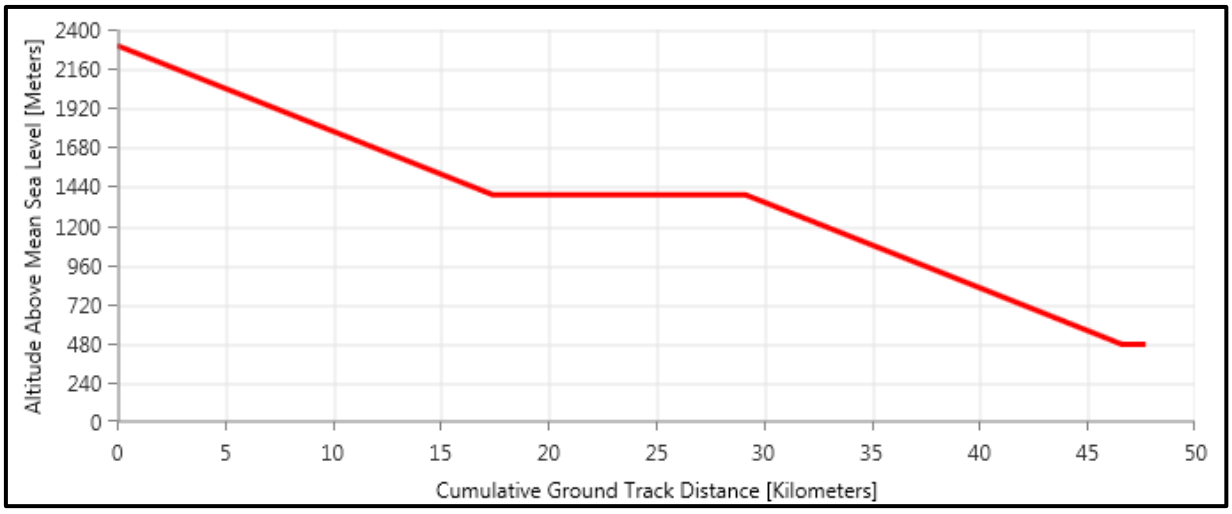
Se observa en la Figura Nº 3 y Figura Nº 4, los perfiles de vuelo del despegue y aterrizaje para las distancias vertical v/s la distancia recorrida.

Figura Nº 3
Perfil de vuelo de despegue, altitud v/s distancia
Modelo 787-9 Dreamliner, año 2015



Fuente: Algoritmos AEDT-2b, 2016

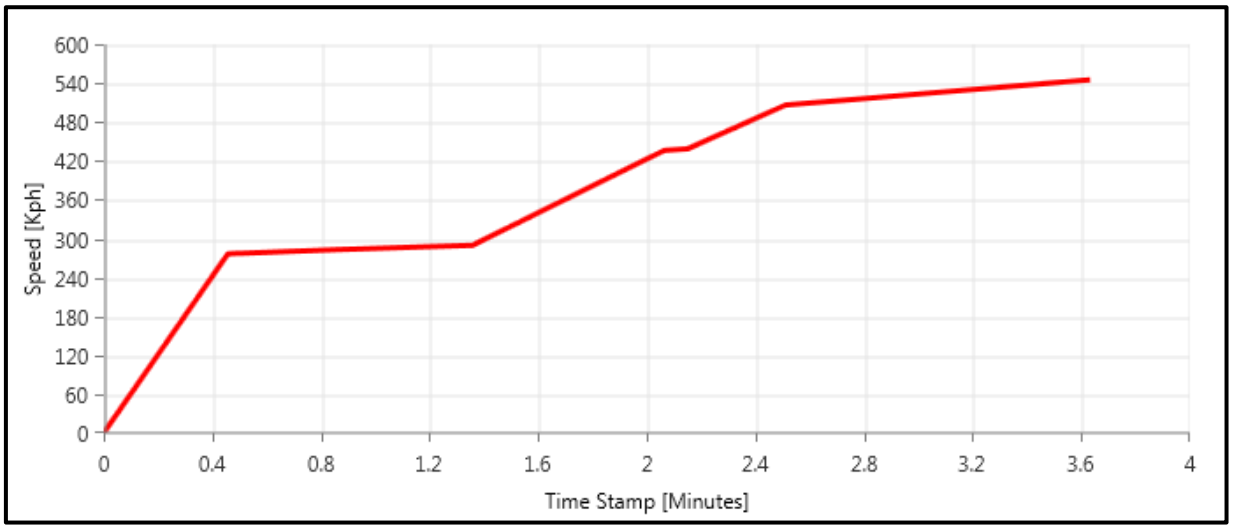
Figura Nº 4
Perfil de vuelo de aterrizaje, altitud v/s distancia
Modelo 787-9 Dreamliner, año 2015



Fuente: Algoritmos AEDT-2b, 2016

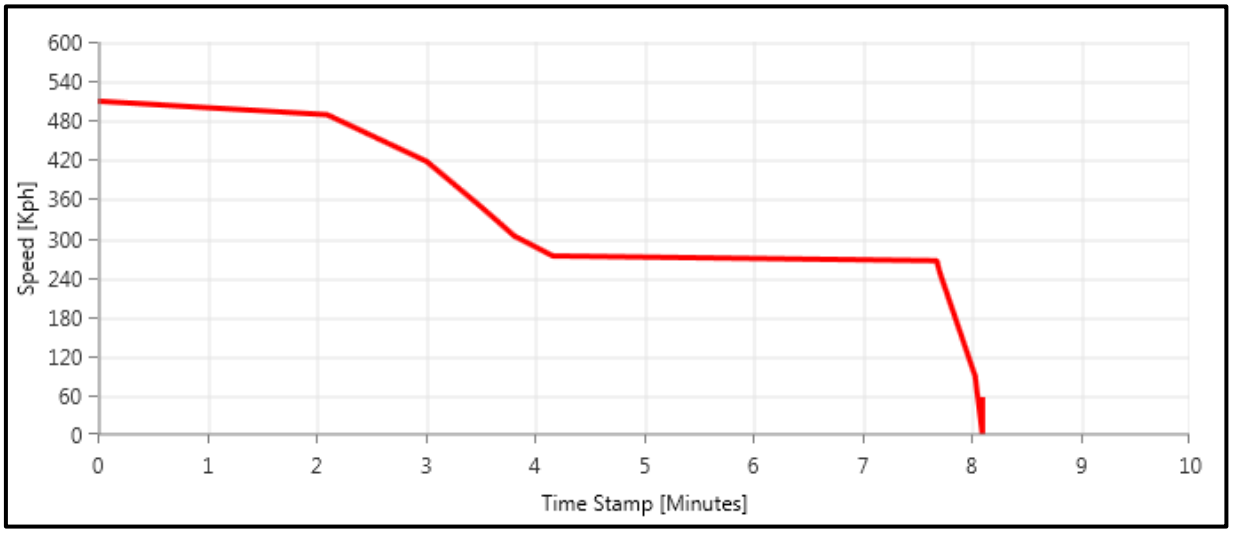
De la Figura Nº 5 y Figura Nº 6 se observan los perfiles de vuelo para la velocidad v/s el tiempo de despegue o aterrizaje, en las distancias recorridas de la Figura Nº 3 y Figura Nº 4.

Figura Nº 5
Perfil de vuelo de despegue, velocidad v/s tiempo
Modelo 787-9 Dreamliner, año 2015



Fuente: Algoritmos AEDT-2b, 2016

Figura Nº 6
Perfil de vuelo de aterrizaje, velocidad v/s tiempo
Modelo 787-9 Dreamliner, año 2015



Fuente: Algoritmos AEDT-2b, 2016

3 Metodología de Cálculo de Emisiones

La metodología utilizada en el cálculo de emisiones, considera las fuentes de emisión generadas por las actividades asociadas al Aeropuerto Arturo Merino Benítez y las generadas por fuentes externas.

A continuación se detallan las fuentes consideradas, las cuales son identificadas y agrupadas según las definiciones del Modelo AEDT 2b, además se presentan las fuentes externas consideradas en el Inventario de Emisiones.

Fuentes asociadas a las actividades del Aeropuerto AMB

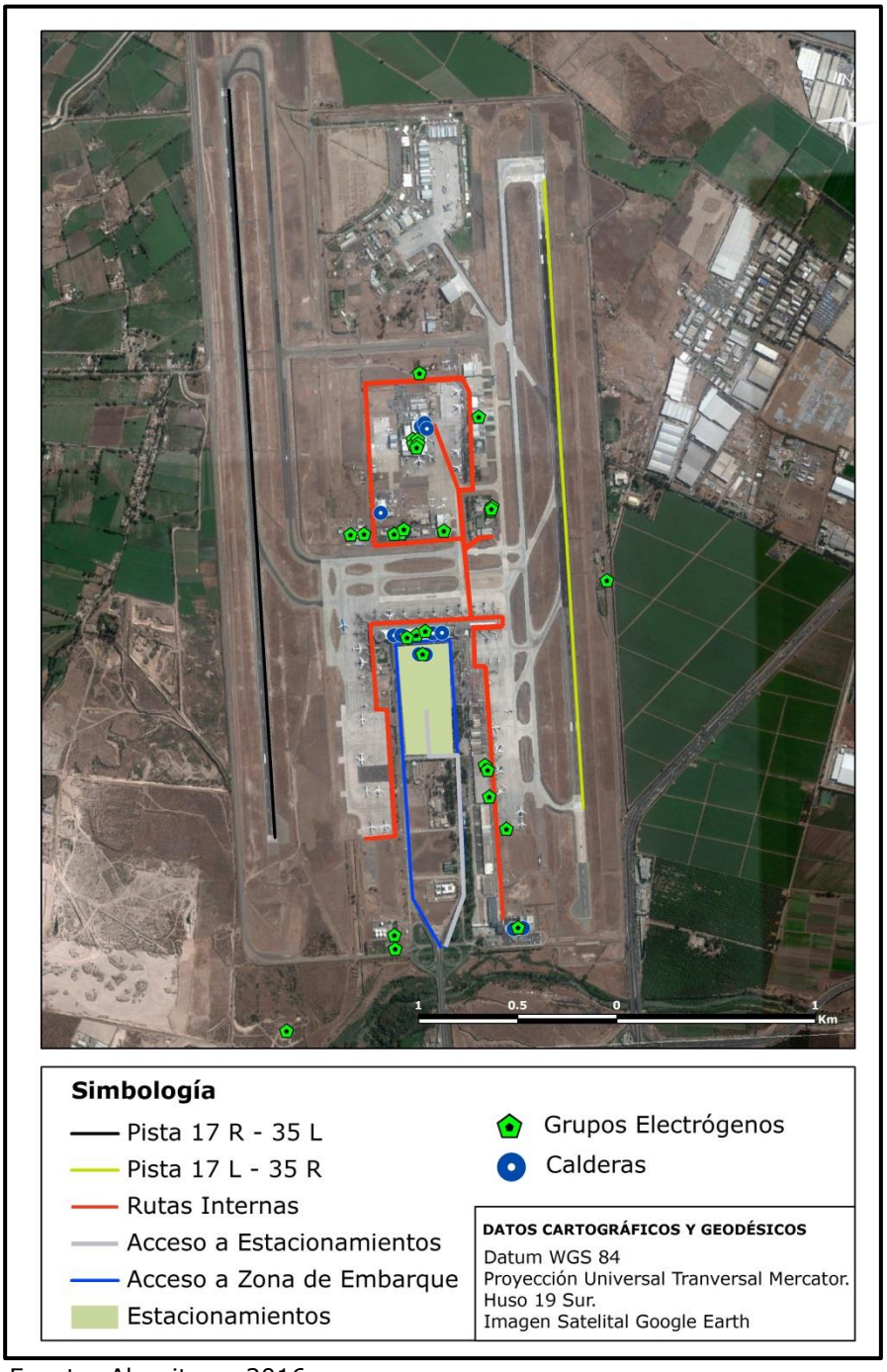
- Aeronaves
- Fuentes Móviles como el flujo vehicular en vías de acceso a las distintas áreas del Aeropuerto AMB, en los estacionamientos y rutas internas utilizadas por los GSE.
- Fuentes estacionarias

Fuentes Externas

- Quemas de residuos
- Erosión eólica asociada a sector de extracción de pumicita

En la Figura Nº 7 se muestra la ubicación espacial de forma esquemática de las distintas fuentes asociadas a las actividades desarrolladas por Aeropuerto AMB, caminos de acceso a las distintas áreas del aeropuerto, pistas y calles de rodaje, zonas de estacionamientos, edificios y puertos de embarque.

Figura Nº 7
Ubicación Espacial de Caminos, Fuentes Estacionarias y Pistas



Fuente: Algoritmos 2016.

3.1 Fuentes Internas Asociadas al Aeropuerto AMB

3.1.1 Aeronaves

El estudio de las emisiones de las aeronaves está centrado en aquellas etapas del vuelo correspondientes al denominado ciclo de aterrizaje y despegue o Ciclo LTO (Landing and Take –Off Cycle), el que se encuentra compuesto por 5 maniobras o modos de operación, los cuales corresponden a movimiento en tierra de la aeronave desde la puerta de embarque a la pista y viceversa, la aproximación, el despegue y el ascenso.

Cabe mencionar, que el cálculo de emisiones en base al ciclo LTO no considera aquella porción del vuelo cuando la aeronave se encuentra sobre la capa de mezcla atmosférica, puesto que los contaminantes tienden a dispersarse y no tienen efectos a nivel superficial, por el contrario, bajo la capa de mezcla las condiciones atmosféricas muestran un estado relativamente estable por lo que las emisiones quedan atrapadas bajo la inversión provocando un efecto en la calidad del aire en la zona.

La altura de la capa de mezcla considerada, se encuentra establecida por defecto en el Modelo AEDT-2b y que corresponden a 914,4 metros, altura promediada en base a información meteorológica del Aeropuerto AMB.

a. Método de Cálculo

La metodología utilizada para la estimación de las emisiones provenientes de las aeronaves y establecidas por la Federal Aviation Administration Office of Enviromental and Energy (FAA) y aplicadas en el Modelo AEDT, se calculan para un ciclo LTO completo de cada tipo de aeronave. Dentro del ciclo LTO, las emisiones son principalmente una función de:

- Número de operaciones (las llegadas y salidas)
- Características de la flota de aviones (tipo de aeronave, número de motores, despegue de peso)
- Características de funcionamiento de motores de aeronaves (caudales de combustible y factores de emisión)
- Tiempo que la aeronave pasa en cada uno de los modos de funcionamiento (despegue, ascenso a cabo, enfoque, etc, también conocido como TIM (Time in Mode))

Las emisiones totales por ciclo LTO para un tipo de avión dado, son calculadas con la siguiente ecuación:

$$E_{ij} = \frac{1}{1.000} * NE_j * \sum_k (TIM_{jk} * FF_{jk} * EF_{ijk}) \quad (1)$$

E_{ij}: Emisiones totales de contaminantes, expresados en libras, producido por cada tipo de aeronave j para un ciclo LTO.

TIM_{jk}: Tiempo en minutos asociado al modo k para un avión tipo j

FF_{jk}: Flujo de combustible para el modo k (libras/min) para cada motor usado en el tipo de avión j.

EF_{ijk}: Factor de emisión para el contaminante, expresada en libras de contaminación por mil libras de combustible, operando en el modo k del ciclo LTO, para el tipo de aeronave j.

NE_j: Número de motores usados en un tipo de avión j

El cálculo de las emisiones para todas las aeronaves está dado por:

$$E_i = \sum_j (E_j * LTO_j) \quad (2)$$

Ej: Emisiones totales de contaminantes, expresados en libras, producido por operar en todas las aeronaves de la región de interés.

Ej: Emisiones totales de contaminantes, expresados en libras, producidos por tipo de aeronave j para un ciclo LTO.

LTOj: Número total de ciclos LTO para el tipo de aeronave j durante el periodo del inventario.

b. Factor de Emisión

El Modelo AEDT posee en su base de datos los factores de emisión asociados a cada modelo de aeronave y tipo de motor específico, para cada uno de los modos de funcionamiento, es decir, taxi/inactivo, despegue, ascenso y enfoque.

c. Nivel de Actividad

El nivel de actividad de las aeronaves se encuentra definido por el número de Ciclos LTO y el tiempo asociado a cada una de las fases, simulando duración y estado de carga del motor durante la fase de aproximación a la pista, movimiento sobre la pista, despegue y ascenso.

La generación de los Ciclos LTO para AEDT 2b necesitan de la conjunción de 3 pasos, la número uno y dos son el ingreso de los despegues y aterrizajes por separado, luego se crea una función de anualización uniendo los pasos mencionados anteriormente, luego se realiza el cálculo para cada tipo de aeronave, las emisiones totales se calculan multiplicando las emisiones de un ciclo por la cantidad de ciclos LTO que ese tipo de avión realizó en el año de estudio. Por lo que para obtener las emisiones totales de toda la flota se suman los cálculos realizados para cada tipo de aeronave.

A continuación en la Tabla Nº 1 se presenta el listado de aeronaves que operaron en el Aeropuerto AMB durante el año 2015, información proporcionada por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). Cabe mencionar se presentan solo las aeronaves con ciclos LTO mayores a 200 y los helicópteros, el resto de las aeronaves se agrupan en "Otras aeronaves".

Tabla Nº 1
Listado de Aeronaves, helicópteros y Ciclos LTO, año 2015

Modelo	*Ciclo LTO*
AERONAVES	
Airbus A319-100 Series	12.967
Airbus A320-200 Series	28.217
Airbus A321-200 Series	4.227
Airbus A340-600 Series	360
B787-8R	2.883
BAE Jetstream 200 Series	601
Boeing 737-300 Series	278
Boeing 737-800 Series	2.484
Boeing 747-400 Series	639
Boeing 767-300 Series	4.276
Boeing 777-200 Series	716
Boeing 777-300 Series	916
Boeing 787-900 Dreamliner	846
Boeing 777 Freighter	401
Bombardier Learjet 35	247

Modelo	Ciclo LTO
Britten-Norman BN-2 Islander	212
CASA CN-235-100	200
Cessna 172 Skyhawk	208
Cessna 525 CitationJet	230
Cessna 550 Citation II	420
DeHavilland DHC-6-300 Twin Otter	277
Dornier 228-200 Series	590
Embraer ERJ190	1.601
Gulfstream G150	242
Lockheed C-130 Hercules	149
Lockheed Martin F-16 Fighting Falcon	110
Piper PA-31T Cheyenne	112
Raytheon King Air 90	392
Raytheon Super King Air 200	654
Otras Aeronaves	3.896
HELICÓPTEROS	
Bell AH-1W SuperCobra	38
Boelkow BO-105 LS A-1	146
Agusta A-109	348
Bell 206 JetRanger	302
Eurocopter EC-130	266
Hughes 500D	4
Robinson R22B	24
PZL Swidnik W-3AS	6
Robinson R44 Raven / Lycoming O-540-F1B5	4
Bell 214B-1	1.258
Total de Ciclos año 2015	**71.737**

Fuente: DGAC 2016.

3.1.2 Fuentes Estacionarias

Las fuentes estacionarias en Aeropuerto AMB se encuentran representadas por calderas y grupos electrógenos ubicados en distintos lugares del Aeropuerto AMB.

a. Calderas

- Método de Cálculo

La ecuación general para determinar las emisiones de las calderas, se define a continuación.

$$E = F * EF$$	(3)

En donde:

E: Emisión total de contaminantes desde la fuente estacionaria (libras)

F: Consumo de Combustible.

EF: Factor de emisión de contaminantes, expresado en libras por cada mil galones (para combustibles líquidos), millones de pies cúbicos (de gas natural), o toneladas de combustible (por carbón).)

- Factor de Emisión

Los factores de emisión utilizados en el Modelo AEDT-2b se encuentran en la base de datos del sistema y corresponden a los factores de emisión definidos en el documento "AP 42, Fifth Edition, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources, United States – Environmental Protection Agency". Estos factores de emisión tienen en cuenta elementos que tienen un impacto significativo sobre las emisiones de contaminantes, entre ellos: tipo de combustible, el contenido de azufre del combustible, el contenido de ceniza de combustible, tamaño de la caldera, el tipo de caldera, y el equipo de control de la contaminación.

$$EF = UEF * (1 - CF/100) * FM$$	(4)

En donde:

EF: Factor de emisión de contaminantes expresada en libras por cada mil galones (para los combustibles líquidos), millones de pies cúbicos (de gas natural), o tonelada de combustible (carbón).

UEF: Factor de emisión incontrolada de contaminantes, expresada en libras por cada mil galones (Para los combustibles líquidos), millones de pies cúbicos (de gas natural), o tonelada de combustible (carbón).

CF: Factor de control de la contaminación del aire, expresada como porcentaje.

FM: Modificador de combustible.

- Nivel de Actividad

La Tabla Nº 2 presenta los valores de potencia equivalente, el poder calórico y las horas de operación al año, necesarios para determinar el consumo de combustible anual, de acuerdo a lo expresado en la ecuación (4).

Tabla Nº 2
Características Técnicas y de Operación de las Fuentes Estacionarias

Organización	*Fuente Emisora*	*Tipo Combustible*	*Potencia equivalente (kcal/hora)*	*Potencia Equivalente (MMBTU/Hr)*	*Horas de operación al año*
Nuevo Pudahuel	Caldera 1	Gas Licuado	1.100.000	4,36	900
Nuevo Pudahuel	Caldera 2		2.200.000	8,72	900
Nuevo Pudahuel	Caldera 3		2.200.000	8,72	900
Nuevo Pudahuel	Caldera 4		1.100.000	4,36	900
Hotel	Caldera 1	Petróleo DIESEL N°2	542.000	2,15	8.760
Hotel	Caldera 2	Petróleo DIESEL N°2	542.000	2,15	8.760
Andes	Caldera 1	Gas Licuado	137.569	0,55	8.640
Andes	Caldera 2	Gas Licuado	137.569	0,55	8.640
LAN	Caldera 1	Gas Licuado	210.000	0,83	2.920
LAN	Caldera 2	Gas Licuado	385.469	1,53	2.920
LAN	Caldera 3	Gas Licuado	1.383.000	5,48	2.920

Fuente: DGAC 2016.

b. Grupo Electrógeno

- Método de Cálculo

La ecuación general para determinar las emisiones provenientes del Grupo Electrógeno, se define a continuación.

$E = GC * T * UEF * (1 - CF/100)$	(5)

En Donde:

E: Emisión Grupo Electrógeno (libras)

GC: Generador de capacidad nominal de potencia, expresado en caballos de fuerza o kilowatts.

T: Generador de tiempo operado durante el periodo de inventario (horas)

UEF: Factor de emisión incontrolado de contaminantes expresados en libras por caballo de fuerzas/horas si el generador de energía está expresado en caballos de fuerzas o libras por kilowatt /hora si la capacidad de potencia del generador se expresa en kilowatts.

CF: Factor de control de la contaminación del aire, expresado en porcentajes.

- Factor de Emisión

Los factores de emisión utilizados en el Modelo AEDT-2b, se encuentran en la base de datos del sistema y corresponden a los factores de emisión definidos en el documento *"AP 42, Fifth Edition, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources, United States – Environmental Protection Agency"*, Capitulo 3: *Stationary Internal Combustión Sources*, Sección 3.3: *Gasoline and Diesel Industrial Engines, Tabla 3.3-1.*

La Tabla Nº 3 presenta los factores de emisión considerados para generadores que funcionan con distintos tipos de combustible.

Tabla Nº 3
Factores de emisión no controlada para Generadores

Combustible	Factor Emisión[1]				
	CO	PM_{10}	NO_X	SO_2[2]	VOC
Aceite destilado (Diesel)	130	32,0	604	141(S)	49,3
Combustible para aviones	102	32,0	469	128(S)	32,1
Gasolina	7,128	6,2	185	123(S)	344
Gas Natural	430	10,0	3,400	840(S)	82,9
Propano o Butano	129	5,0	139	91(S)	83,0
Aceite residual	102	30,8	469	152(S)	32,1

1: Los factores de emisión se expresan en libras por cada mil galones de combustible y libras por millón de pies cúbicos de gas natural.
(S): El contenido de azufre del combustible, expresado como porcentaje en peso de azufre, se multiplica por el coeficiente determinado para obtener el factor de emisión de SO_2.

- Nivel de Actividad

El nivel de actividad corresponde a las horas de funcionamiento de los Grupos Electrógenos, información entregada por la DGAC.

En la Tabla Nº 4 se presenta las características técnicas y de operación de cada Grupo Electrógeno.

Tabla Nº 4
Características Técnicas y de Operación de las Fuentes Estacionarias

Organización	Nº de Fuentes Emisoras	Potencia (hp)	Hora de funcionamiento anual
Nuevo Pudahuel	3	2010	100
		2010	100
		2010	100
Hotel Holiday Inn	1	813	s/i
Andes	1	429	30
YPF	1	9	20
SIAV	1	536	21
Aeronest	1	34	103
ENEX	1	75	60
Fast Air	1	236	24
Lan Cargo	2	64	24
		70	24

Organización	Nº de Fuentes Emisoras	Potencia (hp)	Hora de funcionamiento anual
Base Mtto	5	536	63
		268	50
		161	54
		858	62
		335	54
Zonal Central	7	944	1
		944	1
		703	28,2
		313	48
		26	3,3
		30	3
		21	1
PTAS	1	312	8
DAP	1	54	24
AVIASUR	1	43	33
ALDEASA	1	16	20
CSI (Air BP copec)	1	32,8	58,9

Fuente: DGAC 2016.

3.1.3 Fuentes Móviles

Las fuentes móviles consideradas en la Actualización del Inventario de Emisiones de Aeropuerto AMB contemplan las emisiones provenientes del tránsito vehicular, representado principalmente por la actividad de acercamiento a las distintas dependencias del recinto y el desplazamiento por las diferentes áreas destinadas al estacionamiento de automóviles.

Para generar el inventario de emisiones, se utilizó el programa Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES), este programa permite estimar emisiones generadas por fuentes móviles para un amplio rango de contaminantes. Para el presente proyecto, se estimaron las emisiones de CO, VOC, TOG, NO_x, SO_x, MP_{10} y $MP_{2,5}$.

En la simulación en el software MOVES, se consideraron 4 zonas de tránsito principales:

- Caminos de acceso a la zona de estacionamientos de vehículos particulares.
- Área de estacionamiento.

- Rutas de acceso a la zona de embarque.
- Vías de acceso a dependencias internas del Aeropuerto, de uso exclusivo para personal del recinto.

Junto a las zonas de tránsito mencionadas, se ingresó a la simulación una superficie de estacionamiento para asignar las emisiones producidas por la actividad de aparcamiento vehicular.

a. Método de Cálculo

La ecuación general para determinar las emisiones de las fuentes móviles se define a continuación.

$$E_{i,j} = NV_j \cdot NA \cdot FE_{i,j}$$	(6)

Dónde:
$E_{i,j}$: Emisión del contaminante i para el vehículo j (g/h).
$Fe_{i,j}$: Factor de emisión del contaminante i para el vehículo j (g/veh-km).
NA: Nivel de actividad para cada vehículo (veh-km/h).
NV_j: Cantidad de vehículos del tipo j (Nº de veh).

b. Factores de Emisión

MOVES cuenta con una amplia data de factores de emisión para distintos contaminantes. Estos factores provienen tanto de recopilación bibliográfica como de mediciones experimentales y son ajustados a las diversas condiciones bajo las cuales circulan los vehículos.

c. Nivel de Actividad

El nivel de actividad asociado al tránsito de vehículos y la combustión de sus motores, se encuentra representado por el flujo vehicular según tipo de vehículo que transita por los caminos de acceso a las áreas del Aeropuerto y por la distancia de éstos.

En el caso de los estacionamientos, el nivel de actividad corresponde al número de vehículos que ingresa a estas áreas y la distancia recorrida hasta situarse en el estacionamiento.

d. Simulación en MOVES para el tránsito de vehículos particulares.

MOVES es un software adaptado para Estados Unidos, no obstante, es posible generar inventarios de emisiones para las fuentes móviles requeridas en zonas externas creando un nuevo dominio territorial e ingresando ciertas variables que caracterizan el lugar donde se realizará la simulación.

Para representar el tránsito de vehículos particulares que ingresan al Aeropuerto, que se estacionan en sus dependencias y que circulan hacia la zona de embarque, se seleccionó el mes, día y hora de mayor tráfico dentro de las rutas del Aeropuerto. La información correspondiente al flujo mensual de vehículos particulares se presenta en la Tabla Nº 5.

Tabla Nº 5
Flujo vehicular mensual por clase vehicular

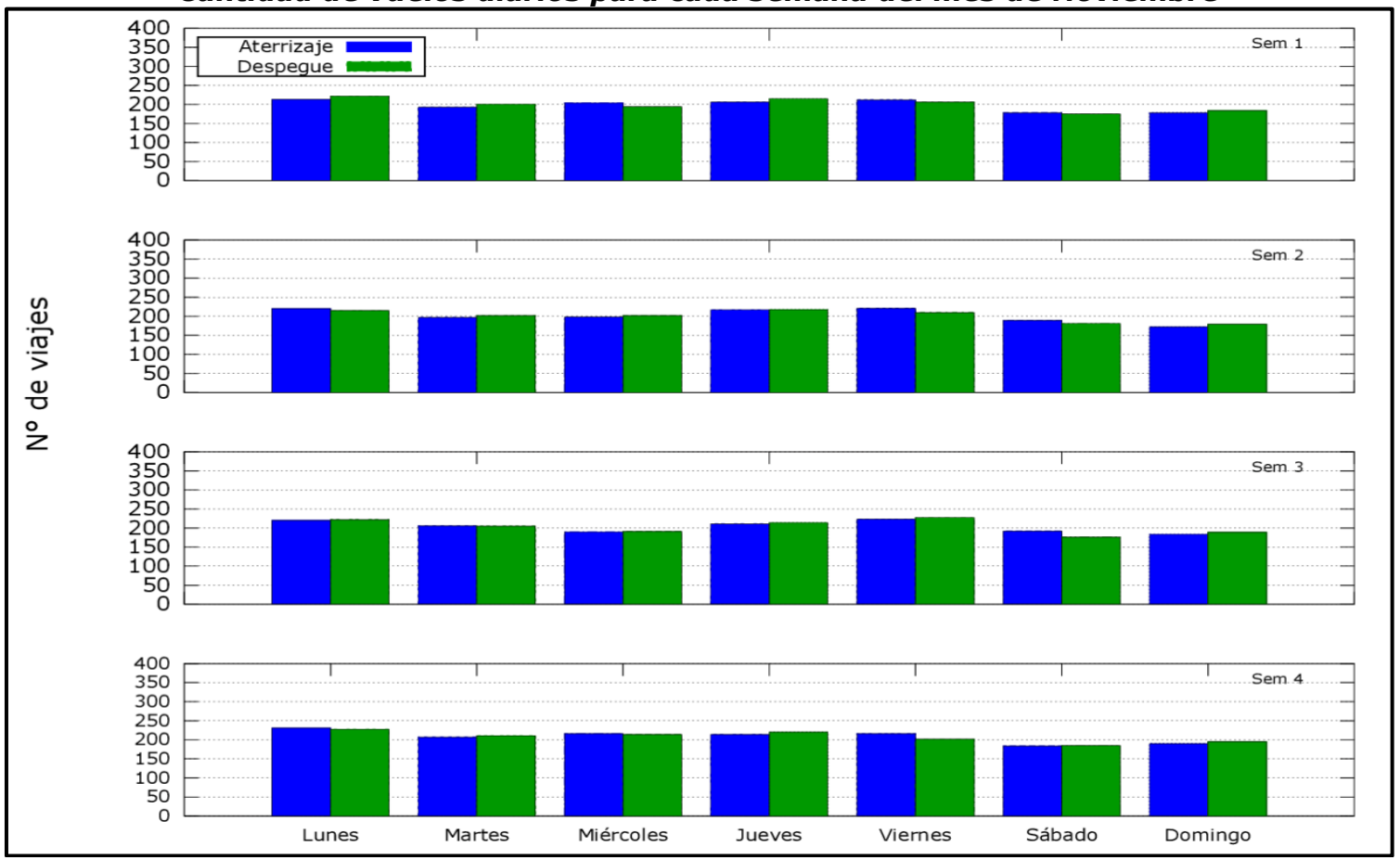
Mes	*Automóviles con y sin remolque*	*Buses y Camiones*	*Camiones con remolque*	*Motos y motonetas*	*Total mensual*
Enero	808.130	27.542	1.847	8.851	846.370
Febrero	736.668	26.503	1.818	7.813	772.802
Marzo	803.975	28.935	1.940	9.137	843.987
Abril	749.615	27.100	1.601	8.752	787.068
Mayo	756.160	24.482	1.332	7.685	789.659
Junio	747.595	27.652	1.518	7.984	784.749
Julio	818.480	28.382	1.499	7.275	855.636
Agosto	807.962	26.651	1.245	6.715	842.573
Septiembre	772.473	26.360	1.326	7.582	807.741
Octubre	836.374	30.357	1.640	7.766	876.137
Noviembre	834.732	30.696	2.228	9.103	876.759
Diciembre	822.712	29.558	2.914	10.152	865.336

Fuente: DGAC 2016.

En la Tabla Nº 5 se observa que el mayor tránsito vehicular total mensual se presenta en el mes Noviembre.

Posteriormente, de los ciclos LTO del Aeropuerto AMB, información proporcionada por la DGAC se obtuvo para el mes de Noviembre que el día con mayor demanda de vuelos es el día lunes. Dicha información se observa en la Figura Nº 8, presentada a continuación.

Figura Nº 8
Cantidad de vuelos diarios para cada semana del mes de Noviembre

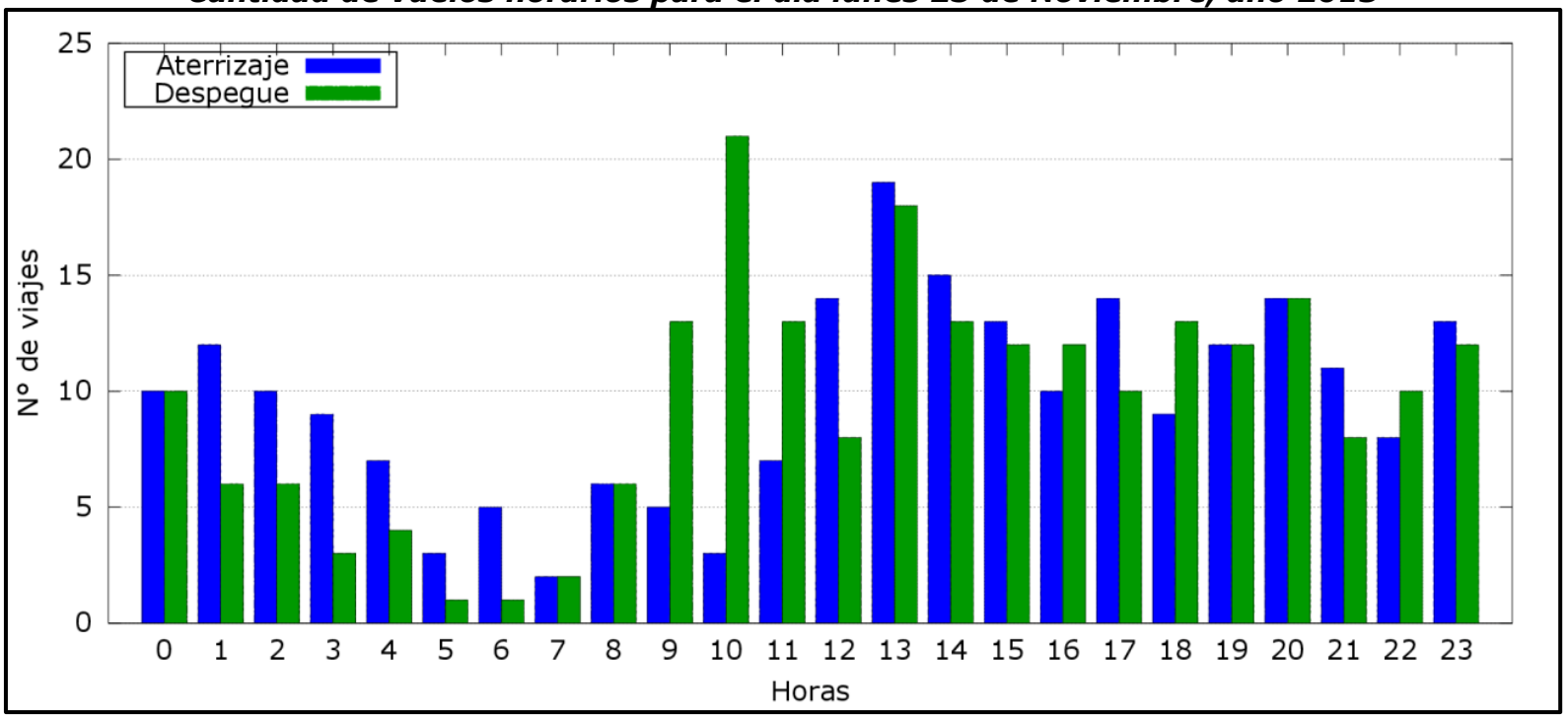


Fuente: Algoritmos 2016.

De la Figura Nº 8 se aprecia además que la semana con el mayor tránsito aeronáutico es la semana 4. De esta manera y considerando el análisis expuesto de la Figura Nº 8 se simuló en MOVES el cuarto lunes del mes de Noviembre, correspondiente al día lunes 23 de Noviembre del año 2015 y se generó un ciclo horario de emisiones replicable para todos los días del año como peor escenario. El ciclo horario mencionado anteriormente, construido en base al tránsito aéreo, se presenta en la Figura Nº 9.

Figura Nº 9

Cantidad de vuelos horarios para el día lunes 23 de Noviembre, año 2015



Fuente: Algoritmos 2016.

A partir del ciclo horario presentado en la Figura Nº 9 se generó el perfil de automóviles que circulan hora a hora al interior del Aeropuerto.

Del conteo vehicular realizado el año 2015 se obtuvo el total de autos que circularon por las rutas de acceso y por el sector de estacionamiento del Aeropuerto. Dicha información se muestra en la Tabla Nº 6.

Tabla Nº 6
Flujo vehicular mensual por clase vehicular

Dependencias del Aeropuerto	*Motocicletas*	*Vehículos Livianos*	*Furgón*	*Buses*	*Camión de 2 ejes*	*Camión con más de 2 ejes*
Flujo vehicular rutas de acceso	217	294	917	912	862	55
Flujo vehicular sector estacionamiento	11	8	1	52	29	0
Total	**228**	**301**	**918**	**964**	**891**	**55**

Fuente: Algoritmos 2016.

De la información de la Tabla Nº 6 se calculó el porcentaje de vehículos que transitan por las rutas de acceso y las áreas de estacionamiento. Esta información se presenta en la Tabla Nº 7.

Tabla Nº 7
Flujo vehicular mensual por clase vehicular

Dependencias del Aeropuerto	*Motocicletas*	*Vehículos Livianos*	*Furgón*	*Buses*	*Camión de 2 ejes*	*Camión con más de 2 ejes*
Flujo vehicular rutas de acceso	95 %	97 %	100 %	95 %	97 %	100 %
Flujo vehicular sector estacionamiento	5 %	3 %	0 %	5 %	3 %	0 %

Fuente: Algoritmos 2016.

Con los porcentajes presentados en la Tabla Nº 7 y la totalidad de vehículos que transitaron en el Aeropuerto el mes de Noviembre, cuyos datos se presentan en la Tabla Nº 5, se disgregó la cantidad de automóviles que se desplazaron por las rutas de acceso y las áreas de estacionamiento. De esta manera se calcularon los flujos vehiculares que se ingresaron a la simulación en MOVES.

Una vez que se obtuvieron los flujos vehiculares, se ingresaron las siguientes variables:

- Población vehicular.

Se categorizó cada tipo de vehículo que ingresó al Aeropuerto y que fue contabilizado en el año 2015 y se le asignó su correspondiente clasificación para ser ingresado a la simulación.

Tabla Nº 8
Clasificación de las distintas clases vehiculares

Clasificación Conteo de Vehículos	*Clasificación en MOVES*
Motocicletas	Vehículos a gasolina
Vehículos Livianos	Vehículos a gasolina
Furgón	Vehículos a Diesel
Buses	Buses a Diesel
Camión de 2 ejes	Camiones Livianos a Diesel
Camión con más de 2 ejes	Camiones Pesados a Diesel

Fuente: Algoritmos 2016.

La Tabla Nº 8 presenta las clases vehiculares ingresadas a la simulación en el software MOVES.

- Distribución del uso del combustible.

Se indicó la distribución de los distintos tipos de combustibles de acuerdo al consumo que tengan en el mercado. Para el proyecto se consideró un único distribuidor del combustible para todo el territorio nacional.

- Velocidad de tránsito y distribución de millas recorridas por los vehículos en los tipos de rutas.

La velocidad de tránsito en los caminos de acceso fue proporcionada por la DGAC y se definió en 20 km/h (12,5 millas/h) para los sectores destinados al estacionamiento y rutas internas y 60 km/h (37,3 millas/h) para las rutas de desplazamiento entre los sectores del aeropuerto.

Para distribuir la distancia recorrida por los distintos vehículos, se ingresaron las fracciones de las millas recorridas anualmente para cada clase vehicular en las diferentes rutas definidas en la simulación.

- Datos meteorológicos.

MOVES requiere los valores promedios de temperatura (en ºF) y humedad relativa (en %) para cada hora del día. Como se mencionó anteriormente se seleccionó el cuarto Lunes del mes de Noviembre como día a simular (Lunes 23 de Noviembre, año 2015), por lo tanto se ingresaron los datos meteorológicos de este día en la simulación. Es importante destacar que las variables meteorológicas ingresadas a la simulación influyen directamente en el algoritmo de cálculo para el factor de emisión a utilizar y por consiguiente en las emisiones finales. Las Tabla Nº 9 y Tabla Nº 10 presentan los registros de temperatura y humedad relativa de la Estación Aeropuerto para el día mencionado.

Tabla Nº 9

Datos meteorológicos de la Estación Aeropuerto correspondientes al 23 de Noviembre del año 2015, entre las 00:00 hrs y las 11:00 hrs.

Hora	*0:00*	*1:00*	*2:00*	*3:00*	*4:00*	*5:00*	*6:00*	*7:00*	*8:00*	*9:00*	*10:00*	*11:00*
Temperatura (ºF)	58,4	56,8	56,2	55,2	53,5	53,6	55,1	58,6	62,2	66,0	70,1	72,8
Humedad relativa (%)	39	37	38	39	41	43	44	48	50	51	50	43

Fuente: Algoritmos 2016.

Tabla Nº 10

Datos meteorológicos de la Estación Aeropuerto correspondientes al 23 de Noviembre del año 2015, entre las 12:00 hrs y las 23:00 hrs.

Hora	*12:00*	*13:00*	*14:00*	*15:00*	*16:00*	*17:00*	*18:00*	*19:00*	*20:00*	*21:00*	*22:00*	*23:00*
Temperatura (ºF)	74,6	75,9	76,9	76,2	74,3	72,8	69,6	66,0	63,2	61,0	59,0	58,2
Humedad relativa (%)	41	39	37	38	39	41	43	44	48	50	51	50

Fuente: Algoritmos 2016.

- Antigüedad del parque vehicular.

La edad del parque automotriz que circulan por el Aeropuerto fue extraída del "Anuario 2015/2016", elaborado por la Asociación Nacional Automotriz de Chile (ANAC). Los datos ingresados a MOVES se exponen en la Tabla Nº 11.

Tabla Nº 11
Edad promedio de las clases vehiculares ingresadas a MOVES.

Clase Vehicular	*Edad promedio (años)*
Motocicletas	7
Vehículos Livianos	7
Furgón	7
Buses	6
Camión de 2 ejes	8
Camión con más de 2 ejes	8

Fuente: Algoritmos 2016

- Formulación de combustible.

Se ingresaron las formulaciones de los combustibles que emplean los vehículos que transitan por el Aeropuerto. Las especificaciones de la composición de cada combustible se obtuvieron del sitio web de la Empresa Nacional del Petróleo. La Tabla Nº 12 muestra las formulaciones de los combustibles ingresados a MOVES.

Tabla Nº 12
Composición de los combustibles utilizados en la simulación.

Categoría	*Gasolina*	*Diésel*	*Unidad*
RVP[a]	10	0	psi
Azufre	15	50	ppm
Aromáticos	38	0	% Vol
Olefinas	12	0	% Vol
Benzeno	1	0	% Vol

Fuente: Algoritmos 2016

[a] RVP: Presión de Vapor Reid.

- Tipo de combustible y tecnología.

En base a los datos obtenidos del conteo vehicular realizado el año 2015, se especificó el combustible utilizado por cada clase vehicular. La Tabla Nº 13 presenta cada tipo de vehículo ingresado a la simulación en MOVES con su correspondiente combustible utilizado.

Tabla Nº 13
Distribución de combustibles por clase vehicular.

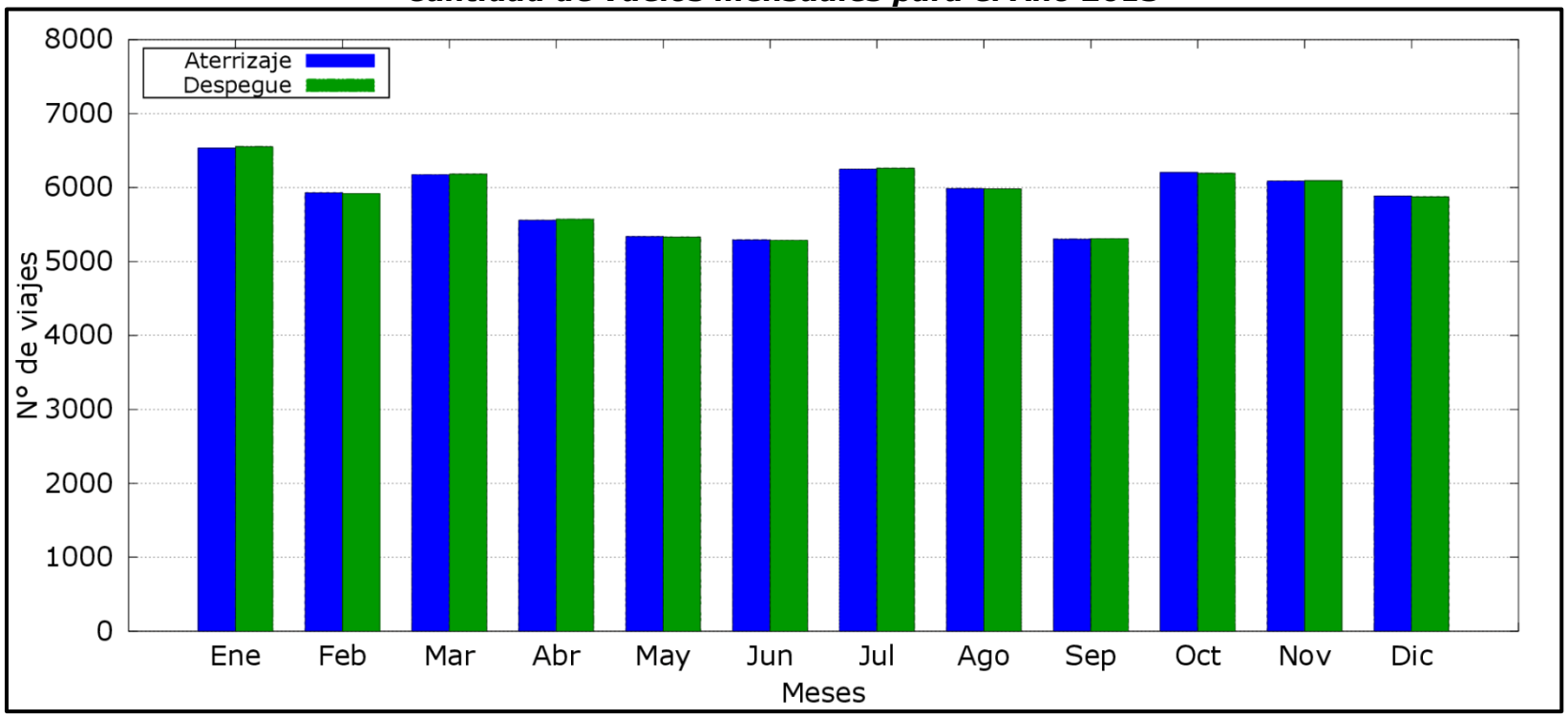
Clase Vehicular	*Combustible utilizado*
Motocicletas	Gasolina
Vehículos Livianos	Gasolina
Furgón	Petróleo Diesel
Buses	Petróleo Diesel
Camión de 2 ejes	Petróleo Diesel
Camión con más de 2 ejes	Petróleo Diesel

Fuente: Algoritmos 2016.

e. Simulación en MOVES para el tránsito de vehículos no particulares por dependencias internas del Aeropuerto.

Para llevar a cabo de la simulación que representa el tránsito de los vehículos no particulares que circulan por las rutas internas del Aeropuerto, se seleccionó en primer lugar el mes con mayor cantidad de vuelos, para ello se realizó un levantamiento estadístico de la información proporcionada por la DGAC. Dicha información se observa en la Figura Nº 10.

Figura Nº 10
Cantidad de vuelos mensuales para el Año 2015

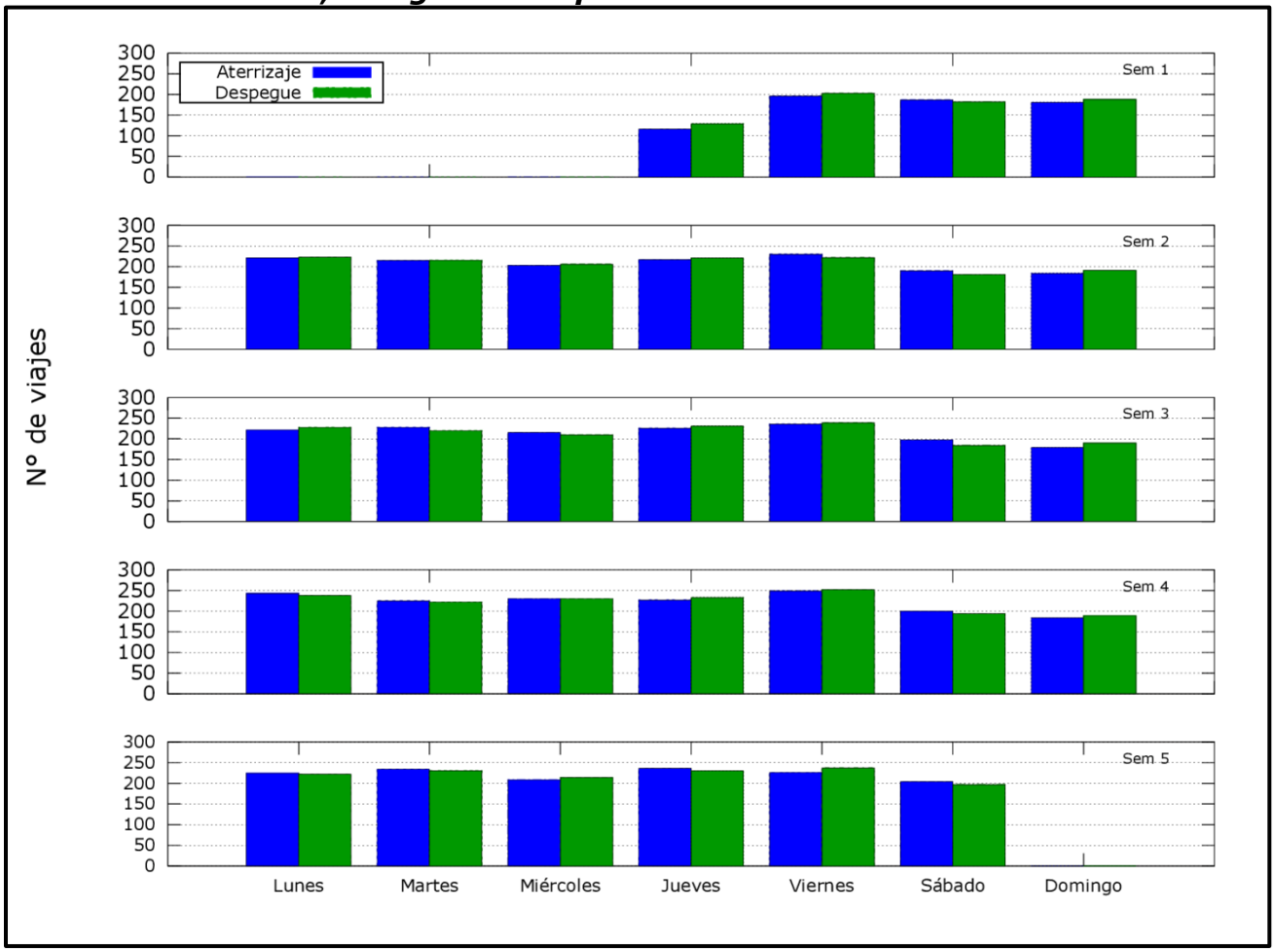


Fuente: Algoritmos 2016.

De la Figura Nº 10 se observa que el mes con mayor demanda de vuelos es Enero. Luego de esto, se construyó una estadística diaria para todas las semanas del mes de Enero. De esta manera se determinó el día con mayor cantidad de viajes del año 2015.

Figura Nº 11

Cantidad de vuelos diarios, categorizados para cada semana del mes de Enero del Año 2015

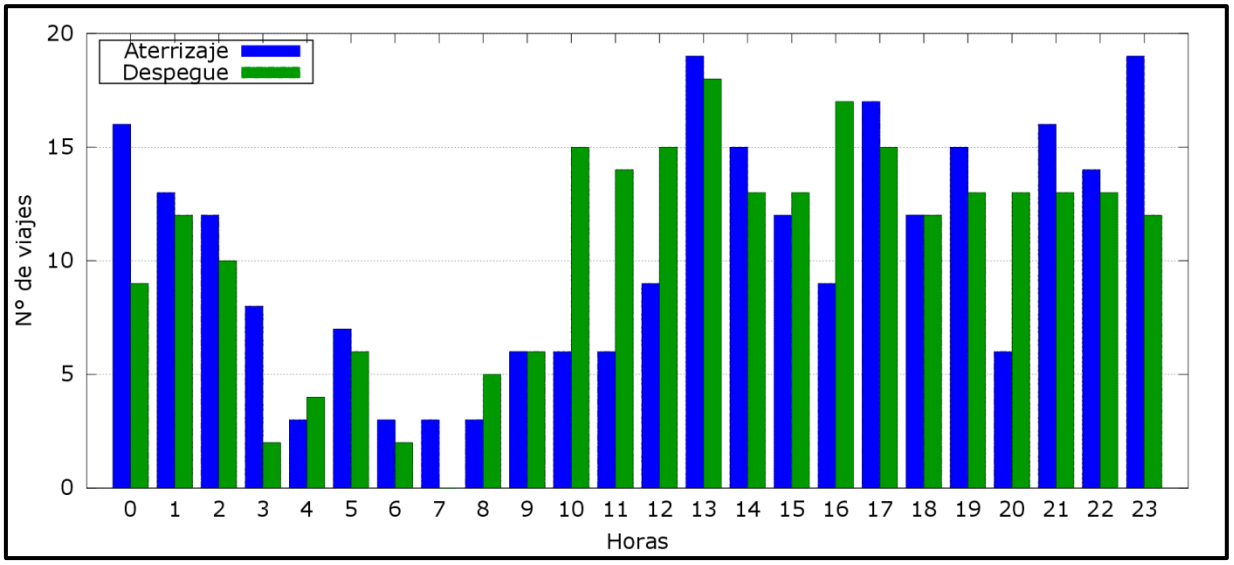


Fuente: Algoritmos 2016.

De la Figura Nº 11 se aprecia que el día con mayor demanda de vuelos es el día viernes correspondiente a la cuarta semana del mes de Enero. Por esta razón, para llevar a cabo la simulación en MOVES se seleccionó el día viernes 23 de enero del año 2015, el cual se categorizó como el peor escenario en términos de emisiones atmosféricas.

Posteriormente, se generó el perfil horario de aterrizajes y despegues para el día seleccionado, esta información se presenta en la Figura Nº 12.

Figura Nº 12
Cantidad de vuelos por hora, correspondientes al 23 de Enero del Año 2015



Fuente: Algoritmos 2016.

Una vez generado el perfil horario se consideró que a las 13:00 hrs se encuentra en funcionamiento todos los vehículos no particulares y las maquinarías de apoyo a los aviones. En base a esto se calculó una proporción de uso para todas las horas del día.

Tabla Nº 14
Distribución horaria del funcionamiento de maquinarias y vehículos no particulares en Aeropuerto

Hora	Fracción de Uso	Total de vehículos y maquinaría en uso
0:00	0,68	608
1:00	0,68	608
2:00	0,59	535
3:00	0,27	243
4:00	0,19	170
5:00	0,35	316
6:00	0,14	122

Hora	Fracción de Uso	Total de vehículos y maquinaría en uso
7:00	0,08	73
8:00	0,22	195
9:00	0,32	292
10:00	0,57	511
11:00	0,54	486
12:00	0,65	583
13:00	1,00	900
14:00	0,76	681
15:00	0,68	608
16:00	0,70	632
17:00	0,86	778
18:00	0,65	583
19:00	0,76	681
20:00	0,51	462
21:00	0,78	705
22:00	0,73	656
23:00	0,84	754

Fuente: Algoritmos 2016.

En la Tabla Nº 14 se presentan el total de vehículos y maquinarias que se utilizan por hora para ingresar a la simulación en el software MOVES.

Una vez que se obtuvo el perfil de funcionamiento horario de los vehículos no particulares y la maquinaria, se ingresaron los siguientes datos.

- Población vehicular.

Se categorizaron los vehículos y la maquinaria que circula por las vías internas del Aeropuerto en:

1) Autos de Pasajeros
2) Camionetas de Pasajeros
3) Buses
4) Camión de 2 ejes
5) Camión de más de 2 ejes

Para efectos de cálculo y en vista de que el software MOVES no permite ingresar maquinaria fuera de ruta en localidades exteriores al territorio estadounidense, se asimiló esta emisión a los camiones considerados en la simulación.

- Distribución del uso del combustible.

Se indicó la distribución de los distintos tipos de combustibles de acuerdo al consumo que tengan en el mercado. Para el proyecto se consideró un único distribuidor del combustible para todo el territorio nacional.

- Velocidad de tránsito y distribución de millas recorridas por los vehículos en los tipos de rutas.

La velocidad de tránsito en los caminos de acceso fue proporcionada por la DGAC y se definió en 20 km/h (12,5 millas/h) para los sectores destinados al estacionamiento y rutas internas y 60 km/h (37,3 millas/h) para las rutas de desplazamiento entre los sectores del aeropuerto.

Para distribuir la distancia recorrida por los distintos vehículos, se ingresaron las fracciones de las millas recorridas anualmente para cada clase vehicular.

- Datos meteorológicos.

MOVES requiere los valores promedios de temperatura (en ºF) y humedad relativa (en %) para cada hora del día. Para ello se ingresaron los datos meteorológicos horarios correspondientes al día 23 de Enero del año 2015 en base al análisis de la Figura Nº 10 y Figura Nº 11, expuesto anteriormente. Es importante destacar que las variables meteorológicas ingresadas a la simulación influyen directamente en el algoritmo de cálculo para el factor de emisión a utilizar y por consiguiente en las emisiones finales. Las Tabla Nº 15 y Tabla Nº 16 presentan los registros de temperatura y humedad relativa de la Estación Aeropuerto para el día mencionado.

Tabla Nº 15

Datos meteorológicos de la Estación Aeropuerto correspondientes al 23 de Enero del año 2015, entre las 00:00 hrs y las 11:00 hrs.

Hora	*0:00*	*1:00*	*2:00*	*3:00*	*4:00*	*5:00*	*6:00*	*7:00*	*8:00*	*9:00*	*10:00*	*11:00*
Temperatura (ºF)	67,5	65,7	65,0	62,4	61,6	62,0	60,7	66,4	72,4	76,8	79,8	82,2
Humedad relativa (%)	63	66	67	72	74	71	74	62	47	39	35	33

Fuente: Algoritmos 2016.

Tabla Nº 16

Datos meteorológicos de la Estación Aeropuerto correspondientes al 23 de Enero del año 2015, entre las 12:00 hrs y las 23:00 hrs.

Hora	*12:00*	*13:00*	*14:00*	*15:00*	*16:00*	*17:00*	*18:00*	*19:00*	*20:00*	*21:00*	*22:00*	*23:00*
Temperatura (ºF)	84,8	85,0	85,6	85,8	85,3	82,2	80,2	79,1	75,5	72,3	69,9	69,7
Humedad relativa (%)	28	26	24	25	27	30	29	29	32	36	40	40

Fuente: Algoritmos 2016.

- Antigüedad del parque vehicular.

La edad del parque automotriz de los vehículos que circulan por el Aeropuerto fue extraída del "Anuario 2015/2016", elaborado por la Asociación Nacional Automotriz de Chile (ANAC). Los datos ingresados a MOVES se exponen en la Tabla Nº 17.

Tabla Nº 17
Edad promedio de las clases vehiculares ingresadas a MOVES para la simulación en rutas internas del Aeropuerto.

Clase Vehicular	*Edad promedio (años)*
Autos y Camionetas de pasajeros	7
Buses	6
Camión de 2 ejes	8
Camión con más de 2 ejes	8

Fuente: Algoritmos 2016

- Formulación de combustible.

Se ingresaron las formulaciones de los combustibles que emplean los vehículos que transitan por el Aeropuerto. Las especificaciones de la composición de cada combustible se obtuvieron del sitio web de la Empresa Nacional del Petróleo. La Tabla Nº 12 muestra las formulaciones de los combustibles ingresados a MOVES.

Tabla Nº 18
Composición de los combustibles utilizados en la simulación en rutas internas del Aeropuerto.

Categoría	*Gasolina*	*Diésel*	*Unidad*
RVP[b]	10	0	psi
Azufre	15	50	ppm
Aromáticos	38	0	% Vol
Olefinas	12	0	% Vol
Benzeno	1	0	% Vol

Fuente: Algoritmos 2016

[b] RVP: Presión de Vapor Reid.

- Tipo de combustible y tecnología.

En base a los datos obtenidos del conteo vehicular realizado el año 2015, se categorizó cada clase vehicular con respecto a la cantidad de vehículos y el tipo de combustible utilizado. La Tabla Nº 19 presenta cada tipo de vehículo ingresado a la simulación en MOVES con su correspondiente combustible utilizado.

Tabla Nº 19
Categorización por tipo de combustible y cantidad para cada clase vehicular.

Clase Vehicular	*Petróleo Diesel*	*Gasolina*	*Electricidad*	*Gas*
Autos de Pasajeros	125	76	0	0
Camionetas de Pasajeros	147	58	76	0
Bus	18	0	0	38
Camión de 2 ejes	249	10	0	0
Camión de más de 2 ejes	100	3	0	0

Fuente: Algoritmos 2016

3.2 Fuentes Externas

La actualización del Inventario de Emisiones para el año 2015 contempla las emisiones provenientes de fuentes externas, correspondientes a quemas de residuos realizadas en las cercanías del Aeropuerto AMB en un radio de 5 km. aproximadamente y a la erosión eólica en sectores de extracción de pumicita.

3.2.1 Quemas de Residuos

La DGAC mantiene catastros de incendios producidos en las cercanías del Aeropuerto AMB, mediante observación diaria desde las Oficinas de la Torre de Control Aéreo, y registros desarrollados por su Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios SSEI. Por lo que para este Inventario se consideraron los catastros internos de DGAC año 2015.

En la combustión generada en los incendios, se emiten diversos contaminantes a la atmósfera siendo los más importantes, el material particulado MP_{10} y $MP_{2,5}$, óxidos de nitrógeno (NO_X), dióxido de azufre (SO_2), metano (CH_4), compuestos no metánicos (NMHC)y monóxido de carbono (CO).

a. Método de Cálculo

El método de cálculo se basa en lo presentado en los documentos "*Emission Factors for Open Burning", Section 2.4* del Manual AP-42 perteneciente a la EPA, el cual describe el cálculo de emisiones asociados a quemas abiertas de residuos.

En dicho documento se exponen factores de emisión para los distintos tipos de incendios, tales como la quema de residuos municipales, desechos agrícolas, entre otros.

Considerando que no se dispone de toda la información correspondiente del material incinerado en cada quema, se consideró la totalidad de las quemas cuantificadas en las cercanías del aeropuerto como incendios de residuos domiciliarios.

Por otra parte en la siguiente ecuación se presenta el cálculo de las emisiones totales por incendios.

$E = FQ * Cc * Hc$	(7)

Donde

E: Emisiones (ton/año)
FQ: Factor de emisión de quema (ton/ton)
Cc: Carga de combustible del material (ton/há)
Hc: Área consumida por la quema (ha)

b. Factor de Emisión

A continuación en la siguiente Tabla Nº 20 se presentan los factores de emisión para cada contaminante y la carga de combustible del material en quema.

Tabla Nº 20
Factores de Emisión y Cargas de Combustible por incendios cercanos al aeropuerto

Factores de Emisión Quemas (ton/ton)							Carga de combustible (ton/ha)[c]
MP_{10}	$MP_{2,5}$	NO_X	SO_X	CH_4	NMHC	CO	
0,0080	0,0080	0,0030	0,0005	0,0065	0,0150	0,0150	2

Fuente: Algoritmos, 2016

[c] Ruiz, E. M. (2001). Manual de quemas controladas: el manejo del fuego en la prevención de incendios forestales. Madrid.

c. Nivel de Actividad

El nivel de actividad generado por los incendios corresponde a las hectáreas consumidas por dicha acción, para lo cual se consideró un área de 0,05 hectáreas por cada incendio informado, debido a que no se tiene información sobre las superficies afectadas por las quemas.

Por otra parte, en base al catastro anual de quemas realizado por la DGAC en las cercanías del Aeropuerto AMB, se identificaron 19 sectores representativos ubicados alrededor de éste y que se presentan en la siguiente tabla con las respectivas quemas cuantificadas y el área total consumida por esta acción

Tabla Nº 21
Sectores identificados con quemas de residuos

Sectores	*Nº de Quemas, Año 2015*	*Área total consumida (há)*
Autopista Vespucio Norte	1	0,05
Camino a Noviciado	1	0,05
Camino Lo Echevers	4	0,20
Camino Renca - Lampa	31	1,55
Pista 17 L	3	0,15
Pista 17 R	5	0,25
Pista 35 R	5	0,25
Sector Este del Aeropuerto	2	0,10
Sector Este Pista 17 L	2	0,10
Sector Este Pista 17 R	2	0,10
Sector Noroeste del Aeropuerto	3	0,15
Sector Noroeste Pista 17 L	2	0,10
Sector Noroeste Pista 17 R	5	0,25
Sector Norte del Aeropuerto	1	0,05
Sector Norte Pista 17 L	21	1,05
Sector Norte Pista 17 R	9	0,45
Sector Peralillo	1	0,05
Sector Sur del Aeropuerto	1	0,05
Sector Suroeste Pista 35 R	1	0,05

Fuente: Algoritmos 2016, en base a información proporcionada por DGAC.

3.2.2 Erosión Eólica en Sector de Extracción de Pumicita

El material particulado (MP_{10}) presente en una superficie a la intemperie, puede ser emitido a la atmósfera, cuando sea impactado por vientos que sobrepasen un límite permitiendo el arrastre de las partículas.

En los terrenos aledaños al Aeropuerto AMB, ubicado en la comuna de Pudahuel, se han identificado sectores en donde existe una explotación de minas de pumicita (material de tipo ceniza volcánica con proporciones variables de piedra pómez y fragmentos de roca). En estos lugares se genera polución permanente que a su vez es incrementada con las ráfagas de viento presentes en la zona, principalmente en épocas estivales, periodo en el cual los vientos aumentan su intensidad. De estos sectores, el más representativo en cuanto a su extensión y ubicación, es el área ubicada en el sector suroeste de la Pista 35L del Aeropuerto AMB.

a. Método de Cálculo

La emisión generada por la erosión eólica se estimó mediante la ecuación 8:

$$E = Fe * A$$	(8)

Donde

E: Emisión por erosión eólica (kg/año)
Fe: Factor de emisión de erosión eólica (kg/ha)
A: Área expuesta a erosión (ha/año)

En donde el método del cálculo del factor por erosión eólica (kg/ha) de MP_{10} se realiza mediante la ecuación 9, la cual considera el porcentaje de finos del material y el porcentaje de tiempo en que el viento excede los 5,4 m/s.

$$Fe = 1{,}9 * \left(\frac{s}{1{,}5}\right) * \left(\frac{f}{15}\right)$$	(9)

Donde
Fe: factor de emisión por erosión (kg/ha)
s: % de finos del material
f: porcentaje del tiempo en que el viento excede los 5,4 m/s

Para el porcentaje de finos se ha considerado un promedio de 40%, valor extraído del Estudio "Caracterización de las Emisiones de Áridos y su posterior Evaluación y Control, CONAMA RM (1999)", Capitulo 3 "Emisiones de Material Particulado Región Metropolitana", el cual propone un rango de finos entre 30% y 50% para el material de tipo puzolana o pumicita.

El valor utilizado para el porcentaje de tiempo en que el viento excede los 5,4 m/s es 9,49%, cálculo realizado en base a información meteorológica de la estación ubicada en Aeropuerto AMB y proporcionada por la DGAC.

b. Nivel de Actividad

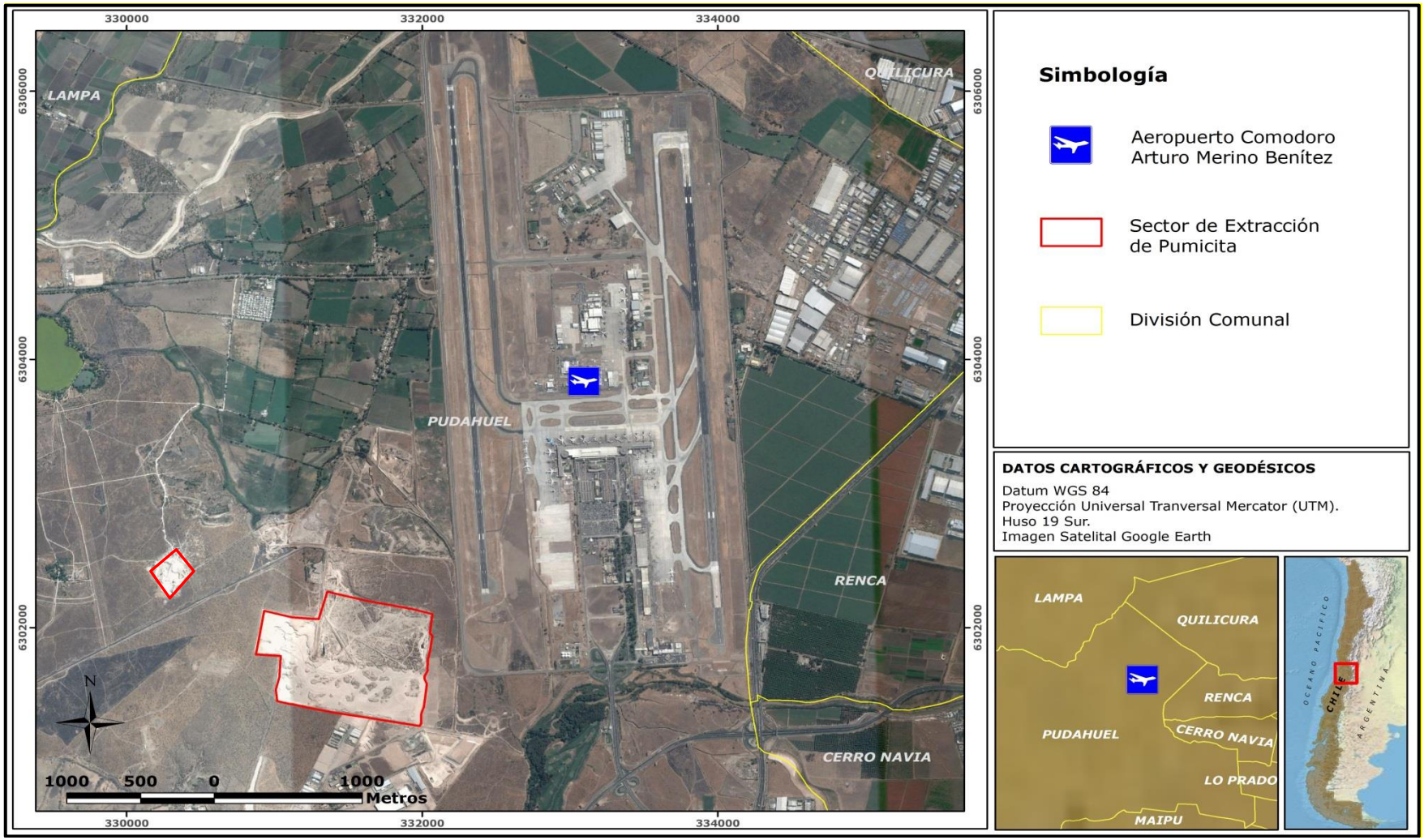
El nivel de actividad está representado por el área afectada por la erosión. La ubicación del terreno compuesto por pumicita y expuesto a erosión eólica fue proporcionada por la DGAC.

El área expuesta a erosión, se encuentra en el extremo sur-oeste del Aeropuerto AMB, como se muestra en la Figura Nº 13.

Cabe mencionar que el área considerada fue calculada en base a imagen extraída de Google EARTH.

De esta manera y en base a la información entregada el área afectada por erosión eólica corresponde a 106,1 hectáreas.

Figura Nº 13
Ubicación del Sector de Extracción Pumicita



Fuente: Algoritmos 2016, en base a Google Earth.

4 Tasas de Emisión Resultante

Al multiplicar los factores de emisión por el nivel de actividad de cada fuente definida en las secciones anteriores, se obtienen las tasas de emisión total para MP_{10} y $MP_{2,5}$ y los gases monóxido de carbono (CO), gases orgánicos totales (TOG), hidrocarburos no – metánicos (NMHC), compuestos orgánicos volátiles (VOC), óxido de nitrógeno (NO_X) y sulfuros (SO_X).

4.1 Tasas de Emisión de Fuentes Internas del Aeropuerto AMB

A continuación se presentan las emisiones anuales de acuerdo a cada actividad realizada en las dependencias del Aeropuerto AMB para el año 2015. Cabe destacar que en el proceso de ingreso de fuentes, las emisiones de los GSE y APU se asociaron a al movimiento de máquinas en rutas internas, con el modelo MOVES de la EPA. Debido a este motivo las emisiones GSE y APU son consideradas dentro de los resultados de rutas internas en las tasas de emisión de transito por vehículos.

4.1.1 Aeronaves, Equipo de Soporte en Tierra, Unidades de Poder Auxiliar y Fuentes Puntuales

En la siguiente Tabla Nº 22 se muestran las emisiones generadas en el modelo AEDT 2b por las aeronaves, helicópteros y fuentes puntuales.

Tabla Nº 22
Tasas de Emisión, Operación Año 2015

Actividad Emisora	*Tasas de Emisión (ton/año)*							
	CO	*NMHC*	*VOC*	*TOG*	*NOx*	*SOx*	*MP_{10}*	*$MP_{2,5}$*
Calderas	1,102	0,118	0,194	0,271	6,062	5,328	0,238	0,207
Grupos Electrógenos	4,545	1,512	1,464	1,710	21,000	1,395	1,497	1,497
Aterrizaje	478,717	60,097	59,777	60,119	129,147	25,283	11,903	11,903
Despegue	696,222	94,261	93,761	94,291	509,853	48,200	6,108	6,108
Helicópteros	0,069	0,003	0,003	0,003	0,065	0,012	0,000	0,000
Total general	1180,655	155,991	155,199	156,394	666,127	80,218	19,746	19,715

Fuente: Algoritmos 2016.

En la Tabla Nº 22, se observa que las mayores emisiones corresponden a monóxido de Carbono (CO), seguido por los óxidos de Nitrógeno (NOx).

4.1.2 Tránsito de Vehículos

A continuación se presentan las emisiones provenientes del tránsito de vehículos en todas las rutas simuladas en MOVES, las cuales incluyen tanto la combustión de los vehículos como el material particulado en suspensión de cada camino de acceso a las áreas del Aeropuerto AMB.

Tabla Nº 23
Tasas de Emisión de Tránsito de Vehículos en Aeropuerto, Operación año 2015

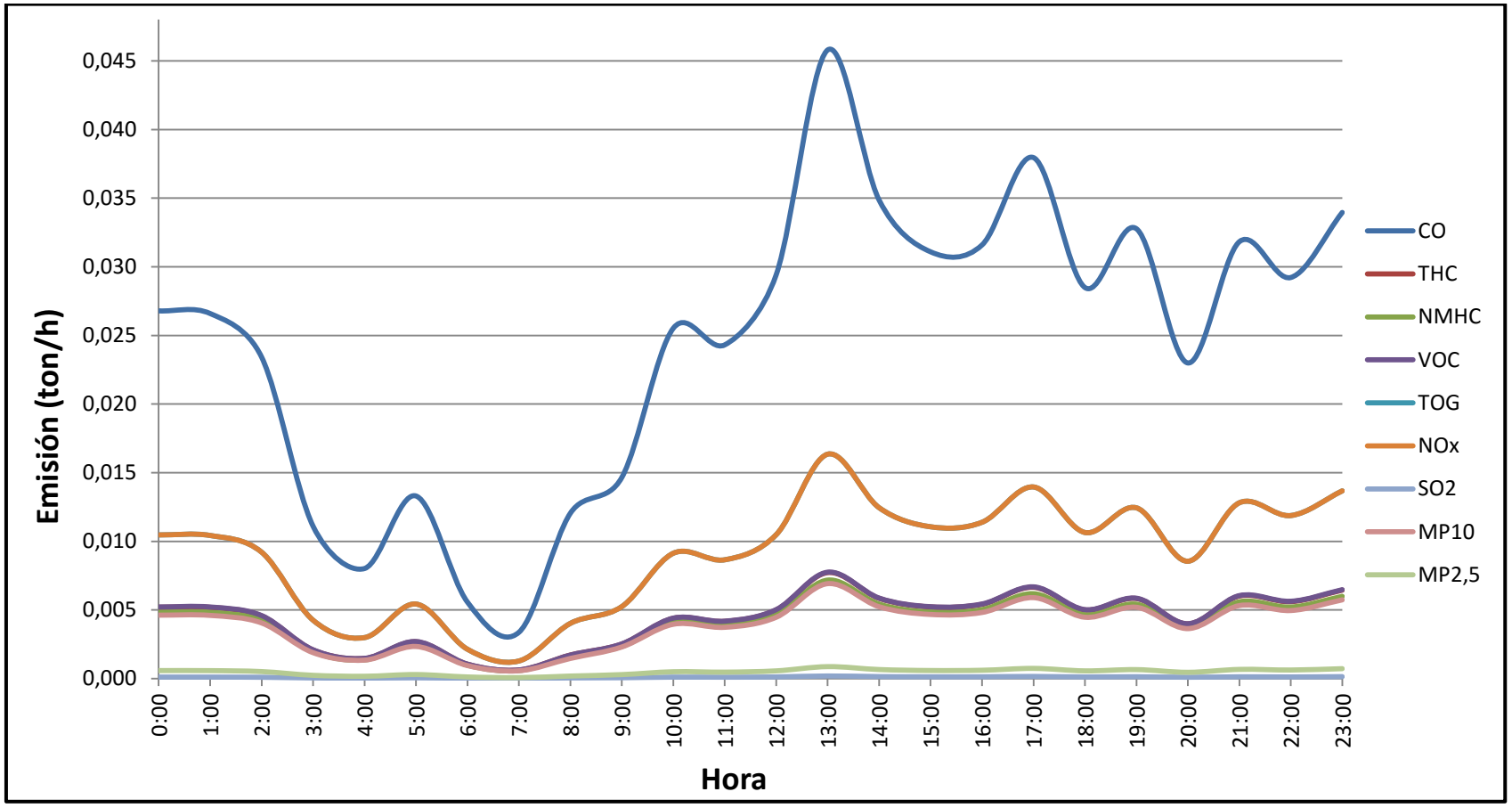
Actividad Emisora	*Tasas de Emisión (ton/año)*								
	CO	*THC*	*NMHC*	*VOC*	*TOG*	*NO_X*	*SO_X*	*MP_{10}*	*$MP_{2,5}$*
Acceso a Estacionamientos	0,233	0,003	0,003	0,002	0,004	0,009	0,002	0,041	0,005
Acceso Rutas de Embarque	18,102	0,390	0,265	0,267	0,414	1,768	0,095	1,611	0,206
Estacionamiento	0,475	0,105	0,100	0,097	0,105	0,068	0,000	0,003	0,003
Rutas Internas	194,58	37,61	35,04	37,90	41,81	78,06	0,79	32,35	4,069
Total	213,39	38,10	35,41	38,26	42,33	79,91	0,89	34,00	4,28

Fuente: Algoritmos 2016.

En la Tabla Nº 23, se observa que las mayores emisiones corresponden a Monóxidos de Carbono y Óxidos de Nitrógeno (NO_x).

Además se presenta en la Figura Nº 14 el perfil de emisión horaria de los resultados obtenidos en la simulación en MOVES.

Figura Nº 14
Perfil horario de emisión de contaminantes



Fuente: Algoritmos 2016.

La Figura Nº 14 muestra que las emisiones obtenidas siguen el perfil horario de vuelos considerado en las variables de entrada a MOVES presentadas en la Figura Nº 9 y Figura Nº 12.

4.2 Tasas de Emisión de Fuentes Externas

Como se mencionó en la Sección 3 del presente documento, las Fuentes Externas consideradas corresponden a las quemas alrededor del Aeropuerto AMB y la erosión eólica en área de explotación de pumicita.

Respecto a las quemas de residuos, el Área de Medio Ambiente de la DGAC durante el año 2015 identificó la cantidad y los lugares donde se produjeron.

4.2.1 Quemas de Residuos

A continuación, en la Tabla Nº 24 se presentan las emisiones generadas por los incendios identificadas alrededor del Aeropuerto según los puntos de mayor ocurrencia de incendios.

Tabla Nº 24
Tasas de Emisiones de Quemas de Residuos, año 2015 (ton/año)

Sector	MP10	MP2,5	NOx	SOx	CH4	NMHC	CO
Autopista Vespucio Norte	0,0008	0,0008	0,0003	0,00005	0,00065	0,0015	0,0015
Camino a Noviciado	0,0008	0,0008	0,0003	0,00005	0,00065	0,0015	0,0015
Camino Lo Echevers	0,0032	0,0032	0,0012	0,0002	0,0026	0,006	0,006
Camino Renca - Lampa	0,0248	0,0248	0,0093	0,00155	0,02015	0,0465	0,0465
Pista 17 L	0,0024	0,0024	0,0009	0,00015	0,00195	0,0045	0,0045
Pista 17 R	0,004	0,004	0,0015	0,00025	0,00325	0,0075	0,0075
Pista 35 R	0,004	0,004	0,0015	0,00025	0,00325	0,0075	0,0075
Sector Este del Aeropuerto	0,0016	0,0016	0,0006	0,0001	0,0013	0,003	0,003
Sector Este Pista 17 L	0,0016	0,0016	0,0006	0,0001	0,0013	0,003	0,003
Sector Este Pista 17 R	0,0016	0,0016	0,0006	0,0001	0,0013	0,003	0,003
Sector Noroeste del Aeropuerto	0,0024	0,0024	0,0009	0,00015	0,00195	0,0045	0,0045
Sector Noroeste Pista 17 L	0,0016	0,0016	0,0006	0,0001	0,0013	0,003	0,003
Sector Noroeste Pista 17 R	0,004	0,004	0,0015	0,00025	0,00325	0,0075	0,0075
Sector Norte del Aeropuerto	0,0008	0,0008	0,0003	0,00005	0,00065	0,0015	0,0015
Sector Norte Pista 17 L	0,0168	0,0168	0,0063	0,00105	0,01365	0,0315	0,0315
Sector Norte Pista 17 R	0,0072	0,0072	0,0027	0,00045	0,00585	0,0135	0,0135
Sector Peralillo	0,0008	0,0008	0,0003	0,00005	0,00065	0,0015	0,0015
Sector Sur del Aeropuerto	0,0008	0,0008	0,0003	0,00005	0,00065	0,0015	0,0015
Sector Suroeste Pista 35 R	0,0008	0,0008	0,0003	0,00005	0,00065	0,0015	0,0015
Total	**0,080**	**0,080**	**0,030**	**0,005**	**0,065**	**0,150**	**0,150**

N/A: No aplica
Fuente: Algoritmos 2016.

En la Tabla anterior, se observa que las mayores tasas de emisión son generadas por los incendios y corresponden a monóxido de carbono (CO), seguido de los hidrocarburos no - metánicos (NMHC).

Cabe mencionar que los mayores valores de emisión de contaminantes se asocian a las quemas producidas en el Camino Renca - Lampa, seguido por el Sector Norte Pista 17 L.

4.2.2 Erosión Eólica

La erosión eólica generada por acción del viento se ve reflejada por la emisión de Material Particulado MP_{10} a la atmósfera que afecta a un área al suroeste de la Pista 35L del Aeropuerto AMB., en la cual existe explotación de pumicita.

En base al área de explotación de pumicita correspondiente a 106,1 hectáreas, se calculó que la emisión por erosión eólica de alrededor de 3,40 ton/año de MP_{10}.

4.3 Tasas de Emisión

La Tabla Nº 25, presenta de manera resumida las emisiones generadas tanto por el aeropuerto AMB, como por las fuentes externas.

Tabla Nº 25
Tasas de Emisión Total Aeropuerto AMB, Año 2015

Actividad Emisora	Tasas de Emisión (ton/año)								
	CO	THC	NMHC	VOC	TOG	NOx	SOx	MP_{10}	$MP_{2.5}$
Aterrizaje	478,7170	60,1190	60,0970	59,7770	60,1190	129,1470	25,2830	11,9030	11,9030
Despegue	696,2220	94,2910	94,2610	93,7610	94,2910	509,8530	48,2000	6,1080	6,1080
Helicópteros	0,0690	0,0020	0,0030	0,0030	0,0030	0,0650	0,0120	0,0000	0,0000
Acceso a Estacionamientos	0,2330	0,0030	0,0030	0,0020	0,0040	0,0090	0,0020	0,0410	0,0050
Acceso Rutas de Embarque	18,1020	0,3900	0,2650	0,2670	0,4140	1,7680	0,0950	1,6110	0,2060
Estacionamiento	0,4750	0,1050	0,1000	0,0970	0,1050	0,0680	0,0000	0,0030	0,0030
Rutas Internas	194,5800	37,6000	35,0400	37,9000	41,8100	78,0600	0,7920	32,3500	4,0700
Calderas	1,1020	0,2710	0,1180	0,1940	0,2710	6,0620	5,3280	0,2380	0,2070
Grupos Electrógenos	4,5450	1,7100	1,5120	1,4640	1,7100	21,0000	1,3950	1,4970	1,4970
Total Tasas de Emisión Fuentes Interior Aeropuerto AMB	**1.394,0450**	**194,4910**	**191,3990**	**193,4650**	**198,7270**	**746,0320**	**81,1070**	**53,7510**	**23,9990**
Quemas de Residuos	0,1500	N/A	0,1500	N/A	0,2150	0,0300	0,0050	0,0800	0,0800
Erosión Eólica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,4000	N/A
Total Tasas de Emisión Fuentes Exterior Aeropuerto AMB	0,1500	N/A	0,1500	N/A	0,2150	0,0300	0,0050	3,4800	0,0800
Total Tasas de Emisión Aeropuerto AMB	**1.394,1950**	**194,4910**	**191,5490**	**193,4650**	**198,9420**	**746,0620**	**81,1120**	**57,2310**	**24,0790**

Fuente: Algoritmos 2016.
N/A: No Aplica

5 Resultados año 2014 con modelo AEDT 2b.

Debido a la actualización del software utilizado para realizar la memoria de cálculo de emisiones para el año 2015, es decir, cambio de software EDMS a AEDT 2b, en donde ocurrió un aumento de las tasas de emisión de todas las fuentes y sus respectivos contaminantes, se realizó una comparación de los resultados del inventario de emisiones del año 2015 con el año 2014 calculando las emisiones de la flota de aeronaves reportada para el año 2014 con el modelo AEDT 2b, calculando todas las variables con el fin de realizar un análisis comparativo más ajustado con lo obtenido en la situación actual, puesto que se realizaron con el mismo modelo. En la siguiente tabla se exponen los resultados del año 2014.

Tabla Nº 26
Tasas de Emisión Total Aeropuerto AMB, Año 2014

Actividad Emisora	*Tasas de Emisión (ton/año)*								
	CO	*THC*	*NMHC*	*VOC*	*TOG*	*NOx*	*SOx*	*MP_{10}*	*$MP_{2.5}$*
Aterrizaje	489,0929	61,9054	61,8965	61,5710	61,9054	125,0871	22,8129	4,6336	4,6336
Despegue	704,9434	91,2330	91,2209	90,7415	91,2330	501,0991	43,5141	2,8015	2,8015
Helicópteros	0,2387	0,0113	0,0111	0,0110	0,0113	0,2725	0,0496	0,0000	0,0000
Acceso a Estacionamientos	0,2342	0,0036	0,0029	0,0028	0,0037	0,0086	0,0014	0,0355	0,0048
Acceso Rutas de Embarque	18,1567	0,6171	0,5457	0,5710	0,6725	1,3654	0,0844	1,4042	0,1794
Estacionamiento	0,4487	0,0971	0,0926	0,0907	0,0979	0,0685	0,0001	0,0024	0,0021
Rutas Internas	194,5800	37,6000	35,0400	37,9000	41,8100	78,0600	0,7920	32,3500	4,0700
Calderas	0,8569	0,1385	0,0925	0,1589	0,2049	4,4090	4,9179	0,1849	0,1561
Grupos Electrógenos	4,7748	1,7965	1,5881	1,5378	1,7965	22,0618	1,4655	1,5727	1,5727
Total Tasas de Emisión Fuentes Interior Aeropuerto AMB	**1413,3263**	**193,4024**	**190,4903**	**192,5847**	**197,7350**	**732,4320**	**73,6379**	**42,9847**	**13,4201**
Quemas de Residuos	0,2475	N/A	0,2475	N/A	0,3548	0,0495	0,0083	0,1320	0,1320
Erosión Eólica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,0400	N/A
Total Tasas de Emisión Fuentes Exterior Aeropuerto AMB	0,2475	N/A	0,2475	N/A	0,3548	0,0495	0,0083	3,1720	0,1320
Total Tasas de Emisión Aeropuerto AMB	**1413,5738**	**193,4024**	**190,7378**	**192,5847**	**198,0897**	**732,4815**	**73,6461**	**46,1567**	**13,5521**

Fuente: Algoritmos 2016.
N/A: No Aplica

6 Análisis comparativo de resultados

A continuación se presenta una comparación de las Tasas de Emisión resultantes por tipo de fuente entre los resultados presentados en la "Actualización Inventario de Emisiones Aeropuerto Arturo Merino Benítez, Año 2014" y los resultados obtenidos en el presente documento para el año 2015.

6.1 Aeronaves

Tabla Nº 27
Variación de las Tasas de Emisión de Aeronaves

Contaminante	Emisión (ton/año)		% de variación
	2014	2015	
CO	1194,3	1175,0	-1,64%
THC	153,1	154,4	0,82%
NMHC	153,1	154,4	0,80%
VOC	152,3	153,5	0,79%
TOG	153,1	154,4	0,82%
NOx	626,5	639,1	1,97%
SOx	66,4	73,5	9,69%
MP_{10}	7,4	18,0	58,72%
$MP_{2,5}$	7,4	18,0	58,72%

Fuente: Algoritmos 2016.

Como se observa en la tabla anterior, las mayores variaciones entre los años 2014 y 2015 se sitúan en los contaminantes MP_{10} y $MP_{2,5}$, con un porcentaje de un 58,72% de aumento al 2015. Si se analizan las configuraciones de las flotas de aeronaves como tres principales conjuntos, que poseen las mayores cantidades de ciclos LTO (ver Tabla Nº 28), se observa que en el año 2015 hay un aumento en las aeronaves tipo Boeing en desmedro de las aeronaves más pequeñas especificadas en el ítem OTROS. Por lo tanto se puede inferir que en el año 2015 aumentan las aeronaves de mayor tonelaje, lo que puede explicar las mayores tasas de emisión en el material particulado, principalmente debido al desgaste de ruedas en el aterrizaje.

En la siguiente se pueden observar los porcentajes enunciados en el párrafo anterior.

Tabla Nº 28
Porcentajes del Conjunto de Aeronaves

Conjunto de Aeronaves	Porcentaje de ciclos LTO	
	2014	2015
AIRBUS	66,6%	63,8%
BOEING	5,2%	19,6%
OTROS	28,2%	16,6%

Fuente: Algoritmos 2016

6.2 Fuentes Internas Aeropuerto sin Aeronaves

Tabla Nº 29
Variación de las emisiones de las fuentes internas, sin tráfico aéreo

Contaminante	Emisión (ton/año)		% de variación
	2014	2015	
CO	219,05	219,04	-0,01%
THC	40,25	40,08	-0,43%
NMHC	37,36	37,04	-0,87%
VOC	40,26	39,92	-0,84%
TOG	44,59	44,31	-0,61%
NO_x	105,97	106,97	0,93%
SO_x	7,26	7,61	4,61%
MP_{10}	35,55	35,74	0,53%
$MP_{2,5}$	5,99	5,99	0,05%

Fuente: Algoritmos 2016

En las fuentes internas como calderas, grupos electrógenos, vehículos particulares, vehículos de pasajeros y vehículos de soporte terrestre, etc., no se observan mayores variaciones, destacando solo al SO_x con un pequeño incremento de un 4,61%, esto se puede deber al aumento de horas de operación de las calderas y grupo electrógenos.

6.3 Fuentes Externas

6.3.1 Erosión Eólica

Tabla Nº 30
Variación de las Tasas de Emisión por Erosión Eólica

Contaminante	Emisión (ton/año)		% de variación
	2014	2015	
MP_{10}	3,04	3,40	11%

Fuente: Algoritmos 2016.

6.3.2 Quemas de Residuos

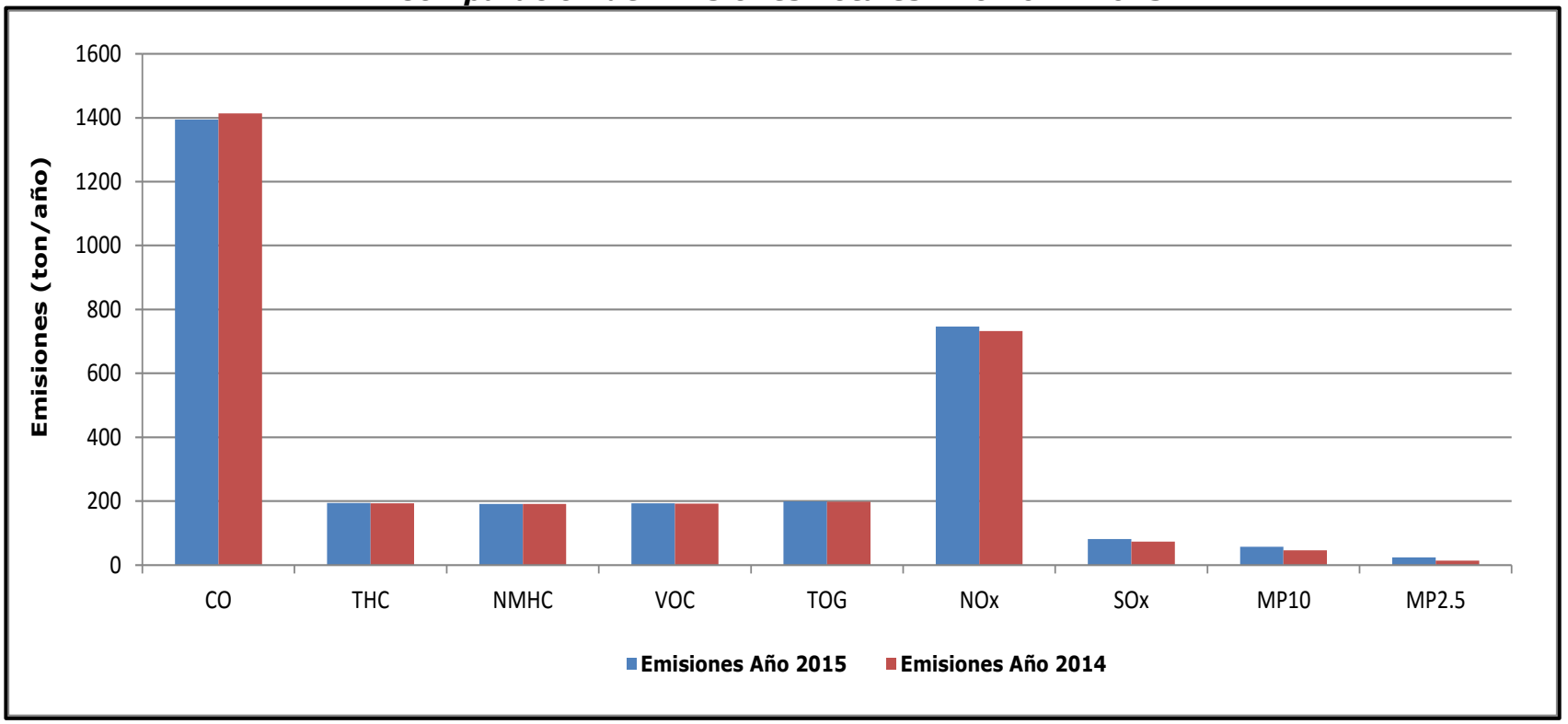
Tabla Nº 31
Variación de las Tasas de Emisión por Quema de Residuos

Contaminante	Emisión (ton/año)		% de variación
	2014	2015	
CO	0,1500	0,2475	-65%
NOx	0,0300	0,0495	-65%
SOx	0,0050	0,0083	-65%
MP_{10}	0,0800	0,1320	-65%
$MP_{2,5}$	0,0800	0,1320	-65%

Fuente: Algoritmos 2016.

En el caso de las fuentes externas, se observa una variación en la tasa de erosión eólica de un 11% debido al aumento de las velocidades de viento caracterizadas como ráfagas para el año 2015. En el caso de las quemas de residuos se nota una disminución de las emisiones, debido a que se reportan menos eventos de quemas durante el año 2015.

Figura Nº 15
Comparación de Emisiones Totales Año 2014-2015



Fuente: Algoritmos 2016.

7 Conclusiones

Respecto de las emisiones de material particulado MP_{10} y $MP_{2,5}$ y gases CO, NMHC, VOC, TOG, NO_X y SO_X, estimadas para las actividades desarrolladas en el Aeropuerto AMB, junto con las emisiones generadas por fuentes externas para el año 2015, es posible señalar que:

- Las mayores emisiones provenientes de las operaciones al interior del Aeropuerto durante el año 2015, se asocian a las Aeronaves en fase de despegue, a excepción de las emisiones de material particulado las cuales son asociadas a la fase de aterrizaje.

- Las máximas emisiones de CO generadas en el Aeropuerto AMB provienen del proceso de despegue, con un 50% de las emisiones totales de CO, mientras que las mínimas emisiones de este contaminante provienen de la operación de los helicópteros, con un 0,005%.

- Las máximas emisiones de NMHC generadas en el Aeropuerto AMB provienen de la operación de despegue de aeronaves que representan el 49% seguido de los aterrizajes equivalente al 31%.

- Las máximas emisiones de VOC generadas en Aeropuerto AMB provienen de la operación de las aeronaves como despegues y aterrizajes que representan el 79% de la emisión total de este contaminante.

- Las máximas emisiones de TOG generadas en el Aeropuerto AMB provienen de la operación de las aeronaves como despegue y aterrizaje que representan el 78% de la emisión total de este contaminante.

- Las máximas emisiones de NO_X generadas en el Aeropuerto AMB provienen de la operación de las aeronaves en proceso de despegue, representando el 68%, seguido de las emisiones producidas por los aterrizajes de aeronaves que equivalen al 17%

- Las máximas emisiones de SO_X generadas en el Aeropuerto AMB provienen de la operación de las aeronaves en proceso de despegue y aterrizaje representando en conjunto el 91% del total.

- Las máximas emisiones de MP_{10} generadas en el Aeropuerto AMB provienen del tránsito de vehículos por las rutas internas, representando el 57% de la emisión total de este contaminante, seguida por la operación de Aeronaves en aterrizaje equivalentes al 21%.

- Las máximas emisiones de $MP_{2,5}$ generadas en el Aeropuerto AMB provienen de la operación de Aeronaves en el proceso de aterrizaje que representan el 49% de la emisión total de este contaminante, seguida por los despegues equivalentes al 25%.

Respecto a las emisiones del tránsito vehicular dentro del Aeropuerto, la mayor cantidad se debe al tránsito de vehículos no particulares y maquinaria por las rutas internas.

- Las emisiones de CO representan un 15% de las emisiones totales del Aeropuerto.

- Las emisiones de NMHC aportan el 18% de las emisiones totales del Aeropuerto.

- Las emisiones de VOC contribuyen con el 20% de las emisiones totales del Aeropuerto.

- Las emisiones de TOG representan un 21% de las emisiones totales del Aeropuerto.

- Las emisiones de NOx aportan un 10% de las emisiones totales del Aeropuerto.

- Las emisiones de SOx representan un 1% de las emisiones totales del Aeropuerto.

- Las emisiones de MP_{10} contribuyen un 57% de las emisiones totales del Aeropuerto.

- Las emisiones de $MP_{2,5}$ representan un 17% de las emisiones totales del Aeropuerto.

Respecto a los análisis comparativos del año 2014 con el año 2015, se puede inferir que los mayores aumentos de emisión en las aeronaves corresponden al material particulado MP-10 y MP.2,5. Respecto a lo anterior, se observa que hay un cambio en la configuración en las aeronaves, donde aumentan en el año 2015 las tipos Boeing en desmedro de las aeronaves más pequeñas. Por lo que debido a su mayor tonelaje podría causar la diferencia sustancial en las emisiones de estos contaminantes por desgaste de neumáticos.

Por parte de las fuentes internas terrestres en el año 2015 no se observa gran variación, solo el contaminante SOx difiere, esto se debe a que hay un aumento en las horas de operación de fuentes fijas para el año 2015.

Para fuentes externas hay una ligera variación de las emisiones de MP10 debido a un aumento de los vientos tipo ráfaga para el año 2015, y finalmente respecto a las quemas se observa una disminución sustancial de sus emisiones principalmente a los menores reportes de quemas para el año 2015.

Al realizar una comparación proporcional con el inventario de emisiones levantado para la región Metropolitana de acuerdo a la actualización del Plan de descontaminación (Estudio "Actualización y sistematización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en la región metropolitana, departamento de física, Universidad de Santiago de Chile 2014), se obtuvo que los aportes calculados para el aeropuerto durante el año 2015, según el presente informe, son los siguientes:

Tabla Nº 32
Aportes de Aeropuerto al Total de Emisiones del Inventario para la RM

Contaminante	Emisión (ton/año)		Aporte porcentual del aeropuerto en la RM
	Inventario Emisiones RM	Aeropuerto 2015	
CO	154.795	1.394	0,9%
NOx	51.386	746	1,5%
SOx	2.544	81	3,2%
MP_{10}	6.578	57	0,9%
$MP_{2,5}$	5.854	24	0,4%
THC	15.148	194	1,3%
VOC	97.028	193	0,2%

Fuente: Algoritmos 2016.

De lo anterior se infiere que la mayoría de los aportes de emisión de contaminantes del aeropuerto se encuentra en el rango de 0,4% a 1,5%. Cabe destacar el SO_x que presenta el mayor aporte de emisión, el cual se encuentra en el orden de un 3,2%.

8 Anexo I

Conteo de flujo vehicular

En el presente anexo se describe la campaña de medición de flujo vehicular realizada en los caminos de acceso al Aeropuerto AMB, actualizando la distribución del flujo vehicular que ingresa a éste. Las mediciones se realizaron durante el mes de julio de 2015.

El ingreso al Aeropuerto se realiza mediante una desviación desde la autopista Costanera Norte a la altura de Avda. Armando Cortines Oriente, desde este punto la ruta se divide en tramos de acceso a las siguientes áreas del Aeropuerto:

- Puerto de embarque de pasajeros.
- Estacionamiento de pasajeros.
- Sector de carga nacional e internacional.
- Sector de hotel y proveedores.
- Torre de control DGAC.

Para contabilizar los vehículos, en cada punto de bifurcación se ubicó un observador que realizó una clasificación y registro de los vehículos que ingresaban por dichos caminos.

Las mediciones se repitieron durante una semana entre los días jueves 02 y miércoles 08 de julio del 2015, en los siguientes horarios:

- Día hábil, desde las 09:00 hrs hasta las 17:00 hrs.
- Día no hábil, desde las 09:00 hrs hasta las 14:00 hrs.

Adicionalmente, se agregó una medición en horario punta, realizada el día miércoles 29 de julio del 2015 entre las 05:30 hrs y las 09:00 hrs.

En todas las mediciones, un observador fue provisto de una planilla y los insumos necesarios para registrar el flujo vehicular observado, diferenciando los vehículos según la siguiente clasificación:

- Moto
- Vehículo liviano (autos, camionetas)
- Furgones (transporte de pasajeros)
- Buses

- Camión de 2 ejes
- Camión de más de 2 ejes

Los resultados de las mediciones realizadas durante una semana, fueron tabulados por día, hora y tipo de vehículos en cada punto de acceso. Ver tablas A.1 a A.5. Estos resultados fueron promediados para cada camino de acceso. Ver Tabla A.6.

Los resultados de las mediciones realizadas en horario de 05:30 horas a 09:00 horas, se presentan en la Tabla Nº A.7. Estos valores fueron sumados a los promedios de la tabla anterior, para cada camino de acceso. Los resultados se muestran en la Tabla Nº A.8.

Luego se totalizaron los vehículos por acceso. Ver Tabla Nº A.9. A partir de estos resultados, se procedió a calcular la distribución de flujo vehicular. Ver Tabla Nº A.10

Finalmente, estos datos fueron utilizados para la actualización del cálculo de distribución de flujo vehicular en los caminos de acceso al Aeropuerto Arturo Merino Benítez, para la elaboración del Inventario de Emisiones Atmosféricas del año 2015.

Tabla Nº A. 1
Flujo Vehicular hacia Puerto de Embarque

Días	Horas	Moto	Veh-liv	Furgón	Bus	C. 2 ejes	C. Más 2 ejes
Jueves	7	9	2.557	664	90	21	4
Viernes	7	11	2.788	731	80	29	0
Sábado	5	0	1.734	416	68	13	0
Domingo	5	1	2.122	487	57	5	0
Lunes	7	1	2.963	713	94	27	0
Martes	7	1	2.110	625	72	20	2
Miércoles	7	0	2.054	506	67	12	0
Total	**45**	**23**	**16.327**	**4.142**	**528**	**125**	**5**

Fuente: Algoritmos 2016.

Tabla Nº A. 2
Flujo Vehicular hacia Sector de Estacionamiento

Días	Horas	Moto	Veh-liv	Furgón	Bus	C. 2 ejes	C. Más 2 ejes
Jueves	7	5	493	82	0	6	0
Viernes	7	1	299	232	27	1	0
Sábado	5	2	1.092	167	2	3	0
Domingo	5	0	1.147	88	2	1	0
Lunes	7	2	1.737	192	7	8	0
Martes	7	2	1.352	166	6	5	0
Miércoles	7	0	1.467	207	8	6	0
Total	**45**	**11**	**7.585**	**1.132**	**52**	**29**	**0**

Fuente: Algoritmos 2016.

Tabla Nº A. 3
Flujo Vehicular hacia Terminal de Carga

Días	Horas	Moto	Veh-liv	Furgón	Bus	C. 2 ejes	C. Más 2 ejes
Jueves	7	36	558	516	82	155	1
Viernes	7	27	395	383	71	104	4
Sábado	5	1	203	233	46	12	2
Domingo	5	3	201	213	49	3	1
Lunes	7	18	404	443	85	116	2
Martes	7	21	269	345	71	113	1
Miércoles	7	19	346	366	68	93	7
Total	**45**	**124**	**2.374**	**2.498**	**472**	**595**	**17**

Fuente: Algoritmos 2016.

Tabla Nº A. 4
Flujo Vehicular hacia Sector Hotel y Proveedores

Días	Horas	Moto	Veh-liv	Furgón	Bus	C. 2 ejes	C. Más 2 ejes
Jueves	7	13	846	84	17	76	2
Viernes	7	22	1.120	74	7	62	2
Sábado	5	9	546	57	4	28	3
Domingo	5	3	502	33	2	7	1
Lunes	7	28	1.171	108	16	64	2
Martes	7	15	981	100	14	67	2
Miércoles	7	19	1.063	112	9	66	5
Total	**45**	**108**	**6.228**	**567**	**69**	**369**	**17**

Fuente: Algoritmos 2016.

Tabla Nº A. 5
Flujo Vehicular hacia Sector DGAC

Días	Horas	Moto	Veh-liv	Furgón	Bus	C. 2 ejes	C. Más 2 ejes
Jueves	7	10	349	159	52	37	6
Viernes	7	19	440	188	51	47	9
Sábado	5	0	100	74	16	11	3
Domingo	5	0	94	57	6	5	0
Lunes	7	11	402	192	36	43	2
Martes	7	14	407	188	42	62	9
Miércoles	7	11	385	199	42	50	4
Total	**45**	**65**	**2.177**	**1.057**	**244**	**255**	**32**

Fuente: Algoritmos 2016.

Tabla Nº A. 6
Totales Promedios de Vehículos Contabilizados durante 1 Semana

Caminos	Moto	Veh-liv	Furgón	Bus	C. 2 ejes	C. + 2 ejes
Puerto de Embarque	3	2333	592	75	18	1
Estacionamiento	2	1285	162	7	4	0
Terminal de carga	18	339	357	67	85	3
Hotel proveedores	16	890	81	10	53	2
DGAC	9	311	151	35	36	5

Fuente: Algoritmos 2016.

Tabla Nº A. 7
Flujo Vehicular Horario Punta, miércoles 29 de julio

Caminos	Moto	Veh-liv	Furgón	Bus	C. 2 ejes	C. + 2 ejes
Puerto de Embarque	0	1.623	409	39	7	4
Estacionamiento	0	1.032	122	5	1	0
Terminal de carga	12	181	165	40	6	4
Hotel proveedores	8	341	50	36	9	5
DGAC	40	649	118	38	11	2
Total	**60**	**3.826**	**864**	**158**	**34**	**15**

Fuente: Algoritmos 2016.

Tabla Nº A. 8
Flujo Vehicular Estimado para cada Camino de Acceso

Caminos	Moto	Veh-liv	Furgón	Bus	C. 2 ejes	C. + 2 ejes
Puerto de Embarque	3	3956	1001	114	25	5
Estacionamiento	2	2317	284	12	5	0
Terminal de carga	30	520	522	107	91	7
Hotel proveedores	24	1231	131	46	62	7
DGAC	49	960	269	73	47	7

Fuente: Algoritmos 2016.

Tabla Nº A. 9
Total de Vehículos Contabilizados por Acceso

Caminos	Total de Veh. Por Camino de Acesso	Gran Total
Puerto de Embarque	5.104	11.904
Estacionamiento	2.621	
Terminal de carga	1.277	
Hotel Proveedores	1.501	
DGAC	1.401	

Fuente: Algoritmos 2016.

Tabla Nº A. 10
Porcentaje de Distribución de Flujo Vehicular por Camino de Acceso (%)

Caminos	*Distribución de Flujo Vehicular*	*Total*
Puerto de Embarque	42,9	100
Estacionamiento	22,0	
Terminal de carga	10,7	
Hotel Proveedores	12,6	
DGAC	11,8	

Fuente: Algoritmos 2016.

Emisiones por Fuentes Móviles

Los resultados de la simulación en MOVES están detallados en el archivo Resultados_Emisiones_MOVES.xlsx