

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA
MENCIÓN MOTORES**

**“ESTUDIO TÉCNICO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
PROVOCADA POR LOS MOTORES DE AVIACIÓN EN LAS
INMEDIACIONES DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL
MARISCAL SUCRE”**

POR:

PINEDA SERRANO JUAN CARLOS

Trabajo de graduación como requisito para la obtención del Título de:

**TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA
MENCIÓN MOTORES**

2010

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por el Sr. PINEDA SERRANO JUAN CARLOS, como requerimiento parcial para la obtención del Título de TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONAUTICA

Ing. Sandro Espín

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

Latacunga, 30 -09-2010

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la memoria de mi abuelita María Dorinda Miranda Castillo quien encendió la chispa generadora de superación a mi madre Senovia Donatila Serrano Miranda y a mi tía Gricelda Abigail Serrano Miranda quienes con su esfuerzo, dedicación, apoyo, comprensión y amor que sumado al ejemplo, disciplina brindado por mi hermano Manuel Alejandro Pineda Serrano y mi primo Ernesto Alonso Rodríguez Serrano; quienes me han apoyado con sus consejos en los momentos que más lo necesitaba son en conjunto el impulso más importante para cumplir con esta meta de culminar mis estudios superiores y poder obtener el título de Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica por tanto para todos ellos mis mejores deseos.

JUAN CARLOS PINEDA SERRANO

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por haberme brindado la vida y haber estado conmigo siempre guiándome y poniendo a las personas idóneas para que pueda cumplir con esta meta.

De todo corazón deseo extender el mayor agradecimientos a mi familia, que sin duda son los altos partícipes de la consecuencia de este trabajo.

Agradezco de manera especial a Susana Belén Mancero Viscaíno por haberme impulsado, apoyado, guiado durante todo el proyecto siendo la inspiración para cumplir con este sueño.

Un sincero agradecimiento a CORPAIRE (Corporación Municipal Para El Mejoramiento Del Aire de Quito) por haberme facilitado un gran compendio de bibliografía así como permitirme usar sus datos e información técnica indispensable para la realizar el trabajo de graduación.

A toda mi familia, personas más allegadas y amigos que siempre se preocuparon y aportaron con ayuda, apoyo, gracias a todos.

JUAN CARLOS PINEDA SERRANO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Página

Portada.....	I
Certificación.....	II
Dedicatoria.....	III
Agradecimiento.....	IV
Índice de Contenidos.....	V
Índice de Tablas.....	VI
Índice Cuadros.....	VII
Índice de Figuras.....	VIII
Índice de Anexos.....	IX
Resumen.....	1
Summary.....	2

CAPÍTULO I

EL TEMA

1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Justificación.....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivo Específico.....	7
1.4 Alcance.....	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Motor a reacción.....	8
2.1.1. Definición.....	8
2.1.2. Fases y componentes que determinan el funcionamiento de los motores a reacción usados en aviación.....	8
2.1.2.1. Admisión.....	9

2.1.2.1.1. Entrada de aire.....	9
2.1.2.1.2. Tipos de entrada de aire.....	10
2.1.2.2. Compresión.....	10
2.1.2.2.1. Compresor.....	10
2.1.2.2.1.1. Tipos de compresor.....	11
2.1.2.3. Combustión.....	12
2.1.2.3.1. Sistema de combustible del motor.....	12
2.1.2.3.2. Cámara de combustión.....	14
2.1.2.3.2.1. Tipos de cámara de combustión.....	15
2.1.2.3.3. Inyectores.....	18
2.1.2.3.4. Bujías.....	18
2.1.2.4. Sección de Turbina.....	18
2.1.2.4.1. Turbina.....	19
2.1.2.5. Escape.....	19
2.1.2.5.1. Tobera o salida.....	20
2.1.3. Ciclo termodinámico para un motor de aviación.....	21
2.1.3.1. Comparación de ciclos termodinámico OTTO y BRAYTON.....	24
2.2. Contaminación atmosférica.....	25
2.2.1. Definiciones básicas.....	25
2.2.1.1. Agentes contaminantes.....	25
2.2.1.2. Fuentes Contaminantes.....	25
2.2.1.2.1. Fuentes de contaminación natural.....	25
2.2.1.2.2. Fuentes de contaminación antropogénica.....	26
2.3. Contaminación por aviación.....	27
2.3.1. Emisiones producto de la operación de motores a reacción.....	29
2.3.2. Ecuación Redox de las emisiones producto de la operación de los motores.....	30
2.3.3. Formación de contaminantes.....	31
2.3.3.1. Ciclo Lto.....	31
2.3.3.2. CO e hidrocarburos no quemados HC.....	33
2.3.3.3. Óxidos de nitrógeno.....	34
2.3.3.4. Humos.....	36

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Ficha técnica del estudio de impacto ambiental.....	37
3.1.1 Antecedentes.....	38
3.1.2 Ubicación y acceso.....	39
3.1.3 Marco legal e institucional.....	39
3.1.4 Norma específica.....	40
3.1.5 Legislación local.....	41
3.2 Línea base (diagnostico ambiental).....	42
3.2.1 Aeropuerto Mariscal Sucre.....	42
3.2.2 Aspectos generales.....	42
3.2.2.1 Procesos industriales.....	42
3.2.2.2 Equipos y materiales	43
3.2.2.3 Infraestructura básica.....	43
3.2.3 Línea de influencia.....	44
3.2.3.1 Límites	44
3.2.3.2 Geología.....	44
3.2.3.3 Hidrogeología.....	45
3.2.3.4 Suelos.....	45
3.2.3.5 Clima.....	46
3.2.3.5.1 Temperatura.....	46
3.2.3.5.2 Precipitaciones.....	46
3.2.3.6 Aire.....	47
3.2.3.6.1 Datos de la calidad del aire de Quito.....	47
3.2.3.7 Paisaje natural.....	50
3.2.3.7.1.1 Medio biótico.....	50
3.2.3.7.1.2 Flora.....	50
3.2.3.7.1.3 Fauna.....	50
3.2.3.7.1.4 Socio económico.....	51
3.2.3.7.1.5 Pasivos ambientales.....	51
3.2.4 Análisis de riesgos.....	51
3.2.5 Determinación de áreas de influencia: directa, indirecta y sensibles.....	52

3.3 Manejo e inclusión de criterios técnicos en la matriz para el control de emisiones.....	54
3.3.1 Modelo del cálculo de emisiones para determinar la calidad de aire local en un aeropuerto.....	55
3.3.1.1 Definición.....	55
3.3.1.2 Generalidades.....	55
3.3.1.3 Propósitos del inventario de emisiones.....	55
3.3.1.4 Parámetros del inventarios de emisiones.....	56
3.3.1.4.1 Factores a considerar en el desarrollo inventario de emisiones.....	56
3.3.1.4.2 Fuentes de emisiones en los aeropuertos.....	57
3.3.1.4.3 Factor de error en las estimaciones.....	59
3.3.1.5 Ecuaciones definidas para el cálculo de emisiones	60
3.3.1.5.1 Ecuaciones para el ciclo Lto.....	62
3.3.1.5.1.1 Factores de emisión por tipo de aeronave para el ciclo Lto.....	62
3.3.1.5.2 Ecuaciones para la unidad auxiliar de potencia A.P.U.....	65
3.3.1.5.2.1 Factores de emisión acorde al tiempo del uso del A.P.U.....	66
3.3.1.5.3 Factores para el cálculo de consumo de combustible de vuelo crucero acorde al tipo de aeronave.....	66
3.3.1.5.4 Ecuaciones para el cálculo de emisiones de las fuentes fijas y móviles en el aeropuerto	67
3.3.2 El tráfico aéreo en aeropuerto de Quito.....	69
3.3.2.1 Composición de la flota de aeronaves.....	70
3.3.2.2 Factores de emisión seleccionados conforme al nivel de operación de las aeronaves.....	71
3.3.2.3 Ejemplificación del cálculo de emisiones para el avión Air Bus A320...72	
3.3.2.3.1 Descripción del avión A320.....	73
3.3.2.3.2 Cálculos de estimación de producción de contaminantes y consumo de combustible en función del nivel promedio de operación.	75
3.4 Reducción de la contaminación.....	78
3.4.1 Antecedentes.....	79
3.4.1.1 Impacto del dimensionamiento de las cámara de combustión en la contaminación.....	79
3.4.1.2 Requerimientos para una combustión estable.....	80
3.4.2 Mitigación de la contaminación.....	80

3.4.2.1	Conceptos de tecnologías para reducir la contaminación en la sección de combustión del motor.....	81
3.4.2.1.1	Sistema de combustible.....	81
3.4.2.1.1.1	FADEC (full authority engine control).....	81
3.4.2.1.2	Sistema de inyección.....	85
3.4.2.1.3	Reemplazo de carburantes.....	85
3.4.2.1.4	Cámara de combustión.....	86
3.4.2.1.4.1	Inyección de agua o de vapor.....	86
3.4.2.1.4.2	Inyección de amoníaco.....	87
3.4.2.1.4.3	Optimización del reparto del aire.....	88
3.4.2.1.4.4	Optimización de reparto del carburante.....	89
3.4.2.1.4.5	Acortamiento de la cámara de combustión.....	89
3.4.2.1.5	Acción sobre el ciclo del motor.....	90
3.4.2.2	Desarrollo y avances en la tecnología de la construcción.....	90
3.4.2.3	Nuevas tecnologías.....	91
3.4.2.3.1	Inyección escalonada.....	91
3.4.2.3.2	Geometría variable.....	92
3.4.2.3.3	Inyección de pre-mezcla pobre.....	93
3.4.2.3.4	Combustión rica, dilución rápida pobre.....	94
3.4.2.3.5	Combustión catalítica.....	95
3.4.2.4	Aplicación de las tecnologías para reducir la contaminación en los motores Gn-X.....	96
3.4.2.4.1	Descripción del motor.....	97
3.4.2.4.2	Componentes innovadores del motor Gen-x.....	98
3.4.2.4.2.1	Fan y entrada de aire.....	98
3.4.2.4.2.2	Cámara de combustión.....	99
3.4.2.4.2.3	Turbina.....	100

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	Conclusiones.....	101
-----	-------------------	-----

4.2 Recomendaciones.....	103
4.3 Glosario de términos.....	105
4.4 Siglas.....	107
4.5 Bibliografía.....	108

ÍNDICE GENERAL DE TABLAS

CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Concentración máxima diaria de los promedios móviles de 24 horas, material particulado fino (PM _{2.5}) en µg/m ³ . Estación Cotocollao (Cot).....	48
Tabla 3.2 Concentración máxima diaria de los promedios móviles de 24 horas, dióxido de azufre (SO ₂) en µg/m ³ . Estación Cotocollao (Cot).....	48
Tabla 3.3 Concentración máxima diaria de los promedios móviles de 8 horas, monóxido de carbono (CO) en mg/m ³ . Estación Cotocollao (Cot).....	49
Tabla 3.4 Concentración máxima diaria de los promedios móviles de 8 horas, ozono (O ₃) en µg/m ³ . Estación Cotocollao (Cot).....	49
Tabla 3.5 Concentración máxima diaria de los promedios móviles de 24 horas, dióxido de nitrógeno (NO ₂) en µg/m ³ . Estación Cotocollao (Cot).....	50
Tabla 3.6 Factores de emisión y consumo de combustible por tipo de aeronave en el ciclo LTO.....	62
Tabla 3.7 Factor de emisiones y consumo de combustible en función del tiempo de uso del APU.....	66
Tabla 3.8 Consumo de combustible por tipo de aeronave para 130km de vuelo crucero.....	66
Tabla 3.9 Operaciones en el aeropuerto de Quito durante el año 2004.....	69
Tabla 3.10 Participación de tipos de avión en las operaciones del aeropuerto de Quito durante el año 2004.....	70
Tabla 3.11 Factores de emisión seleccionados (kg LTO ⁻¹).....	71
Tabla 3.12 Características del motor CFM56.....	74

ÍNDICE GENERAL DE CUADROS

CAPÍTULO III

Cuadro 3.1 Ubicación geográfica del aeropuerto Mariscal Sucre.....	37
Cuadro 3.2 Datos climáticos sector aeropuerto Mariscal Sucre.....	45
Cuadro 3.3 Riesgos en la salud provocados por los contaminantes.....	51
Cuadro 3.4 Factores que se deben tomar en cuenta al elaborar un inventario de emisiones.....	56
Cuadro 3.5 Incidencia de las fuentes de emisiones en los aeropuertos.....	57
Cuadro 3.6 Posibles factores de error en las estimaciones producto del cálculo de emisiones.....	60
Cuadro 3.7 Aplicación del cálculo de emisiones para el avión Air Bus A320.....	76

ÍNDICE GENERAL DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 2.1 Fases de funcionamiento de un motor a reacción.....	9
Figura 2.2 Diseño de la toma de entrada de acuerdo al Mach de diseño.....	10
Figura 2.3 Componentes del compresor centrífugo.....	11
Figura 2.4 Flujo de aire primario y secundario en el motor turbo fan.....	12
Figura 2.5 Esquema del sistema de combustible del motor.....	13
Figura 2.6 Cámara de combustión y sus partes.....	14
Figura 2.7 Cámaras de combustión tubular.....	16
Figura 2.8 Cámaras de combustión anular.....	17
Figura 2.9 Esquema de cámara tubo-anular.....	17
Figura 2.10 Tipos de inyección de combustible.	18
Figura 2.11 Sección de turbina del motor.....	19
Figura 2.12 Tobera convergente-divergente.....	20
Figura 2.13 Tobera de salida Motor turboreactor del F/A-18 Hournet.....	20
Figura 2.14 Ciclo Brayton de un motor en su modalidad de ciclo abierto.....	22
Figura 2.15 Diagramas de los procesos estados descritos en el ciclo Brayton.....	23

Figura 2.16 Comparación de eficiencia de ciclos Brayton y Otto.....	24
Figura 2.17 Heinkel He 178 Primer avión con motor a reacción.....	28
Figura 2.18 Havilland Comet Primer avión commercial con motor a reacción...	29
Figura 2.19 Ciclo LTO y Fase Crucero.....	31
Figura 2.20 Ciclo Landing/Take-off.....	32
Figura 2.21 Desglose de las emisiones de las aeronaves según el segmento de vuelo acorde a su altura.....	32
Figura 2.22 Influencia de las condiciones de funcionamiento de la cámara de combustión sobre el índice de emisión del CO (IECO).....	34
Figura 2.23 Influencia de las condiciones de funcionamiento de la cámara de combustión sobre el índice de emisión de hidrocarburos no quemados (IECH)...	34
Figura 2.24 Niveles de producción de Nx en comparación con otras fuentes...	35
Figura 2.25 Influencia de las condiciones de funcionamiento de la cámara de combustión sobre el índice de emisión del NOx (IENox).....	35
Figura 2.26 Influencia de las condiciones de funcionamiento de la cámara de combustión sobre la emisión de humos.....	36

CAPÍTULO III

Figura 3.1 Vista satelital Aeropuerto Mariscal Sucre.....	42
Figura 3.2 Ubicación del Aeropuerto de Quito.....	43
Figura 3.3 El ciclo LTO.....	61
Figura 3.4 Avión Air Bus 320 De Iberia.....	73
Figura 3.5 Motor CFM56, Vista trasera del CFM56-5 R.....	73
Figura 3.6 Comparación de los índices de CO calculados y medidos.....	79
Figura 3.7 Influencia de la longitud de la cámara.....	79
Figura 3.8 Influencia de la relación de compresión sobre la emisión de NOx.....	81
Figura 3.9 Mejora del sistema de inyección.....	85
Figura 3.10 Turbina de gas de doble eje con inyección de agua.....	86
Figura 3.11 Esquema de un combustor catalítico.....	87
Figura 3.12 Cámara de dilución precoz.....	89
Figura 3.13 Cámara de combustión ultracorta.....	91
Figura 3.14 Cámara de combustión con dos cabezas.....	92
Figura 3.15 Sistema de inyección de geometría variable.....	93

Figura 3.16 Cámara de combustión con premezcla pobre.....	94
Figura 3.17 Cámara de combustión rica, dilución rápida, pobre.....	95
Figura 3.18 Cámara de combustión catalítica.....	95
Figura 3.19 El motor Gen X.....	96
Figura 3.20 Fan y conjunto de entrada de aire en el motor GenX.....	98
Figura 3.21 Depurado del aire de entrada en el motor GenX	98
Figura 3.22 Cámara de combustión con tecnología TAPS(Twin Anular Pre-mixing Swirler).....	99
Figura 3.23 Combustión en el motor GenX.....	99
Figura 3.24 Turbina de motor GenX.....	100

INDICE DE ANEXOS

- ANEXO A** Norma ecuatoriana de la calidad de aire.
- ANEXO B** Norma técnica ambiental 0213.
- ANEXO C** Plan de manejo ambiental para el Aeropuerto Mariscal Sucre propuesto por Quiport.
- ANEXO D** Informe de la calidad de aire de Quito.
- ANEXO E** Fotografías de aviones Air bus A320 que son parte de las flotas nacionales.
- ANEXO F** Anteproyecto aceptado
- ANEXO G** (Anteproyecto aceptado) Encuesta planteada al personal inmerso en el medio aeronáutico. (SAP Y TAME).

RESUMEN

El desarrollo del presente trabajo tiene como objetivo el estudiar la contaminación atmosférica provocada por fuentes antropogénicas fruto del transporte aéreo; por tanto una vez que se han obtenido datos que reflejan la realidad en los diferentes aeropuertos a nivel de Latinoamérica en cuanto a la producción de emisiones provocada por este tipo de fuente es imprescindible el recopilar información acerca de este fenómeno con el fin de conocerlo, comprenderlo para a su vez buscar soluciones integrales a esta problemática. La implementación de este estudio de investigación servirá como herramienta para contribuir al conocimiento técnico del origen y el nivel de incidencia de los componentes en la calidad de la combustión de un hidrocarburo en un motor a reacción y en la formación de contaminantes en los mismos. Tras identificar las fuentes de emisión y los problemas relacionados con la calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito en función de inventarios de emisiones con la descripción de algunas variables meteorológicas por medio de una matriz lógica que permite integrar los conocimientos técnicos y ambientales en forma secuencial se obtiene de una manera didáctica y práctica un conjunto de resultados de forma versátil y optimizada de los procesos que intervienen en un estudio de estas características generando así la necesidad de tener datos porcentuales y reales de la presencia de los principales contaminantes (CO, CO₂, Nx, SO₂) producto de la combustión de combustibles fósiles en las cámaras de combustión de este tipo de motores usados en las aeronaves de las compañías nacionales que transitan en el Aeropuerto Mariscal Sucre.

Finalmente se escoge entonces como una solución la recopilación de un conjunto de nociones que permitan evidenciar el real aporte emisor del tráfico aéreo en las inmediaciones del aeropuerto, cuantificando así todos los elementos del terminal aéreo; incluidas las operaciones de las aeronaves y los movimientos de los pasajeros, manipulación de la carga, las necesidades de infraestructuras aeroportuarias, y los volúmenes de tráfico de vehículos de superficie; siendo el icono técnico necesario para plantear leyes y gestores de las mismas que busquen ser un canal eficaz de vigilancia en el cumplimiento

de tratados internacionales con el fin de establecer una política de mejora continua en cuanto al control y mitigación de emisiones contaminantes.

SUMMARY

The development of this work aims to study air pollution caused by anthropogenic sources of the air transport, therefore once you have data that reflect the reality in different airports in Latin America at about the production of emissions caused by this type of source is essential gather information about this phenomenon in order to know, understand in searching for solutions to this very contentious issue.

The implementation of this research study will serve as a tool for furthering the technical knowledge of the origin and level of incidence of the components in the quality of hydrocarbon combustion in a jet engine and the formation of pollutants in them.

After identifying emission sources and problems related to air quality Quito Metropolitan District based on emission inventories with a description of some meteorological variables by means of a logic array that allows the integration of environmental expertise and technical expertise is obtained easily an result versatile and optimized of processes involved in a study of its kind thus generating the need for data and actual percentage of the presence of major pollutants (CO, CO₂, Nx, SO₂) resulting from the combustion of fossil fuels in the combustion chambers of this type to used in aircraft engines of the national companies in the Mariscal Sucre International Airport.

Finally, solution is collect of a set of notions that reveal the actual contribution of air traffic in the airport, and quantifying all elements of the air terminal, including aircraft operations and movements passengers, cargo handling, airport infrastructure needs and traffic volumes of surface vehicles, being necessary this to make technical laws who seek to be an effective channel for monitoring compliance with international treaties to establish a policy of continuous improvement in the control and mitigation of pollution emissions.

CAPITULO I

EL TEMA

1.1 Antecedentes

La (OACI) Organización de Aviación Civil Internacional con el fin de contribuir a la protección del medio ambiente crea en el año de 1981 un compendio de normas técnicas para los motores de las aeronaves, orientadas a responder a las preocupaciones relacionadas con las emisiones que afectan la calidad del aire en las proximidades de los aeropuertos.

Estas normas establecen los límites del motor de NOx, CO, HC, y el humo de referencia para el aterrizaje y despegue (LTO) de ciclo de hasta 915 metros (3.000 pies) de altura sobre la pista principalmente. La certificación acorde a la normativa debería ser eficaz para toda la vida del motor pero no hay ningún requisito para la producción de las emisiones después del mantenimiento, reparaciones o inspecciones realizadas en los motores. Por otra parte no hay normas de la OACI aplicables a cualquier tipo de emisión de motores: turbohélice, pistón y helicóptero.

Una vez que se han obtenido datos que reflejan la realidad en los diferentes aeropuertos a nivel de Latinoamérica en cuanto a contaminación atmosférica provocada por fuentes antropogénicas fruto del transporte aéreo y que circunscriben la realidad de toda una región en la que nuestro país se ve inmersa a través de la desatención y la poca importancia que se le ha brindado al fenómeno contaminación. Es necesario mencionar que pese a ser conocedores de este escenario las normativas en cuanto al control de emisiones producto del tránsito de aeronaves en nuestro país han quedado al libre albedrío de los gobiernos

seccionales el dictaminar los reglamentos para el control de contaminantes en base a los límites ambientales permitidos en cada locación según la [Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire](#).

Para evidenciar la realidad de la problemática antes mencionada CORPAIRE (Corporación Municipal Para El Mejoramiento Del Aire de Quito) que es una institución constituida por dos unidades técnicas: reducción de emisiones vehiculares y monitoreo atmosférico siendo esta la primera de esa naturaleza en nuestro país; dentro de las múltiples acciones que toma para el cumplimiento de sus objetivos del monitoreo atmosférico construye el inventario bienal de emisiones atmosféricas del Distrito Metropolitano de Quito a fin de estimar el aporte, entre ellas se incluye al tráfico aéreo en los aeropuertos.

Las comprobadas emisiones de gaseosas CO, CO₂, Nx y SO₂ de esta fuente en las inmediaciones del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre son en su mayoría producto de la combustión de combustibles fósiles usados para su operación; motivo por el cual las investigaciones están orientadas a la recopilación de información de utilidad tanto para la modelización de la calidad del aire, como la inclusión de políticas de gestión ambiental para el control de la contaminación.

Con este objetivo, se ha realizado los presentes estudios técnicos que involucran las operaciones de transito de aeronaves que usan motores a reacción en el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre y quienes se relacionan con ellas; de esta manera se podrá concretar una propuesta que pueda aportar con ideas y nociones de solución a esta difícil y desatendida problemática, que en definitiva se orienta a incluir dentro de los procesos normalizados criterios técnicos adicionales para reflejar el impacto real que provoca el tránsito de aeronaves sobre un territorio determinado.

Resulta entonces prioritario, el realizar el estudio de alternativas orientadas a colaborar con criterios técnicos que permitan incluirse a estudios de esta naturaleza y puedan reflejar el verdadero impacto de este tipo de fuente contaminante sobre un delicado ecosistema como el nuestro consiguiendo alternativas de solución integrales.

1.2 Justificación e Importancia.

El crecimiento urbano y el desarrollo industrial tienen como resultado el deterioro de la calidad del aire. Las consecuencias de esta contaminación no son sólo inmediatas, como los efectos sobre la salud, sino que contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento del planeta. La reducción de emisiones es un reto irrenunciable para nuestra sociedad hoy en día. Un reto en el que El INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO, no es ajeno ya que como visión y objetivo fundamental y la razón de ser del mismo es brindar educación integral y profesional en el campo aeronáutico con conciencia ambiental; formando profesionales que estén en capacidad para trabajar para las entidades que se ocupan de combatir este fenómeno. Por consecuencia nos exige ser poseedores de un conocimiento global de la problemática ambiental provocada por la contaminación generada por las aeronaves hacia la atmósfera y estar en capacidad de realizar labores de control, así como también de minimización de los agentes contaminantes atmosféricos, tanto en ámbitos urbanos como industriales de manera especial en las aeronaves.

La necesidad de controlar y reducir las emisiones contaminantes atmosféricas está generando nuevos campos para la aplicación profesional orientada hacia la gestión ambiental, dentro de áreas encargadas del cuidado del medio ambiente de las Instituciones Públicas y Privadas.

También la industria aeronáutica es sensible a esta problemática, por lo que la demanda de técnicos y especialistas en gestión de emisiones aumenta cada día. Asimismo, la docencia, en tareas relacionadas con la formación ocupacional y continua en el área medioambiental, y la investigación, en entidades dedicadas al control de emisiones y el estudio de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud, ofrecen un interesante panorama laboral para un Especialista en Mecánica con enfoque ambiental.

La implementación de este estudio de investigación servirá como herramienta para contribuir al conocimiento de medios técnicos disponibles para la determinación, la reducción y el control de la contaminación atmosférica y simultáneamente reflejará un análisis a la legislación aplicable a nivel internacional, comunitario y estatal sobre emisiones contaminantes, tomando muy en cuenta las leyes y reglamentos que la Dirección de Aviación Civil posee.

El sembrar la iniciativa en los técnicos a aprender y analizar los conceptos básicos de la ecología, de la mecánica aeronáutica y del fenómeno de la contaminación en aras de alcanzar un conocimiento profundo sobre las características fundamentales de la polución atmosférica a través del conocimiento ambiental, así como también las características de los agentes contaminantes y de sus efectos sobre el medioambiente y la salud pública son el respaldo y el apoyo a la investigación.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

“IMPLEMENTAR UN ESTUDIO TÉCNICO DE LA CONTAMINACION ATMOSFÉRICA PROVOCADA POR LOS MOTORES DE AVIACIÓN EN LAS INMEDIACIONES DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL MARISCAL SUCRE”

1.3.2 Específicos

- ▲ Realizar un estudio bibliográfico de nociones y conceptos básicos de contaminación atmosférica.
- ▲ Estudiar el origen y el nivel de incidencia de los componentes de un motor a reacción en la formación de contaminantes atmosféricos provocados por su uso en aviación.

- ▲ Formular un precedente técnico por medio de una matriz para la realización de una evaluación de impacto ambiental.
- ▲ Interpretar el inventario y las estimaciones realizadas para el cálculo de emisiones en función de la inclusión criterios técnicos de funcionamiento de los motores a reacción que transitan en el Aeropuerto Mariscal Sucre.
- ▲ Recopilar un conjunto de medios técnicos que han permitido la mitigación de la producción de contaminantes atmosféricos en los motores de aviación.

1.4 Alcance

La ejecución de este proyecto, permitirá generar una noción técnica sustentable para crear la necesidad de tener datos porcentuales y reales de la presencia de los principales contaminantes (CO, CO₂, Nx, SO₂) producto de la combustión de combustibles fósiles en las cámaras de combustión de los motores que funcionan con el principio de reacción usados en las aeronaves de las compañías nacionales que transitan en el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre; planteando desde el punto de vista técnico conciencia ambiental mediante la investigación de las nuevas tendencias hacia el diseño de los motores de aviación y al posible control de las emisiones.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Motor a reacción

2.1.1. Definición

¹Un motor a reacción, reactor o jet; es un tipo de motor que descarga un chorro de fluido a gran velocidad para generar un empuje de acuerdo a la tercera ley de Newton. Esta definición generalista del motor a reacción incluye turborreactores, turbofans, cohetes, estatorreactores y motores de agua pero, en su uso común, el término se refiere generalmente a una turbina de gas utilizada para producir un chorro de gases para propósitos de propulsión.

2.1.2. Fases y componentes que determinan el funcionamiento de los motores a reacción usados en aviación.

El motor de reacción es un tipo de turbina de gas, que a diferencia de los motores de ciclo alternativo que tienen un funcionamiento discontinuo (explosiones), tiene un funcionamiento continuo. Consta de las mismas fases que un motor alternativo: admisión, compresión, expansión y escape cuyas funciones principales se definen por sus componentes principales.

¹ <http://www.geae.com/engines/commercial/cf6/index.html>

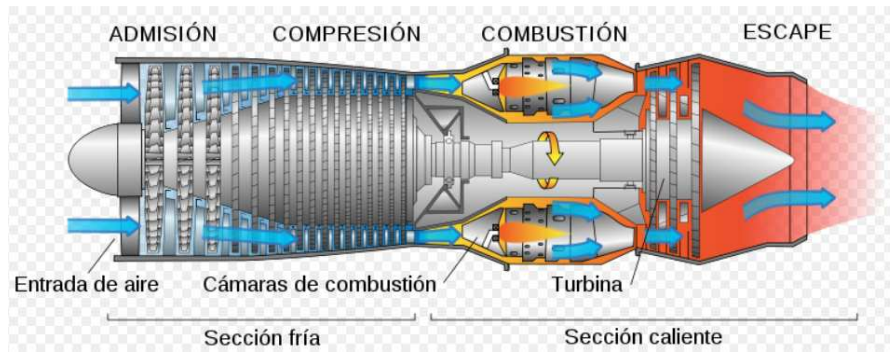


Figura 2.1 Fases de funcionamiento de un motor a reacción.
 Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Jet_engine_spanish.svg

2.1.2.1. Admisión

La admisión del aire se realiza a través de los conductos de entrada. Estos conductos no deben presentar fenómenos de turbulencia o resistencia aerodinámica y tienen que suministrar el aire necesario al motor de acuerdo con las revoluciones del mismo.

2.1.2.1.1. Entrada de aire

Para aviones subsónicos, la entrada de aire hacia el motor a reacción no presenta dificultades especiales, y consiste esencialmente en una apertura que está diseñada para reducir la resistencia como cualquier otro elemento del avión. Sin embargo, el aire que alcanza al compresor de un reactor normal debe viajar a una velocidad inferior a la del sonido, incluso en aviones supersónicos, para mantener una mecánica fluida en el compresor y los álabes de la turbina. A velocidades supersónicas, las ondas de choque que se forman en la entrada de aire reduce la presión en el compresor. Algunas entradas de aire supersónicas utilizan sistemas, como un cono o rampa, para incrementar la presión y hacerlo más eficiente frente a las ondas de choque.

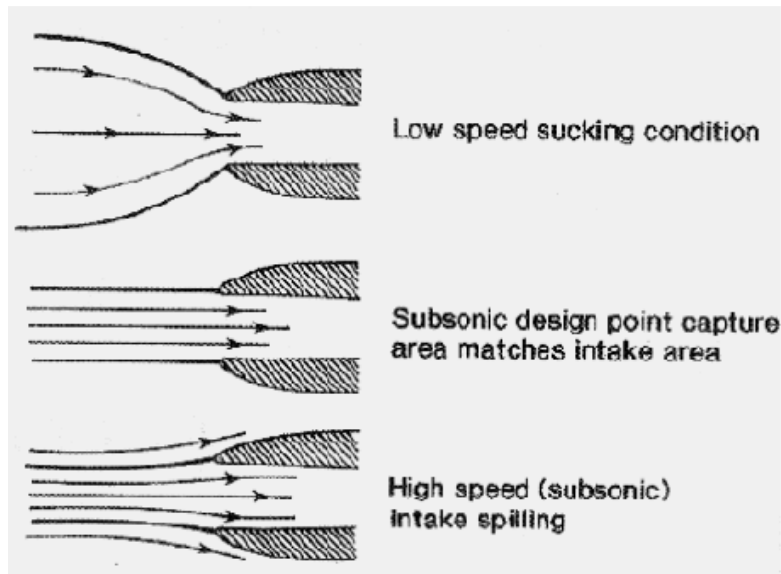


Figura 2.2. Diseño de la toma de entrada de acuerdo al Mach de diseño.
Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/entradaaire/valvus.shtml>

2.1.2.2. Compresión.

El aire que se introdujo del medio por las tomas de aire se introduce dentro del compresor donde su temperatura y presión se eleva.

2.1.2.2.1. Compresor.

Un compresor es un componente, que como su propio nombre dice, se encarga de comprimir el aire o cualquier otro gas. Por lo tanto lo que hace es reducir el espacio de este y incrementar su presión y temperatura (aunque muchas veces es esto último lo que se intenta evitar).

2.1.2.2.1.1. Tipos de compresor.

De compresores los hay de diferentes tipos, medidas, materiales, capacidades, etc., pero los más utilizados en la industria aeronáutica actualmente son dos: los llamados centrífugos y los axiales.

- ²Compresor centrífugo. Fue el primero en utilizarse en los inicios de los motores a reacción. Sus componentes son el rotor, el difusor, y colector cuyos los mismos que permiten que el aire salga despedido por la fuerza centrífuga debido a la rotación.

² <http://materias.fi.uba.ar/6720/unidad3.PDF>

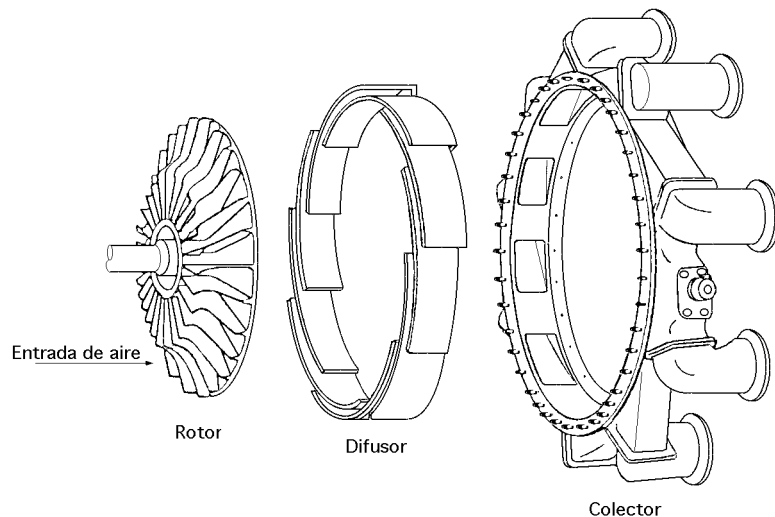


Figura 2.3 Componentes del compresor centrífugo.

Fuente: <http://img291.imageshack.us/i/prattwhitneyr2000co3.jpg/>

- Compresor axial, por el contrario, el flujo de aire se mueve paralelamente al eje del motor. Está formado por una serie de escalones cuyos componentes fundamentales por escalón son el rotor y el estator: El rotor aumenta la velocidad y en el estator aumenta la presión y reduce la velocidad. El aire va pasando del rotor al estator aumentando la energía de la masa del aire.

Además de todas estas características, el compresor axial puede ser simple o doble (dos compresores). Donde una turbina arrastra o mueve mediante un eje el compresor de alta y otra el de baja (en el caso de tener dos compresores) funcionando ambas independientemente.

Por otra parte cabe destacar los motores de doble flujo (turbofan o turboventiladores) por una especial característica: el flujo de aire que entra en el motor se divide en dos: Por el interior del motor entra el flujo primario que además es el que va a las cámaras de combustión, y por el exterior del motor pasa el flujo secundario, que sale directamente por la tobera, generando un empuje adicional tan solo por la energía que lleva tras la compresión. Las características de este tipo de motor son un bajo consumo de combustible, mayor empuje y menor ruido.

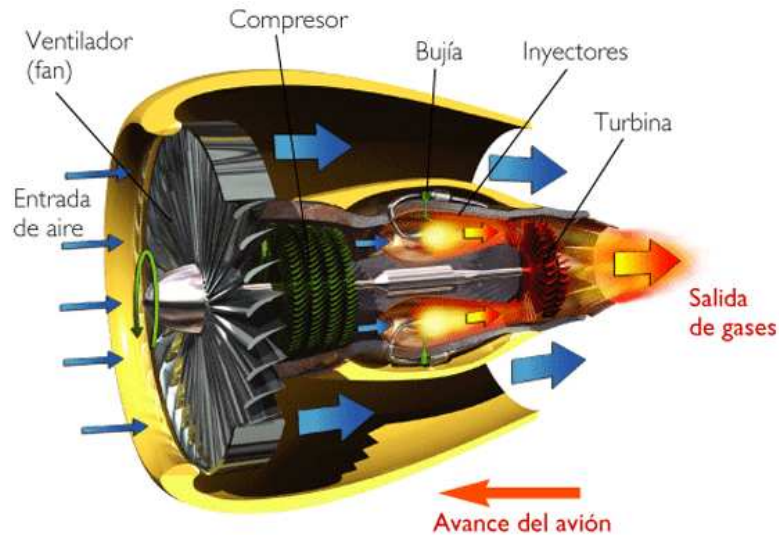


Figura 2.4 Flujo de aire primario y secundario en el motor turbo fan.

Fuente:http://2.bp.blogspot.com/_4sF4C3Y0hU/S9xIscCu1ml/AAAAAAAAAAmY/vtyMDc0uFaw/s1600/turbofan.png

2.1.2.3. Combustión.

Cuando el flujo de aire sale del compresor pasa a través de un escalón estator, denominado alabes guías de la salida del compresor, que reduce la velocidad del flujo. A continuación pasa al difusor de pre cámaras y se introduce en la cámara de combustión.

³Del total de aire el motor utiliza 60 partes de aire por cada parte de combustible, y de estas 60 solamente se queman en la combustión 15 partes. Es decir, el 25% del aire que entra se combustiona y el 75% no arde; se utiliza para refrigerar la superficie de la cámara y para mezclarse con los gases quemados, reduciendo la temperatura de los mismos a la hora de pasar por las turbinas.

2.1.2.3.1. Sistema de combustible del motor.

El sistema de combustible debe ser capaz de entregar combustible en forma automática al motor en todos los regímenes del motor.

³ <http://html.rincondelvago.com/combustion-y-procesos-de-oxidacion.html>

ENGINES - Functional Schematic Fuel System

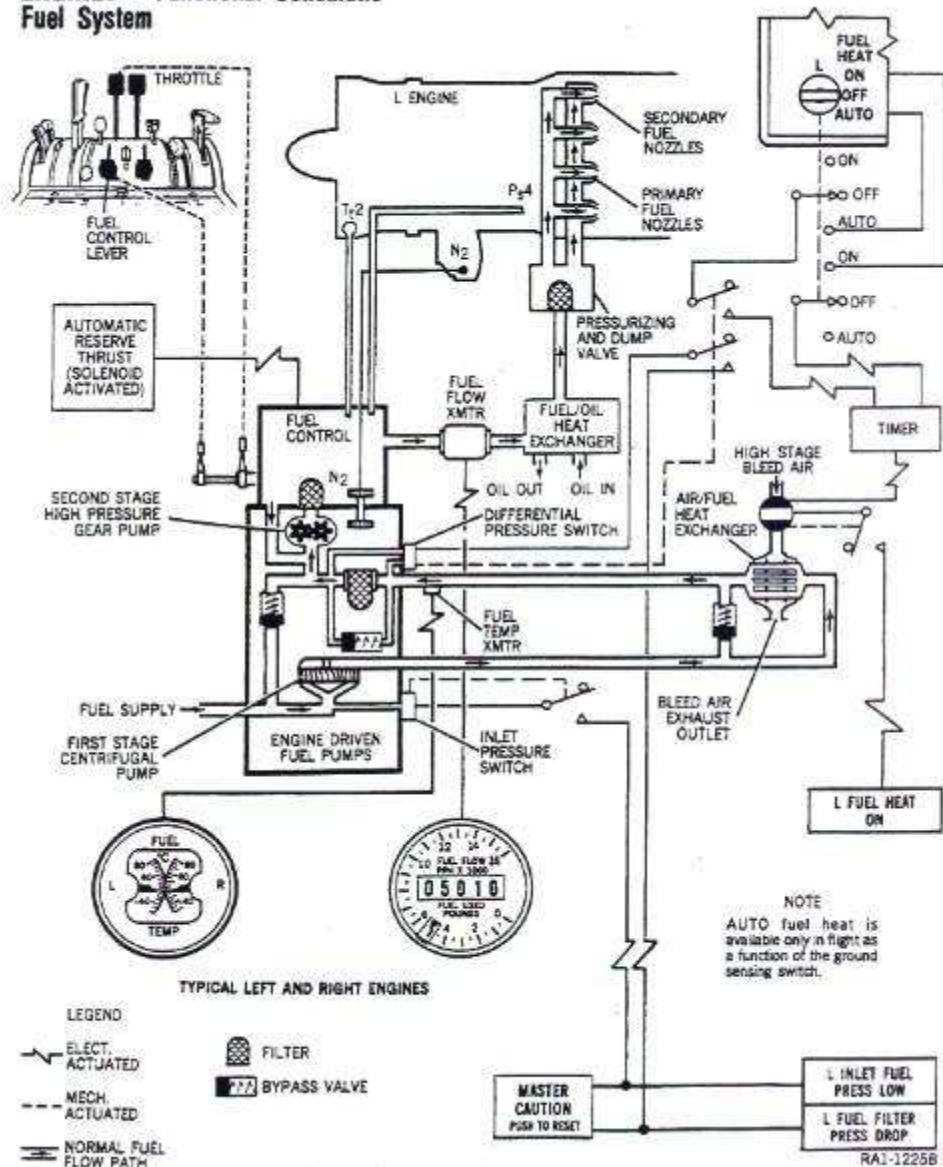


Figura 2.5. Esquema del sistema de combustible del motor.

Fuente: <http://www.enunblog.com/miljav/>

⁴Un sistema básico como se detalla a continuación, trabaja de la siguiente manera: desde los tanques de combustible es extraído por dos tipos de bombas (boost pumps) una eléctrica sumergida y otra del tipo centrífuga. Ambas líneas con sus respectivas válvulas de sentido se unen en una sola donde pasan por la válvula de corte (shut off). A continuación pasa por un flujómetro que dará la indicación en la cabina de la cantidad de combustible por unidad de tiempo (ej: Libras /hora). Luego aparece una bomba de baja

⁴ <http://www.enunblog.com/miljav/>

presión mecánica accionada por el motor que hara aumentar la presion aproximadamente 44 psi, siguiendo esta el calentador de combustible que toma aire de la ultima etapa del compesor; luego el combustible pasa por un filtro que nos testificará si este contiene hielo, siguiendo la linea aprarece una bomba de alta presion para elevar aun más la presión a 900 psi aproximadamente. A continuacion el combustible entra a la Unidad de control de combustible(FCU) que toma datos de de la posicion de los aceleradores , posicion de la llave de corte , RPM de N2 , pt2 ,ps4 , inyeccion de agua, de aquí sale el combustible docificado en la medida justa y pasa por el radiador de aceite (para refrigerar el mismo), luego por la valvula de presurización y para finalmente llegar al multiple de combustible el cual se divide en flujo primario(se utiliza a bajos regimenes) y secundario (se utiliza el altos régimenes) en los inyectores de la cámara de combustion.

2.1.2.3.2. Cámara de combustión.

Es el lugar donde se quema continuamente el combustible en el aire comprimido. Dentro de ellas el aire se mezcla con el combustible expulsado por los inyectores, seguidamente se enciende automáticamente a causa del calor desprendido por la llama.

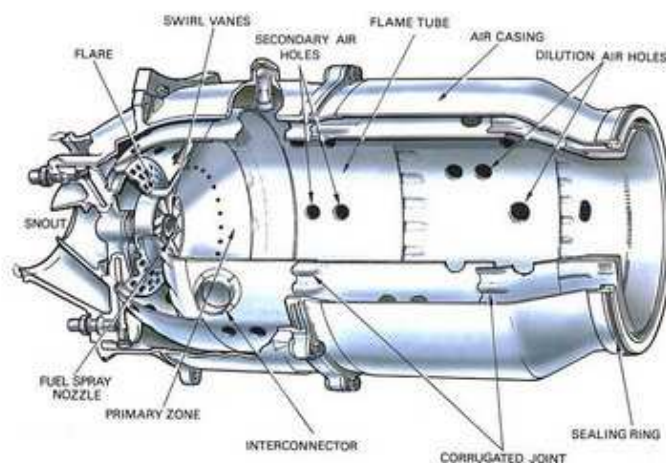


Figura 2.6 Cámara de combustión y sus partes.

Fuente: <http://www.enocasioneshagoclick.com/2009/06/escuadron-click-como-funciona-un-motor.html>

2.1.2.3.2.1. Tipos de cámara de combustión.

Los motores pueden ir dotados de diferentes cámaras de combustión: por una parte puede estar dotado de una sola cámara de tipo anillo abarcando toda la sección del motor, o de un número determinado de pequeñas cámaras cilíndricas distribuidas radialmente formando un círculo.

⁵Cámaras de combustión tubulares.- Las cámaras de combustión individual o independiente en número variable de 5 a 10, se emplearon en los primeros motores de aviación y, en la actualidad, en pequeñas turbinas de gas industrial y marinas, siendo las más empleadas en motores de compresor centrífugo y en algunos axiales. Van situadas alrededor del eje que une el compresor y la turbina; constan cada una de ellas de su propio inyector procedente de una línea de suministro común, de una doble pared o tubo, de los cuales el interior se denomina tubo de llama por estar en contacto directo con la combustión y de una envolvente exterior; dos de las cámaras de combustión van dotadas de bujía de encendido; la razón de llevar dos bujías es exclusivamente por seguridad, pues con una sola sería suficiente.

El motor de reacción, no necesita encendido continuo una vez que el motor ha arrancado, dado que al haber un foco encendido e inyectar permanentemente combustible, la combustión se mantiene sin necesidad de llevar conectado el sistema. Se conectará en despegue, toma de tierra y ciertas condiciones anormales de turbulencia, ingestión de agua volando en lluvia fuerte, etc.

⁵ <http://www.icao.int/icaonet/dcs/9889/9889.html>

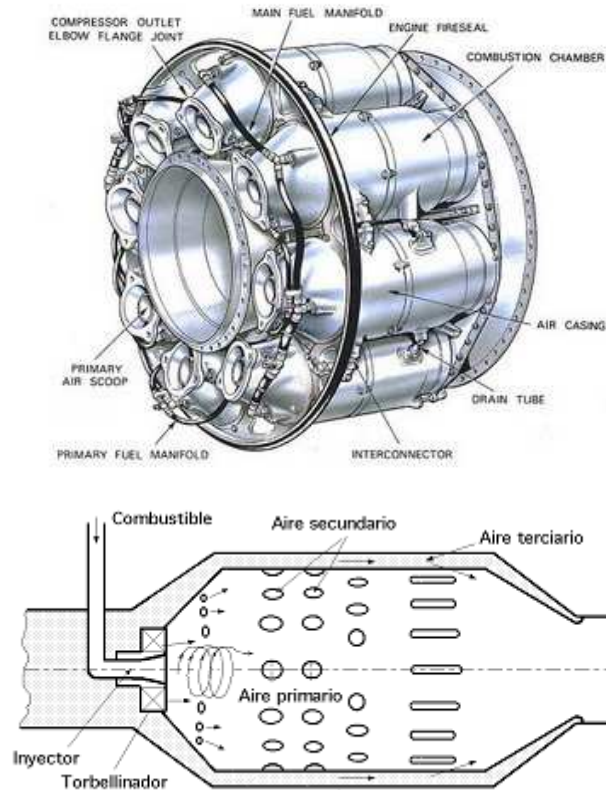


Figura. 2.7 Cámaras de combustión tubular.

Fuente: <http://www.enocasioneshagoclick.com/2009/06/escuadron-click-como-funciona-un-motor.html>

Cámaras de combustión anulares.- Cuando el compresor es axial, en aviación resulta más adecuado utilizar una única cámara anular, la cual rodea al eje del compresor-turbina; dicha cámara consta de un solo tubo de llama, también anular, y una serie de inyectores cuyo número puede oscilar entre 12 y 20. De esta forma, el espacio comprendido entre el compresor y la turbina se aprovecha al máximo dando lugar a un motor de sección frontal más reducida, produciéndose en comparación con el anterior, menores pérdidas de carga. Tienen un rendimiento más alto que las individuales, relacionándose mejor la mezcla aire-combustible y presentando menores pérdidas de presión, así como una mejor refrigeración de los gases durante la combustión pues al igual que las de cámaras tubulares cuenta con orificios y ventanillas para su refrigeración.

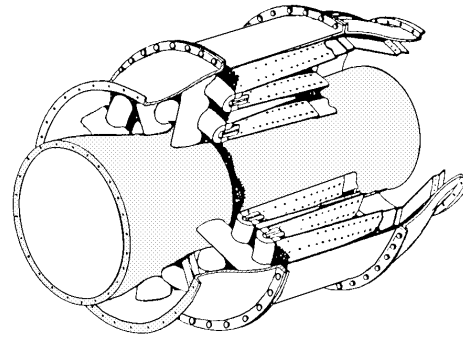
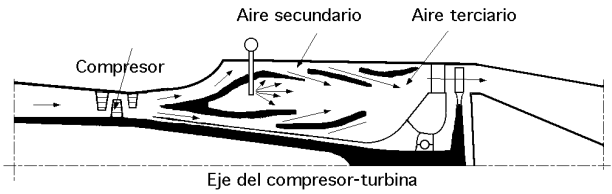


Figura 2.8 Cámaras de combustión anular.

Fuente: <http://libros.redsauce.net/06tgas>

Cámaras de combustión tubo-anulares.- Los inconvenientes tales como no obtener una distribución uniforme de la relación combustible-aire a pesar de utilizar un gran número de inyectores y no conseguir una distribución uniforme de temperatura en los anteriores tipos de cámaras de combustión han permitido desarrollar un tipo de cámara mixta, que consiste en una serie de tubos de llama tubulares espaciados uniformemente alrededor de una carcasa anular.

Este tipo de cámara se utiliza bastante en los motores grandes de aviación.

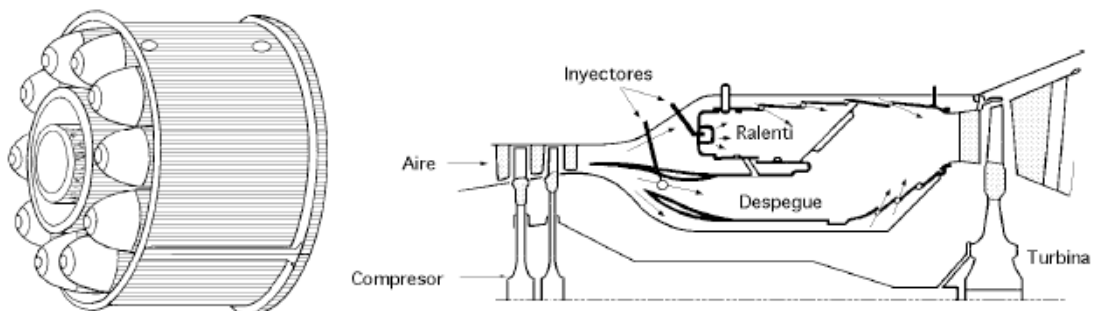


Figura 2.9 Esquema de cámara tubo-anular

Fuente: <http://libros.redsauce.net/06tgas>

Los materiales empleados en las cámaras son el Niomic 75 (base de níquel aleado con cromo, titanio, aluminio y cobalto), Discolay (material

modificado del acero inoxidable con aditivos de molibdeno, wolframio y titanio) y el Nimoplay (compuesto por un núcleo de cobre plasmado con Niomic 75). La misión de estos materiales es soportar la oxidación, fatiga, temperaturas y pequeños esfuerzos mecánicos a que están sometidos.

2.1.2.3.3. Inyectores.

⁶El combustible se inyecta en la cámara a través de uno o varios inyectores que aseguran la correcta pulverización del combustible para que la combustión con el aire sea lo más perfecta posible.

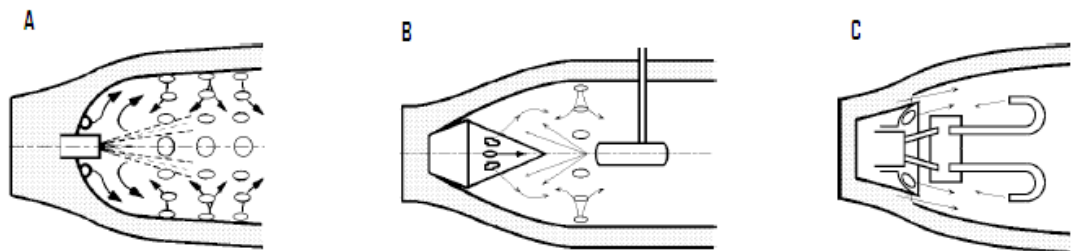


Figura 2.10 Tipos de inyección de combustible:
Inyección de mayor parte de aire primario cerca del inyector. (A).
Inyección hacia atrás propio de post-combustión. (B).
Inyección de baja presión en tubos bastón situados en la zona primaria
mezcla rica de vapor de combustible y aire en sentido contrario al flujo. (C)
Fuente Fuente: <http://libros.redsauce.net/06tgas>

2.1.2.3.4. Bujías.

En cuanto a las bujías de encendido, el motor puede llevar una por cámara o un mínimo de dos para todas (por seguridad). La bujía no suele permanecer encendida, pues el flujo de la mezcla en combustión es contante.

2.1.2.4. Sección de Turbina.

Una vez que tenemos la combustión realizada; los gases resultantes pasan a la sección de la turbina. Esta transformada la tercera parte de la energía de los gases en energía mecánica para mover el compresor (a través del eje del motor) y a la caja de accesorios. El resto de la energía que proporcionan los gases resultantes pasa a la tobera para obtener por el principio de acción-reacción el empuje. En los motores turbohélice y turbo eje la relación es

⁶ <http://www.icao.int/icaonet/dcs/9889/9889.html>

diferente ya que consumen más energía de la turbina, por tener que suministrar el empuje a través de una hélice o un rotor de helicóptero.

2.1.2.4.1. Turbina.

Las turbinas son elementos situados a la salida de la/s cámara/s de combustión que aprovechan parte de la energía cinética de la mezcla expulsada. De manera que si la turbina es solidaria con el mismo eje del compresor esta da una ayuda extra a la hora de comprimir el aire, por lo que cada vez el compresor irá más rápido y consecuentemente lo hará todo el grupo mecánico. Las turbinas están formadas por una serie de alabes, el número tamaño e inclinación de estos dependerá de los resultados que se quieran obtener.

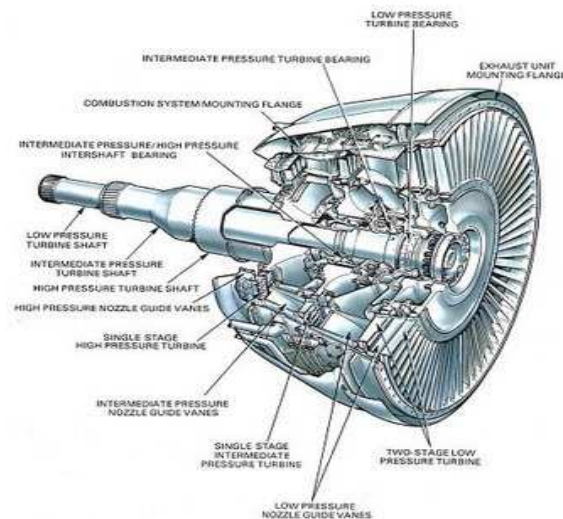


Figura 2.11 Sección de turbina del motor.

Fuente: <http://www.enocasioneshagoclick.com/2009/06/escuadron-click-como-funciona-un-motor.html>

Por las grandes presiones y temperaturas a que están expuestos los álabes de la turbina, los principales materiales utilizados son aceros inoxidables y superaleaciones de base níquel o cobalto (las partes que soportan más calor).

2.1.2.5. Escape.

La última etapa del motor de reacción es la tobera como sección final de los motores turboreactores equipados con unidades de escape, a través de la

cual se transforma la presión de los gases de salida en velocidad, al contrario de lo que se pretendía en el difusor de entrada.

2.1.2.5.1. Tobera o salida

Su función, principalmente, es la de evacuar los gases de salida lo más veloz posible hacia la atmósfera. Aunque no lo parezca, la forma de estas es realmente importante para el funcionamiento global del equipo, siendo las toberas que expulsan los gases a mayor velocidad las más eficientes. Otra de las funciones de la tobera puede ser también la de freno aéreo, ya que en los turborreactores dotados de doble flujo, se puede utilizar el flujo secundario como empuje inverso, o podríamos llamarlo freno aéreo.

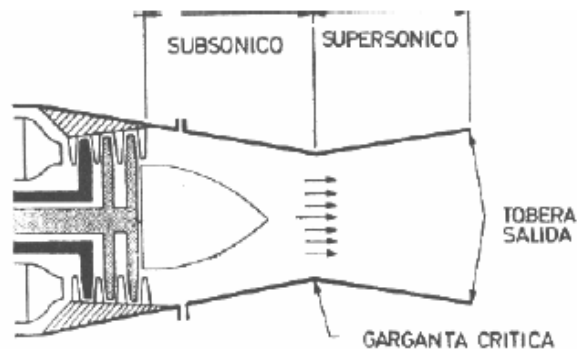


Figura 2.12 Tobera convergente-divergente.

Fuente: <http://patentados.com/invento/tobera-convergente-divergente-de-turborreactor.html>

Hay dos tipos según la velocidad de los gases: la convergente o subsónica y la convergente – divergente o supersónica.



Figura 2.13 Tobera de salida Motor turborreactor del F/A-18 Hournet.

Fuente: <http://www.enocasioneshagoclick.com/2009/06/escuadron-click-como-funciona-un-motor.html>

También hay toberas de posición variable que controlan la velocidad de salida de los gases y por tanto el empuje, mediante placas móviles o mediante un cono de posición variable. Otro tipo de toberas son las vectoriales, capaces de desviar el flujo de gases en distintas direcciones con objeto de mejorar la maniobrabilidad de la aeronave, por ello su uso se restringe al campo militar.

2.1.3. Ciclo termodinámico para un motor de aviación.

⁷Existe una muy pequeña brecha entre un suceso real y la modelación teórica del ciclo. La eficiencia térmica de un ciclo teórico, o de Brayton es una función única de la relación de presiones, ahora se entenderá el ciclo real de las turbinas de gas en donde influyen otros factores importantes y que son variables importantes para el desarrollo de las nuevas tecnologías para turbinas, especialmente cuando se utilizan en aviación.

El ciclo Brayton también llamado de Joule fue propuesto por primera vez por George Brayton, se desarrollo originalmente empleando una máquina de pistones con inyección de combustible, pero ahora es ciclo básico de funcionamiento ideal de las turbinas con ciclos abiertos o cerrados

- El objetivo del ciclo Brayton de turbina de gas es convertir energía en forma de calor en trabajo, por lo cual su rendimiento se expresa en términos de eficiencia térmica.

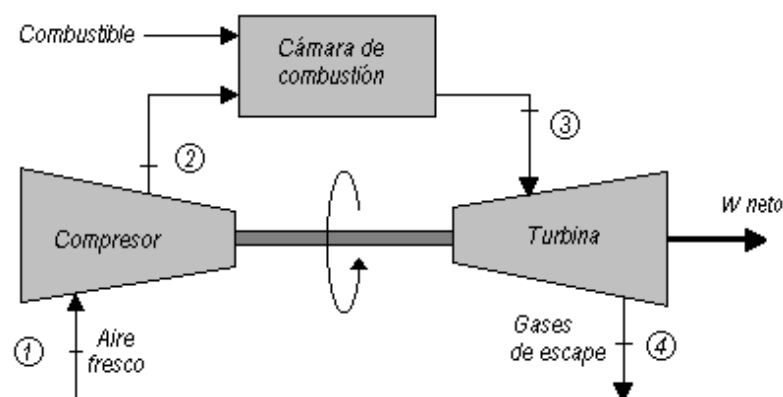


Figura 2.14 Ciclo Brayton de un motor en su modalidad de ciclo abierto.
Fuente: <http://html.rincondelvago.com/ciclo-de-brayton.html>

⁷ <http://html.rincondelvago.com/motores-a-reaccion.html>

⁸Las turbinas de gas usualmente operan en un ciclo abierto, como muestra la figura aire fresco en condiciones ambiente se introduce dentro del compresor donde su temperatura y presión se eleva. El aire de alta presión sigue hacia la cámara de combustión donde el combustible se quema a presión constante. Luego los gases de alta temperatura que resultan entran a la turbina, donde se expanden hasta la presión atmosférica, de tal forma que producen potencia. Los gases de escape que salen de la turbina se expulsan hacia fuera (no se recirculan), lo que provoca que el ciclo se clasifique como un ciclo abierto.

Las etapas realizadas en este ciclo son las siguientes:

1-2 Compresión adiabática reversible (isoentrópica). Se realiza en el compresor.

2-3 Combustión a presión constante. Se realiza en la cámara de combustión.

3-4 Expansión adiabática reversible (isoentrópica). Se realiza en la turbina.

4-1 Cesión de calor isobárica. Se realiza en la atmósfera.

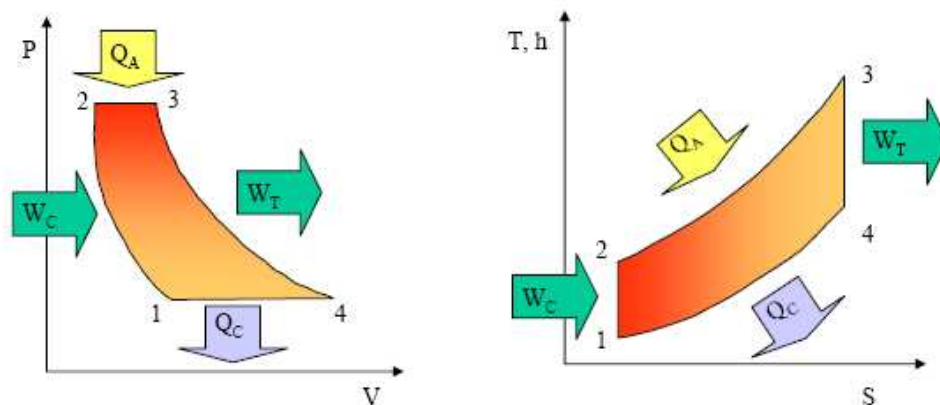


Figura 2.15. Diagramas de los procesos y estados descritos en el ciclo Brayton.

Fuente : <http://html.rincondelvago.com/ciclo-de-brayton.html>

Descripción de las etapas:

En 1 se toma aire ambiente. Este se comprime hasta 2 según una adiabática (idealmente sin roce, normalmente una politrópica con roce).

⁸ <http://termodinamica.us.es/termica/transparencias/Leccion8.pdf>

Luego el aire comprimido se introduce a una cámara de combustión. Allí se le agrega una cierta cantidad de combustible y este se quema. Al producirse la combustión se realiza la evolución 2-3. Típicamente esta es isobárica (o casi isobárica, pues se pierde un poco de presión por roce). Como a la cámara de combustión entra tanto fluido como el que sale, la presión casi no varía. La temperatura T_3 es una temperatura crítica, pues corresponde a la mayor temperatura en el ciclo. Además también es la mayor presión. Por lo tanto los elementos sometidos a T_3 serán los más solicitados.

A continuación viene la expansión de los gases hasta la presión ambiente. Esta expansión la debemos dividir en dos fases. En la primera (de 3 a 3') el trabajo de expansión se recupera en una turbina que sirve para accionar el compresor. En la segunda fase (de 3' a 4) existen dos opciones:

Si entre 3' y 4 se instala una turbina, el trabajo de expansión se convierte en trabajo mecánico. Se trata de un turbopropulsor o lo que comúnmente se llama turbina a gas.

Si entre 3' y 4 se sigue con la expansión de los gases en una tobera, el trabajo de expansión se convierte en energía cinética en los gases. Esta energía cinética sirve para impulsar el motor. Se trata de un turboreactor o lo que comúnmente se llama un motor a reacción.

Finalmente los gases de combustión se evacúan a la atmósfera en 4. La evolución 4-1 es virtual y corresponde al enfriamiento de los gases hasta la temperatura ambiente.

Por lo tanto el trabajo hecho por una turbina depende de la temperatura de los gases a la salida de la cámara de combustión y está limitada por la resistencia térmica de los materiales de construcción.

Estas son unas temperaturas promedio para el trabajo actual de las turbinas utilizadas en aviones comerciales.

T_1 = Temperatura de entrada del aire = 290K - 300° K

T_2 = Temperatura de salida del compresor y entrada a la cámara de Combustión

=

600K

T3 = Temperatura de salida de la cámara de combustión, entrada a la turbina = 1500K

T4 = Temperatura de salida = 700K

2.1.3.1. Comparación de ciclos termodinámico OTTO y BRAYTON.

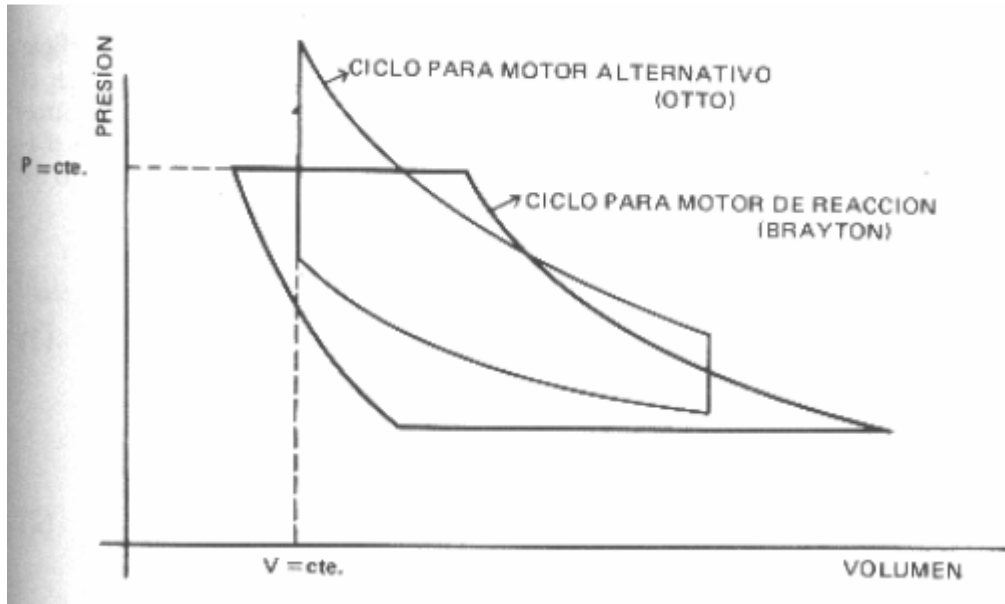


Figura 2.16. Comparación de eficiencia de ciclos Brayton y Otto.

Fuente: http://laplace.us.es/wiki/index.php/Problemas_del_segundo_principio_de_la_termodinamica

La optimización de un motor depende de muchos factores incluyendo el diseño de la toma de aire, el tamaño total, el número de etapas del compresor, el tipo de combustible, el número de etapas de salida, los materiales de los componentes, la cantidad de aire derivada en los casos donde se haga uso de derivación de aire, etc.

2.2. Contaminación atmosférica.

2.2.1. Definiciones básicas.

Contaminación atmosférica es la impurificación de la atmósfera por inyección y permanencia temporal en ella de materias gaseosas, líquidas o sólidas o radiaciones ajenas a su composición natural o en proporción claramente superior a aquella; implicando riesgos, daños o molestias para personas y bienes de cualquier naturaleza.

2.2.1.1. Agentes contaminantes.

⁹Se considera agentes contaminantes no sólo las sustancias materiales, cualquiera que sea su estado de agregación, sino también las radiaciones ajenas a las naturales. Para que una sustancia sea considerada como contaminante no es preciso que su entidad sea distinta a la de cualquiera de los componentes naturales del aire, es suficiente con que su proporción no sea la natural.

2.2.1.2. Fuentes Contaminantes.

Las alteraciones de la composición del aire pueden tener un doble origen:

- Natural: erupciones volcánicas, meteoritos, etc.
- Aartificial o antropogénica: provocada por actividades humanas, fundamentalmente procesos industriales, transporte y combustión.

2.2.1.2.1. Fuentes de contaminación natural.

Las principales fuentes de contaminación natural son las erupciones volcánicas, tormentas, incendios y procesos biológicos.

Los contaminantes que se emiten a la atmósfera como consecuencia de este tipo de fenómenos son tanto de naturaleza orgánica como inorgánica. Entre los más frecuentes podemos citar:

- Compuestos orgánicos.

Metano (CH₄), producido en la descomposición anaerobia de la materia orgánica.

Etileno (C₂H₄) cuyo origen es la vegetación.

- Compuestos inorgánicos.

⁹ <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/atmosfera.html>

SO₂, H₂S Y COS, así como cloruro y fluoruro de hidrógeno (HCl y HF) y multitud de aerosoles de carácter inorgánico provenientes de erupciones volcánicas.

CO₂, CO, NOX, COS y partículas emitidos por procesos de combustión.

CO, N₂O, COS, CS₂,... provenientes de los océanos.

NOX originados por tormentas.

N₂O, NO y NH₃ originados en procesos biológicos que tiene lugar en el suelo.

2.2.1.2.2. Fuentes de contaminación antropogénica.

¹⁰Con frecuencia se han clasificado genéricamente las fuentes de emisión de agentes contaminantes en la troposfera considerando su localización fija o móvil.

- Fuentes fijas: Así denominadas, por actuar permanentemente sobre un sitio o región, es decir, por estar ahí establecidas. Están constituidas por fábricas, comercios, galpones de almacenajes, talleres metalúrgicos, incineradores, fundiciones, etc. y producen una considerable contaminación, no solo por el uso de combustibles sino por la emisión de vapores solventes orgánicos, o de productos químicos contaminantes. Las fuentes fijas son las más dañinas, estas actúan sobre todas las áreas de la biósfera y producen, tanto emisiones de humos, polvos, gases, ruidos, radiaciones, etc. como descargas de aguas residuales o desechos sólidos que afectan, por igual, el aire, los diversos cuerpos receptores de agua o la tierra, por deterioro superficial, filtración o acarreo. “Una emisión de humos y polvos puede no ser por si misma necesariamente peligrosa; para serlo deberá tener una densidad y un volumen tales, durante cierto lapso, que las condiciones atmosféricas no sean suficiente para diluirla o dispersarla en un período de tiempo dado, haciéndola

¹⁰ <http://www.cienciaybiologia.com/medio-ambiente/suelo/fuentesantrop.htm>

inocua. La peligrosidad se inicia, precisamente, a partir del momento en que la cantidad de elementos no deseables emitidos, rebasa la capacidad natural de dispersión, transformación o anulación, creando, por lo tanto una concentración que rompe el equilibrio". "Lo anterior es consecuencia, de la tendencia de agrupar en ciertas áreas; en especial las urbanas, los contaminantes que emitidos por la fuentes fijas, no pudieron ser desplazados por la circulación atmosférica y a los que se unen los provenientes de las fuentes móviles y de las naturales.

- Fuentes móviles.- Son aquellas que por su capacidad de traslado, no permiten encuadrarlas en un área determinada, por lo que su peligrosidad es constante, progresiva e indeterminable a cada agente contaminador, ya que su medición abarca un gran número de agentes contaminantes. Aquí, los transportes son los causantes de la mayor concentración de contaminación en las zonas urbanas. Entre las fuentes de emisión móviles se incluyen a los diversos tipos de vehículos de motor utilizados en el transporte. Ejemplo: Automotores, trenes, aviones.

2.3. Contaminación por aviación.

Desde la conceptualización misma de la aviación y tras el vertiginoso avance de la tecnología a partir de la Primera Guerra Mundial se comenzaron a usar los aviones para misiones de espionaje, ataque o defensa. Durante este tiempo se desarrollaron avances en los motores, en las características aerodinámicas de los aviones, y se incorporó armamento a los aviones.

Desde que terminó la guerra y hasta el año 1945, final de la Segunda Guerra Mundial, se desarrollaron una gran número de avances debido al uso de aviones en la guerra, lo que hizo que se invirtieran grandes cantidades de dinero en la investigación aeronáutica. Los aviones se hicieron más grandes, y se fueron desarrollando nuevos motores más potentes. Durante esta época surgieron las primeras compañías aéreas, y se usó el avión en el correo, transporte de personas o mercancías.



Figura 2.17: Heinkel He 178 Primer avión con motor a reacción.
Fuente: <http://i32.servimg.com/u/f32/11/39/58/85/heinke11.jpg>

Aparecen también, al final de la Segunda Guerra Mundial, los primeros aviones que usaban motores a reacción como el alemán Heinkel He 178, el primer avión a reacción del mundo. Destacan también otras aeronaves como el P-51 Mustang o el Boeing B-29 superfortress. Tras ello vinieron hechos más importantes ocurridos durante este periodo que se reflejan en la inclusión de los motores a reacción en los aviones comerciales que podían hacer largos vuelos a velocidades muy altas. El Havilland Comet, de origen británico, apareció en 1952 y era el primer avión con motor a reacción. Alcanzaba los 850 km/h.



Figura 2.18: Havilland Comet Primer avión comercial con motor a reacción.
Fuente: http://www.johnjohn.co.uk/compare-tigermothflights/photos/DH106_Comet_1.jpg

Desde entonces los aviones se han convertido en algo normal entre la población. Es un medio de transporte muy usado, y el más seguro, debido a su baja tasa de

accidentes. Por su exponencial demanda de operación este medio de transporte se ha vuelto también en una de las principales fuentes de producción de agentes contaminantes; ya que los volúmenes de emisiones van desde la fabricación de sus componentes hasta su operación propiamente dicha.

¹¹Dentro de las principales etapas para el funcionamiento de un motor a reacción la combustión de un hidrocarburo es imprescindible, en consecuencia se generan los siguientes productos: Dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua (H₂O), oxígeno (O₂), nitrógeno (N₂) y trazas de otros componentes como: Oxídos de nitrógeno (NO,NO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de sulfuro(SO₂), material particulado, hidrocarburos no quemados y hollín.

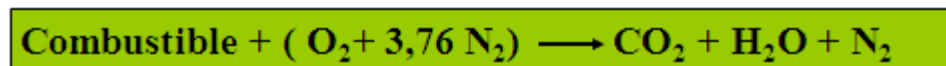
2.3.1. Emisiones producto de la operación de motores a reacción.

Los motores que funcionan con el principio de reacción lanzan a la atmósfera, de acuerdo a la taxonomía de las emisiones principalmente, tres tipos de compuestos químicos:

- a) Compuestos del aire ambiente: N₂, O₂ y Ar
- b) Productos de combustión completa: CO₂ y H₂O
- c) Contaminantes, que son inquemados: CO, CH y humos, así como NO_x.

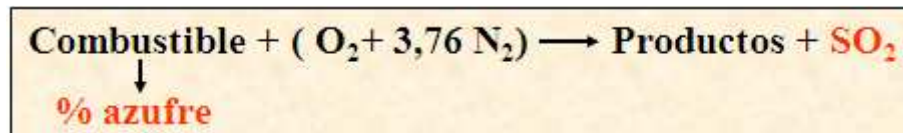
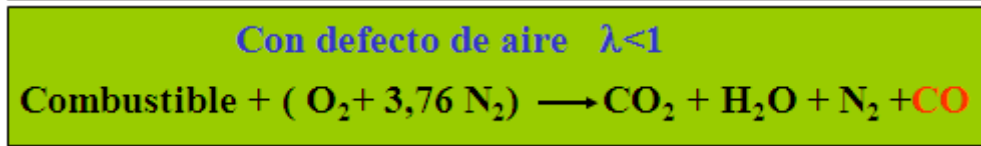
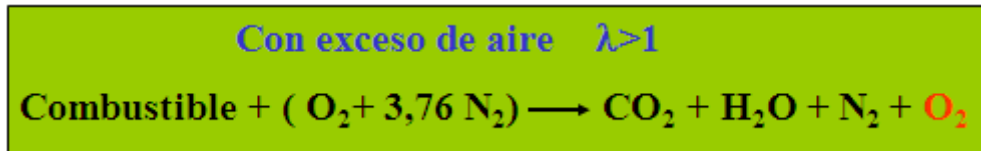
2.3.2. Ecuación Redox de las emisiones producto de la operación de los motores.

La reacción química se puede expresar en la forma general siguiente:



Reacción real \longrightarrow $Z = \frac{\text{kg aire}}{\text{Kg combustible}}$ $\lambda = \frac{Z}{Z_s}$

¹¹ <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/08Tgas.pdf>



Las concentraciones de cada contaminante emitido dependen tanto de las condiciones de funcionamiento de la cámara de combustión, como de la tecnología utilizada; diferenciándose en las operaciones de las aeronaves tres ciclos determinantes:

- El ciclo Landing/take-off (LTO-cycle), que incluye todas las actividades que ocurren dentro de la capa de mezcla. Se puede considerar una altura 1000m.
- La etapa de Crucero (Cruise), que comprende las actividades que se desarrollan sobre los 1000m.

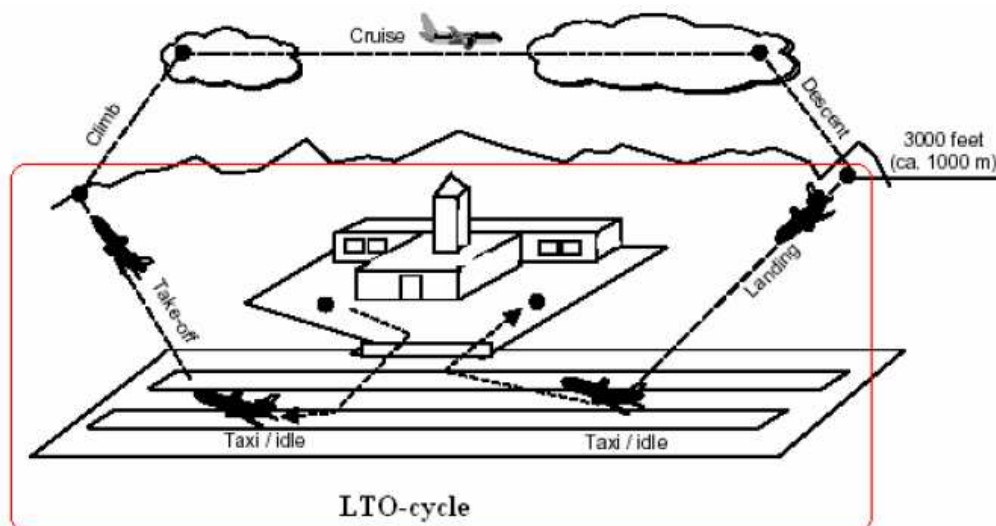


Figura 2.19. Ciclo LTO y Fase Crucero.

Fuente: <http://developpementdurable.airfrance.com/FR/en/common/img/environnement/graphs/cycleLTO.jpg>

- La reparación y el mantenimiento, que envuelven todas aquellas actividades correspondientes a tareas en tierra destinadas a la preservación recuperación y reemplazo de componentes, sistemas, etc.; así como su calibración y las operaciones necesarias para la certificación de aeronavegabilidad de las aeronaves.

2.3.3. Formación de contaminantes.

2.3.3.1. Ciclo LTO (Landing/Take-off).

¹²El ciclo LTO (Landing/Take-off) se define como una operación completa de entrada y salida de un aeronave a un aeropuerto, es decir todas las operaciones que tienen lugar cerca del aeropuerto a una altitud inferior a 1.000 metros (definición del ICAO, 1993). Por lo tanto un ciclo LTO incluye las maniobras de despegue y aterrizaje de un avión, así como sus desplazamientos de posicionamiento y de aparcamiento en la pista. Dentro del ciclo LTO se diferencian las siguientes etapas:



Figura 2.20. Ciclo Landing/Take-off

Fuente: <http://developpement>

durable.airfrance.com/FR/en/common/img/environnement/graphs/cycleLTO.jpg

¹²http://images.google.com.ec/imgres?imgurl=http://developpement-durable.airfrance.com/FR/en/common/img/environnement/graphs/cycleLTO.jpg&imgrefurl=http://developpement-durable.airfrance.com/FR/en/local/environnement/N4_gaz_qualitair_en.htm&usq=__BuNJG4Tu3vqXns9nL6Su9wzok0=&h=170&w=356&sz=22&hl=es&start=2&um=1&itbs=1&tbnid=9iFhrWQ2rVlf4M:&tbnh=58&tbnw=121&prev=/images%3Fq%3DLTO%2Bcycle%26um%3D1%26hl%3Des%26sa%3DG%26tbs%3Disch:1

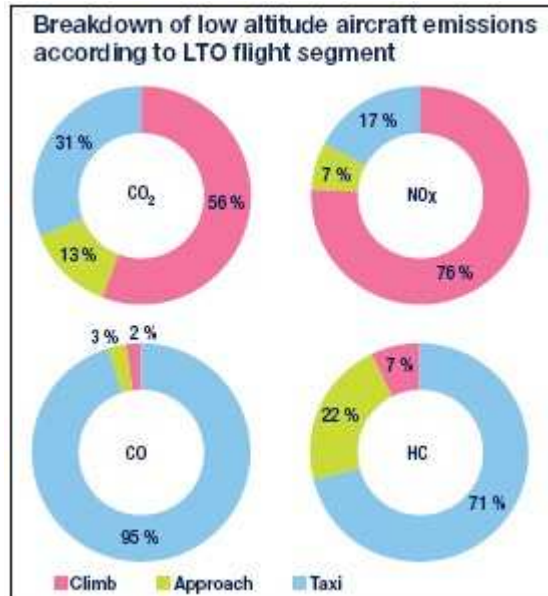


Figura 2.21. Desglose de las emisiones de las aeronaves según el segmento de vuelo acorde a su altura.

Fuente: http://developpement-durable.airfrance.com/FR/en/common/img/environnement/graphs/basse_altitude.jpg

- El aterrizaje (Landing): corresponde al trayecto del avión desde una altura inferior a 1000, hasta un punto de la pista en donde termina el aterrizaje.
- Operaciones en el terminal aéreo (Taxi idle): corresponde al trayecto del avión después del aterrizaje hasta el terminal aéreo; las operaciones de carga y descarga de pasajeros, mercancías, y el traslado del avión hasta el extremo de la pista para el despegue.
- El despegue (Take –off) corresponde al trayecto del avión desde el punto de la pista donde se inicia el despegue hasta una altura de 1000m.

La metodología distingue entre dos categorías de vuelos internacionales: de corta y larga distancia, por lo cual los ciclos LTO se han cuantificado para tres categorías distintas:

- Número de ciclos LTO de vuelos domésticos.
- Número de ciclos LTO de vuelos internacionales de corta distancia.
- Número de ciclos LTO de vuelos internacionales de larga distancia (superiores a 1.000 millas náuticas).

Las emisiones (principalmente NOx, CO) se producen principalmente por la combustión del kerosene en los motores de las aeronaves.

Las emisiones de CO son mayores cuando los motores operan en baja potencia (terminal aéreo), en tanto que las emisiones de NOx son mayores cuando los motores incrementan su potencia y temperatura de funcionamiento (despegue) (EPA,1999)

2.3.3.2. CO e hidrocarburos no quemados HC.

¹³Son productos intermedios de la combustión del carburante, cuya oxidación completa da lugar al CO₂. Las reacciones de oxidación dependen de la presión, temperaturas locales, riquezas locales de la mezcla y tiempo de permanencia.

A partir de estas curvas se puede predecir, durante la fase de dimensionamiento de la cámara, los niveles de contaminación debidos a los inquemados emitidos por el motor en todos los regímenes de funcionamiento. Se observa que dichos contaminantes se producen sobre todo en el funcionamiento al ralenti.

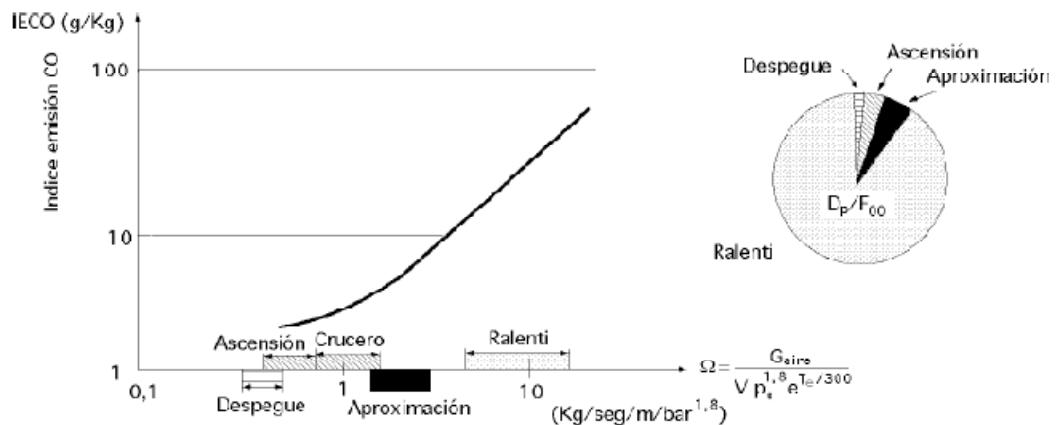


Figura 2.22 Influencia de las condiciones de funcionamiento de la cámara de combustión sobre el índice de emisión del CO (IECO)

Fuente: <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/09Tgas.pdf>

¹³ <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/08Tgas.pdf>

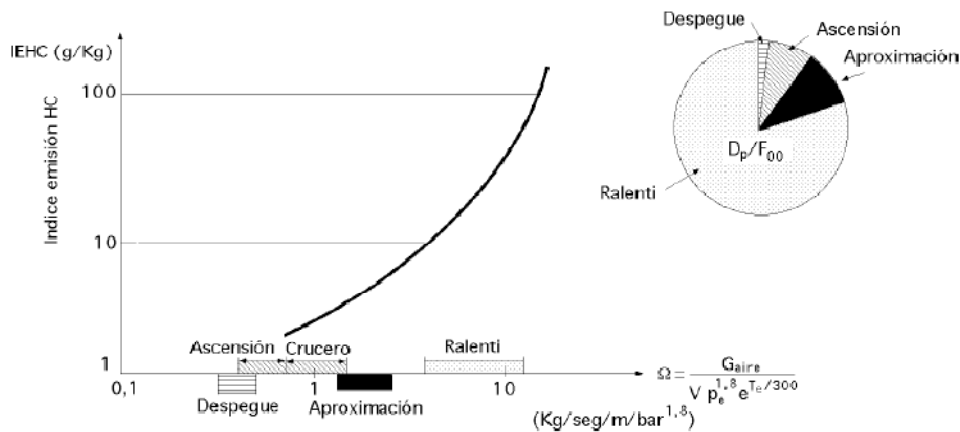


Figura 2.23. Influencia de las condiciones de funcionamiento de la cámara de combustión sobre el índice de emisión de hidrocarburos no quemados (IEHC)

Fuente: <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/09Tgas.pdf>

No se tienen en cuenta en el parámetro de carga aerodinámica las características de la carburación, el reparto de aire en la camisa interior y fenómenos tales como el enfriamiento por el aire de refrigeración de las paredes o por el aire de dilución (aire terciario), que influyen en la producción de in quemados.

2.3.3.3. Óxidos de nitrógeno.

Se forman esencialmente en las zonas de alta temperatura. En las condiciones de funcionamiento de un turborreactor, las reacciones de oxidación son más lentas que las de combustión del carburante por lo que las concentraciones resultantes están lejos del equilibrio químico, siendo prácticamente proporcionales al tiempo de permanencia.



Figura 2.24. Niveles de producción de Nx en comparación con otras fuentes.

Fuente: http://developpement-durable.airfrance.com/FR/en/common/img/environnement/graphs/basse_altitude.jpg

Se observa que los NOx se producen sobre todo en condiciones de gran carga. En las fases de vuelo ascendente y despegue se emite aproximadamente 3/4 partes de la masa total de NOx. La riqueza de funcionamiento de la cámara de combustión es otro parámetro del que dependen las emisiones contaminantes. Teniendo en cuenta la complejidad interna del tubo de combustión, las riquezas y temperaturas locales de la mezcla que se realiza en la zona primaria son las que controlan los procesos químicos; si se mejora la mezcla o se hace una premezcla, se puede reducir el nivel de los NOx emitidos.

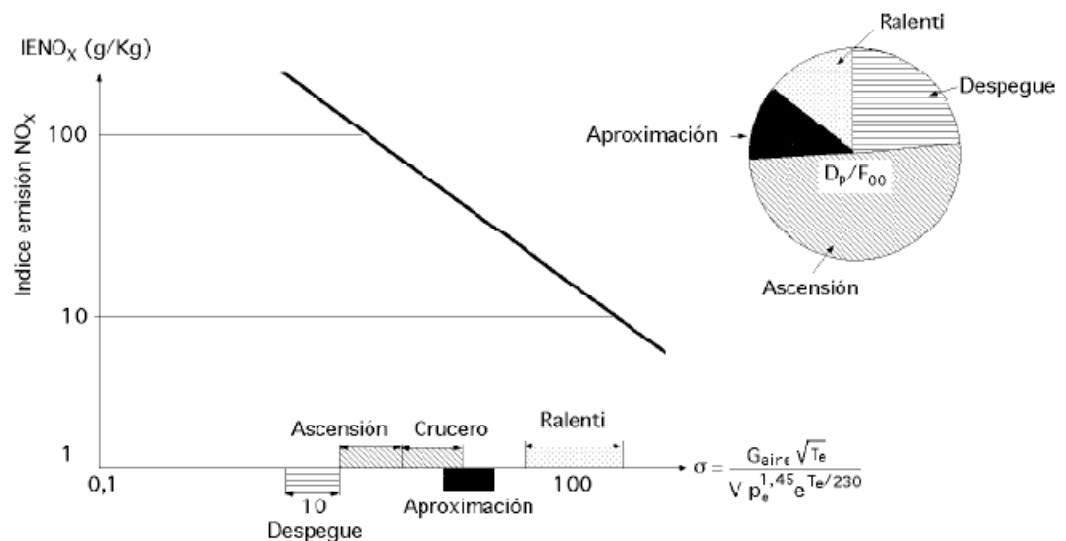


Figura 2.25. Influencia de las condiciones de funcionamiento de la cámara de combustión sobre el índice de emisión del NOx (IENox).

Fuente: <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/09Tgas.pdf>

2.3.3.4. Humos.

Los humos son inquemados producidos bajo condiciones de alta presión, en zonas de la cámara en las que la riqueza local es elevada, principalmente en la zona primaria. Por el contrario, en la zona de dilución (terciaria), debido a la oxigenación de los gases y a que las temperaturas son todavía elevadas, se observa en general una combustión de las partículas de carbono y, por lo tanto, una disminución de los humos.

El nivel de humos emitidos por un turborreactor aumenta con la presión y con la riqueza de funcionamiento de la cámara de combustión, y disminuye con la temperatura en la zona de dilución, en donde existe menor temperatura y aire terciario fresco; el fenómeno de combustión de los humos en la zona de dilución supera, en general, a su producción en la zona primaria.

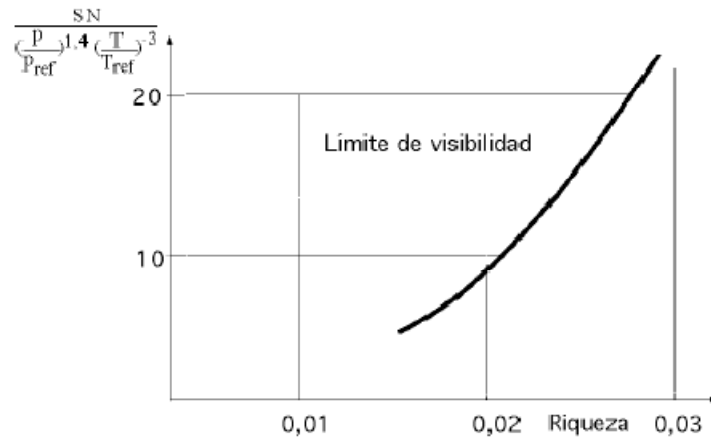


Figura 2.26. Influencia de las condiciones de funcionamiento de La cámara de combustión sobre la emisión de humos.
Fuente: <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/09Tgas.pdf>

CAPITULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Ficha técnica del estudio de impacto ambiental

Proyecto: Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre

Cuadro 3.1. Ubicación Geográfica

Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre			
Archivo:Aeropuerto Mariscal Sucre.jpg			
IATA: UIO - OACI: SEQU			
Sumario			
Tipo	Público		
Propietario	Municipalidad de Quito		
Operador	Quiport		
Ciudad	 Quito, Ecuador		
Ubicación	Chaupicruz, Ecuador		
Elevación	2.813 m / 9.228 pies (msnm)		
Coordenadas	 00°08'28"S 78°29'19"O		
Página web	http://www.quiport.com/ 		
Pistas			
Dirección	Largo		Superficie
	metros	pies	
17/35	3.120	10.236	Asfalto

Fuente:http://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto_Internacional_Mariscal_Sucr

Elaborado por: wikipedia.

Intersección: El Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre, no intercepta con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, Patrimonio Forestal, Bosques y Vegetación Protectores del Estado.	
Actividad: El Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre (código IATA: UIO, código OACI: SEQU) es el principal aeropuerto de Ecuador y de entre sus principales funciones como eje de comunicación entre el país y el mundo brinda los siguientes servicios: Aduanas, Migración, Sanidad internacional, Abastecimiento de combustible, Tránsito aéreo, Información aeronáutica, Meteorología y servicio al cliente por medio de Quiport.	
Promotor: Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre	
Dirección: Avenidas Amazonas y De la Prensa s/n, Quito 27-10-7082, Ecuador	
Teléfono: (593) 2 2944 900	
Operador : QUIPORT	
Personal Consultor:	
La Empresa Quiport una vez que tenga aprobado los términos de referencia para el estudio de impacto ambiental ex post y plan de manejo ambiental por parte de la Autoridad Competente, se contratará una Consultora para que realice el estudio por medio de un equipo multidisciplinario de profesionales, como establece el Sistema Único de Manejo Ambiental SUMA, las profesionales que participarán en la ejecución del estudio serán los siguientes:	
Medio Físico Técnico:	Juan Carlos Pineda Serrano
Descripción del proyecto:	Juan Carlos Pineda Serrano

3.1.1 Antecedentes.

El Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre (código IATA: UIO, código OACI: SEQU) es el principal aeropuerto de Ecuador, está ubicado en el sector conocido como Chaupicruz a 8 Km del centro de la capital y que sirve a la ciudad de Quito en Ecuador, el terminal aéreo entró en servicio en 1960; se encuentra a una altura de 2.800 metros sobre el nivel del mar. El aeropuerto está ubicado en la parte

norte de la ciudad. La pista tiene una longitud aproximada de 3 kilómetros, y se orienta de manera aproximada con el norte.

3.1.2 **Ubicación y acceso.**

El Aeropuerto Internacional Sucre está ubicado en la provincia de Pichincha, cantón Quito, parroquia de, Chaupicruz del Distrito Metropolitano de Quito con las siguientes coordenadas: 00°08'28"S 78°29'19"O.

Para llegar al aeropuerto desde la ciudad, deberá seguir la Avenida 10 de Agosto y luego la Avenida Amazonas. Si proviene de cualquier otro punto fuera de Quito, deberá ir por la autopista Panamericana y desde allí coger la Avenida 10 de Agosto, y más tarde la Avenida Amazonas.

3.1.3 **Marco legal e institucional.**

La elaboración del Estudio de Contaminación Atmosférica en las inmediaciones del Aeropuerto Mariscal Sucre se realizará de conformidad con el siguiente cuerpo legal:

- **TECNICO:**

OACI Documento 9889.

RDAC REGULACIONES AERONAUTICAS DEL ECUADOR.

INVENTARIO DE EMISIONES DEL AEROPUERTO DE QUITO (CORPAIRE).

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 439 [colores, señales y símbolos de seguridad].

- **AMBIENTAL:**

La Constitución Política de la República del Ecuador

Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria. Publicado en el Registro Oficial No. 2. Edición Especial del Ministerio del Ambiente.

Ordenanza 213 aplicable para el Distrito Metropolitano de Quito.

Código de la Salud.

3.1.4 Norma específica

- Pese a no contar con un marco regulatorio establecido a nivel estatal para la realización de un estudio de estas características servirán de guías los conceptos y especificaciones a nivel técnico contenidas en el Documento 9889(Manual Guía de la Calidad de Aire en un Aeropuerto) propuesto por la OACI, tras su aprobación por la secretaría general y publicado bajo su autorización como Versión Preliminar el día 15 del mes de abril del año 2007.
- Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire la sección 4.1.2.1 de la norma ecuatoriana de calidad del aire ambiente, establecida en el libro VI, anexo 4 del Texto Unificado de la Legislación Ambiental secundaria (ministerio del ambiente, 2003) que define los niveles de concentración máxima permitida para los contaminantes comunes del aire ambiente.
- La formulación de los Términos de Referencia para la elaboración del estudio técnico preliminar al de impacto ambiental, se basa en el artículo 16 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, que manifiestan textualmente lo siguiente:

Art. 16.- Alcance o términos de referencia.- Los términos de referencia para un estudio de impacto ambiental determinarán el alcance, la focalización y los métodos y técnicas a aplicarse en la elaboración de dicho estudio en cuanto a la profundidad y nivel de detalle de los estudios para las variables ambientales relevantes de los diferentes aspectos ambientales: medio físico, medio biótico, medio socio-cultural y salud pública. En ningún momento es suficiente presentar como términos de referencia el contenido proyectado del estudio de impacto ambiental ex post.

Debe señalar por lo tanto y en función de la descripción de la actividad o proyecto propuesto, las técnicas, métodos, fuentes de información (primaria y secundaria) y demás herramientas que se emplearán para describir, estudiar y analizar:

- a) Línea Base (diagnóstico ambiental), focalizada en las variables ambientales relevante; “descripción del proyecto y análisis de alternativas.”
- b) Identificación y evaluación de impactos ambientales.

- c) Definición del plan de manejo ambiental y su composición (sub-planes y/o capítulos).

Auditoría Ambiental Inicial o EsIA Ex-post

Como ya se menciona anteriormente, en la Primera Disposición Transitoria del mencionado reglamento se establece que: las actividades o proyectos que se encuentren en funcionamiento y que no cuenten con un estudio de impacto ambiental aprobado, deberán presentar una auditoría ambiental inicial de cumplimiento con las regulaciones ambientales vigentes ante la entidad ambiental de control. La auditoría ambiental inicial debe incluir un plan de manejo ambiental. La AA inicial o EsIA Ex post cubre la ausencia de un EsIA.

El alcance del respectivo estudio de impacto ambiental ex post deberá cubrir todas las fases del ciclo de vida de la actividad propuesta, excepto cuando por la naturaleza y características de la actividad y en base de la respectiva normativa sectorial se puedan prever diferentes fases y dentro de éstas diferentes etapas de ejecución de la actividad.

Periodicidad de las Auditorías Ambientales de Cumplimiento

De acuerdo a lo publicado el 31 de marzo del 2003 y promulgado mediante Decreto Supremo No. 3516 del 27 de diciembre de 2002, las Auditorías Ambientales de Cumplimiento se efectuarán pasados 12 meses (1 año) de haber entrado en operación la actividad. Posteriormente FALIMENSA S.A. deberá presentar los informes de las auditorías ambientales de cumplimiento con el plan de manejo ambiental y con las normativas ambientales vigentes, al menos, cada dos años, contados a partir de la aprobación de la primera auditoría ambiental.

3.1.5 Legislación local

En vista que no hay una regulación específica para el tránsito de aeronaves en el Distrito Metropolitano de Quito se tomaran en cuenta los criterios que se refieren al estudio de la Ordenanza Metropolitana 213.

3.2 Línea base (diagnostico ambiental)

3.2.1 Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre

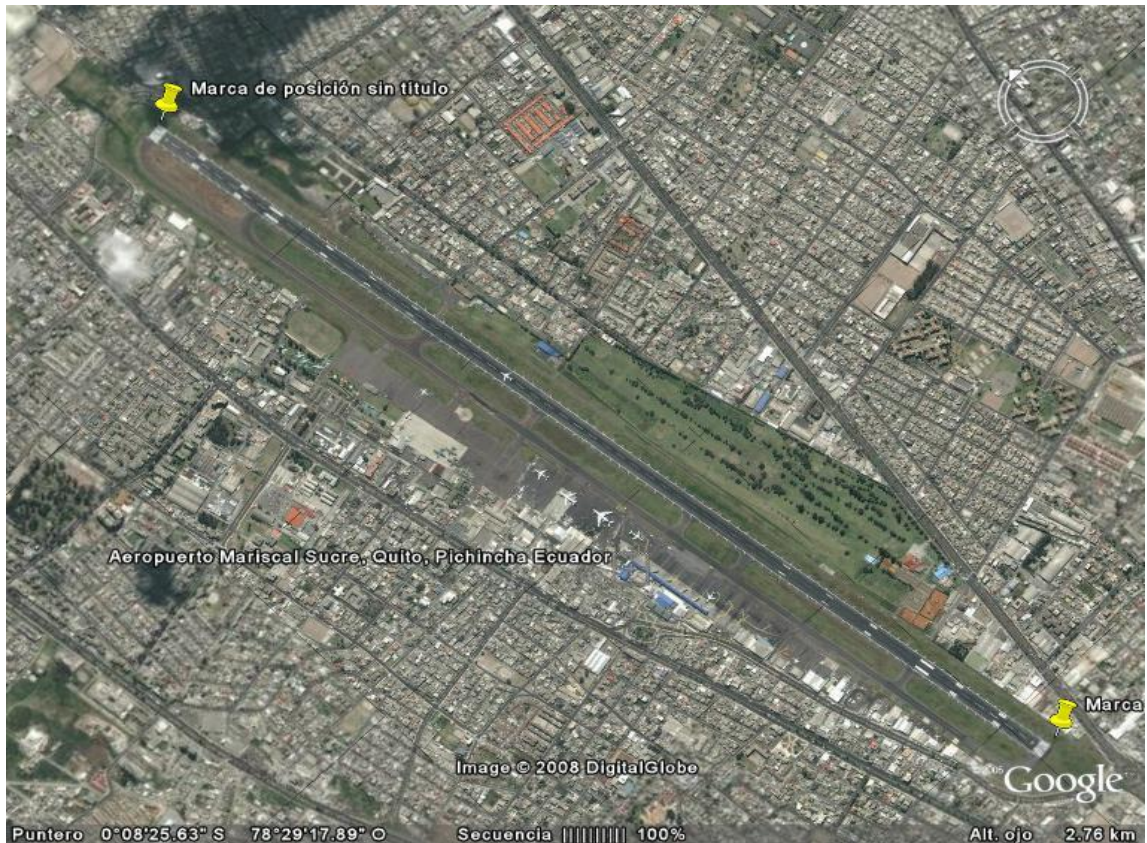


Figura 3.1. Vista satelital Aeropuerto Mariscal Sucre.
Fuente: <http://earth.google.es/aerpuertomariscalsucre>.

3.2.2 Aspectos generales.

3.2.2.1 Procesos industriales.

Existen tres procesos principales que se destacan en el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre:

- Procesos clave u operativos: Son los procesos que tienen relación directa con el tránsito de aeronaves y se realizan en tiempo real, por lo que no admiten control de calidad sino tan solo aseguramiento. Por ejemplo: Autorización de despegue de una aeronave.
- Procesos estratégicos: Son aquellos que establecen guías para la realización de los procesos clave. Por ejemplo: Elaboración de bitácoras de vuelo.

- Procesos de soporte o apoyo: son aquellos que aportan recursos para la realización de los procesos clave. Por ejemplo: Planificación y gestión del mantenimiento de las aeronaves.

3.2.2.2 Equipos y materiales

Equipos de apoyo en tierra para aeronaves.

Equipos para control de incendios.

Equipos de oxígeno y presurización.

Equipos de carga, descarga y transporte de combustible.

Equipos para carga y descarga de equipaje y mercancías.

Equipos de comunicación

Equipos de navegación

Equipos de seguridad aérea y terrestre.

Equipo médico de socorro y rescate

Aceite, insumos de mantenimiento.

3.2.2.3 Infraestructura básica.

Cuenta con una pista de 3.120 metros de longitud por 46 metros de ancho; y una vía para el rodaje de aeronaves de 3.120 metros de longitud y 23 metros de ancho.

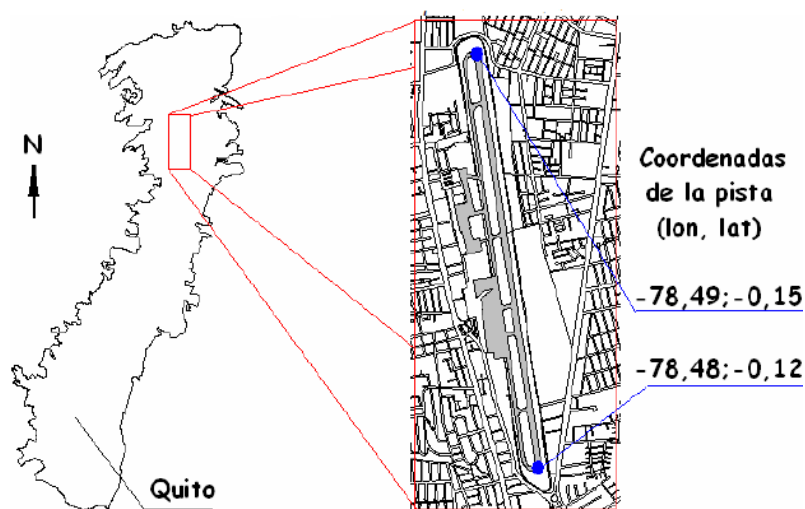


Figura 3.2. Ubicación del Aeropuerto de Quito.

Fuente: http://www.corpaire.org/siteCorpaire/upload_Files/lotaip/ordenanza_213.pdf

Posee tres plataformas para estacionamiento de aeronaves: Plataforma para vuelos nacionales e internacionales (15 posiciones de estacionamiento de aeronaves PITS), aviación menor (6 PITS) y carga (4 PITS). Los siguientes, son servicios permanentes que funcionan las 24 horas: Centro de operaciones de aeropuerto y Centro de operaciones de emergencia, DAC Seguridad aeroportuaria, Servicio de salvamento y extinción de incendios y Servicio médico.

3.2.3 Línea de influencia

3.2.3.1 Límites del Aeropuerto Mariscal Sucre.

Zona: Chaupicruz

Norte: Parroquia Cotocollao

Sur: Parroquia la Jipijapa

Este: Parroquia El Inca

Oeste: Parroquia la Concepción

3.2.3.2 Geología

¹⁸En la provincia de Pichincha solamente se encuentran vestigios del período cretáceo de la época Mesozoica: formaciones poco estratificadas del momento magmático inicial neoandínico, formaciones claramente sedimentarias, precipitaciones calcáreas superficiales.

El caso de nuestro estudio nos enfocamos formaciones diabasa-porfirita del Cretáceo inferior Corresponden a erupciones del magmatismo inicial, poco estratificadas, con rocas porfiríticas de variados colores, en los declives occidentales del Atacazo, Corazón e Iliniza afloran rocas básicas antiguas de diabasa-porfirita.

La provincia de Pichincha es, incuestionablemente, la más volcánica de todo el Ecuador, pues en su territorio aparece el mayor número de cráteres en el menor espacio de tierra; afortunadamente sólo dos de ellos apenas activos, en estado de solfataras: el Pichincha, que da su nombre a la provincia y el Ninahuilca,

¹⁸<http://www.edufuturo.com/educacion.php?c=1444>

volcancito cercano al propio Pichincha, adosado al cráter viejísimo del Atacazo. En efecto, se pueden contar, dentro de los ámbitos de la provincia, por lo menos 18 cráteres evidentes de volcanes.

Esos volcanes, en sus períodos de actividad, arrojaron grandes cantidades de materiales en forma de lava andesítica, bombas, piedra pómez (lava esponjosa), arena y cenizas volcánicas (originadas por la trituración y pulverización de materiales líquidos y sólidos del cráter)"

Esa realidad geológico-volcánica explica la predominancia en la provincia de cangahuas amarillentas, negros chocólos, cenizas pumíceas granuladas, arenas groseras y pedrizcos, campos y corridas de piedras andesíticas (rumipambas) y lavas, lapilli y más materiales estrictamente volcánicos y fluvio-volcánicos, resultado de los depósitos del vulcanismo o de la acción aluvial"

3.2.3.3 Hidrogeología

¹⁹La provincia de Pichincha forma parte, sobre todo, de la cuenca hidrográfica del río Esmeraldas, pero también de la cuenca del Guayas. El río Guayllabamba es el eje hidrográfico de la hoya de Quito y el más importante caudal de aguas de la provincia. Ya en la región litoral se une, un poco más hacia el occidente de los linderos provinciales, con el río Blanco, que poco antes ha recibido el aporte del Toachi, y forman el Esmeraldas, pero también integran el sistema hidrográfico provincial los ríos Palenque y Peripa, ambos tributarios del Daule y pertenecientes, por tanto, a la gran cuenca hidrográfica del río Guayas.

3.2.3.4 Suelos

De acuerdo al mapa temático de suelos, presente en él, la textura del suelo del área de influencia indirecta del proyecto, es moderadamente gruesa. Al estar el suelo de la Parroquia Chaupicruz asentado sobre proyecciones volcánicas recientes.

La ocupación del suelo en el área de influencia es básicamente asentamientos humanos, y bosques artificiales y parques recreacionales.

La pendiente del suelo es montañoso; es decir; el terreno es quebrado. Las pendientes son mayores al 100 %, con un recubrimiento por rellenos. La calidad del suelo es semi-fértil, y erosionado debido a las construcciones.

¹⁹ <http://www.edufuturo.com/educacion.php?c=1444>

La permeabilidad del suelo es media; es decir; el agua tiene ciertos problemas para infiltrarse en el suelo. Los charcos permanecen algunas horas después de que ha llovido. El drenaje del suelo es bueno por lo tanto existen estancamientos de agua que se forman durante las lluvias, pero que desaparecen a las pocas horas de cesar las precipitaciones

3.2.3.5 Clima

²⁰Datos climáticos históricos de Quito / Mariscal Sucre registrados durante el mes de Abril del año 2010, con medias mensuales y datos ampliados para un día.

Cuadro 3.2. Datos climáticos sector aeropuerto Mariscal Sucre.

Datos Extend.	T	TM	Tm	VV	VR	PNM	PT	LL	G	T	N	NB
1	14.7	21.7	7.7	5.37	53.52	-	0	1	0	1	0	1
2	16.0	21.9	11.7	10.37	-	-	22.0	1	0	0	0	1
3	16.0	21.9	12.7	7.59	-	-	4.0	1	0	0	0	1
4	15.2	19.9	10.6	7.04	-	-	6.0	1	0	1	0	1
5	15.8	20.5	12.5	6.48	-	-	1.0	1	0	0	0	1
6	13.9	21.4	9.9	7.22	-	-	16.0	1	0	1	0	1
7	14.0	19.9	10.7	5.37	-	-	10.9	1	0	1	0	1
8	14.3	21.9	9.8	7.22	40.74	-	11.9	1	0	0	0	1
9	14.4	22.2	11.7	5	-	-	11.9	1	0	1	0	1
10	14.5	19.3	11.9	6.85	-	-	5.0	1	0	0	0	1
11	13.7	20.0	11.9	5.93	33.52	-	0	1	0	1	0	1
12	13.9	18.4	11.2	6.11	-	-	6.0	1	0	0	0	1
13	13.2	19.4	10.7	5.19	-	-	4.0	1	0	0	0	1
14	13.9	19.9	9.7	5.19	-	-	9.9	1	0	1	0	1
15	14.3	21.4	11.3	5.56	-	-	5.0	1	0	1	0	1

²⁰ <http://clima.meteored.com/clima-en-quito+aeropuerto-840710.html>

Significado de las columnas de datos:

T	Temperatura media (°C)	G	Índica si Granizó (0: No; 1:Si)
TM	Temperatura máxima (°C)	T	Indica si hubo tormenta (0: No; 1:Si)
Tm	Temperatura mínima (°C)	N	Índica si nevó (0: No; 1:Si)
VV	Velocidad media del viento (km/h)	NB	Indica si hubo niebla (0: No; 1:Si)
VR	Velocidad de ráfagas máximas de viento (km/h)		
PNM	Presión atmosférica a nivel del mar (mb)		
PT	Precipitación total de lluvia y/o nieve derretida (mm)		
LL	Índica si hubo lluvia o llovizna (0: No; 1:Si)		

Resumen de datos mensuales para Abril del 2010:

Temperatura Máxima mensual: 22.2 °C

Temperatura Mínima mensual: 7.7 °C

Temperatura Media mensual: 14.5 °C

Precipitación Total mensual: 114.3 mm.

Media de Velocidad del Viento mensual: 6.43 km/h

Ráfagas Máximas de viento mensual: 53.52 km/h

Fuente: <http://clima.meteored.com/clima-en-quito+aeropuerto-840710.html>

Elaborado por: Datos fueron reportados por la estación meteorológica: 840710 (SEQU) Latitud: -0.13 | Longitud: -78.48 | Altitud: 2811

3.2.3.5.1 Temperatura

El régimen de temperatura presentó una tendencia irregular tanto espacial como temporal en todo el país, con predominio de tendencias positivas. Se registraron 15 récords de temperaturas extremas durante el primer semestre del año.

Record de temperatura máxima absoluta: En la región, únicamente se registró récord de temperatura máxima absoluta el mes de mayo, en la estación de Machala Aeropuerto (34.0°C).

3.2.3.5.2 Precipitaciones

En el Ecuador el régimen de precipitaciones en condiciones normales dependen de la región natural; en la Región Interandina o Sierra el Período Lluvioso se inicia en el mes de octubre y finaliza en el mes de mayo, con dos valores de altas precipitaciones, el valor mayor o valor máximo se registra en los meses de marzo a abril, y el segundo valor mayor o segundo valor máximo en los meses de octubre o noviembre; es decir es una distribución BIMODAL. El período seco o verano se extiende desde el mes de junio a septiembre.

En el lugar de estudio se establecen precipitaciones medias es decir; lluvias en épocas invernales o esporádicas.

3.2.3.6 Aire

La calidad del aire es buena: el aire es respirable, presenta malos olores en forma esporádica o en alguna época del año. Se presentan irritaciones leves en ojos y garganta, la recirculación es muy buena con presencia tanto Brisas ligeras y constantes Existen frecuentes vientos que renuevan la capa de aire.

3.2.3.6.1 Datos de la calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito en el año 2009

Acorde a la situación geográfica a la que se encuentra el aeropuerto internacional mariscal sucre se tomaran en cuenta los datos censados por la estación de monitoreo ubicada en Cotocollao por su proximidad al mismo.

Tabla 3.1. Concentración máxima diaria de los promedios móviles de 24 horas, material particulado fino (PM2.5) en µg/m3. Estación Cotocollao (Cot)

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	40.77	13.30	19.83	12.61	24.71	21.58	22.64	25.15	26.60	29.68	27.44	33.57
2	28.69	11.15	17.86	15.77	22.04	20.17	18.82	18.69	25.36	33.98	22.20	33.99
3	11.85	11.42	16.54	16.21	11.71	17.40	16.97	16.88	28.15	36.33	21.10	29.15
4	10.29	11.22	15.24	16.97	11.10	16.46	22.77		25.60	27.20	26.99	31.78
5	10.25	12.75	13.15	17.19	24.93	17.21	20.70		17.23	24.69	26.26	25.78
6	10.32	15.14	20.33	13.72	22.48	17.54	17.57		14.08	28.62	23.36	23.13
7	10.73	19.21	18.73	18.68	33.18	15.15	19.35		24.82	32.36	29.51	21.14
8	8.03	16.72	16.97	17.91	31.82	15.52	20.52		36.67	24.53	29.41	19.98
9	8.62	18.01	14.78	19.97	32.31	25.67	18.24		34.62	20.23	36.64	20.09
10	11.87	17.46	17.32	20.55	17.78	24.72	18.02		28.24	27.54	40.65	20.19
11	12.45	24.06	17.62	14.56	19.08	17.10	23.37		22.18	27.20	37.55	25.01
12	8.90	25.80	14.58	9.30	18.87	15.82	21.43		24.81	21.94	34.01	24.30
13	10.78	19.30	9.82	13.77	16.18	14.79	18.60		29.38	29.87	35.95	21.10
14	9.59	10.81	14.96	15.18	18.41	16.44	18.38		33.22	25.67	42.53	20.92
15	11.12	10.99	21.07	26.03	21.45	12.25	16.30		37.78		34.64	37.71
16	8.72	13.90	19.66	27.25	21.16	14.02	24.96		34.87		33.69	36.26
17	8.41	14.69	16.51	16.30	23.01	21.42	24.53		27.83		39.87	18.98
18	12.43	12.56	12.38	16.70	25.82	20.27	16.08		29.92		35.50	17.38
19	11.41	19.81	12.75	13.65	29.15	20.16	12.27		21.31		39.44	12.64
20	13.69	22.63	10.58	14.50	23.09	22.94	17.58		20.05		38.93	15.84
21	12.84	19.80	15.49	13.17	19.78	22.40	19.40				40.05	13.78
22	11.94	13.25	13.80	12.96	22.68	18.34	18.50				30.68	13.68
23	10.45	11.84	8.78	16.65	21.93	17.67	22.03	27.15			24.22	20.83
24	9.79	9.37	15.57	21.93	16.74	25.61	28.49	22.47		32.39	21.98	19.70
25	9.07	12.93	14.55	20.39	17.24	30.96	24.04	23.51		32.37	29.27	20.47
26	9.78	11.97	10.57	20.96	19.03	20.64	19.68	22.62		33.29	32.76	17.58
27	13.99	21.34	14.28	14.49	22.73	16.32	18.90	19.58		33.66	28.96	18.40
28	14.41	22.87	11.81	18.17	24.66	13.65	14.01	26.66		34.74	21.37	12.68
29	15.51		9.96	17.70	22.87	16.67	13.48	26.19		28.68	21.55	28.96
30	14.40		13.72	14.57	20.73	21.45	18.24	20.81		35.38	20.47	36.70
31	15.60		13.49		16.55		23.45	24.15		32.02		26.50
Mes	12.80	15.87	14.93	16.93	21.72	19.01	19.66				30.90	23.17

Fuente: <http://remmaq.corpaire.org/animacion.htm>

Elaborado por: Remmaq – CORPAIRE.

Tabla 3.2 Concentración máxima diaria de los promedios móviles de 24 horas, dióxido de azufre (SO₂) en µg/m3. Estación Cotocollao (Cot)

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	6.61	4.12	5.56		13.09	5.72	8.53	5.36	6.35	3.28	2.64	6.52
2	3.78	3.46	3.27	7.91	10.46	7.08	8.46	3.43	6.45	3.85	2.02	6.18
3	4.42	3.93	4.19	6.72	4.11	7.04	6.29	5.23	5.81	4.45	3.08	5.24
4	4.51	3.55	6.19	4.94	4.00	3.93	5.83	9.55	4.64	2.50	4.82	6.46
5	4.31	4.95	6.01	3.83	7.76	4.59	5.73	7.85	4.33	3.06	5.99	5.84
6	4.20	5.21	5.86	3.25	7.29	4.58	6.15	6.45	2.73	4.07	6.82	3.85
7	3.98	4.62	6.37	5.96	7.08	3.83	7.76	7.29	4.37	4.69		3.70
8	3.78	4.63	3.57	5.71	11.13	3.39	7.96	7.25	6.55	5.35	4.64	3.47
9	3.36	4.27	3.39	9.21	11.85	5.57	6.80	5.70	7.27	4.87	6.33	3.56
10	3.67	6.37	3.40	9.42	7.09	5.39	6.63	4.19	5.88	4.88	8.13	5.65
11	3.09	9.23	3.46	4.73	5.46	4.35	6.52	5.97	4.13	4.58	8.62	5.93
12	2.56	9.71	2.85	2.59	6.01	4.80	6.42	5.94	2.94	2.97	7.97	4.92
13	2.76	7.01	2.67	4.77	6.52	3.70	6.35	6.17	2.62	5.07		4.02
14	2.39	3.64		6.66	7.27	3.22	7.34	5.44	2.30	5.23	5.12	4.97
15	2.70	3.08		8.71	7.45	3.99	4.63	5.53	4.51	4.98	4.70	6.40
16	3.87	3.98		10.55	7.41	5.09	5.63	5.42	4.43	5.76	3.58	6.31
17	4.22	5.76		8.04	7.65	7.75	5.30	5.05	2.46	6.27	5.47	5.02
18	5.80	4.48		4.86	7.05	5.69	4.95	4.96	3.34	7.96	5.18	3.20
19	4.72	6.99		3.66	9.94	4.79	3.05	4.49	3.07	10.76	8.22	2.61
20	5.03	9.61		4.22	9.87	4.90	4.04	5.58	3.12	7.26	8.56	3.68
21	4.76	8.43		4.62	5.30	5.06	4.59	4.70	4.36	5.13	7.43	3.56
22	4.47	3.39		4.49	6.12	4.72	5.80	5.73	4.98	4.76	5.77	
23	5.97	2.05		9.84	6.49	4.92	6.59	5.49	6.99	6.19	4.61	3.95
24	5.94	2.23		12.83	4.80	8.17	7.22	4.57	7.19	6.22	4.41	4.35
25	4.56	3.06		18.93	6.75	9.16	5.48	5.63	5.74	5.45	4.82	3.80
26	3.75	4.07		18.83	7.41	7.37	5.42	3.85	5.70	5.70	6.08	3.14
27	5.14	6.05		6.66	8.80	5.64	5.07	3.42	5.32	7.43	6.41	2.94
28	4.95	6.65		8.03	10.48	4.24	4.25	4.03	3.65	6.92	5.88	2.94
29	5.02			6.39	7.39	4.50	3.87	3.99	2.65	4.98	3.76	3.79
30	5.57			7.02	6.41	8.08	4.08	1.93	2.12	5.38	3.62	3.72
31	5.29				5.63		5.41	3.64		5.39		2.23
Mes	4.36	5.16		7.36	7.54	5.37	5.88	5.25	4.53	5.34	5.52	4.40

Fuente: <http://remmaq.corpaire.org/animacion.htm>

Elaborado por: Remmaq – CORPAIRE.

Tabla 3.3 Concentración máxima diaria de los promedios móviles de 8 horas, monóxido de carbono (CO) en mg/m³. Estación Cotocollao (Cot)

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	1.21	0.88	0.70		1.20		0.79	0.73	0.89	0.97	0.62	
2	0.70	0.60	0.88	1.21	0.89	0.95	0.59	0.56	0.77	0.93	0.64	0.71
3	0.77	0.86	0.67	1.06	0.85	0.68	0.67	0.44	0.83	1.03	0.53	
4	0.68	0.60	0.99	0.71		0.80	1.17	0.53	0.84	0.76	0.99	1.30
5	0.74	0.78	0.96	0.94	1.22	0.89	0.89	0.70	0.64	1.03	1.14	0.75
6	0.68	0.71	1.13	0.65	1.08	0.74	0.86	0.99	0.88	0.47		1.08
7	0.58	0.72	0.75	0.92	1.27	0.74	0.93	1.19	0.99	0.40		0.66
8		0.53	0.62	0.79	1.10	0.67	0.89	1.07	1.10	0.53	1.26	0.87
9	0.69	0.85	0.66	1.18	0.72	1.06	0.79	0.72	1.27	0.58		
10	0.63	0.84	0.68	1.05	0.71	0.95	0.89	0.65	0.74	0.30		0.94
11	0.48	1.05	0.76	0.71	0.76	1.18	0.86	1.03	0.79	0.47		0.78
12	0.53	1.00	0.74	0.73	0.84	1.09	0.61	1.12	0.93	0.55		0.87
13	0.51	0.57	1.17	1.06	0.53	0.92	0.70	1.12	1.05	0.55		0.94
14	0.48	0.62	0.74	1.01	0.90	0.70	0.52	0.91	1.03	0.70	1.19	0.98
15	0.43	0.70	0.86	1.97	0.63	0.81	0.44	1.14	1.07	0.86	0.91	1.03
16	0.94	0.91	1.05	2.02	0.74	0.77	0.59	0.81	0.92	0.76	0.94	0.82
17	0.93		0.65		0.96		0.57	0.79	1.60	0.76		0.76
18	1.10	1.04	0.81	1.03	0.76	0.92	0.62	0.78	1.75	0.40		0.67
19	1.02	1.31	0.62	0.75	1.38	1.24	0.49	0.81	0.95			1.13
20	0.80	1.36		0.93	0.84	1.28	0.82	0.94	0.88	0.74	0.98	1.17
21	0.54	0.67	1.17	0.71	1.16	1.28	0.70	0.97	0.83	1.09	1.03	0.80
22	0.56	0.69	1.19	0.60	1.36	1.03	0.49	1.11	1.13	0.96	0.78	0.76
23	0.96	0.48	1.17	0.93	0.82	0.60	0.61	1.06	0.97	1.15	0.51	0.76
24	0.97	0.46	1.22	0.98	0.60	0.80	0.63	0.84	0.71	1.02	0.43	0.97
25	0.59	0.76	0.58	0.73	0.70	0.89	0.64	0.70	0.98	1.23	0.47	0.87
26	0.88	0.77	0.70	0.72	0.89	0.55	0.52	0.74	0.74	0.59	0.71	0.86
27	0.65	1.45	1.03	0.79	0.97	0.59	0.57	0.57	0.56	0.80		0.88
28	0.70	0.75	0.67	0.81	1.05	0.37	0.57	0.73	0.82	0.81	0.42	0.84
29	0.70		0.71	0.58	0.75		0.59	0.56	0.66	0.68	0.38	
30	0.73		0.79	1.04	0.82	0.70	0.57	0.66	0.64	1.01		
31	0.87		0.70		0.74		0.81	0.68		0.70		0.56
Mes	0.73	0.81	0.84	0.95	0.90	0.86	0.68	0.83	0.91	0.76		0.88
Año	0.83											

Fuente: <http://remmaq.corpaire.org/animacion.htm>

Elaborado por: Remmaq – CORPAIRE.

Tabla 3.4 Concentración máxima diaria de los promedios móviles de 8 horas, ozono (O₃) en µg/m³. Estación Cotocollao (Cot)

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	47.20	39.97	56.76	28.95	39.56	42.34	38.21	64.96	67.41	75.47	51.68	
2	34.29	41.57	50.41	46.31	37.22	43.81	34.07	61.79	60.64	63.04	59.02	55.61
3	39.08	32.39	37.10	51.64	47.12	33.30	33.04	51.10	52.46	65.72	56.29	38.85
4	43.51	38.77	40.98	66.46		30.31	36.54	39.11	48.23	63.20	62.21	59.63
5	35.22	40.66	46.65	62.59	39.11	39.54	40.99		78.51	57.15	51.67	58.23
6	44.02	43.50		67.31	45.27	24.31	40.96	42.92	95.63			56.03
7	36.56	52.08	64.81	42.87	51.33	36.74	38.88	49.81	73.46	69.61		42.03
8		58.15	63.11	36.22	50.18	25.61	41.83	60.27	68.19	58.08	45.76	54.99
9	42.28	49.90	69.77	43.61	41.43	37.55	37.03	53.04	61.41	63.31		
10	38.34	51.38	64.00	71.20	40.28	36.49	45.40	50.11	59.07	65.96		53.85
11	37.59	39.58	50.47	51.73	38.81	22.26	54.05	46.54	88.19	68.85	63.85	49.95
12	27.26	44.69	42.55	56.84	33.89	30.99	56.34	48.67	70.20	54.15		47.82
13	27.02	32.28	42.52	57.56	36.26	30.22	45.10	62.42	89.34	57.07		48.66
14	30.25	28.62	68.23	71.11	38.79	22.93	40.49	60.71	81.21	45.40	67.76	46.52
15	35.39	40.53	68.08	66.61	42.93	30.59	59.91	66.87	65.20	66.10	76.58	42.30
16	24.32	25.47	64.60	59.32	45.24	29.30	57.67	65.37	72.55	63.20	68.09	42.53
17	23.88		46.52	46.62	63.13		41.02	54.32	59.87	61.08	78.36	38.79
18	33.99	47.84	52.28	26.19	52.46	37.14	34.14	52.47	68.87	51.10	50.00	42.62
19	26.19	42.78	42.73	22.62	33.73	30.90	43.22	51.65	71.80	58.33	46.16	26.14
20	42.60	47.82		26.56	24.33	38.21	40.58	50.85	64.60	41.74	52.82	43.47
21	26.32	34.09	40.82	26.23	31.82	38.42	42.04	51.54	56.94	58.69	58.75	40.21
22	35.94	44.21	51.18	33.18	34.61	40.49	39.51	60.18	51.74	45.56	56.99	47.10
23	33.54	40.93	35.83	44.36	38.31	46.41	49.75	61.15	49.68	60.24	44.08	46.01
24	41.94	47.57	56.36	49.71	38.89	37.76	45.52	54.97	62.83	75.34	49.90	46.99
25	37.62	45.39	38.72	46.41	33.37	39.80	52.69	46.30	64.16	70.83	52.21	42.48
26	40.41	47.71	41.09	45.63	46.54	40.39	71.92	63.69	74.52	67.67	56.72	39.99
27	48.22	48.52	42.79	36.52	37.92	38.90	56.68	56.23	72.15	55.53	29.71	50.53
28	51.22	58.19	48.40	37.88	52.07	38.71	39.95	46.57	51.32	63.51	57.05	50.65
29	36.64		53.94	31.88	40.17	34.79	47.41	56.23	72.39	64.99	50.49	
30	38.91		50.48	27.01	41.28	32.44	50.63	51.43	59.46	59.81		39.85
31	37.93		48.17		43.36		51.19	56.53		50.44		55.41
Mes	36.79	43.13	51.01	46.17	41.31	34.85	45.37	54.59	67.06	60.70	55.92	46.69
Año	48.57											

Fuente: <http://remmaq.corpaire.org/animacion.htm>

Elaborado por: Remmaq – CORPAIRE.

Tabla 3.5. Concentración máxima diaria de los promedios móviles de 24 horas, dióxido de nitrógeno (NO₂) en µg/m³. Estación Cotocollao (Cot)

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	25.98	17.68	20.32	18.62	23.38	19.87	21.44	24.83	21.09	24.87	22.51	
2	19.31	10.90	13.52	25.54	21.94	22.11	18.63	18.94	21.12	27.69	19.40	32.89
3	21.89	13.06	13.64	20.76	14.42		19.28	15.28	24.21	31.56	18.84	33.41
4	16.11	13.62	16.82	20.33	14.11	20.73	24.26	15.49	28.51	21.37	28.25	39.92
5	18.84	16.31	16.18	19.88	25.28	20.89	24.77	17.59	20.31	28.00	29.21	29.58
6	22.14	17.44	19.18	15.86	25.16	20.20	19.30	20.71	12.48	32.16	32.51	26.06
7	19.92	19.43	19.96	25.11	27.60	12.81	20.36	20.72	23.21	25.92		19.75
8	18.14	17.36	14.89	22.06	31.10	9.20	23.63	24.44	26.06	28.36	28.04	19.94
9	20.20	17.09	13.21	36.17	27.43	12.57	19.59	22.66	28.15	28.29	26.78	21.79
10	20.42	16.68	15.44	41.92	20.65	15.07	17.73	15.56	29.95	21.32	37.49	23.98
11	14.73	27.22	14.06	23.99	18.24	18.57	19.69	21.97	25.08	23.29	36.40	30.16
12	11.92	30.60	13.93	21.04	20.78	19.18	17.02	22.32	26.45	30.92	27.90	26.95
13	15.01	22.46	18.65	24.90	20.18	14.00	9.58	20.82	27.76	36.73	28.97	20.18
14	15.03	18.09	20.26	34.87	18.45	14.58	11.45	27.16	25.45	34.39	35.09	19.57
15	14.17	18.27	25.31	45.62	18.65	8.18	12.43	27.80	27.74	31.79	30.15	23.90
16	17.77	24.85	24.99	47.38	22.13	13.00	17.88	25.59	31.68	31.67	24.97	24.49
17	19.15	21.13	16.27	28.90	27.93	20.32	14.63	22.70	35.44	32.62	34.27	22.24
18	21.64	22.32	16.00	25.64	23.56	21.24	12.61	23.46	37.29	26.95	33.48	16.41
19	16.76	26.80	16.30	18.56	31.14	20.08	9.06	19.34	31.14	35.11	40.56	24.93
20	19.13	26.32	19.59	18.07	27.60	22.44	11.02	23.75	24.80	35.56	32.99	28.05
21	16.83	20.43	25.22	18.64	19.50	22.49	12.02	22.83	20.56	38.26	35.74	18.96
22	14.30	15.59	23.30	19.22	22.03	20.14	10.08	23.42	28.38	31.59	26.88	17.86
23	22.20	8.91	19.62	20.75	22.38	22.78	10.44	23.41	26.01	32.99	20.77	20.52
24	22.94	9.67	25.47	23.39	15.42	28.51	11.40	23.87	22.13	34.49	21.66	19.22
25	21.15	14.56	15.84	23.02	15.20	26.55	11.75	27.51	27.74	35.61	23.72	18.63
26	15.65	19.29	12.62	19.58	18.53	19.85	11.12	26.58	26.77	24.91	28.76	20.21
27	17.49	26.80	20.21	21.49	26.70	18.50	8.88	21.59	18.63	29.21	30.23	19.30
28	18.57	24.69	18.10	20.97	29.62	18.33	11.67	22.01	20.85	31.29	25.50	23.94
29	19.40		19.34	15.31	24.33	16.72	9.55	20.83	21.73	27.40	16.00	27.22
30	21.54		17.53	15.94	25.21	19.26	11.58	16.41	18.29	28.68	18.11	21.04
31	18.31		19.96		18.22		21.59	19.25		27.60		27.25
Mes	18.60	19.20	18.25	24.45	22.54	18.56	15.30	21.90	25.23	30.02	28.11	23.95

Fuente: <http://remmaq.corpaire.org/animacion.htm>

Elaborado por: Remmaq – CORPAIRE.

3.2.3.7 Paisaje natural

El ecosistema es básicamente bosque pluvial, debido a su ubicación, altitud, temperatura, precipitaciones que caracterizan a la zona.

3.2.3.7.1.1 Medio biótico

3.2.3.7.1.2 Flora

El tipo de cobertura vegetal en la zona son: bosques, arbustos pastos y matorrales, su importancia es común del sector e intervenida, y su uso radica en la construcción y ornamento.

3.2.3.7.1.3 Fauna

El tipo de fauna es micro-fauna, Insectos, Anfibios, Aves y Mamíferos su importancia es común en el sector.

3.2.3.7.1.4 **Socio económico**

Su nivel de consolidación es urbano, el tamaño de la población está entre 1.001 y 10.000 habitantes, etnia mestiza.

La disposición de los servicios básicos lo maneja la EMAPP, su cobertura es aproximadamente un 98% en servicio de agua potable y alcantarillado.

Los desechos sólidos son recolectados por EMASEO y Quito Limpio.

Existe un servicio de red eléctrica por medio de la Empresa Eléctrica Quito.

El transporte urbano contando con una viabilidad: Vías principales, Vías secundarias, Caminos vecinales, Vías urbanas.

El servicio telefónico está cubierto por CNT.

Su organización social es comunal, barrial.

3.2.3.7.1.5 **Pasivos ambientales**

Existen fuentes de agua superficial aledaña al sitio del proyecto la cual tiene un nivel de contaminación alto, al verterse gran cantidad de aguas negras y grises sin un tratamiento previo a su descarga.

3.2.4 **Análisis de riesgos**

Cuadro 3.3. Riesgos en la salud provocados por los contaminantes.

<u>CONTAMINANTE</u>	<u>CARACTERÍSTICAS</u>	<u>EFECTO SOBRE LA SALUD PUBLICA</u>
Monóxido de Carbono CO	Gas inoloro e inoloro. Se forma cuando el carbono de los combustibles no se quema completamente (en los motores).	a) Concentraciones altas de CO pueden ocasionar dolores de cabeza y mareos, hasta el extremo de pérdidas de conocimiento e incluso la muerte en casos comprobados de enfermedades cardiovasculares. b) Las personas con afectaciones que comprometen a los sistemas cardiovascular y respiratorio, los bebés en gestación y recién nacidos,

		pueden también experimentar altos riesgos.
Dióxido de Azufre SO ₂	Gas incoloro y reactivo que se produce durante la quema de combustibles que contienen azufre, tales como carbón y ciertos derivados de petróleo.	a) El efecto primario que experimentan, incluso con exposiciones cortas, es el estrechamiento de las vías respiratorias (bronco constricción), lo cual puede causar síntomas tales como opresión del pecho y dificultad para respirar.
Dióxido de Nitrógeno NO ₂	Gas café rojizo, altamente reactivo. Se forma cuando otro contaminante, el óxido nítrico (NO) se combina con oxígeno del aire. El dióxido de nitrógeno reacciona con los compuestos orgánicos volátiles (COVs) para formar el ozono a nivel del suelo. Las mayores fuentes de este gas son grandes procesos combustión.	a) Estudios con animales sugieren que exposiciones prolongadas al dióxido de nitrógeno pueden incrementar la susceptibilidad a infecciones pulmonares y puede causar cambios estructurales permanentes en los pulmones.
Material Particulado(PM _{2.5} -PM ₁₀)	Partículas con diámetros menores a 10 micrómetros(PM ₁₀). Incluyen todo tipo de combustión (vehículos, generadores, quema de madera, etc.)	a) El material particulado puede ser inhalado y acumulado en el sistema respiratorio e incrementar la susceptibilidad a las infecciones respiratorias y puede agravar enfermedades respiratorias existentes, tales como asma y bronquitis crónica, provocando mayores cuidados médicos.

Fuente: En base a publicación libre Efectos sobre la salud pública, CORPAIRE.

Elaborado por: Diseño propio.

3.2.5 Determinación de áreas de influencia, directa, indirecta y sensibles.

3.2.5.1 Áreas de influencia directa y e indirecta (AID –AI).

El Área de Influencia directa se establece 100m a la redonda del aeropuerto abarcando las siguientes zonas:

Edificios de viviendas y negocios comerciales aledaños a la parroquia La Concepción.

Dentro del área de influencia indirecta la zona del proyecto está limitada por:

Centros de educación.

Hoteles.

Restaurantes.

Centros comerciales.

Avenidas de alto tráfico vehicular.

3.2.5.2 **Áreas sensibles.**

Las áreas sensibles ecológicamente son aquellas áreas, que son afectadas directamente por las actividades del aeropuerto y que están protegidas por el Ministerio del Ambiente o por otras instituciones públicas o privadas, sin embargo, se informa que la ubicación del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre **NO INTERSECTA** con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, Bosques Protectores y Patrimonio Forestal del Estado.

3.3 Diagrama de manejo e inclusión de criterios técnicos en la matriz para el control de emisiones.

DEFINICION DE ESTUDIO	OACI DOC. 9889	DATOS DE TRAFICO DE AERONAVES	DATOS DE OPERACIONES EN TIERRA DE AERONAVES	DATOS DE VEHICULOS DE CARRETERA	FUENTES ESTACIONARIAS ALEDAÑAS	
PARAMETROS DE DEFINICION DEL AEROPUERTO		PARAMETROS DE MEDICION	TIPOS DE AERONAVES EN CIRCULACION	TIPOS DE OPERACIONES EN TIERRA	PERFILES DE LA ACTIVIDAD CONJUNTA	
INVENTARIOS EN LAS INMEDIACIONES AL AEROPUERTO	ECUACIONES	CALCULO DE EMISIONES PRODUCTO DEL TRAFICO DE AERONAVES	CALCULO DE EMISIONES PRODUCTO DE LAS OPERACIONES EN TIERRA	CALCULO DE EMISIONES EN LOS VEHICULOS DE CARRETERA	CALCULO DE EMISIONES EN LAS FUENTES ESTACIONARIAS ALEDAÑAS	
ANALISIS DE RESULTADOS		REVISAR PARAMETROS OMS REGIONAL	APORTE TECNICO DE MEDICION CORPAIRE.	TABULAR Y CLASIFICAR TIPOS DE EMISIONES CORRESPONDIENTE A CADA FUENTE	EVALUAR MEDIAS DE CONTROL EN EL MEDIO Y LAS FUENTES	

3.3.1 Modelo del cálculo de emisiones para determinar la calidad de aire local en un aeropuerto.

3.3.1.1 Definición

²¹Un modelo de emisiones es el resultado de emplear un conjunto de herramientas que permitan obtener un estudio de calidad del aire a través del cálculo adecuado de los inventarios de emisiones de un aeropuerto (pistas, calles de rodaje, edificios, etc) y de todas las fuentes de emisiones (motores, APU, etc). La correcta interpretación de estos datos podrán ser usados como un banco de pruebas para investigar la sensibilidad del inventario de emisiones, diferentes metodologías de dispersión; al igual que permitirán verificar el cumplimiento de requisitos legales establecidos para la protección de la salud pública y el medio ambiente, la creación de un medio controlador para el tránsito de aeronaves, y la necesidad de cumplir con dichos reglamentos.

3.3.1.2 Generalidades

¹⁷Un estudio de emisiones producto del tránsito de aeronaves se basa en un diario de movimiento de las aeronaves que pueden crearse a partir de una fuente de datos archivados del tráfico aéreo; pudiendo identificar del mismo los tipos de aeronaves de las diferentes flotas y modelar a través de este la eficiencia en el consumo de combustibles acorde a la tecnología y nivel de operación en los motores conjuntamente con la formación de emisiones y su porcentaje respecto a la dispersión sobre un espacio determinado.

Se pueden derivar de los datos simulados o proyectados: los datos de tráfico, modelar la eficiencia de las tecnologías, a su vez el rendimiento de las aeronaves, las emisiones, el consumo de combustible y determinar la necesidad de cambios de la flota.

3.3.1.3 Propósitos del inventario de emisiones

Como intención del inventario de las emisiones pese a no ser necesariamente limitados se tienen básicamente los siguientes:

¹⁷http://beta.corpaire.org/EmisionesWWW/images/page5/docs/Estrategia_simulacion_DMQ_mar_2006.pdf

Recopilación de información sobre las emisiones para analizar las tendencias de control y evaluación de escenarios futuros.

Las emisiones de evaluación comparativa a los requisitos legales (por ejemplo, umbrales).

Datos de entrada para la creación de modelos de dispersión en un esfuerzo para determinar las concentraciones de contaminación.

Establecer líneas de base del programa de mitigación.

3.3.1.4 Parámetros del inventarios de emisiones

3.3.1.4.1 Factores a considerar en el desarrollo inventario de emisiones

Cuadro 3.4 Factores que se deberían tomar en cuenta al elaborar un inventario de emisiones:

Propósito del inventario	El uso y la exigencia de un inventario de emisiones en gran medida determinan su diseño. Si el requisito es únicamente para calcular el total de las emisiones, las metodologías utilizadas serán sencillas y directas. Si el inventario se utiliza como parte de un modelo de dispersión, las metodologías pueden ser diferentes y más detalladas como la modelización de la dispersión espacial y requiere más información temporal. El diseño del inventario de emisiones tiene que tener esto en cuenta, para no limitar su uso futuro.
Perímetro del sistema	El perímetro del sistema define el espacio y el área funcional dentro del cual se calcularán las emisiones. El área espacial podría ser el vallado del perímetro del aeropuerto, una altura designados (por ejemplo, altura de mezcla) y / o caminos de acceso al aeropuerto. El área funcional normalmente definida por las fuentes de emisión que se conectan funcionalmente a las operaciones de aeropuerto, pero pudieron ser localizados fuera del aeropuerto perímetro (por ejemplo, granjas de combustible).
Actualizaciones	La frecuencia de las actualizaciones de inventario influye en el diseño de la inventario y las bases de datos aplicadas o las tablas de datos (por ejemplo, un valor anual versus muchos valores durante todo el año determina la necesaria resolución temporal). También es importante para evaluar los esfuerzos necesarios y disponibles para elaborar dicho inventario a una determinada frecuencia.
Nivel de	El nivel de precisión necesario de entradas de

Precisión / Complejidad	<p>datos se determina por la fidelidad necesaria para el análisis y el nivel de conocimiento del analista. Esta guía debe ser un marco para la realización de análisis en los distintos niveles de complejidad. Siempre que sea posible, se dan orientaciones por tres diferentes niveles de complejidad:</p> <p>La aproximación simple Enfoque avanzada Aproximación sofisticada</p>
-------------------------	---

Fuente: OACI (2007) Documento 9889 Manual guía de la calidad del aire en un aeropuerto.

Elaborado por: Traducción propia en base a la fuente.

3.3.1.4.2 Fuentes de emisiones en los aeropuertos

Una gran variedad y número de fuentes de emisión se puede encontrar en los aeropuertos. Sin embargo, dependiendo de las actividades específicas en los distintos aeropuertos, no todos los tipos de fuentes de emisión están presentes por tanto hay que tener más en cuenta esta variabilidad. Las fuentes más comunes de emisión han agrupado en cuatro categorías.

La masa de las emisiones de cada una de las siguientes categorías de fuentes se consideran (en la medida que sean pertinentes para el estudio) y los totales se suman para proporcionar el inventario de emisiones para todo el aeropuerto.

Cuadro 3.5. Incidencia de las fuentes de emisiones en los aeropuertos.

Aeronaves:

Aviones de máquina principal	Principales motores de las aeronaves dentro de un perímetro de funcionamiento especificado (A partir de la puesta en marcha).
Unidad auxiliar de potencia (APU)	APU, se encuentra a bordo de las aeronaves para suministrar electricidad, pre acondicionar aire en operaciones en tierra y sangrar aire para el encendido del motor principal.

Equipos de apoyo en tierra:

Equipo de soporte en tierra (GSE)	El equipo necesario para la realización de operaciones en tierra así: las unidades de poder en tierra, unidades de climatización, los remolcadores de aeronaves, transportador, cinturones, escaleras de pasajeros, ascensores, tractores, monta cargas, etc.
Tráfico de vehículos de servicios.	Servicio de vehículos y tráfico de maquinaria (barredoras, camiones catering, combustibles, aguas residuales coches, furgonetas, autobuses, etc), dentro del perímetro cerca del aeropuerto (zona habitualmente restringida) que circulan por los caminos de servicio.
Reabastecimiento de combustible	La evaporación a través de tanques de combustible de aviación (respiraderos) y de los camiones de combustible o sistemas de tuberías durante las operaciones de abastecimiento de combustible.
Uso de los sistema de anti hielo	Aplicación del sistema de deshielo y anti hielo en las aeronaves durante el las operaciones de invierno.

Infraestructura estacionaria:

Encendido / Planta de generación de calor	Las instalaciones que producen energía para la infraestructura del aeropuerto: Caldera casa, calefacción / refrigeración de plantas, co-generadores.
Interruptor generador de emergencia	Generadores de diesel para las operaciones de emergencia (por ejemplo, para edificios o para luces de pista).

Mantenimiento de aeronaves	Todas las actividades e instalaciones para el mantenimiento de la aeronave: lavado, limpieza, taller de pintura, camas para motor a prueba.
Mantenimiento de aeropuerto	Todas las actividades para el mantenimiento de las instalaciones aeroportuarias: agentes de limpieza, y maquinaria de mantenimiento y reparación para edificios.
Combustibles	Almacenamiento, distribución y manejo de la estaciones de combustible.
Construcción	Todas las actividades de construcción en el aeropuerto para el desarrollo y operación del mismo.
Capacitación de bomberos	Actividades de capacitación y entrenamiento con fuego producto de la quema de diferentes combustibles (kerosene, butano, propano, madera, etc).
Superficie de deshielo	Las emisiones de deshielo y de las sustancias anticongelantes aplicables a la aeronave en movimiento y áreas de servicios y vías de acceso.

Fuentes anexas de tráfico en el aeropuerto

El tráfico de vehículos	Motos, automóviles, furgonetas, camiones, autobuses y demás transportes asociados con el aeropuerto en las carreteras de acceso, aceras, y dentro o fuera de sitio estacionamientos (incluyendo el motor apagado, puesta en marcha y las emanaciones del tanque de combustible por evaporación).
-------------------------	--

Fuente: OACI (2007) Documento 9889 Manual guía de la calidad del aire en un aeropuerto.

Elaborado por: Traducción propia en base a la fuente.

3.3.1.4.3 Factor de error en las estimaciones

Las estimaciones de error: Por razones de credibilidad y de evaluar la exactitud de un inventario, el error en las estimaciones son una parte importante en el desarrollo del inventario. Los datos disponibles y la información suelen tener uno de los tres niveles de calidad, como se muestra en el siguiente texto:

Cuadro 3.6 Posibles factores de error en las estimaciones producto del cálculo de emisiones.

DATOS MEDIDOS:	Los datos pueden ser medidos con o sin calibración al igual que las herramientas y métodos deben ser verificados así como también se puede incluir el cálculo de un valor medido con un factor de relación.
DATOS CALCULADOS:	Los datos se calculan utilizando los algoritmos y los datos disponibles que no están directamente asociados con el origen de datos.
DATOS ESTIMADOS :	Los datos se calculan utilizando información de referencia, la experiencia del pasado o supuestos calificados.

Fuente: OACI (2007) Documento 9889 Manual guía de la calidad del aire en un aeropuerto.

Elaborado por: Traducción propia en base a la fuente.

3.3.1.5 Ecuaciones definidas para el cálculo de emisiones

Los motores de las aeronaves se consideran como el mayor factor relacionado con las emisiones contaminantes producto de la aviación, ya que pueden ser la fuente dominante de los aeropuertos. Por tanto es necesario tomar en cuenta metodologías para la estimación de las emisiones de motores de las aeronaves. Los motores principales son los utilizados para impulsar el avión hacia adelante. Otros motores de a bordo incluyen APU que suministran energía eléctrica y neumática para purgar el aire cuando el avión está aparcado; adicionalmente a los motores a bordo es necesario mencionar fuentes estacionarias en tierra que permiten el correcto funcionamiento a través

del uso de equipos para el mantenimiento y reparación de dichos motores. Las emisiones producto de la evaporación del combustible en los tanques de combustible de los aviones no son consideradas puesto que no está permitido y por lo tanto no se aborda como una fuente de emisión.

Los inventarios de emisiones de los aviones en las proximidades de los aeropuertos se han calculado utilizando el motor de la OACI los datos sobre emisiones de escape y la referencia de certificación de la OACI LTO ciclo debajo 3000ft como se ilustra en el diagrama siguiente.

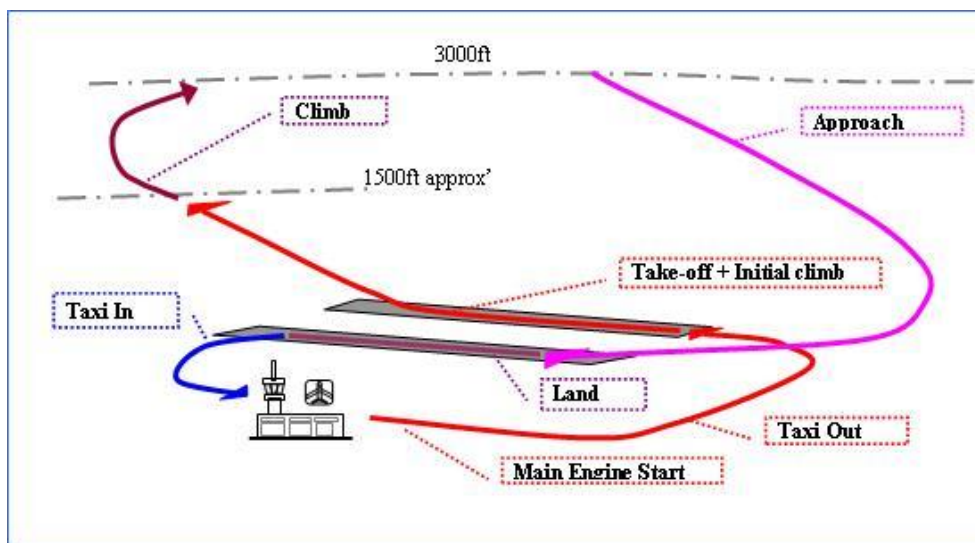


Figura: 3.3 El ciclo LTO.

Fuente: OACI (2007) Documento 9889 Manual guía de la calidad del aire en un aeropuerto.

El ciclo de referencia LTO fue ideado con fines de motores de emisiones de certificación, pero hay que admitir que el ciclo de certificación LTO puede no ser suficiente en cuanto a las emisiones de los aspectos operativos del día a día, como las operaciones de mantenimiento y el uso de la Unidad Auxiliar de Potencia (APU), Equipos de Apoyo en Tierra (GSE), etc.

Para la estimación de las emisiones que corresponden al ciclo LTO, y demás procesos que abarcan la emisión de contaminantes dentro de la capa de mezcla, y que por tanto tienen relación directa o son los que más interesan para la calidad del aire; el modelo adoptado se basa en la aplicación del modelo general para el cálculo de emisiones (nivel de actividad x factor de emisión), adaptado para diferentes escalas temporales.

3.3.1.5.1 Ecuaciones para el ciclo LTO.

Las emisiones procedentes de las actividades del ciclo LTO se realizarán multiplicando el número de ciclos LTO por los factores de emisión específicos para cada contaminante correspondiente a cada aeronave.

3.3.1.5.1.1 Factores de emisión por tipo de aeronave para el ciclo LTO.

Para el cálculo de emisiones se deben tomar en cuenta los datos de tipo de avión considerado el número de ciclos LTO y factores de emisión en kg/ciclo LTO referidos a continuación:

Tabla 3.6 Factores de emisión y consumo de combustible por tipo de aeronave en el ciclo LTO.

		LTO emissions factors/airplane (kg/LTO/aircraft) ⁽¹⁰⁾					Fuel consumption (kg/LTO/aircraft)	
		Aircraft ⁽¹¹⁾	CO ₂ ⁽⁹⁾	HC	NO _x	CO	SO ₂ ⁽⁸⁾	
Source: ICAO (2004) ⁽¹⁾	Large Commercial Aircraft ⁽²⁾	A300	5450	1.25	25.86	14.80	1.72	1720
		A310	4760	6.30	19.46	28.30	1.51	1510
		A319	2310	0.59	8.73	6.35	0.73	730
		A320	2440	0.57	9.01	6.19	0.77	770
		A321	3020	1.42	16.72	7.55	0.96	960
		A330-200/300	7050	1.28	35.57	16.20	2.23	2230
		A340-200	5890	4.20	28.31	26.19	1.86	1860
		A340-300	6380	3.90	34.81	25.23	2.02	2020
		A340-500/600	10660	0.14	64.45	15.31	3.37	3370
		707	5890	97.45	10.96	92.37	1.86	1860
		717	2140	0.05	6.68	6.78	0.68	680
		727-100	3970	6.94	9.23	24.44	1.26	1260
		727-200	4610	8.14	11.97	27.16	1.46	1460
		737-100/200	2740	4.51	6.74	16.04	0.87	870
		737-300/400/500	2480	0.84	7.19	13.03	0.78	780
		737-600	2280	1.01	7.66	8.65	0.72	720
		737-700	2460	0.86	9.12	8.00	0.78	780
		737-800/900	2780	0.72	12.30	7.07	0.88	880
		747-100	10140	48.43	49.17	114.59	3.21	3210
		747-200	11370	18.24	49.52	79.78	3.60	3600
		747-300	11080	2.73	65.00	17.84	3.51	3510
		747-400	10240	2.25	42.88	26.72	3.24	3240
		757-200	4320	0.22	23.43	8.08	1.37	1370
		757-300	4630	0.11	17.85	11.62	1.46	1460
		767-200	4620	3.32	23.76	14.80	1.46	1460
		767-300	5610	1.19	28.19	14.47	1.77	1780
		767-400	5520	0.98	24.80	12.37	1.75	1750
		777-200/300	8100	0.66	52.81	12.76	2.56	2560
		DC-10	7290	2.37	35.65	20.59	2.31	2310
		DC-8-50/60/70	5360	1.51	15.62	26.31	1.70	1700
DC-9	2650	4.63	6.16	16.29	0.84	840		
L-1011	7300	73.96	31.64	103.33	2.31	2310		
MD-11	7290	2.37	35.65	20.59	2.31	2310		

	Regional Jets/Business Jets > 26.7 kN thrust	MD-80	3180	1.87	11.97	6.46	1.01	1010
		MD-90	2760	0.06	10.76	5.53	0.87	870
		TU-134	5860	35.97	17.35	55.96	1.86	1860
		TU-154-M	7040	17.56	16.00	110.51	2.51	2510
		TU-154-B	9370	158.71	19.11	190.74	2.97	2970
		RJ-RJ85	950	0.67	2.17	5.61	0.30	300
		BAE 146	900	0.70	2.03	5.59	0.29	290
		CRJ-100ER	1060	0.63	2.27	6.70	0.33	330
		ERJ-145	990	0.56	2.69	6.18	0.31	310
		Fokker 100/70/28	2390	1.43	5.75	13.84	0.76	760
		BAC111	2520	1.52	7.40	13.07	0.80	800
		Dornier 328 Jet	870	0.57	2.99	5.35	0.27	280
		Gulfstream IV	2160	1.37	5.63	8.88	0.68	680
		Gulfstream V	1890	0.31	5.58	8.42	0.60	600
Yak-42M	1920	1.68	7.11	6.81	0.61	610		
Source: FAED222 ⁽¹⁾	Low Thrust Jets (Fn < 26.7 kN)	Cessna 525/560	1060	3.35	0.74	34.07	0.34	340
Source: FOI ⁽⁴⁾	Turboprops	Beech King Air ⁽⁵⁾	230	0.64	0.30	2.97	0.07	70
		DHC8-100 ⁽⁶⁾	640	0.00	1.51	2.24	0.20	200
		ATR72-500 ⁽⁷⁾	620	0.29	1.82	2.33	0.20	200

Notes:

(1) ICAO (International Civil Aviation Organization) Engine Exhaust Emissions Data Bank (2004) based on average measured certification data.

Emissions factors apply to LTO cycle only. Total emissions and fuel consumption are calculated based on ICAO standard time in mode and thrust levels.

(2) Engine types for each aircraft were selected on a basis of the engine with the most LTOs as of 30 July 2004 (except 747-300 - see text).

This approach, for some engine types, may underestimate (or overestimate) fleet emissions which are not directly related to fuel consumption (eg NOx, CO, HC).

(3) U.S. Federal Aviation Administration (FAA) Emissions and Dispersion Modeling System (EDMS) non-certified

(4) FOI (The Swedish Defense Research Agency) Turboprop LTO Emissions database non-certified data.

(5) Representative of Turboprop aircraft with shaft horsepower of up to 1000 shp/engine

(6) Representative of Turboprop aircraft with shaft horsepower of 1000 to 2000 shp/engine

(7) Representative of Turboprop aircraft with shaft horsepower of more than 2000 shp/engine

(8) The sulphur content of the fuel is assumed to be 0.05% [Same assumption as in 1996 IPCC NGGIP revision]

(9) CO2 for each aircraft based on 3.16 kg CO2 produced for each kg fuel used, then rounded to the nearest 10 kg.

(10) Information regarding the uncertainties associated with the data can be found in the following references: QinetiQ/FST/CR030440 "EC-NEPAir: Work Package 1 Aircraft engine emissions certification – a review of the development of ICAO Annex 16,

Volume II", by D H Lister and P D Norman ICAO Annex 16 "International Standards and Recommended Practices Environmental Protection", Volume II "Aircraft Engine Emissions", 2nd edition (1993)

Fuente: Appendix B Simplified Aircraft Emission Indices Del Doc. 9889

OACI.

Elaborado por: OACI Airport Air Quality Guidance Manual.

Para cada tipo de aeronave, multiplique el número de ciclos LTO de ese aeronaves (durante todo el período de evaluación) por el factor de emisiones de la anterior tabla para cada una de las especies contaminantes y luego se suman los valores de todos los aviones para obtener la cantidad de las emisiones totales (en kg) para cada contaminante.

Las emisiones anuales se estiman mediante la ecuación (1):

$$E_{ij}(\text{anual}) = \frac{OPR.FE_{ij}.Part_j}{1000} \quad (1)$$

Parámetros:

i: contaminante o gas de efecto invernadero (NO_x, COV, CO, SO₂, PM₁₀, CO₂, CH₄ y N₂O).

j: tipo de avión.

Término:

E_{ij} (anual): emisión anual del contaminante i, a causa del avión tipo j. Se expresa en t a⁻¹.

Datos:

OPR: número total de operaciones anuales (ciclos LTO).

FE_{ij}: Factor de emisión del contaminante i debido a un ciclo LTO del avión tipo j. Se expresa en kg LTO⁻¹.

Part_j: Participación del avión tipo j en las operaciones anuales.

Se expresa como fracción.

Las emisiones mensuales se estiman mediante la ecuación (2):

$$E_{ij}(\text{mensual}) = \frac{E_{ij}(\text{anual}) \cdot OPR_m}{OPR} \quad (2)$$

Parámetros:

m: mes del año (1, 2, 3 ..., 12).

Término:

E_{ij} (mensual): emisión mensual del contaminante i, a causa del avión tipo j.

Se expresa en t mes⁻¹.

Datos:

OPR_m: número de operaciones en el mes m (ciclos LTO).

Las emisiones diarias se estiman mediante la ecuación (3):

$$E_{ij}(\text{diaria}) = \frac{E_{ij}(\text{mensual})}{ND_m} \quad (3)$$

Término:

E_{ij} (diaria): emisión diaria del contaminante i, a causa del avión tipo j.
Se expresa en $t d^{-1}$.

Datos:

ND_m : número de días del mes m.

Las emisiones horarias se estiman mediante la ecuación (4):

$$E_{ij}(\text{horaria}) = 1000000 \cdot E_{ij}(\text{diaria}) \cdot F_h \quad (4)$$

Término:

E_{ij} (horaria): emisión horaria del contaminante i, a causa del avión tipo j.
Se expresa en $g h^{-1}$.

Datos:

F_h : Fracción de las operaciones LTO que ocurren en la hora h
(0, 1, 223).

3.3.1.5.2 Ecuaciones para la Unidad Auxiliar de Potencia A.P.U.

Como estudio preliminar para determinar las emisiones de esta fuente la aproximación simple para las emisiones de APU se pueden utilizar considerando un factor de incertidumbre considerando un promedio de propiedad valores específicos del motor obtenidos a partir de los fabricantes de APU.

Las emisiones se estiman mediante la ecuación:

$$\text{Emisión de } APU_x = (\text{Operacion (min)}) \times \left(\frac{\text{Factor de emision } Y(\text{corto o largo})}{(45 \text{ o } 75)\text{min}} \right) \quad (5)$$

$$\text{Emisión de } APU_x = (\text{Cons. combustible (kg)}) \times \left(\frac{\text{Factor de emision } Y(\text{corto o largo})}{(80 \text{ o } 300)\text{kg}} \right)$$

El combustible y los valores anteriores de emisiones se basan en un promedio de fabricante APU no específico. El horario de funcionamiento se observó sobre la base de tiempos de operación promedio experimentada por una serie de operaciones y no necesariamente representar cualquier operación de un aeropuerto en concreto. Cabe señalar que los tiempos del funcionamiento de APU varían diversos aeropuertos debido a una serie de factores y pueden ser

considerablemente diferentes por tanto la regla de tres simple nos permite establecer fácilmente acorde a los datos con los que contamos.

3.3.1.5.2.1 Factores de emisión acorde al tiempo del uso del A.P.U.

Tabla 3.7. Factor de emisiones y consumo de combustible en función del tiempo de uso del APU

Grupo de aeronaves	Uso corto de APU	Uso prolongado de APU
Duración de operación APU	45 min	75min
Consumo de combustible	80kg	300 kg
Emisiones NOx	700g	2400g
Emisiones HC	30g	160g
Emisiones CO	310g	210g
Emisiones PM10	25g	40g

Fuente: Aircraft Emission Indices Del Doc. 9889 OACI.

Elaborado por: OACI Airport Air Quality Guidance Manual.

3.3.1.5.3 Factores para el cálculo de consumo de combustible de vuelo crucero acorde al tipo de aeronave

Para el cálculo del consumo de combustible del consumo de cada aeronave para una distancia de vuelo nominal de crucero de 130 km puede verse a continuación en la siguiente tabla de valores el promedio de su consumo de los cuales se pueden extraer los datos acorde a las necesidades con una regla de tres simple.

Tabla 3.8. Consumo de combustible por tipo de aeronave para 130km de vuelo crucero.

Tipo aeronave xenérico	Consumo kg/130 km
BAe 146	-
Airbus A310	713,2
Boeing 727-100	732,2
Boeing 727-200	732,2
Boeing 727-300	732,2
Boeing 737-200	436,7
Boeing 737-500	436,7
Boeing 737-400	436,7
Boeing 737-300	436,7
Boeing 737-700	436,7
Fokker 100	-
Fokker F-28	-
Airbus A320	472,9
Airbus A319	-
Airbus A330	-
Airbus A340	-
BAe 111	379,4
Boeing 747-100-300	1.769,5
Boeing 747-400	-
Boeing 757	665,3
Boeing 767	793,6
Boeing 777	-
Boeing 777-200	-
Boeing 777-300	-
McDonnell Douglas DC-9	487,2
McDonnell Douglas M81-88	617,6
McDonnell Douglas DC-10	1.317,7
McDonnell Douglas DC-8	487,2
Otros *	379,4

Fuente: www.siamcma.org/cambioclimaticogalicia/Descargas/inventario.pdf

Elaborado por: IPCC, 1996; EEA, 2003.

3.3.1.5.4 Ecuaciones para el cálculo de emisiones de las fuentes fijas y móviles en el aeropuerto.

Las dificultades que se encuentran a la hora de cuantificar las emisiones de este sector debido principalmente al elevado número de fuentes cada una con diferentes características técnicas de utilización, consumo por kilometro recorrido, características de viaje (aceleraciones encendidos en frio o en caliente arranques y paradas, velocidades, etc.) tipo de combustible, etc.

Ante esta situación existen estudios que ofrecen factores de emisión por término medio (gramos de contaminante/km recorrido) que recogen valores representativos que tiene en cuenta la medida posible de los factores de influencia antes citados. De estos estudios, además, pueden deducirse valores medios de kilómetros recorridos anualmente por tipo de vehículo necesarios también en el cálculo de emisiones de esta fuente.

Dada la puntualizaciones anteriormente, la metodología que se utiliza para calcular las emisiones para cada contaminante se utilizó sobre la base de la

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), en particular la parte de la aplicación de la siguiente ecuación:

$$E_i = \sum_{k=1}^m (F_{ik} \times KPV_k \times N_k) \quad (6)$$

Dónde:

E_i = emisión anual de contaminantes "i" (t / año),

F_{ik} = factor de contaminante "i" y la clase de vehículo "k" (g / km).

KPV_k = distancia media anual recorrida por categoría de vehículos "k" (en miles de kilómetros por vehículo año).

N_k = número de vehículos de la categoría "k" (en miles).

m = número total de categorías de vehículos.

Para la elección de los factores de emisión utilizados en los cálculos, se deben considerar las fuentes del IPCC; puesto que los datos correspondientes a cada fuente en el país son datos difíciles de obtener, así como el consumo de combustible en los últimos años, la matrícula por marca, el desarrollo del porcentaje de los vehículos de cada tipo de catalizador, etc.

Además de la información que se puede obtener se necesitan datos como categorías de acuerdo a la exigencia de elección de los factores de emisión. La División de factores de emisión, flota de vehículos y kilómetros medio por vehículo deben presentarse en base a las siguientes categorías:

Carros de gasolina.

Vehículos diesel.

Vehículos industriales ligeros (con capacidad de carga <3000 kg)

Vehículos pesados (con carga útil > 3000 kg).

Autobús

Motocicletas

La información antes mencionada debe ser creada por entidades encargadas de la matriculación y control vehicular de cada región para posteriormente poder extraer los factores correspondientes a (F_i) por categoría de vehículo y las distancias medias recorridas por tipo de vehículo (KPV) para en función de

esta información calcular los valores correspondiente conforme a las necesidades pertinentes.

3.3.2 El tráfico aéreo en aeropuerto de Quito.

De acuerdo con el informe presentado por CORPAIRE en el año 2004 con el apoyo de Quiport en la subsiguiente tabla se indica el flujo mensual del número de llegadas y salidas de aeronaves en el aeropuerto de Quito durante el año 2004, desgregadas por tráfico nacional e internacional. En total, en el año 2004 se registraron aproximadamente 30800 operaciones, de las cuales un 69% corresponden a vuelos nacionales y el restante 31% a vuelos internacionales. Un 13% de las operaciones se presentan en la mañana, en tanto que el restante 87% ocurre por la tarde. Esta distribución es similar tanto para días laborables y festivos por tanto no presentan variaciones importantes, siendo mayores en los meses de agosto y diciembre y menores en los meses de febrero, abril y mayo.

Tabla 3.9. Operaciones en el aeropuerto de Quito durante el año 2004

														Total	Total
Llegadas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	2004	2004 (%)	
Nacional	1713	1619	1790	1662	1641	1756	1797	1854	1757	1828	1784	1946	21112	68,6	
Internacional	823	786	773	786	795	764	798	861	770	841	805	857	9656	31,4	
Total	2536	2405	2563	2448	2436	2520	2595	2715	2527	2669	2589	2803	30768	100,0	

														Total	Total
Salidas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	2004	Total 2004	
Nacional	1676	1621	1797	1659	1638	1762	1784	1863	1761	1826	1784	1941	21147	68,6	
Internacional	815	789	770	792	789	770	798	859	769	844	802	859	9659	31,4	
Total	2491	2410	2567	2451	2427	2532	2582	2722	2530	2670	2586	2800	30806	100,0	

Fuente: Quiport.

Elaborado por: Quiport

3.3.2.1 Composición de la flota de aeronaves

A continuación se indican la participación por tipos de aviones en las operaciones del año 2004. En los vuelos nacionales, las aeronaves tipo F28 (30%) y B722 (14%) presentan los mayores porcentajes de participación. En las operaciones internacionales, los aviones tipo B752 (21%), Airbus 320 (16%) y B763 (10%) son los más importantes.

Tabla 3.10 Participación de tipos de avión en las operaciones del aeropuerto de Quito durante el año 2004.

Operaciones Nacionales			Operaciones Internacionales		
Tipo de Avión	Número de Operaciones	%	Tipo de Avión	Número de Operaciones	%
F28	6396	30,2	B752	2039	21,1
B722	2958	14,0	Airbus 320	1553	16,1
Airbus 320	1530	7,2	B763	959	9,9
B732	1366	6,5	B722	824	8,5
D328	1216	5,8	B737	723	7,5
B190	1163	5,5	MD83	658	6,8
B721	1073	5,1	DC10	567	5,9
C172	887	4,2	MD11	473	4,9
B06	629	3,0	A343	363	3,8
E120	566	2,7	B742	228	2,4
C-130 HERCULES	512	2,4	B738	170	1,8
A748	479	2,3	B721	139	1,4
AC90	463	2,2	B732	117	1,2
SBR1	315	1,5	Otros	846	8,8
DHC6	296	1,4			
C206	214	1,0			
C208	187	0,9			
DHC5	180	0,9			

CN35	123	0,6			
Otros	594	2,8			
Total:	21147	100,0	Total:	9659	100,0

Fuente: Quiport.

Elaborado por: Quiport

En la actualidad la consideración del nivel de participación por tipo de aeronave en las operaciones a cambiado en función de la renovación de las flotas al igual que la inclusión de nuevas aerolíneas nacionales lo que origina un cambio sustancial en la participación de los mismos ya que por ejemplo las operaciones cubiertas por las aeronaves tipo F28 (30%) y B722 (14%) que presentaban los mayores porcentajes de participación fueron reemplazadas por su predecesor en operaciones el Airbus 320, Airbus 318 conjuntamente con la participación gradual de las nuevas aeronaves Embraer 170 y Embraer 190.

3.3.2.2 Factores de emisión seleccionados conforme al nivel de operación de las aeronaves.

La siguiente tabla indica los factores de emisión seleccionados por tipo de aeronave considerando las aeronaves que circulan en el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre.

Tabla 3.11. Factores de emisión seleccionados (kg LTO⁻¹)

Operaciones nacionales								
Tipo de Avión	NO _x	COV	CO	*SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
F28	5,3	49,3	54,8	4,0	0,1	2115	5,5	0,1
B722	12,6	3	9,1	8,5	0,2	4455	0,3	0,1
Airbus 320	11	0,4	5,3	4,9	0,1	2560	0,04	0,1
B732	8	0,5	4,8	5,5	0,1	2897	0,1	0,1
D328	8,3	0,5	11,8	5,0	0,1	2600	0,1	0,1
B190	8,3	0,5	11,8	5,0	0,1	2600	0,1	0,1
B721	12,6	3	9,1	8,5	0,2	4455	0,3	0,1
Otros	8,3	0,5	11,8	5,0	0,1	2600	0,1	0,1
Operaciones internacionales								

Tipo de Avión	NO _x	COV	CO	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
B752	21,6	0,8	10,6	7,8	0,2	4110	0,1	0,1
Airbus 320	11	0,4	5,3	4,9	0,1	2560	0,04	0,1
B763	26	0,8	6,1	9,7	0,2	5094	0,1	0,2
B722	12,6	3	9,1	8,5	0,2	4455	0,3	0,1
B737	6,7	4	16	5,2	0,1	2750	0,5	0,1
MD83	12,3	1,4	6,5	6,0	0,1	3160	0,1	0,1
DC10	41	19,2	59,3	14,2	0,3	7460	2,1	0,2
Otros	26	0,8	6,1	9,7	0,2	5094	0,1	0,2

*Corresponden a un contenido de azufre de 0.3% en peso, de acuerdo a lo establecido en la norma TNE INEN 929 para el Jet A-1.

Fuente: IPCC, 1996; EEA, 2003.

Elaborado por: Quiport.

3.3.2.3 Ejemplificación del cálculo de emisiones para el avión Air Bus A320.

En virtud del reemplazo de aeronaves tras haber cumplido con su ciclo de vida útil siendo un icono referencial de esta situación la compañía de mayor influencia y tránsito en el país TAME Línea Aérea del Ecuador fundada el 17 de diciembre de 1962 y dedicada al transporte aéreo de personas y carga hacia varias ciudades del Ecuador y al mismo tiempo al exterior.

En la actualidad la empresa ha ampliado sus rutas internas y renovado su flota de aeronaves separando de sus filas a los aviones Fokker Fellowship(F28) de manera simultánea con los aviones Boeing 727-100 y 200 que en conjunto por el nivel de importancia de de la compañía a nivel nacional sumaban en conjunto un estimado de más del 40% del total de participación en las operaciones nacionales tras su sustitución definitiva por las aeronaves Airbus A320 y A319; así como a los Embraer 170 y 190, con los cuales operan al momento cubriendo múltiples destinos dentro y fuera del Ecuador tanto con vuelos en itinerario como en chárter.

Tomando en cuenta la renovada flota de TAME y el nivel de participación dentro de las operaciones de tránsito aéreo del avión Air Bus A320 tanto en

vuelos nacionales como internacionales es menester tomar en cuenta su aporte a la contaminación en las inmediaciones del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre.

3.3.2.3.1 Descripción del avión A-320



Figura 3.4. Avión Air Bus 320 De Iberia
Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Airbus_A320

El Airbus A320 es un avión, civil, comercial de pasajeros de Airbus, de un solo pasillo y de corto a medio alcance. Fue el primer modelo de avión con mandos electrónicos fly-by-wire, de forma que el piloto controla las partes móviles del avión a través del uso de impulsos electrónicos en vez de mediante palancas y sistemas hidráulicos. Desde su fecha de introducción 28 de marzo de 1988 hasta el 30 de abril del 2010 se han fabricado 2343 unidades.



Figura 3.5. Motor CFM56, Vista trasera del CFM56-5

Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/File:CFM56_P1220759.jpg

El CFM International CFM56 (militar F108 designación EE.UU.) la serie es una familia de alto bypass turbofan motores de aeronaves realizados por CFM International (CFMI), con un rango de empuje de 18.500 a 34.000 libras de

fuerza (lbf) (80 a 150 kN (kN)). CFMI es una joint-propiedad de la compañía de 50-50 de SNECMA , Francia y GE Aviation (GE), EE.UU. Ambas empresas son responsables de producir los componentes y cada uno tiene su propia línea de montaje final. GE produce la alta presión del compresor, cámara de combustión y de alta presión de la turbina y SNECMA fabrica el ventilador, turbina de baja presión, la caja de cambios y tubo de escape. El CFM56 corrió por primera vez en 1974 y, a pesar de los problemas iniciales de política, es ahora uno de los más prolíficos de motores a reacción tipo en el mundo: más de 20.000 se han construido en cuatro variantes importantes. Es más utilizado en el Boeing 737 aviones y bajo F108 designación militar reemplazó a la Pratt & Whitney JT3D motores en muchos KC-135 Stratotankers en la década de 1980, creando la variante KC-135R de este avión. También es uno de los dos motores utilizados para alimentar el Airbus A340, el otro es el de Rolls-Royce Trent. El motor está equipado también con Airbus A320 serie de aeronaves.

Varios incidentes ventilador falla la hoja se experimentaron durante los primeros servicios CFM56, incluyendo un fallo que se señaló como causa de la catástrofe aérea Kegworth , y algunas variantes del motor experimentado problemas causados por el vuelo a través de la lluvia y el granizo. Sin embargo, ambas cuestiones fueron resueltas con modificaciones del motor. En enero de 2010, el CFM56 había volado más de 470 millones de horas acumuladas (el equivalente a más de 53.000 años).

Tabla 3.12 Características del motor CFM56.

Tipo	Turbofan
País de origen	Francia y Estados Unidos
Fabricante	CFM International
Primer funcionamiento	De junio de 1974
Las principales aplicaciones	Airbus A320 de la familia Airbus A340 Boeing 737 KC-135R Stratotanker
N ° construidos	20.270 (a partir de enero de 2010)
Desarrollado a partir de	General Electric F101
Desarrollado en	CFM International LEAP-X

Fuente:<http://www.cfm56.com/press/news/cfm+unveils+new+leap-x+engine/441>

Elaborado por: CFM The power of flight.

De este modelo derivaron posteriormente las versiones acortadas A318 y A319 y la versión alargada A321.

3.3.2.3.2 Cálculos de estimación de producción de contaminantes y consumo de combustible en función del nivel promedio de operación.

Para el cálculo de las emisiones de las fuentes se tomaron en cuenta valores medios que se recomiendan en las mismas fuentes de información.

Cuadro 3.7. Aplicación del cálculo de emisiones para el avión Air Bus A320.

NUMERO ESTIMADO DE OPERACIONES DEL AVION A320 EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL MARISCAL SUCRE

Operaciones Nacionales			Operaciones Internacionales		
Tipo de Avión	Número de Operaciones	%	Tipo de Avión	Número de operaciones	%
F28	6396	30,2	B752	2039	21,1
B722	2958	14	Airbus 320	1553	16,1
Airbus 320	1530	7,2	B763	959	9,9

PROMEDIO DE OPERACIONES NACIONALES ACTUALES DE A320 =	(F28+B722+A320) /3
PROMEDIO DE OPERACIONES NACIONALES ACTUALES DE A320 =	(6396+2958+1530) /3
PROMEDIO DE OPERACIONES NACIONALES ACTUALES DE A320 =	(10884) / 3
PROMEDIO DE OPERACIONES NACIONALES ACTUALES DE A320 =	3628
PROMEDIO DE OPERACIONES INTERNACIONALES DE A320 =	1553
PROMEDIO TOTAL DE OPERACIONES DE A320 =	5181

FACTORES DE EMISION LTO CALCULADOS PARA LAS 5181 OPERACIONES AL AÑO DE AIR BUS A320

Tipo	LTO factores de emision/aeronave(kg/LTO/aeronave)					CONSUMO DE COMBUSTIBLE
	CO ₂	HC	NO _x	CO	SO ₂	(kg/LTO/aeronave)
A320	2440	0,57	9,01	6,19	0,77	770
AL AÑO	12641640	2953,17	46680,81	32070,39	3989,37	3989370

**FACTORES DE EMISIONES Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE CALCULADOS EN FUNCION
DEL TIEMPO DE USO DE APU PARA A320 EN LAS 5181 OPERACIONES AL AÑO**

Grupo de aeronaves	Uso corto de APU	Uso prolongado de APU	USO PROMEDIO APU	APU A320 / año	kg
Duración de operación APU	45 min	75min	60 min	310860 min	
Consumo de combustible	80kg	300 kg	240 kg	1243440 kg	1243440
Emisiones NOx	700g	2400g	1920 g	9947520 g	9947,52
Emisiones HC	30g	160g	128 g	663168 g	663,168
Emisiones CO	310g	210g	168 g	870408 g	870,408
Emisiones PM10	25g	40g	32 g	165792 g	165,792

ESTIMACION DEL NIVEL DE EMISIONES Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE AL AÑO EN EL CICLO LTO DEL AVION A320

VARIABLE	LTO	APU	GRAN TOTAL (kg)	<u>TONELADAS</u>
Consumo de combustible	3989370	1243440	5232810	5232,81
Emisiones NOx	46680,81	9947,52	56628,33	56,62833
Emisiones HC	2953,17	663,168	3616,338	3,616338
Emisiones CO	32070,39	870,408	32940,798	32,940798

Fuente: Aplicación de conceptos del desarrollo del presente trabajo.

Elaborado por: Diseño propio.

3.4 Reducción de la contaminación

3.4.1 Antecedentes

A continuación se mencionan los principales conceptos que se deben tomar en cuenta para establecer y emprender acciones dirigidas hacia el control de las emisiones producto del uso de combustibles fósiles en motores para el tránsito de aeronaves.

3.4.1.1 Impacto del dimensionamiento de las cámara de combustión en la contaminación.

²²Los niveles de contaminación de una turbina se pueden prever si se conoce la tecnología de la cámara.

Para su determinación se han establecido algunas metodologías, habiéndose observado una buena similitud entre los valores calculados y las medidas realizadas a la salida de la cámara de combustión, permitiendo establecer la influencia de algunos parámetros, como el reparto de aire y carburante en la cámara, así como las características del sistema de inyección (tamaño y dispersión de las gotitas).

Como no se pueden tener presentes al mismo tiempo todos los parámetros termodinámicos, hay que establecer entre ellos algún tipo de compromiso, ya que se ha observado que las condiciones de funcionamiento del motor pueden conducir a situaciones contradictorias; por ejemplo, un aumento del volumen de la cámara de combustión, produce un aumento del tiempo de permanencia, lo que provoca una disminución de los niveles de inquemados durante el funcionamiento al ralentí y un aumento de los NOx durante los períodos más revolucionados. Para unas mismas condiciones iniciales, al acortamiento de la cámara de combustión reduce la emisión de NOx pero esto puede dar lugar a niveles de humos más elevados.

²²<http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/08Tgas.pdf>

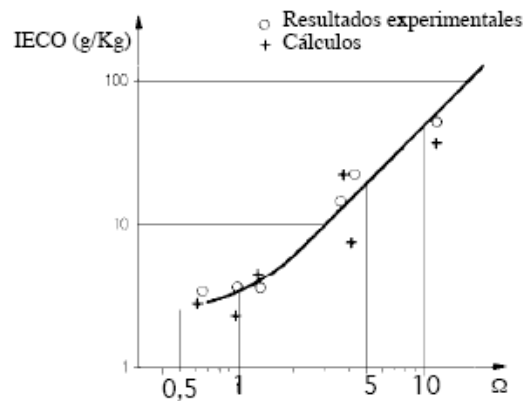


Figura 3.6. Comparación de los índices de CO calculados y medidos.
Fuente: <http://libros.redsauce.net/06tgas>

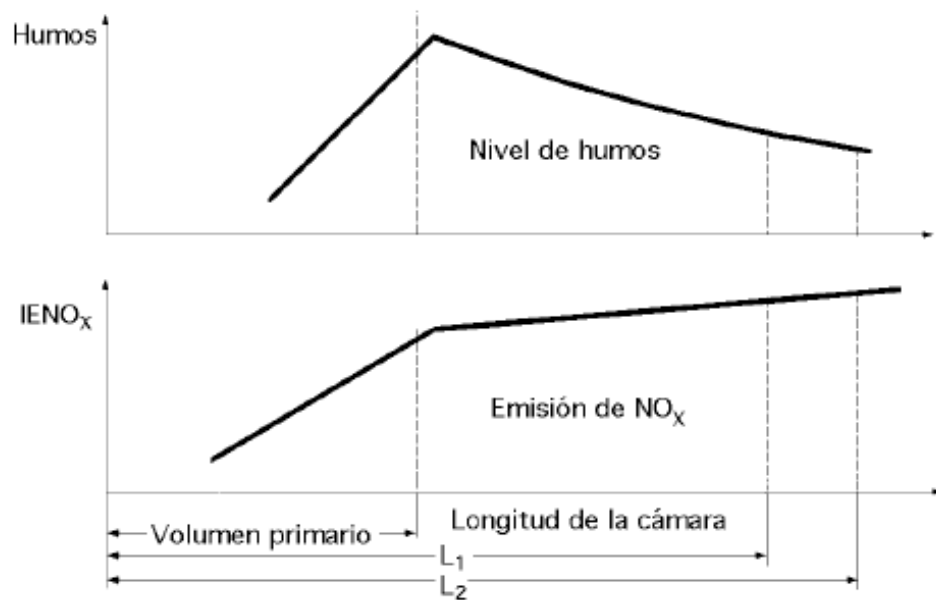


Figura 3.7. Influencia de la longitud de la cámara
Fuente: <http://libros.redsauce.net/06tgas>

Las consideraciones a tener en cuenta para eliminar la contaminación a nivel del dimensionamiento de la cámara de combustión de un motor, entran en competencia con otras prestaciones como, pérdidas de carga, temperatura de las paredes, encendido, re encendido en vuelo, estabilidad, distribución de las temperaturas de salida, etc, por lo que las opciones tecnológicas se deben seleccionar teniendo en cuenta el conjunto de las prestaciones y las condiciones de funcionamiento del motor.

Las cámaras de combustión desarrolladas hasta ahora presentan niveles de contaminación que cumplen con las normas (OACI). Hace muchos años que las tecnologías anticontaminación son objeto de estudio y, sin embargo, las nuevas tecnologías presentan inconvenientes en lo que se refiere al coste, peso y fiabilidad, que habrá que tener en cuenta al realizar el dimensionamiento.

Todavía no se conocen bien los mecanismos químicos atmosféricos en los que participan las sustancias emitidas a gran altura por las turbinas de aviación. Sin embargo se deben reducir de forma especial las emisiones de NOx que siguen siendo un problema clave en el caso de los aviones supersónicos.

3.4.1.2 **Requerimientos para una combustión estable.**

Los principales requerimientos para una combustión estable son:

- Tiempo suficiente para quemar el combustible.
- Mantener alta la temperatura.
- La turbulencia es un factor importante que ayuda a la combustión total del combustible.

Diseños incorrectos pueden producir cambios sustanciales en temperatura y pueden provocar puntos calientes "hot spots" los cuales causan posibles fallas en los alabes y tobera.

Una adecuada turbulencia y una propulsión de chorro controlada son esenciales para mantener una temperatura bien distribuida.

- La velocidad del fluido puede aumentar considerablemente dentro de la cámara de combustión, la caída de la presión obliga a un cambio de momento.
- Los combustibles usados pueden ser gaseosos o líquidos así:
Gaseosos: gas natural
Líquido: JP - 4 derivado del petróleo.
Kerosene
Metanol.

3.4.2 Mitigación de la contaminación

Las turbinas de aviación están sujetas a las normas internacionales (OACI) en las que se definen los límites recomendados para los diferentes contaminantes. Los NOx son los gases de combustión que crean el mayor problema ya que, aunque los niveles de inquemados CO e hidrocarburos HC, han disminuido de forma importante en las últimas generaciones de turbinas, no ocurre lo mismo con los NOx. Los avances realizados en el campo de la combustión y, sobre todo, en el acortamiento de las cámaras de combustión, permiten evitar que un aumento de la relación de compresión en las turbinas, incremente la producción de NOx. Si para una misma tecnología de la cámara, la relación de compresión de las turbinas futuras siguen aumentando, los NOx van a aumentar también, y será más difícil cumplir la normativa actual. El acortamiento de las cámaras y los avances en la combustión contribuyen a que el aumento de la relación de compresión suponga un mayor aumento de NOx.

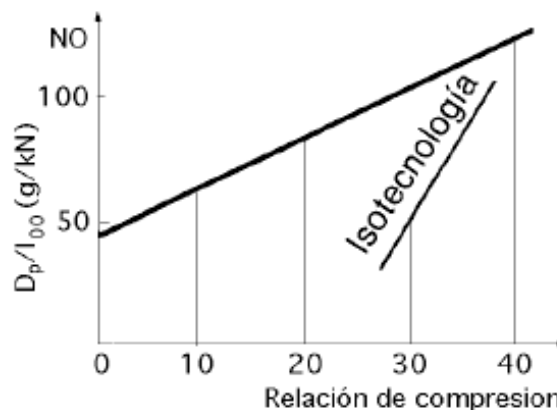


Figura 3.8. Influencia de la relación de compresión sobre la emisión de NOx
Fuente: <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/09Tgas.pdf>

3.4.2.1 Conceptos de tecnologías para reducir la contaminación en la sección de combustión del motor.

3.4.2.1.1 Sistema de combustible

3.4.2.1.1.1 Control digital para el sistema de combustible del motor FADEC (Full Authority Engine Control).

²³Los motores de los aviones tradicionales cuentan con el sistema de control de combustible FCU(Fuel Control Unit) el cual se encarga de dosificar el combustible necesario conforme al nivel de demanda del mismo tras la integración de avances tecnológicos en la actualidad los aviones comerciales tienen instalado el regulador FADEC (Full Authority Engine Control).

Así, el FADEC, además de calcular la cantidad exacta de combustible que se introduce en la cámara de combustión del turborreactor, gestiona otras funciones tales como la inversión de empuje, la presentación de datos en la cabina de vuelo, sistema de encendido, etc.

FADEC está constituido por el ordenador de control y el hardware, (soporte físico asociado) que regula el propio motor y otros sistemas periféricos que guardan relación con él.

El número de funciones controladas por el FADEC depende del tipo de avión. Dentro de éste, depende de las opciones de motorización que tiene. La motorización de General Electric tiene, por común, alguna funciones de control distintas que otras basadas en motores Pratt & Whitney o Rolls Royce.

Conviene indicar que el sistema completo de control digital del motor se denomina muchas veces sistema FADEC, pero debe entenderse en este caso que incluye el ordenador-regulador, propiamente dicho, y la interfase de entrada y salida que le acompaña.

El sistema de control digital comprende tres grande grupos:

- El regulador digital, propiamente dicho. El regulador recibe diversos nombres, ellos son: unidad digital de control de motor (DECU), Unidad de control de motor (ECU), Control electrónico de motor (DEC), Control electrónico digital del motor (DEEC) y control electrónico digital de mando total (FADEC). Muchas veces el término FADEC identifica al sistema digital completo del motor y no solo el regulador.
- Interfase del regulador (Engine Interface Unit). Es el equipo que se encarga de acondicionar las señales de computación que se envían al regulador. Las señales son típicamente analógicas que deben

²³ http://www.aviationtoday.com/am/categories/bga/General-Aviation-FADEC-Making-a-Piston-Engine-Act-Like-a-Turbine_13506.html

convertirse al formato digital para que puedan escribirse en la memoria del ordenador. La unidad de interfase se encarga de realizar el acondicionamiento.

- Unidades periféricas, que dependen del avión en concreto don está instalado el sistema y, en su caso, de la motorización elegida por la compañía aérea. Unidades periféricas típicas son los detectores de datos del motor, sistema inverso de empuje, control del aire de refrigeración externo del motor, etc.

Funciones del regulador electrónico

Se dividen en dos grupos; esenciales y secundarias.

- Funciones esenciales

Son funciones esenciales todas las de protección del motor, como sigue:

Control de la temperatura del gas de la turbina, desde relentí a máximo régimen.

Limitación automática de la velocidad del conjunto de baja presión, del fan y del conjunto de alta presión.

Presión del aire a la salida del compresor de alta presión.

Temperatura de salida de gas de la turbina de alta presión

Control del flujo de combustible durante la aceleración y desaceleración.

Posición de la geometría variable del compresor.

- Funciones secundarias

Son las de gestión del empuje, puesta en marcha, aplicación y control de la inversión de empuje, y otras periféricas que se puedan instalar en una aplicación determinada. Señalamos las siguiente:

Empuje en relentí constante durante maniobras en tierra.

Puesta en marcha automática del motor (secuencia automática de ignición)

Nivel de empuje constante durante el ascenso, hasta altitud de crucero.

Transmisión de datos del motor al sistema de pantalla de datos de cabina.

Especificación de los reguladores digitales

Reglas que determinan la instalación y operación del regulador.

Se pueden resumir de esta forma:

- Cada regulador electrónico debe disponer de fuente de energía eléctrica independiente a la del avión. Asimismo, si no cuenta con sistema de respaldo hidromecánico de control de combustible, debe tener doble canal de funcionamiento. Cada canal debe tener acceso a todos los sensores y actuadores del motor.
- Los reguladores de cada motor deben ser independientes.
- Debe informarse al piloto de los parámetros de empuje solicitado y empuje total.
- El empuje del motor debe variar linealmente con el ángulo de posición del mando de gases.
- El regulador debe hacer ajustes automáticos por variación de las cargas sobre el motor (aire acondicionado y demanda de energía eléctrica)
- Estabilidad del motor en los regímenes transitorios (aceleración y desaceleración), e independiente del estado de deterioro del motor. Así, deben independizarse dentro de lo posible los tiempos de aceleración del motor en relación con el deterioro normal que se produce por tiempo de funcionamiento.
- Eliminación de pruebas en tierra por cambio de la sección computadora del control.

Indicación

La información que proporciona el sistema FADEC se clasifica en dos categorías: pantalla de datos primaria y secundaria. La clasificación de pantalla se hace en atención a la categoría de los datos que se presentan en un instante dado.

La pantalla primaria de datos visualiza parámetros esenciales del motor, tales como revoluciones de los grupos rotatorios, temperatura de gases de escape y otros. Esta presentación es de carácter permanente.

La pantalla secundaria de datos visualiza variables secundarias, tales como la presión y temperatura de aceite, estado de los filtros, etc. La página que contiene estos datos se muestra en pantalla cuando se selecciona

intencionadamente. La pantalla secundaria tiene además dos configuraciones, una que se presenta durante la puesta en marcha del motor y otra después de la puesta en marcha.

Aprovechando la alta resolución gráfica que se ha conseguido recientemente en pantallas de tubo de rayos catódicos CRT, y de cristal líquido LCD, conviene señalar que la mayor parte de las indicaciones de los parámetros del motor se muestran en rojo cuando se sobrepasa el valor admisible del parámetro, en amarillo señal de precaución y en verde para operación normal.

3.4.2.1.2 Sistema de inyección

La mejora de los sistemas de inyección disminuye los CH por cuanto los niveles de contaminación emitidos dependen mucho del rendimiento del sistema de inyección.

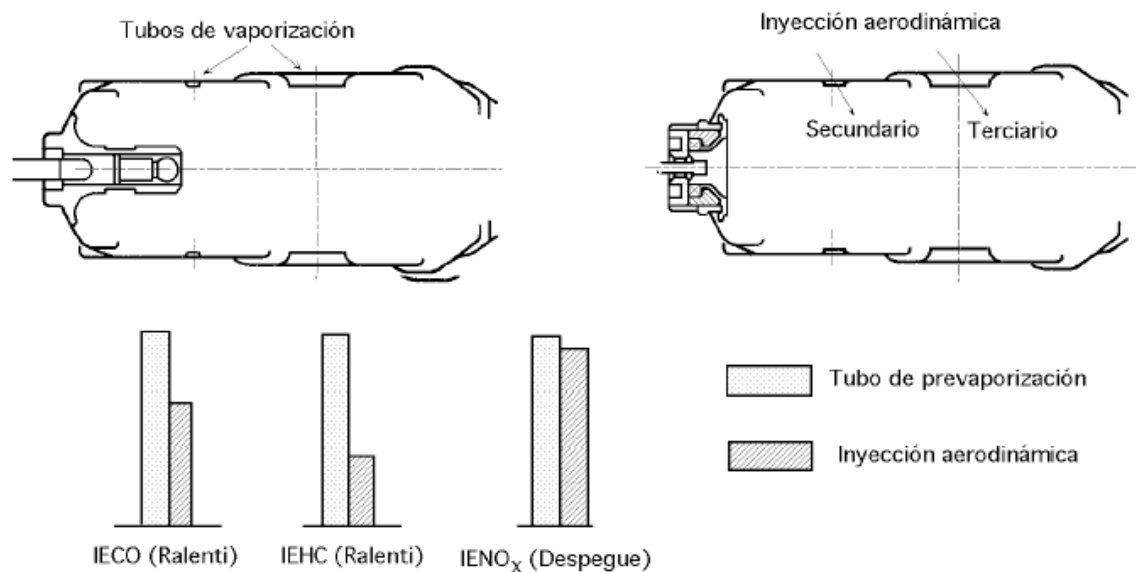


Figura 3.9. Mejora del sistema de inyección.

Fuente: <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/08Tgas.pdf>

²⁴La calidad de la mezcla (aire-carburante) y su distribución en la zona primaria de la cámara de combustión, condicionan las riquezas y temperaturas locales. Una mejora del sistema de inyección es, por lo tanto, una importante vía para reducir la contaminación; la sustitución de los tubos de vaporización por una

²⁴ <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/08Tgas.pdf>

inyección aerodinámica, ha dado lugar a importantes mejoras en la emisión de contaminantes, especialmente en los inquemados.

3.4.2.1.3 Reemplazo de carburantes

Las turbinas industriales se proyectan para ser utilizadas con diferentes carburantes (gasóleo, gas natural, gas pobre, alcohol, etc). La experiencia demuestra que, debido a que la temperatura de la llama es más baja, los carburantes con un poder calorífico débil dan lugar, para un mismo diseño de la cámara de combustión, a niveles de NOx más bajos y a niveles de CO e hidrocarburos no quemados más altos.

La utilización de carburantes de bajo poder calorífico da lugar a consumos específicos mayores, necesitando una mayor cantidad de carburante para un mismo cometido.

Estas soluciones, aplicables a las turbinas industriales de gas, lo son difícilmente a las turbinas de aviación, ya que dan lugar a un mayor consumo.

3.4.2.1.4 Cámara de combustión

3.4.2.1.4.1 Inyección de agua o de vapor

El objetivo inicial de una turbina de gas (Ciclo Brayton) con inyección de agua es aumentar la salida de potencia incrementando el flujo de masa que pasa a través de la turbina sin modificar la potencia consumida por el compresor.

En este tipo de ciclo, agua desmineralizada es inyectada antes de la cámara de combustión para reducir las emisiones de NOx a por lo menos 25 ppm (Entre 25 y 42 ppm según referencia **(John C. Progress continues in gas turbine NOxcontrol. Power Engineering. May 1996 v 100 n5.)Pages 19 to 22.**

La cantidad de agua que se adiciona es tal que el aire a la salida del compresor se satura, así se logra un incremento en la potencia de la turbina sin incrementar la potencia del compresor. Un turbina de gas con inyección de agua también es conocida como un ciclo evaporativo regenerativo.

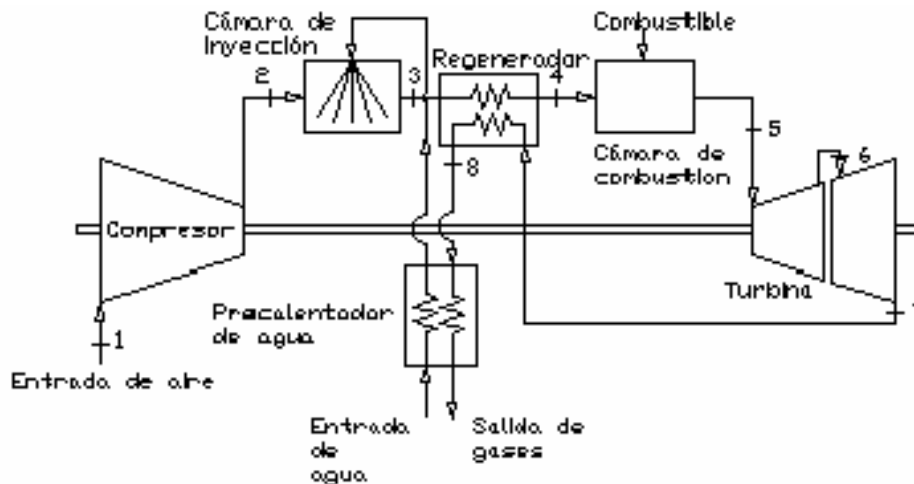


Figura 3.10. Turbina de gas de doble eje con inyección de agua.

Fuente: [http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Water_injection_\(engines\)](http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Water_injection_(engines))

El nivel de los NO_x se puede reducir disminuyendo las temperaturas locales de la llama, inyectando agua o vapor de agua en la cámara de combustión. Se ha comprobado que en las turbinas industriales THM, una inyección de agua equivalente al gasto másico de carburante: puede disminuir hasta cuatro veces los niveles de NO_x,

$$\frac{\text{Caudal de agua}}{\text{Caudal de carburante}} = \frac{1 \text{ litro}}{100 \times \frac{1000}{1,293} \text{ litros}} = \frac{1}{77300} \frac{\text{litro}}{\text{litro}}$$

Con determinados tipos de aeronaves y a demanda del operador se puede inyectar agua para aumentar el empuje o para reducir la temperatura del aire. Por ello la inyección de agua puede realizarse en la entrada del compresor, el difusor pre-cámaras o en la propia cámara de combustión. Pero este sistema solo se utiliza en determinadas circunstancias, como puede ser la necesidad de un empuje extra en el despegue, como es el caso del avión Boeing 747 durante un máximo de 2.5 minutos, ya que el consumo de agua es grande y necesita de un depósito que lo contenga, añadiéndose un peso extra a la aeronave.

3.4.2.1.4.2 Inyección de amoníaco

Reducción Catalítica Selectiva (SRC) de NO_x usa el amoníaco como el agente de reducción fue patentada en Estados Unidos por Englehard Corporation en 1957. El desarrollo de la tecnología del SCR continuó adentro Japón y los

E.E.U.U. en los años 60 tempranos con la investigación que se centra en agentes menos costosos y más durables del catalizador.

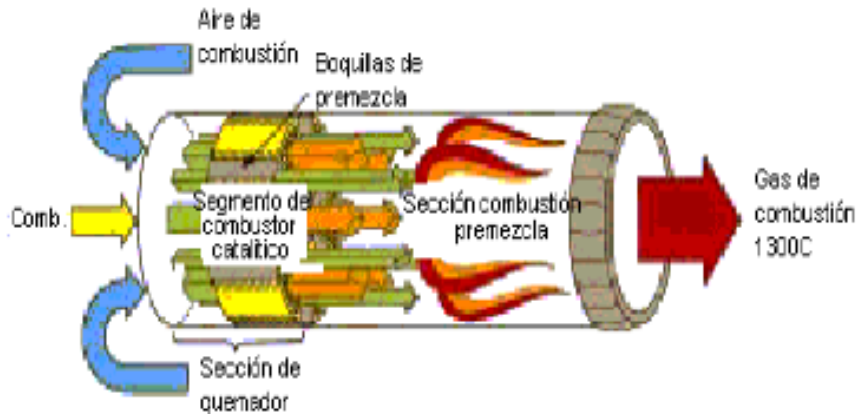


Figura 3.11. Esquema de un combustor catalítico.

Fuente: <http://www.leeds.ac.uk/fuel/shortc/ultra.htm>

La Reducción Catalítica Selectiva (RCS) es considerado el mejor sistema de control disponible de NO_x, capaz de reducir las emisiones de NO_x hasta 5 ppm. El sistema trabaja inyectando vapor de amoníaco (NH₃) en los gases de combustión, los cuales después pasan por un material catalizador. La reacción química resultante reduce los NO_x en agua y nitrógeno sustancias inofensivas.

La solución consiste en intentar eliminar los NO_x mediante inyección de un agente reductor, por ejemplo, amoníaco; esto implica:

- Un dispositivo de detección del contenido de NO_x en los gases de escape
- Un sistema de regulación que dosifique el gasto másico del agente reductor NH₃ que debe ser inyectado
- Una cámara de reacción de volumen suficiente como para permitir se produzcan las reacciones químicas del NO_x con el NH₃., solución que resulta poco adaptable a las turbinas de aviación.

Los sistemas de reducción catalíticos selectivos comerciales se encuentran típicamente en grande calderas para uso general, calderas industriales, etc. y se han demostrado para reducir NO_x a partir de la 70-95%. Usos más recientes incluyen grande motores diesel, por ejemplo éstos encontrados en las naves grandes, locomotoras diesel, turbinas de la combustión, e igual en automóviles.

3.4.2.1.4.3 Optimización del reparto del aire

²⁵Los niveles de contaminación emitidos dependen también del reparto de aire en el tubo de llamas; la fracción del gasto másico de aire que alimenta la zona primaria, la difusión e incluso el gasto másico de refrigeración, se deben regular para obtener el mejor compromiso entre las diferentes prestaciones.

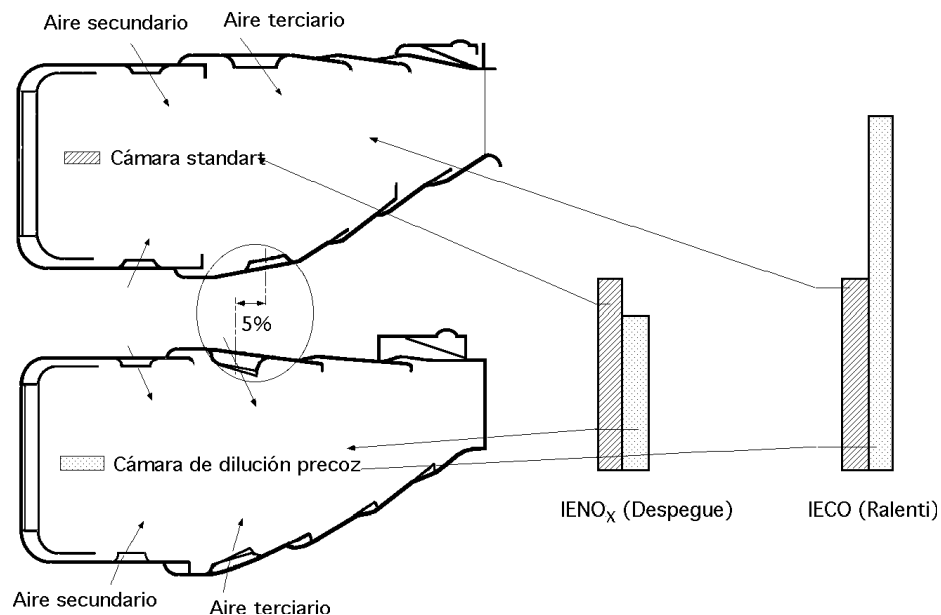


Figura 3.12 Cámara de dilución precoz.

Fuente: <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/08Tgas.pdf>

Sin embargo, la optimización del reparto de aire en el tubo de llamas no permite establecer un compromiso entre las prestaciones y las sustancias contaminantes; en la se muestra que si se modifica en una cámara la posición de los orificios de dilución (aire terciario), la contaminación de los NOx disminuye, pero esto da lugar a una reducción del volumen de la cámara, en donde la temperatura es elevada, provocando un aumento de los niveles de inquemados CH.

3.4.2.1.4.4 Optimización de reparto del carburante

En esta situación no se reducen los NOx. En condiciones de baja carga, se puede optimizar la estequiometría de la zona primaria, regulando el reparto de carburante entre los inyectores, pero este tipo de solución exige un sistema de

²⁵ <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/08Tgas.pdf>

alimentación de carburante más complejo, no siendo válida para regímenes elevados; por lo tanto, no da lugar a reducciones directas de los niveles de NOx, sino que favorece una débil producción, mejorando el compromiso entre el funcionamiento al ralentí y el funcionamiento a plena carga.

3.4.2.1.4.5 **Acortamiento de la cámara de combustión**

El acortamiento de la cámara permite reducir el tiempo de permanencia al tiempo que limita la formación de los NOx. La relación (longitud/diámetro) ha disminuido en un 30% en 30 años, lo cual ha sido posible por un mejor control de la aerodinámica interna del tubo de llamas que ha permitido acortar las cámaras sin aumentar la complejidad de las temperaturas de salida, y sin aumentar los inquemados, permitiendo obtener en las turbinas modernas niveles de NOx equivalentes a los de los antiguos motores, a pesar del aumento de las relaciones de compresión.

3.4.2.1.5 **Acción sobre el ciclo del motor**

El parámetro de contaminación definido en las normas internacionales es la masa de contaminante Dp emitida durante el ciclo de aterrizaje-despegue con relación al empuje de despegue:

$$\frac{D_p}{F_{00}} = \frac{\text{Masa de contaminante emitida durante el ciclo 'aterrizaje-despegue'}}{\text{Empuje de despegue}} \frac{g}{kN} = k C_s (IE)$$

En la que (IE) es un índice de emisión que representa el nivel tecnológico de la cámara de combustión, y Cs es el consumo específico ligado al ciclo del motor.

Esto indica que, para disminuir el parámetro (Dp/F00) el constructor tiene dos posibilidades:

- a) Mejorar la cámara de combustión.
- b) Seleccionar un ciclo que dé lugar a un menor consumo específico

La consecuencia directa de la mejora del consumo específico en todas las turbinas modernas, con alta relación de dilución y en las turbinas tipo propfan, es la disminución de los niveles de contaminación.

3.4.2.2 Desarrollo y avances en la tecnología de la construcción

Las diferentes técnicas de reducción expuestas, aplicadas a las turbinas modernas actualmente en servicio, han permitido reducir considerablemente los niveles de emisión de in-quemados. Se han optimizado el sistema de inyección, el reparto de aire y carburante, etc, pero estas mejoras incrementan los NOx debido al aumento de las relaciones de compresión de las turbinas.

La cámara de combustión representada a continuación es ultracorta (L/A = 1,75) y ha sido adaptada a un ciclo de motor propfan dando lugar a un bajo consumo específico, con niveles de contaminación bastante por debajo de los límites vigentes, obteniéndose los siguientes resultados:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{CO: } \frac{D_P}{F_{00}} = 34 \frac{\text{g}}{\text{kN}} ; \text{ Límite (OACI), } 118 \\ \text{Hidrocarburos no quemados: } \frac{D_P}{F_{00}} = 3 \frac{\text{g}}{\text{kN}} ; \text{ Límite (OACI), } 19,8 \\ \text{NO}_x : \frac{D_P}{F_{00}} = 46 \frac{\text{g}}{\text{kN}} ; \text{ Límite (OACI), } 108 \end{array} \right.$$

Se observa que a pesar de una alta relación de compresión cercana a 35, se han obtenido bajos niveles de NOx, por lo que se puede aceptar que estas tecnologías se encuentran próximas a un compromiso óptimo, siendo escasas las mejoras que puedan obtenerse en el futuro.

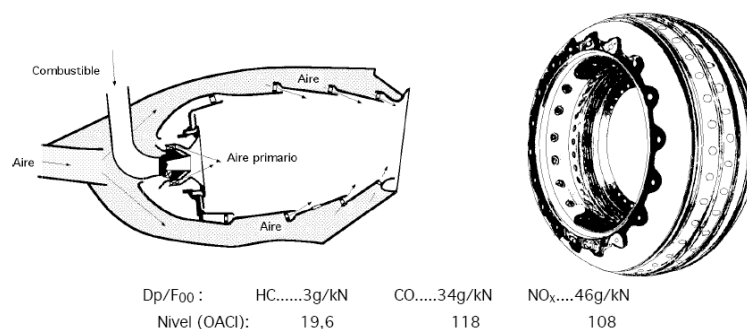


Figura 3.13. Cámara de combustión ultracorta

Fuente: <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/08Tgas.pdf>

3.4.2.3 Nuevas tecnologías

Para conseguir mejoras significativas en la reducción de los niveles de contaminación, es necesario imaginar otro tipo de soluciones tecnológicas completamente nuevas

3.4.2.3.1 Inyección escalonada

La separación de las funciones de ralentí y despegue es una de las posibilidades para reducir el nivel de contaminación de una cámara, superando el compromiso entre la riqueza y el tiempo de permanencia en la zona primaria.

A continuación se presenta un ejemplo de cámara de combustión con dos cabezas; la cabeza de ralentí posee un gran volumen (tiempo de permanencia elevado) y está alimentada por una cantidad de aire que permite optimizar la estequiometría de la zona primaria en condiciones de ralentí, produciendo pocos inquemados.

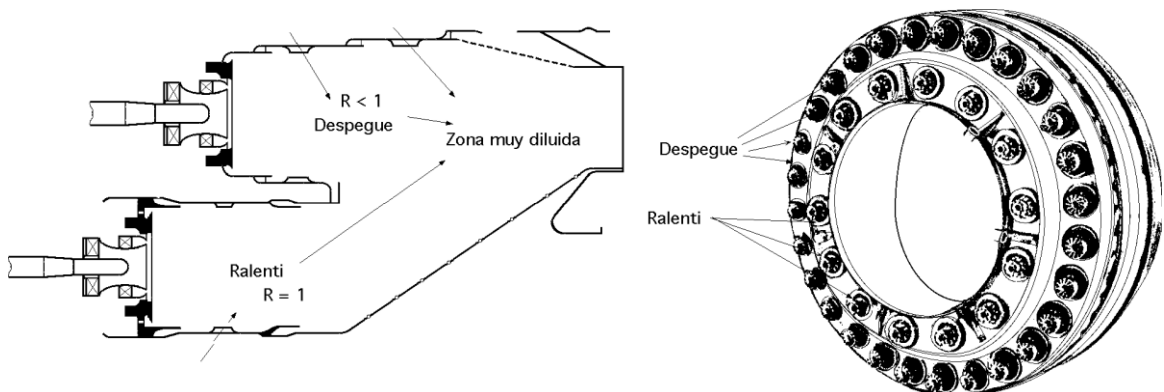


Figura 3.14. Cámara de combustión con dos cabezas.

Fuente: <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/08Tgas.pdf>

La cabeza de despegue es de pequeño volumen (corto tiempo de permanencia), estando alimentada por una gran parte del aire suministrado por el compresor de forma que se obtiene una zona primaria sub estequiométrica, por cuanto el flujo desde la salida de la zona primaria queda muy diluido debido a una serie de orificios de dilución, consiguiéndose una fijación rápida de las reacciones de formación de NO_x a regímenes elevados. Los niveles de contaminación obtenidos son inferiores a los de las tecnologías clásicas, reduciendo los NO_x en aproximadamente el 30%.

En general, la mejora de la contaminación se obtiene a costa de una mayor complejidad de la tecnología de la cámara y, especialmente, aumentando el número de inyectores. Las temperaturas de la pared son más elevadas, debido a la mayor superficie de pared del tubo de llamas lo que es un problema en determinados regímenes intermedios existe una cierta dificultad en alcanzar buenos rendimientos por cuanto ambas cabezas están necesariamente lejos de su funcionamiento óptimo.

3.4.2.3.2 Geometría variable

Permite regular el gasto másico en la zona primaria para cada régimen de funcionamiento.

Si se desea optimizar el funcionamiento de la cámara en todos los regímenes, puede ser necesario introducir en el dimensionamiento un grado de libertad adicional que se puede alcanzar con la ayuda de una geometría variable que permita regular el gasto másico en la zona primaria para cada una de las condiciones de funcionamiento.

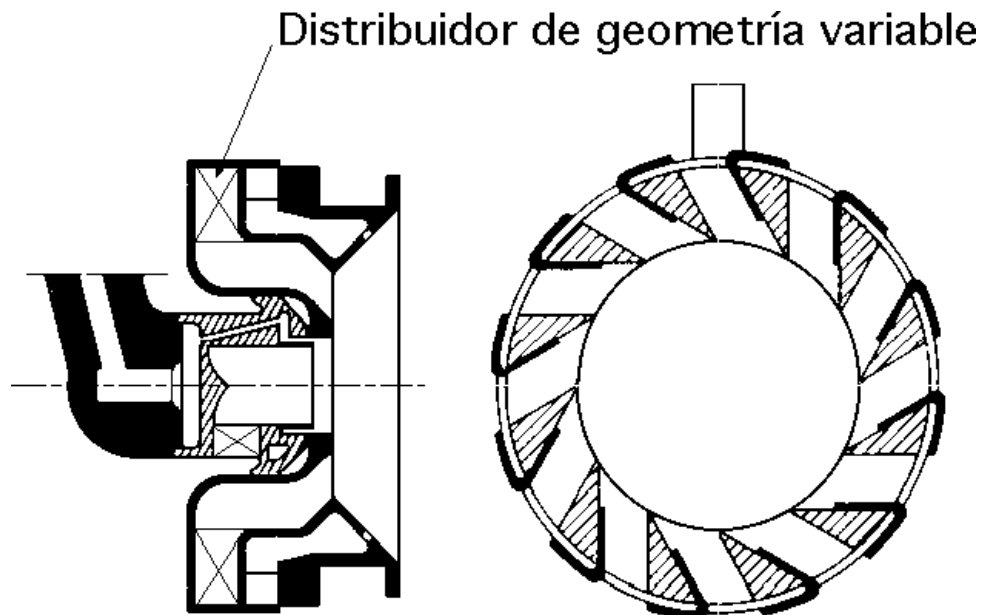


Figura 3.15. Sistema de inyección de geometría variable.
Fuente: <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/08Tgas.pdf>

Además de reducir la contaminación, la geometría variable tiene otras ventajas que pueden compensar los inconvenientes debidos a su tecnología más compleja, como un menor volumen de la cámara de combustión que permite

reducir el espacio ocupado y el peso del motor, aumentando el intervalo de riquezas y ampliando el campo de reencendido durante el vuelo.

La geometría variable se puede combinar con técnicas de combustión escalonada.

3.4.2.3.3 Inyección de pre-mezcla pobre

La formación de NO_x depende mucho de las temperaturas y riquezas locales presentando un pico importante para las mezclas estequiométricas; una premezcla antes de la combustión permite minimizar las zonas en las que las riquezas estén próximas a la estequiométrica.

En la figura 3.16 se presenta el esquema de esta cámara.

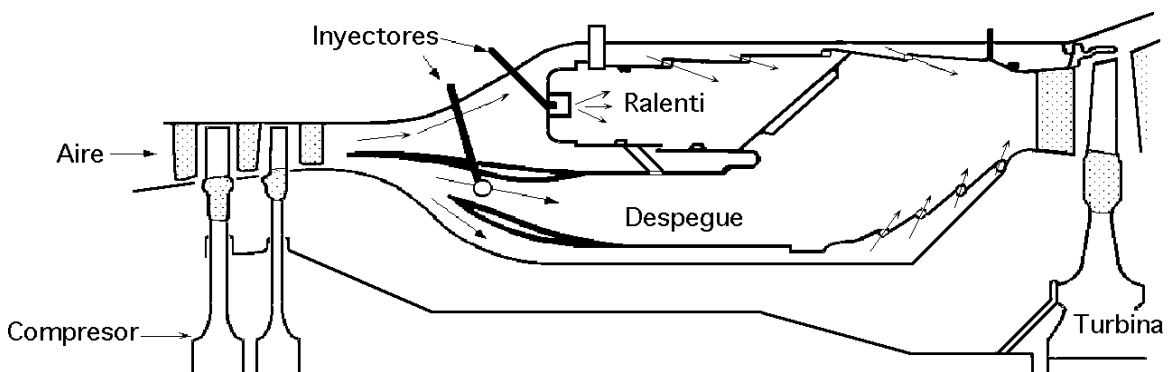


Figura 3.16. Cámara de combustión con premezcla pobre.

Fuente: <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/08Tgas.pdf>

La cabeza de despegue incluye un dispositivo de premezcla y estabilizadores de llama del tipo de recalentamiento.

La ventaja aportada por la premezcla se suma, por lo tanto, al efecto producido por el corto tiempo de permanencia, permitiendo limitar la formación de NO_x.

El inconveniente de esta tecnología es el peligro de autoinflamación antes de los estabilizadores de la llama, por lo que el control de estos fenómenos de autoinflamación es una cuestión clave para la utilización de esta técnica, especialmente en las turbinas de elevadas relaciones de compresión.

3.4.2.3.4 Combustión rica, dilución rápida pobre.

Teóricamente es posible reducir las emisiones de NOx efectuando las combustiones estequiométricas en la zona primaria y diluir rápidamente los gases para limitar el tiempo de permanencia en las zonas estequiométricas.

La puesta a punto de este tipo de cámara, Figura 3.17, exige resolver ciertos problemas como:

- a) La producción de carbono en la zona primaria muy rica y la combustión en la zona de dilución.
- b) La refrigeración de la zona primaria sometida a una radiación intensa debida a las partículas de carbono, evitando toda inyección de aire a fin de eliminar las zonas de mezcla estequiométricas
- d) La dilución rápida a estequiometría controlada.

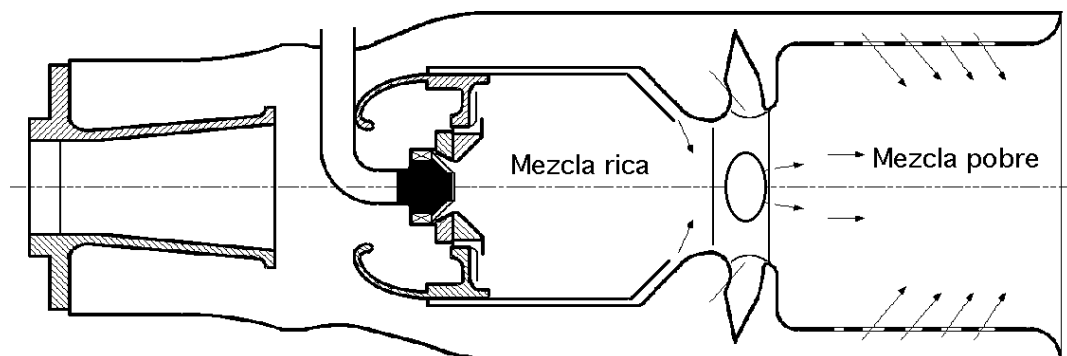


Figura 3.17. Cámara de combustión rica, dilución rápida, pobre.

Fuente: <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/08Tgas.pdf>

3.4.2.3.5 Combustión catalítica

La combustión catalítica es otra forma de efectuar combustiones a baja temperatura.

El principio consiste en estabilizar la llama a baja temperatura gracias a un catalizador. Sin embargo hay que resolver los problemas debidos al ensuciamiento y al comportamiento térmico del catalizador si se quiere obtener una vida útil del mismo compatible con su utilización.

Como conclusión, las tecnologías de tipo de cámara de dos cabezas parecen tener la suficiente fiabilidad como para permitir su aplicación a corto plazo. Sin embargo es preciso encontrar un equilibrio entre la reducción de aproximadamente el 30% en NOx que puede aportar este tipo de tecnología y el aumento del peso y precio del motor; también hay que considerar su fiabilidad ligada a una mayor complejidad.

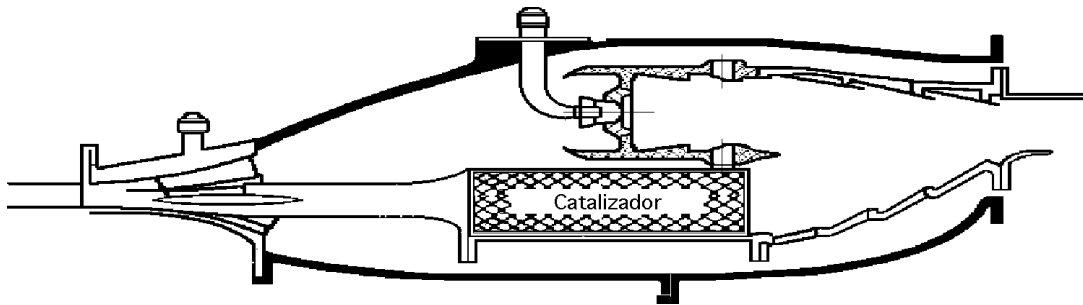


Figura 3.18. Cámara de combustión catalítica.

Fuente: <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/08Tgas.pdf>

Las cámaras de combustión desarrolladas hasta ahora presentan niveles de contaminación que cumplen con las normas (OACI). Hace muchos años que las tecnologías anticontaminación son objeto de estudio y, sin embargo, las nuevas tecnologías presentan inconvenientes en lo que se refiere al coste, peso y fiabilidad, que habrá que tener en cuenta al realizar el dimensionamiento.

Todavía no se conocen bien los mecanismos químicos atmosféricos en los que participan las sustancias emitidas a gran altura por las turbinas de aviación. Sin embargo se deben reducir de forma especial las emisiones de NOx que siguen siendo un problema clave en el caso de los aviones supersónicos.

El resaltar la importancia de las nuevas tecnologías en la generación de energía, así como la limitación principal de estas tecnologías, impuesta por las leyes físicas intrínsecas a la propia naturaleza.

3.4.2.4 Aplicación de las tecnologías para reducir la contaminación en los motores Gn-x

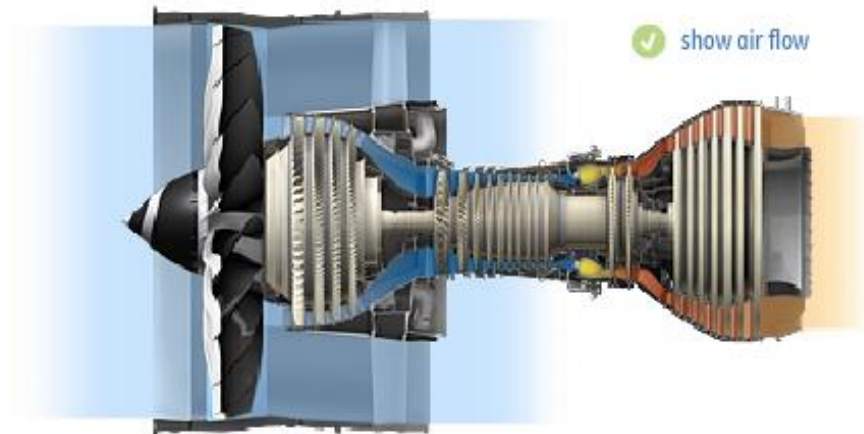


Figura 3.19. El motor Gen X

Fuente: <http://www.geae.com/education/theatre/genx/>

²⁶General Electric a través de la iniciativa de eco-imaginación integrada a todas sus líneas de producción en especial a la de aviación ha desarrollado el motor GENx que constituye un gran paso adelante ya que representa el avance y desarrollo tecnológico orientado hacia la reducción de las emisiones producto del uso de combustibles fósiles para la extracción de energía. Utilizando la innovadora tecnología Twin Anular Pre-mixing Swirler (TAPS), este motor quema el combustible de forma más limpia y las palas del ventilador fan al igual que el diseño de la carcasa son hechas de material compuesto lo que le permite reducir el peso y aumentar el ahorro de energía.

3.4.2.4.1 Descripción del motor

De entre las principales características del motor se extraen el utilizar materiales de última generación, procesos de diseño para reducir el peso, mejorar el rendimiento en tecnología de propulsión de 53,000 a 75,000 libras de empuje y el menor mantenimiento. Estos motores entregan el 15 por ciento en el consumo específico de combustible mejor que los motores que sustituye, ayudando a los operadores ahorrar cada vez que vuelan. Está diseñado para permanecer en el ala un 20 por ciento más, mientras que con un 30 por ciento menos en piezas, reduciendo considerablemente el mantenimiento.

²⁶ <http://www.ge.com/>

Las emisiones de estos motores son hasta el 95 por ciento debajo de los actuales límites reglamentarios, asegurando el cumplimiento de tratados y normas para la generación de emisiones en los próximos años razón por la cual el motor comercial más favorable a los pasajeros hasta la actualidad producidos.

Las emisiones se reducen porcentualmente en el motor GENx de la siguiente manera:

En el motor los NOx su reducción es del 50 % del margen de estándar propuesto por el COMITÉ SOBRE LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y LA AVIACIÓN (CAEP)

El CO₂ y el consumo de combustible se reducen en un valor porcentual de 13%.

3.4.2.4.2 Componentes innovadores del motor Gen-x

3.4.2.4.2.1 Fan y entrada de aire



Figura 3.20 Fan y conjunto de entrada de aire en el motor GenX
Fuente: <http://www.geae.com/education/theatre/genx/>

La combinación de un alto diseño aerodinámico tanto en los alabes como en el conjunto de admisión de aire; al igual que la construcción de los mismos dentro de sus mejores características técnicas esta el uso de materiales ligeros, duraderos compuestos y revestimientos especiales.

Una característica especial es también una proporción de aire de by-pass del motor gracias al diseño del spinner que a través de su ángulo de ataque permite el sangrado aerodinámico, la expulsión de partículas solidas en el aire, lo que a su vez permite que el aire primario sea más limpio y de mejor calidad para la combustión.

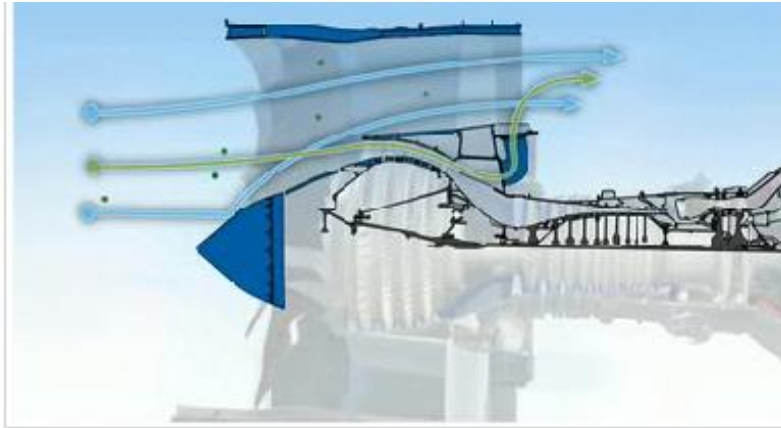


Figura 3.21. Depurado del aire de entrada en el motor GenX
Fuente: <http://www.geae.com/education/theatre/genx/>

3.4.2.4.2.2 Cámara de combustión

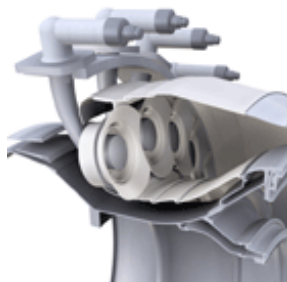


Figura 3.22 Cámara de combustión con tecnología TAPS(Twin Anular Pre-mixing Swirler)

Fuente: <http://www.geae.com/engines/commercial/genx/combustor.html>

La innovadora cámara de combustión TAPS (Gemela Anular de Pre-mezcla) de combustión más limpia requiere de una tecnología que ofrece una alta eficiencia bajando las temperaturas de la llama uniformemente. Esto se logra a través de un innovador concepto de pre-mezcla. Al dirigir casi todo el flujo de aire a través generadores de vórtice cuyo objeto es producir remolinos para mejorar la mezcla de combustión alrededor de inyectores de combustible; se crea así una ideal pre-mezcla entre el combustible y el aire del ambiente. Y debido a que la producción de NOx se proyecta con fuerza por la temperatura

de combustión, estas emisiones se reducirán drásticamente puesto que la variación de la temperatura de salida se reduce en 205°C.

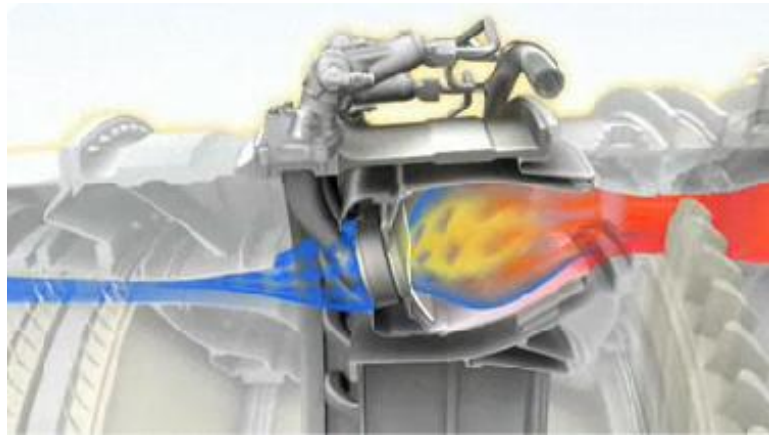


Figura 3.23 Combustión en el motor GenX.

Fuente: <http://www.geae.com/engines/commercial/genx/combustor.html>

Las temperaturas más bajas y más uniformes producidas por esta cámara de combustión tienen otra ventaja, también ya que permite de manera significativa mejorar la vida de todos los componentes intermedios; esto a su vez reduce la fatiga, lo que lleva a más tiempo de vida útil y menores costes de mantenimiento.

3.4.2.4.2.3 Turbina



Figura 3.24 Turbina de motor GenX.

Fuente: <http://www.geae.com/engines/commercial/genx/turbine.html>

El trabajo de las turbinas de alta y baja presión es extraer del flujo principal. Esta eficiencia se ve mejorada, gracias a las recientes modificaciones en los códigos de diseño y arquitectura de palas eólicas. Menos cuchillas ahora pueden hacer el trabajo más eficiente, al mismo tiempo que reducir el costo y peso.

La mayor parte de los costes de mantenimiento del motor están impulsados por la vida de los componentes de la turbina. Al incluir el uso de nuevos materiales, mejorar la resistencia a la temperatura y la reducción de la severidad del entorno de trabajo; se han limitado las temperaturas máximas que experimentarán estos componentes. El diseño será característica única de rotores de metal con recubrimientos especializados, mejores de técnicas de enfriamiento que hacen de esta una turbina con el balance adecuado de rendimiento y larga vida.

El diseño de contra-rotación ofrece numerosos beneficios, incluyendo menos piezas, menos peso y mayor eficiencia sin complejidad arquitectónica adicional.

Su aplicación en la actualidad es en la línea de aviones:

- Boeing 787 Dreamliner
- Boeing 747-8I and Freighter

CAPITULO IV

4.1 Conclusiones

Los conocimientos adquiridos en la carrera complementados con otras áreas nos permiten satisfacer necesidades reales que demandan sectores específicos en nuestro país; por lo que ha sido muy satisfactorio orientar los conocimientos técnicos en función de los ambientales para generar un aporte integral que nos permita cooperar a la protección del ambiente.

De acuerdo al estudio, la contaminación es la impurificación de la atmósfera por inyección y permanencia temporal en ella de materias gaseosas, líquidas o sólidas o radiaciones ajenas a su composición natural o en proporción claramente superior a aquella; implicando riesgos, daños o molestias para personas y bienes de cualquier naturaleza.

La contaminación atmosférica provocada por la aviación es la dotación desproporcionada de elementos químicos nocivos que pasan a formar parte del aire producto de procesos naturales o pro contaminantes al aire circundante a un perímetro; por tanto los motores de las aeronaves obtienen su principio de reacción a través de la combustión de un hidrocarburo. En consecuencia se generan los siguientes productos: Dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua (H_2O), oxígeno (O_2), nitrógeno (N_2) y trazas de otros componentes como: óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de sulfuro (SO_2), material particulado, hidrocarburos no quemados y hollín.

Las concentraciones de cada contaminante emitido dependen tanto de las condiciones de funcionamiento de la cámara de combustión, como de la

tecnología utilizada; diferenciándose en las operaciones de las aeronaves tres ciclos determinantes:

- El ciclo Landing/take-off (LTO-cycle), que incluye todas las actividades que ocurren dentro de la capa de mezcla. Se puede considerar una altura 1000m.
- La etapa de Crucero (Cruise), que comprende las actividades que se desarrollan sobre los 1000m.
- La reparación y el mantenimiento, que envuelven todas aquellas actividades correspondientes a tareas en tierra destinadas a la preservación recuperación y reemplazo de componentes, sistemas, etc.; así como su calibración y las operaciones necesarias para la certificación de aeronavegabilidad de las aeronaves.

Al formular una matriz lógica tomando en cuenta factores técnicos de funcionamiento del motor como de las operaciones aeroportuarias conjuntamente con el análisis del medio físico en un perímetro determinado se pueden establecer los posibles riesgos a los que se expone la salud pública, generados por este tipo de fuente.

El desarrollo de un inventario de emisiones en función de la situación local del Aeropuerto Mariscal Sucre puede ser un ejercicio complejo que podría conducir a algunas limitaciones; por tanto se concluye que se han logrado simplificar los datos para la ejemplificación en función de tablas estandarizadas que permitirán tener una noción sustentable de las mismas y mejorar la aproximación de las estimaciones de las emisiones atribuidas a esta fuente.

Un inventario de por sí no es necesariamente una indicación del impacto total de las emisiones pues es necesario contar con modelos de dispersión para definir mejor el impacto de la calidad del aire.

El aporte emisor del tráfico aéreo en las inmediaciones del Aeropuerto Mariscal Sucre debe ser cuantificado tomando en cuenta todos los elementos del aeropuerto; incluidas las operaciones de las aeronaves y los movimientos de los

pasajeros, manipulación de la carga, las necesidades de infraestructuras aeroportuarias, y los volúmenes de tráfico de vehículos de superficie.

El estudio en el Aeropuerto Mariscal Sucre confirma que las aeronaves son un contribuyente en crecimiento de la contaminación a medida que aumenta el tráfico aéreo con la inclusión de nuevas operadoras aeroportuarias; por lo tanto las reducciones en los aviones de las emisiones contaminantes deben ser orientadas a generar medidas técnicas, operacionales y de tráfico aéreo para contribuir a mejorar la calidad del aire en las proximidades del aeropuerto, también es importante considerar el reducir las emisiones de las fuentes anexas al aeropuerto.

4.2 Recomendaciones

El usar una matriz lógica permite integrar los conocimientos técnicos y ambientales en forma secuencial obteniendo de una manera didáctica y práctica un conjunto de resultados de forma versátil y optimizada de los procesos que intervienen en un estudio de estas características.

Para la elaboración de inventarios de emisiones del aeropuerto es importante tomar en consideración que un aeropuerto es siempre parte de un entorno más amplio que va más allá de la cerca perimetral y línea de la propiedad del campo de vuelos.

Se debe tomar en cuenta que el aumento de la urbanización ha hecho de los aeropuertos polos de desarrollo; por tanto la planificación de medidas para gestionar este crecimiento a fin de prevenir y controlar el desarrollo responsable velando por la salud pública y el medio ambiente.

Las regulaciones para el control de las emisiones a nivel del Ecuador deberían buscar estar dentro de un marco estratégico para la gestión de la calidad de aire a nivel regional para contar con nociones de dicha comunidad y a su vez obtener directrices de la Organización Mundial de la Salud preestablecidas para países de dicha comunidad que tengan similares características a las de nuestro medio evo.

Dar cumplimiento a los tratados internacionales con el fin de establecer una política de mejora continua en cuanto al control y mitigación de emisiones contaminantes, con una verdadera aplicación y promulgación de las leyes tanto nacionales como internacionales.

Sugerir al Distrito Metropolitano de Quito que se deben desarrollar medidas de mitigación para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno (que es un subproducto de los motores de combustión interna); el incorporar una política de edad máxima de los motores para vehículos terrestres y equipos de servicio en tierra, la definición de los límites de cumplimiento de NOx para los vehículos y los equipos de servicio en tierra (actualmente no existen en el Ecuador), el reemplazo gradual por fases de los equipos a diesel por otros de gasolina o combustibles alternativos.

Las regulaciones deben considerar también la producción de emisiones por parte de las aeronaves militares ya que bajo criterios de seguridad nacional se hacen entes autónomos y sin regulación; por lo que es también meritorio tomar en cuenta el uso de sistema de post-combustión y el cumplimiento con los procedimientos operativos de la autoridad de aviación civil internacional.

Se debe proyectar la realidad de la contaminación atmosférica actual, hacia la contribución de las futuras fuentes contaminantes aéreas del aeropuerto en escenarios que vayan por ejemplo, 5, 10 o 25 años en el futuro; al igual que debe permitir el análisis de las condiciones pasadas.

4.3 Glosario

Avión: Aeroplano, aeronave más pesada que el aire, por lo general propulsada por medios mecánicos y sustentada por alas fijas como consecuencia de la acción dinámica de la corriente de aire que incide sobre su superficie.

Antropogénico: Que es de origen humano, que es producido por el hombre.

Capa de mezcla: es la altura máxima hasta la cual los contaminantes del aire pueden dispersarse. La capa de mezcla varía con las horas del día y depende principalmente de la radiación solar incidente y del tipo de suelo.

Catalizar: Provocar alteraciones en la velocidad de una reacción química mediante una sustancia que permanece inalterada.

Contaminantes primarios: aquellos que se emiten directamente desde las diferentes fuentes de emisión.

Contaminantes secundarios: aquellos se forman como consecuencia de las reacciones y transformaciones que experimentan los contaminantes primarios una vez que se encuentran en el aire.

Especiación: desagregación del inventario de emisiones en especies químicas individuales (especiación discreta) o por grupos de compuestos (especiación agregada). Para la modelización de la calidad del aire, la especiación de las emisiones se efectúa en función de las categorías que considere el mecanismo químico seleccionado.

Gases de efecto invernadero (GEI): gases que promueven el efecto invernadero., dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF_6). Aunque el principal gas de efecto invernadero es el vapor de agua, normalmente se refieren como GEI a los seis gases inicialmente indicados.

Inventario de emisiones: lista o colección de números que representan la cantidad de contaminantes emitidos desde diferentes fuentes, a causa de actividades socioeconómicas o naturales, dentro de una zona geográfica determinada y en un período de tiempo establecido (pasado, presente o futuro). Los inventarios para modelización de la calidad del aire deben presentar la

información georeferenciada, con alta resolución espacial y temporal, con disgregación de los datos en altura y dentro de un dominio de forma rectangular que inscriba la zona de interés.

Modelo de emisiones: modelo matemático que sirve para estimar las emisiones de contaminantes primarios hacia la atmósfera, que se producen desde las diferentes fuentes dentro de una zona geográfica determinada, en un período de tiempo establecido.

Operador aeroportuario: Entidad o corporación en capacidad de construir operar y mantener instalaciones aeroportuarias bajo expreso mandato o delegación según la ley.

Ozono (O₃): contaminante secundario y principal componente del smog o niebla fotoquímica.

Plataforma: Área definida de un aeródromo destinada a las aeronaves para maniobras de embarque y desembarque de pasajeros o carga abastecimiento de combustible y estacionamiento.

Potencial de calentamiento global (PCG): índice que establece el efecto del calentamiento global relativo de una molécula determinada, con respecto al dióxido de carbono (gas de referencia). Para un período de 100 años, el PCGs del metano y del óxido nitroso son 23 y 296, respectivamente.

Precursores de O₃: óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) que en presencia de radiación solar promueven la formación de ozono troposférico

Simulación: uso de un modelo numérico para estudiar el comportamiento de un sistema y conocer la evolución del mismo en el tiempo.

Turboreactor: Motor de reacción en el que la propulsión se produce por una turbina de gas.

4.4 Siglas

APU: Grupos auxiliares de energía.

CFC: Clorofluorocarbono

CH₄: Metano.

C₂H₄: Etano.

CO: Monóxido de carbono.

CO₂: Dióxido de carbono.

CORPAIRE: Corporación Municipal Para El Mejoramiento Del Aire de Quito.

DGAC: Dirección de General de Aviación Civil.

EPA: Environmental Protection Agency

EIA: Estudios de los Impactos Ambientales.

HC: Hidrocarburos.

HCl: Acido clorhídrico.

HF: Fluoruro de hidrógeno.

H₂S: Sulfuro de hidrógeno.

IATA: International Air Transport Assosiation

ICAO: International Civil Aviation Organization.

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

LTO: Landing /Take off.

NH₃: Amoniacó.

Nx: Nitrógeno.

OACI: Organización de Aviación Civil Internacional.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

SAP: Servicio Aéreo Policial.

SO₂: Dióxido de azufre.

TAME: Transportes Aéreos Militares Ecuatorianos

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles

4.4 Bibliografía.

- ▲ CHANG, séptima edición, “Química de CHANG” MS GRAW HILL
- ▲ Dirección General de Aviación Civil: “Guía de Exámenes para licencias” (Términos)
- ▲ Carlos Villalba, segunda edición, “Metodología de la Investigación Científica”
- ▲ Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation — Environmental Protection, Volume II — Aircraft Engine Emissions
- ▲ Guidance on Aircraft Emission Charges Related to Local Air Quality (Doc 9884) (New)
- ▲ Draft Guidance on the use of Emissions Trading for Aviation (Doc 9885) (New)
- ▲ Report on the Independent Experts NO_x Review and the Establishment of Medium and Long Term Technology Goals for NO_x (Doc 9887) (New)
- ▲ ICAO’s Policies on Charges for Airports and Air Navigation Services (Doc 9082)(Revised edition).
- Long Term Technology Goals for NO_x Presentation (New - web only).
- Airport Air Quality Guidance Manual. Preliminary edition 2007 (Doc 9889) (New – web only)
- Guidelines on the use of Procedures in the Emissions Certification of Aircraft Engines(New - web only)
- Report on Voluntary Emissions Trading for Aviation (VETS report) (New - web only)
- Collected Voluntary Activities Against Global Warming (New - web only)
- Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation — Environmental Protection, Volume I — Aircraft Noise.
- Airport Planning Manual Part 2 — Land Use and Environmental Control (Doc 9184)

- Manual on Recommended Method for Computing Noise Contours around Airports (New).
- Environmental Technical Manual on the Use of Procedures in the Noise Certification of Aircraft (Doc 9501).
- Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management (Doc 9829) (Revised edition)
- Balanced Approach Generic Presentation (New - web only)
- REPUBLICA DEL ECUADOR. Texto Unificado De La Legislación Ambiental Secundaria Del Ministerio Del Medio Ambiente Decreto Ejecutivo 3399 En Registro Oficial 725 Diciembre 16, 2002 y Decreto Ejecutivo 3516 R.O Edición Especial N°2, Marzo 31, 2003.
- ESTRUCPLAN. Impactos Ambientales y Actividades Productivas en los Aeropuertos.

Páginas Web.

- http://www.corpaire.org/siteCorpaire/upload_Files/lotaip/ordenanza_213.pdf
- <http://www.corpaire.org/siteCorpaire/estructuraorganica.jsp>
- http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&ct=res&cd=12&ved=0CDEQFjAL&url=http%3A%2F%2Fwww.vivaquito.net%2Faeropuerto%2FMariscalSucre.ppt&ei=zd2JS_quB9GUtgezpmSTDw&usg=AFQjCNFSaQUQtZfCH-DTe8h-BBjpvbPPSw
- <http://www.in-quito.com/uio-kito-qito-kyto-qyto/spanish-uio/aeropuerto-quito-ecuador/quito-aeropuerto-mariscal-sucre.htm>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto_Internacional_Mariscal_Sucre
- <http://www.mitecnologico.com/Main/InvestigacionDeCampo>
- http://maralboran.org/wikipedia/index.php/Poblaci%C3%B3n_y_muestra._Muestreo
- http://www.icao.int/icaonet/cnfrst/CAEP/CAEP_SG_20082/docs/Caep8_SG2_WP15.pdf
- <http://www.monografias.com/trabajos54/la-investigacion/la-investigacion2.shtml>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Avi%C3%B3n>
- <http://www.analizacalidad.com/concat.htm>
- http://epsc.upc.es/ca/fitxers/J79_Motores_reaccion.pdf

- <http://www.geae.com/engines/commercial/cf6/index.html>
- <http://www.monografias.com/trabajos11/entradaaire/valvus.shtml>.<http://img291.imageshack.us/i/prattwhitneyr2000co3.jpg/>
- http://2.bp.blogspot.com/__4sF4C3Y0hU/S9xlScCu1ml/AAAAAAAAAAmY/vt yMDc0uFaw/s1600/turbofan.png
- <http://www.enunblog.com/miljav/>
- <http://www.enocasioneshagoclick.com/2009/06/escuadron-click-como-funciona-un-motor.html>
- <http://www.enocasioneshagoclick.com/2009/06/escuadron-click-como-funciona-un-motor.html>
- <http://libros.redsauce.net/06tgas>
- <http://www.geae.com/genxrightnow/index.html>
- <http://www.boeing.com/utilities/upgrade/>
- <http://www.enocasioneshagoclick.com/2009/06/escuadron-click-como-funciona-un-motor.html>
- <http://patentados.com/invento/tobera-convergente-divergente-de-turborreactor.html>
- <http://libros.redsauce.net/Turbinas/Gas/PDFs/07Tgas.pdf>