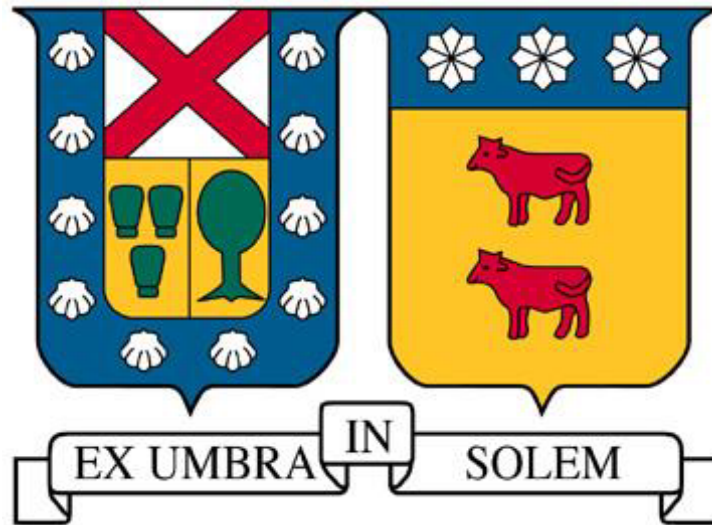


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
ACADEMIA DE CIENCIAS AERONAUTICAS
SANTIAGO-CHILE



GENERACIÓN DE ESTRATEGIAS OPTIMAS EN MEDIDAS DE
EFICIENCIA ENERGÉTICAS EN LINEAS AÉREAS

CHRISTIAN ANDRES CRUZ MURILLO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO EN AVIACIÓN COMERCIAL

PROFESOR GUIA :
PROFESOR CORREFERENTE:

SR. MARTINUS POTTERS
SR FRANCISCO DALL'ORSO LEÓN

Resumen Ejecutivo

Durante el trabajo realizado se debió recopilar información de diferentes ámbitos, ya sean investigación gubernamentales o personales (memorias), reportes realizadas por diferentes empresas relacionadas con la industria aeronáutica, además de realizar entrevistas a personas relacionadas con la eficiencia energética. Mediante lo anterior se privilegió la información proporcionada por las distintas líneas aéreas en términos de sus consumos energéticos, de manera de que se selecciona las medidas más optima según lo evaluado en términos de eficiencia energética. Por lo que se incentivara las inversiones en las medidas que se encuentran presentes, siendo esto último el principal objetivo del informe. Además, se entregará una breve información de consumo energético de la minería y transporte terrestres, para ejemplificar la versatilidad de la eficiencia energética. Algunos de las medidas investigadas son limpieza de motor, utilización de la mitad de los motores durante el taxeo, renovación de flota, reducción de peso, entre otras.

¿Qué es la eficiencia energética? Es aquella que tiene como objetivo reducir el consumo de energía, pero conservando la calidad (Agencia Chilena de Eficiencia Energetica, 2017). Generalmente es asociada a la creación de nuevas tecnologías que incrementen el rendimiento o realizando nuevos diseños. Sin embargo, no siempre es así, ya que también puede estar vinculado a una mejor gestión.

El principal objetivo de estudio fue analizar y encontrar las medidas de eficiencia energética con mayor proyección para las líneas aéreas, de esta manera se logrará reducir sus consumos energéticos, algunas de estas tendrán un alto costo de inversión inicial, pero repercutirá directamente en los beneficios económicos a corto y largo plazo. Posterior a la investigación se logra decidir que las principales medias son: Instalación de paneles fotovoltaico, lavado de motor, equilibrio del uso de APU y GPU, renovación de flota y realizar ascenso continuo.

La utilización de paneles fotovoltaico fue ejemplificada mediante una teórica instalación en un hangar presente en la base de mantenimiento de LATAM. Mediante la instalación de 629,52 m² de paneles solares que generará un máximo de 104,688 kWh y un promedio anual de 17,92 kWh se podrá reducir hasta \$320.257,5. Se deberá hacer una inversión de \$63.119.109 para costear 388 paneles fotovoltaico y 174 inversores de capacidad.

El lavado de motor se deberá realizar una inversión inicial de 100.000 USD para adquirir el sistema EcoPower, que restaura la eficiencia del motor, disminuyendo el consumo de combustible de hasta un 1,5% de la cantidad de combustible total. De no utilizarse este método se tendría un costo de ineficiencia anual de 450.000 USD por no mantener limpio el motor, mientras que los costos anual por mantenerlo limpio es de \$320.000, por lo que el primer año se tendrá un beneficio de 30.000 USD.

El uso de la GPU en vez de la APU podrá reducir el consumo de combustible para la empresa de hasta 360 litros de Jet-A1 y a su vez se reducirá los costos de hasta 206 USD, todo estos valores serán por vuelo, por lo que los costos relacionados en operaciones se reducirán drásticamente.

Mientras que la renovación de flota es la medida más eficiente, reduciéndose las millas por galones por pasajeros de hasta un 28,43% entre B737-800 y B737 MAX8, aumentándose tanto la capacidad de pasajeros, como la autonomía y la capacidad de combustible, además se pueden reducir gastos por conceptos de combustible por cada vuelo de hasta 2.370,89 USD.

La última medida seleccionada es el ascenso continuo la cual depende de varios factores como son las condiciones de la pista y sus alrededores (obstáculos, demografía, condiciones climáticas) además de características de la pista, pero se puso énfasis en la elección del motor, a lo cual se puede reducir el consumo y el gasto por minuto de 41,15 libras de combustible y de hasta 619,48 USD respectivamente.

Palabras Claves: Eficiencia Energética, Consumo de combustible, Lavado de Motor, Renovación de Flota, APU, GPU, Ascenso Continuo, Panel Solar.

Abstract

Throughout the investigation, information from different subjects was collected, whether governmental reports or personal researches (thesis), reports made by different companies related to the aeronautical industry, as well as interviews with professionals related to energy efficiency. According to this, the information delivered by the different airlines was privileged, in terms of their energy consumption, so that the optimal measure is selected, as evaluated in terms of energy efficiency. Therefore, investments will be encouraged in the current measures, the latter being the main objective of the present thesis. In addition to this, a brief information about energy consumption of land mining and ground transportation will be provided, in order to exemplify the versatility of energy efficiency. Some of the measures investigated are engine cleaning, use of half of the engines during taxing, fleet renewal, weight reduction, among others.

What is energy efficiency? Energy efficiency is the one that aims to reduce energy consumption but maintaining its quality. (Chilean Agency for Energetic Efficiency, 2017). It is usually related to the creation of new technologies that increase performance or the making of new designs. However, this is not always the case, since it can be linked to better management.

The main objective of the present thesis was to analyse and find the energy efficiency measures with the greatest projection for the airlines, so that it could be possible to reduce their energy consumption. Some of these may have a high cost of initial investment but will have a direct impact in the economic benefits in the short and long term. After the investigation, it is possible to decide that the main means are: Installation of photovoltaic panel, engine cleaning, balance of the use of the APU and GPU, renewal and upgrading of the fleet.

The use of photovoltaic panels was exemplified by a theoretical installation in a hangar located in the maintenance base of LATAM. By installing 629,52 m² of solar panels that will generate a maximum of 104,688 kWh and an annual average of 17,92 kWh, it will be possible to reduce an amount of CLP320.257,5. And

investment of CLP63.119.109 must be made to fund 388 photovoltaic panels and 174 capacity inverters.

In the case of the engine cleaning an initial investment of USD100.000 must be made in order to purchase the EcoPower system, which restores the engine efficiency, by decreasing fuel consumption by up to 1,5% of the total fuel consumption. Failure to use this method would result in an annual cost of inefficiency of USD 450.000 because of the cleaning the engine, while the annual cost for keeping it clean is CLP 320.000. According to this, the first year will have a benefit of USD30.000.

The use of the GPU instead of the APU can reduce fuel consumption for the company up to 360 liters of Jet-A1 and also, reduce the costs up to 206 USD. All these values will be per flight, so the costs related to operations will be drastically reduced.

While the renewal of the fleet is the most efficient measure, reducing the miles per gallons per passengers up to 28,43% between B737-800 and B737 MAX8, increasing both passenger capacity and autonomy, and fuel capacity. In addition to the above, fuel costs can be reduced for each flight of up to USD 2.370,89.

The last measure selected, is the continuous ascent, which depends on several factors, such as the conditions of the runway and its surroundings (obstacles, demography or weather conditions) as well as runway characteristics. But, emphasis was placed on the choice of the engine, which can reduce consumption and expenditure per minute of 41,15 pounds of fuel and up to USD 619,48 respectively.

KeyWords: Energy Efficiency, Fuel Consumption, Engine Cleaning, Renewal of the Fleet, APU, GPU, Continuous Ascent, Photovoltaic Panels.

Dedicada a toda mi familia, especialmente a mi querida madre y abuelos maternos, que con tanto cariño les digo mami maría y tati, con su apoyo durante todo mi proceso de crecimiento y formación como persona en estos años, no sería la persona que soy hoy en día. A mis amigos del colegio con los que mantuve contacto y siempre me apoyaron en mis locuras independiente de vernos menos por la lejanía. A los amigos que conocí en la universidad que me aguantaron por ser tan inquieto. A todos los profesores que tuve en el colegio y la universidad, cada uno de ellos pusieron un granito de arena para poder llegar a ser la persona que soy en día, gracias por entregar sus conocimientos. No puedo no mencionar y agradecer a las personas que no me acompañan en vida y que se encuentran en paz, siempre mantuve sus presencia en mi corazón. Por último, agradecer al polerón regalón que me acompañó y aguantó casi todos los días de universidad durante los cinco de años de carrera.

Gracias Totales...

Índice

Índice de Figuras	9
Índice de Gráficos	11
Índice de Tablas	12
Introducción	14
Capítulo 1 : “Antecedentes Generales”	16
1.1 Justificación del Tema	16
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo General:	19
1.2.2 Objetivos Específicos:	19
1.3 Metodología y Teoría a utilizar:	19
1.4 Alcance:	20
Capítulo 2 : “Estado del Arte”	22
2.1 Antecedentes	25
2.2 Marco Teórico:	36
2.3 Propuesta Metodológica:	42
Capítulo 3 : “Desarrollo”	43
3.1 Analizar el comportamiento energético de un operador aeronáutico:	43
3.1.1 Uso energético relacionado a operaciones aéreas:	43
3.1.2 Uso energético relacionado en tierra:	46
3.1.3 Consumo total de la empresa LATAM:	49
3.2 Análisis de Tipos de Energía en la Industria Aérea	52
3.2.1 Convencionales	53
3.2.2 Renovables Convencionales y No Convencionales	64
3.3 Análisis a Métodos Actuales de Eficiencia Energética en la industria aérea	72
3.3.1 Eficiencia energética de la industria aérea en la actualidad	72
3.3.2 Beneficios de Implementación	98
3.3.3 Problemas de Implementación	103
3.4 Medidas de Eficiencia Energética:	108
3.4.1 Explicación de Medidas de Eficiencia Energética a Utilizar	109
3.4.2 Beneficios Cuantitativos y Cualitativos	121
3.4.3 Resistencia al Cambio	149
Capítulo 4 Conclusiones y Recomendaciones:	152

Capítulo 5 Bibliografía.....	159
Capítulo 6 Anexo I:	165
Capítulo 7 Anexo II.....	172

Índice de Figuras

Figura 1.1 Predicciones de calentamiento global futuro.....	17
Figura 1.2 Emisiones de CO ₂ de Aeronaves de la aviación general.....	18
Figura 2.1 Objetivos Previstos del Protocolo de Kyoto y los resultados durante el periodo 2008-2012.	23
Figura 2.2 Tendencias en consumo de intensidad primaria de energía por país entre 1990-2011	25
Figura 2.3 Emisiones de CO ₂ en operaciones en tierra de Iberia.....	34
Figura 3.1 Muestra la distribución de la energía eléctrica para el Metro de Santiago.....	51
Figura 3.2 Muestra la relación del bypass ratio con TSFC.	54
Figura 3.3 Muestra la relación del bypass ratio con eficiencia de los motores.....	54
Figura 3.4 Representación del módulo Fan..	55
Figura 3.5 Representación del Módulo Motor.	56
Figura 3.6 Representación del Baffle Check Valve.	57
Figura 3.7 Representación del módulo HPT	57
Figura 3.8 Representación del módulo LPT.	58
Figura 3.9 Representación del módulo AGB.	58
Figura 3.10 Muestra las distintas fases de destilación en las cuales se fracciona el proceso del crudo.	60
Figura 3.11 Representación de la producción energética de una central eléctrica en el año 2008.	61
Figura 3.12 Representación de la obtención de energía eléctrica para una hidráulica de embalse.....	65
Figura 3.13 Representación de obtención de energía térmica mediante panel solar térmico.....	66
Figura 3.14 Representación de la obtención de energía eléctrica mediante panel solar fotovoltaico.....	67
Figura 3.15 Representación de la obtención de energía eléctrica mediante la turbina eólica.....	69
Figura 3.16 Representación de la obtención de energía eléctrica mediante yacimiento seco.....	70
Figura 3.17 Diagrama de la obtención de energía eléctrica mediante una turbina en yacimiento seco	71
Figura 3.18 Muestra la nueva terminal 2 de Heathrow, que está diseñada bajo estándares BREAA.....	76
Figura 3.19 Muestra la conexión de la rueda del tren de aterrizaje con el sistema EGTS.....	78
Figura 3.20 Muestra el funcionamiento del TaxiBot.	79
Figura 3.21 Muestra la conexión de "Pop Out" entre aeropuerto y aeronave...80	
Figura 3.22 Presenta la diferencia entre realizar un ascenso continuo y escalonado.	81
Figura 3.23 Presentan la condición de Flap en diferentes fases del vuelo.....	81

Figura 3.24 Muestra los gradientes de ascenso de una aeronave.....	82
Figura 3.25 Muestra diseño de SID's de acuerdo a distintas condiciones presentes.....	83
Figura 3.26 Muestra diseño de SID's en una vista superior.	84
Figura 3.27 Muestra diferencia entre descenso continuo y escalonada.	85
Figura 3.28 Diseño de aproximación de "camino cerrado".	86
Figura 3.29 Diseño de aproximación de "camino abierto".	86
Figura 3.30 Diseño de aproximación de "camino abierto" en combinación con rutas fijadas..	86
Figura 3.31 Muestra el área de interacción de la planificación de ascenso/descenso continuo.....	87
Figura 3.32 Representación de uso de sistema RNP.....	88
Figura 3.33 Beneficio de la navegación satelital a lo largo del tiempo.	89
Figura 3.34 Diagrama que explica las especificaciones y diferencias entre RNAV y RNP	90
Figura 3.35 Representación de transmisión de la navegación satelital hasta la aeronave.	91
Figura 3.36 Representación de uso sistema EcoPower.....	93
Figura 3.37 Fuerzas que interactúan con el centro de gravedad en aeronaves.	94
Figura 3.38 Muestra un ULD tradicional.	95
Figura 3.39 Diferencia con la instalación de "Sharklets".	97
Figura 3.40 Aeropuerto de Atenas utilizando paneles fotovoltaicos.	99
Figura 3.41 Mapa de poder potencial de energía fotovoltaico.....	104
Figura 3.42 Empresas que participan en la realización de vuelo con biocombustible.	107
Figura 3.43 Vista satelital de la base de mantenimiento de LATAM.....	110
Figura 3.44 Representación de sistema de climatización de una aeronave.....	116
Figura 3.45 Redundancia del sistema eléctrica de B787 que permite climatización de aeronave.....	117
Figura 3.46 Representación de los porcentajes de accidentabilidad de acuerdo a la fase de vuelo.....	121
Figura 3.47 Hangar y área al cual se propone instalación de paneles fotovoltaicos.....	123

Índice de Gráficos

Gráfico 2.1 Distribución del consumo energético en Chile	28
Gráfico 2.2 Consumo energético de la generación energética.	29
Gráfico 2.3 Consumo nacional de energía en la minería del cobre	30
Gráfico 2.4 Relación de la vida útil de paneles solares con sus respectivos fabricantes con su potencia de salida	41
Gráfico 3.1 Generación eléctrica en Chile y la distribución de los métodos con la cual obtenida.	48
Gráfico 3.2 Producción total de energía renovable de Reino Unido desde 2012 hasta 2015 dividido en trimestres.....	49
Gráfico 3.3 Proyección de la demanda de petróleo en las distintas industrias. 63	
Gráfico 3.4 Representación de la generación promedio mensual de sistema fotovoltaico propuesto.....	112
Gráfico 3.5 Representación de beneficios de lavado de motores y el tiempo que transcurre entre cada lavado.....	114
Gráfico 3.6 Representación del peso de una aeronave comercial típica	120
Gráfico 3.7 Representación de generación promedio por hora.	124
Gráfico 3.8 Representación de costos de instalación frente al numero de paneles a instalar	125
Gráfico 3.9 Representación de costos de instalación frente al número de inversores.	126
Gráfico 4.1 Diferencia de costos entre Biocombustible y combustible Jet-A.	156

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Ranking de Países en el sector de transporte.	28
Tabla 2.2 Estimación del potencial de ahorro en consumo de combustible con la introducción de 10% de la Flota ZLEV	32
Tabla 3.1 Presenta el consumo interno de energía de la empresa LATAM.....	44
Tabla 3.2 Presenta las emisiones de GEI de la empresa LATAM	46
Tabla 3.3 Muestra la diferencia entre especificaciones de un A320 y A320NEO	96
Tabla 3.4 Diferencia entre el uso de un solo motor durante el taxeo en pista frente a un taxeo regular.	100
Tabla 3.5 Diferencia de precio entre aeronaves de misma familia, pero de distinto fabricante	108
Tabla 3.6 Edad media de flota de principales líneas aéreas.....	118
Tabla 3.7 Representación del consumo de implementos utilizados en base de mantenimiento de LATAM.....	127
Tabla 3.8 Beneficios y costos de implementación de sistema EcoPower.....	129
Tabla 3.9 Comparación de consumo, emisiones y costos entre APU y GPU..	130
Tabla 3.10 Especificaciones técnicas de algunas aeronaves de las principales fabricantes en unidad de sistema internacional SI	134
Tabla 3.11 Especificaciones en base a asientos por aeronaves y costos asociados al consumo de combustible.	136
Tabla 3.12 Especificaciones por motores utilizados por aeronaves analizadas.	140
Tabla 3.13 Representación de emisiones contaminante en base a distintas unidades.....	143
Tabla 3.14 Comparación de características entre aeronaves de una misma familia y fabricantes.	144
Tabla 3.15 Especificaciones por motores durante la fase de ascenso y su consumo.	146
Tabla 3.16 Consumo y emisiones de motores durante la fase de ascenso	148
Tabla 6.1 Muestra las características evaluadas mediante métricas y puntajes para ranking energético.....	165
Tabla 6.2 Muestra la generación promedio de energía en sus respectivos meses y horarios en la unidad kWh.	166
Tabla 6.3 Nombre y características de los paneles solares analizados y cotizados, además de contabilizar la cantidad a instalar, área a utilizar, generación generada y costos asociados.	167
Tabla 6.4 Nombre y características de los inversores de capacidad analizados y cotizados, además de contabilizar cantidad a instalar y costos asociados	168
Tabla 6.5 Muestra aeronaves analizadas con sus especificaciones técnicas, además de estar analizadas en unidades métricas internacionales SI	169

Tabla 6.6 Muestra aeronaves analizadas con sus especificaciones técnicas, además de estar analizadas en unidades no métricas internacionales o sistema anglosajón	170
Tabla 6.7 Muestra características de motor encontradas por aeronave con especificaciones en consumo y costos por minuto.....	171

Introducción:

En los últimos 20 años, es decir, desde el protocolo de Kyoto, el calentamiento global ha sido la preocupación para el mundo y la industria aérea no ha quedado ajena a estos temas, por lo que se ha comprometido a realizar una fuerte inversión, desde el quinto congreso sobre aviación y medioambiente, se ha puesto el objetivo en reducir en un 50% las emisiones contaminantes y neutralizar el consumo de carbono hacia el 2050 (Air Transport Action Group, 2010).

¿Pero qué relación tiene esto último con la eficiencia energética? La respuesta es sencilla, la disminución del consumo de energía sin afectar la calidad, de manera que se reduzca las emisiones contaminantes en el mundo, es el principal pilar para la eficiencia energética. Si bien la disminución del consumo de combustible es importante para la industria aérea, ya que corresponde al 40% de los costos totales, no solo se debe realizar un enfoque económico a esta, sino que también implementar medidas de eficiencia energética en todos los niveles de la organización, desde las oficinas administrativas y su consumo de energía eléctrica o la utilización de materiales (Hojas, agua, etc.) hasta llegar a la utilización de combustibles de las aeronaves o vehículos relacionados con la asistencia a estas.

La eficiencia energética a partir del año 2010 cobró gran importancia, debido a la crisis Subprime (Fondo Monetario Internacional, 2012), que provoco que las industrias en general buscaran la forma de reducir costos sin afectar o disminuir el efecto en la calidad de los servicios o productos. La eficiencia energética fue la respuesta, además mejoraba la imagen pública que tenía la empresa, debido a la importancia que se da al cambio climático y la disminución del consumo de energía hoy en día. Pero la eficiencia energética también busca el equilibrio al en implementación de distintos tipos de energías, ya sean convencionales y renovables no convencionales, de manera de optimizar producción y beneficios. Mediante lo anterior la industria aérea ha realizado distintas medidas que buscan principalmente reducir los costos del consumo de combustible, esto impulsado por presión de las líneas aéreas por tener aeronaves que consumen menos y logren tener una mayor autonomía a los fabricantes de las aeronaves. Además de poder

transportar un mayor número de pasajeros, impulsando mayores beneficios para las líneas aéreas, llegándose a tener aeronaves actuales un 80% más eficiente que las que operaban en 1960 (ATAG, 2018).

A lo largo del informe se buscará recopilar la mayor cantidad de información de las diferentes medidas que se han realizado en la industria aérea, su real impacto en el medio ambiente y el consumo energético de una línea aérea, de manera de seleccionar aquellas que se consideren que tengan un mayor beneficio e impacto para la empresa en términos de costos, como para el medioambiente de esta manera se podría reducir las emisiones de gases contaminantes. También se presentarán futuras o probables tecnologías o metodologías que se podrían utilizar, por lo que se tendrá un mayor espectro de tiempo para las posibles implementación de diferentes medidas. Por último, lo que buscara finalmente el informe no es obligar a las líneas aéreas a que realicen medidas de eficiencia energética, sino que concientizar a las empresa que cualquier reducción de costos que tenga relación con el consumo energético de la empresa sin afectar a la producción y/o servicios es una medida de eficiencia energética y no que está busque reducir las emisiones contaminantes, ya que según la experiencia de don Enrique Guzmán, Gerente Senior de Medio Ambiente de LATAM, en algunas empresas la eficiencia energética se confunde estos términos y justamente esto está muy lejos de la realidad.

Capítulo 1 : “Antecedentes Generales”

1.1 Justificación del Tema

Es de conocimiento mundial la existencia del calentamiento global, producto de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), esto es respaldado por diferentes científicos y organizaciones en el mundo, entre ellas se destaca el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), la cual fue creada en 1988 a iniciativa del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), ambas organizaciones pertenecientes a la ONU (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2017).

Según el IPCC los impactos totales a nivel global son moderados si aumentase entre 1 y 2 C°, lo que refleja tanto los impactos en la biodiversidad de la Tierra como en la economía general global, pero el riesgo de pérdida amplia de biodiversidad y servicios eco sistemáticos es alto en caso de que aumentase alrededor de 3 C°, los daños económicos totales se aceleran con el aumento de la temperatura, pero son pocas las estimaciones cuantitativas completadas para un calentamiento adicional de alrededor de 3 C° o superior. (IPCC, 2014)

Existen varias industrias y factores que inciden directamente en la generación de gases de efecto invernadero (GEI), tales como el transporte marítimo, terrestre y aéreo; la agricultura, la ganadería, industrias madereras, industrias generadoras de energía, etc. Entre las industrias mencionadas se destaca la aviación, esto producto de que genera un 2% de las emisiones de carbono a nivel global. Sin embargo, la aviación es la industria que tiene un compromiso firme a reducir su impacto en el medio ambiente, es decir, realizar iniciativas para disminuir las emisiones de carbono provocadas por la aviación, entre las cuales se encuentran diferentes estrategias como son la modernización de la flota de aviones, reducción de peso de las aeronaves, entre otros. En el consumo de energía eléctrica

de las oficinas tiene un promedio de utilización de 70.000 (mWh), según el último reporte de sostenibilidad de Latam (LATAM Airlines Group, 2015)

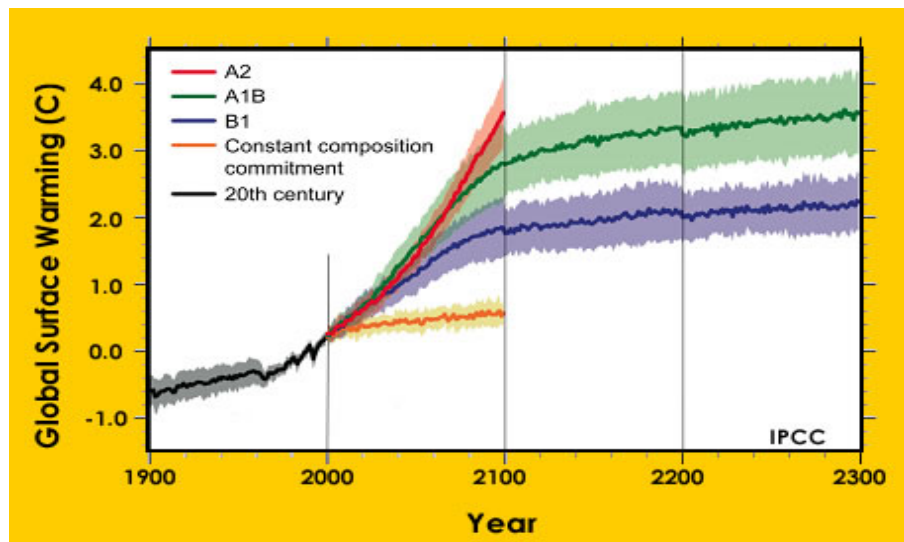


Figura 1.1 Predicciones de calentamiento global futuro, cubriendo diversas conjeturas acerca de cuantos GEI serán lanzados hacia la atmósfera (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2017).

Es por los posibles impactos mencionados anteriormente por el IPCC que urge la necesidad de crear medidas para la disminución de GEI, de manera de preservar la biodiversidad y a su vez la economía, para esto es la finalidad del presente trabajo, la cual es la creación de estrategias para la eficiencia energética en el sector aeronáutico, principalmente para las líneas aéreas.

¿Qué es la eficiencia energética? Es aquella que tiene como objetivo reducir el consumo de energía, pero conservando la calidad (Agencia Chilena de Eficiencia Energetica, 2017). Generalmente es asociada a la creación de nuevas tecnologías que incrementen el rendimiento o realizando nuevos diseños. Sin embargo, no siempre es así, ya que también puede estar vinculado a una mejor gestión. Además Se estima que el crecimiento de la industria aeronáutica mundial en cuanto a tráfico (RPK) durante los próximos 20 años a una tasa promedio anual del 4,8% (Boeing, 2016), este crecimiento a su vez representa un aumento en las emisiones de carbono, debido a la cantidad de aeronaves que se encontraran en el espacio aéreo mundial, si bien existen innovaciones tecnológicas propuestas por los fabricantes de aeronaves para que cada vez los aviones contaminen en menor medida, estas no serán suficientes y esto es lo que

apunta principalmente la realización del informe, la cual no es solo disminuir las emisiones de carbono, sino que también la implementación de una mejor gestión utilizando las tecnologías existentes. Además, evaluar el impacto real que tendrán estas medidas sobre las líneas aéreas, tanto económicamente como medioambiental, de manera de complementar las iniciativas que algunas ya están tomando en lo que respecta esta área, promoviendo las buenas prácticas en la industria aeronáutica.

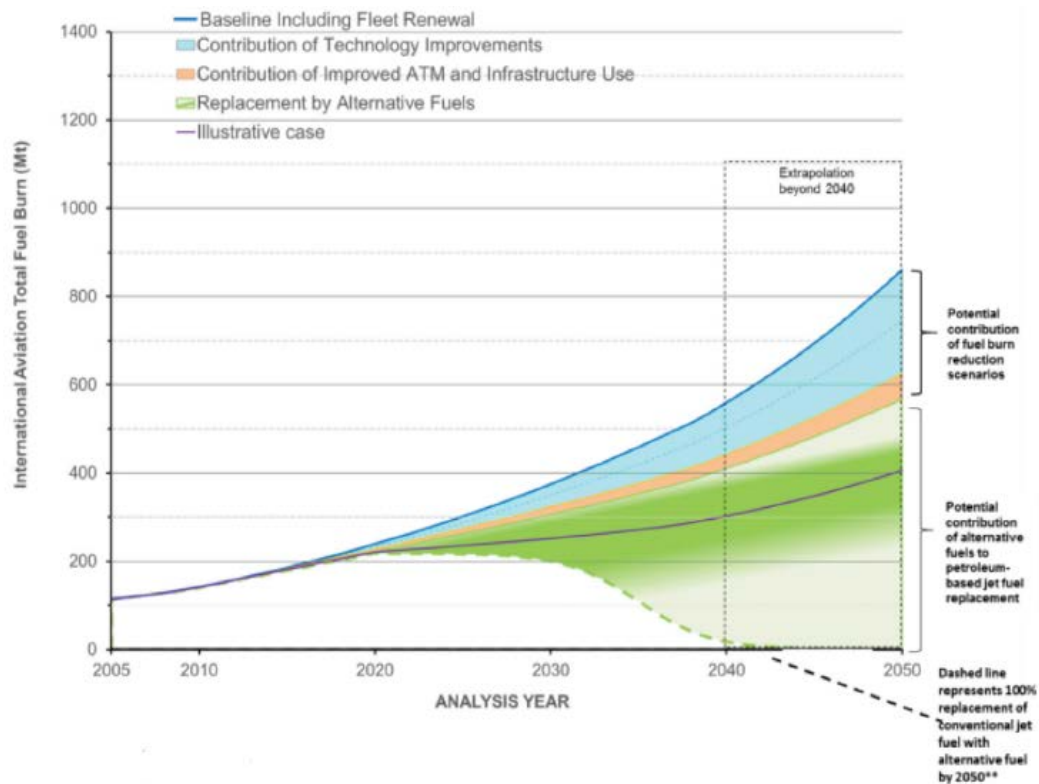


Figura 1.2 Emisiones de CO₂ de Aeronaves de la aviación general, 2005 a 2050, incluye combustible alternativo (OACI, 2016).

La Figura 1.2 muestra el total de la combustión de la aviación internacional, en donde se incluye el porcentaje de disminución de ésta al utilizar combustibles alternos, además de la contribución de nuevas tecnologías, todos estos datos se encuentran proyectados desde el año 2005 hasta el año 2050, en donde se mantiene la promesa de disminuir a un 50% la huella de carbono en la industria aeronáutica impulsada por la OACI.

En Chile la empresa LATAM es líder en la búsqueda de mejorar en desempeño ambiental y reducción de emisiones, dentro de los compromisos que tiene para la eficiencia energéticas se destacan la mejora de la eficiencia de consumo de combustible en 1,5% al año hasta el 2020, también la mejora de eficiencia energética de infraestructura en un 10% hasta 2020 y la implementación de un sistema de gestión ambiental, esta última se encuentra implementada en su totalidad (LATAM Airlines Group, 2015)

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General:

Generar propuestas de eficiencia energética para las líneas aéreas, generando reducciones de emisiones de carbono, para así mejorar los estándares de sustentabilidad en la industria.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Recopilar, estudiar y analizar medidas de eficiencia energética ya existentes para conocer la situación actual de la industria.
- Establecer y analizar los puntos críticos de los procesos del sector aeronáutico en lo que respecta a ineficiencias energéticas y emisiones presentes.
- Generar propuestas de mejora en el desempeño de eficiencia energética del sector aeronáutico.
- Cuantificar la disminución de consumo energético y emisiones de carbono, de manera de incentivar la inversión en la eficiencia energética y demostrar sus beneficios económicos.
- Concluir con las principales estrategias de eficiencia energética según lo evaluado.

1.3 Metodología y Teoría a utilizar:

La presente memoria se realiza siguiendo una serie de pasos, que ayudarán principalmente a alcanzar los objetivos del trabajo:

- Recopilación de información recurriendo a la mayor cantidad de información posible, acerca de estrategias en eficiencia energética en las líneas aéreas.
- Reunir datos específicos de emisiones de carbono en Chile y el mundo, además de estrategias realizadas en materia de eficiencia energética.
- Análisis de la información obtenida comparando el problema antes y después.
- Conclusiones y recomendación, evaluando todo lo realizado anteriormente y documentarlo.

Además, se utilizarán antecedentes teóricos sobre la cual se sustentará el trabajo de investigación, como serán Propulsión, Aeronaves, Estructura y Sistemas, Introducción a la industria aeronáutica, Aerodinámica y Mecánica de vuelo, Gestión de Investigación de Operaciones.

1.4 Alcance:

Descriptivo: Investigación que determine cuál de las estrategias existente en eficiencia energética tiene un mayor impacto en el medioambiente y describir la tecnología, capacidad de innovación y complejidad que tendrá la implementación de estas estrategias en la industria.

Exploratorio: Los efectos de las emisiones de carbono son conocidas y a su vez las medidas que se están tomando en el mundo para disminuirlas también. La industria aeronáutica tiene un compromiso para reducir estos impactos y mejora la eficiencia energética, pero todavía no todos en la industria las implementan, por tanto, la investigación se inicia en la búsqueda de estrategias exitosas en eficiencia energética.

Explicativo: Se quiere evaluar las implementaciones de estrategias de eficiencia energética ya sean existentes o nuevas, además de conocer por qué ciertas estrategias son más utilizadas que otras. También explicar las causas que provocan una mayor contaminación y utilización de combustible.

Geográfico: El alcance geográfico será el planeta, además de las oficinas y/o bases de mantenimientos, ya que cada medida que se genera logra disminuir el

consumo y las emisiones contaminantes, se debe considerar que las emisiones que generan las aeronaves quedan y/o trasladan a los diferentes espacios aéreos de cualquier nacionalidad, por lo tanto, es de gran importancia destacar este alcance, ya que es el de mayor impacto.

Temporal: Generar propuestas se puede lograr en un corto tiempo (6 meses a 1 año) comparado con la implementación y beneficios que lograrán, este último posiblemente no se observará durante años, ya que los procesos biológicos son más lentos que cualquier proceso que realiza el ser humano. Si se habla de beneficios económicos lo óptimo sea recuperar la inversión realizada en un periodo de 1 año.

Capítulo 2 : “Estado del Arte”

La contaminación del mundo no fue de gran importancia por casi 250 años, es decir, desde la revolución industrial (mediados del siglo XVIII) hasta 1997 con el protocolo de Kyoto, en donde 187 países lo ratificaron (United Nations Framework Convention on Climate Change (UCFCCC), 2014). No entro en vigor hasta el año 2005, en donde los países se comprometían a reducir el 5% de sus emisiones de gases de efecto invernaderos del nivel de emisiones de 1990 para los años 2008-2012. Lamentablemente este protocolo no ha funcionado del modo que se tenía planeado, producto de desacuerdos de algunos países¹. Los resultados fueron más bien mixtos, debido a que hubo países que estuvieron más comprometidos que otros. Esto queda claro en la unión europea, en donde se logró reducir en un 19,2% las emisiones, sin embargo, mientras Alemania disminuyo en un 23,62% sus emisiones, el cual está muy por debajo de su objetivo que era del 21%, España aumento en 23,68% sus emisiones y tenía como limite aumentar hasta un 15% (Ver Figura 2.1). En general, el protocolo de Kyoto permitió la implementación de políticas para controlar las emisiones voluntarias, siendo este un paso importante para contrarrestar el cambio climático. En conjunto al protocolo de Kyoto se empieza a hablar de eficiencia energética a nivel mundial, ya que está busca reducir las emisiones contaminantes, pero sin la perdida de eficiencia productiva, además de reducir costos para las organizaciones.

¹ Estados Unidos no cumplió con los objetivos y nunca lo ratifico, Canadá se retira en 2011, países como Brasil y India se cuestionan ante la negativa de la industrialización mediante la vía rápida (combustible fosil)

► Emisiones de co2

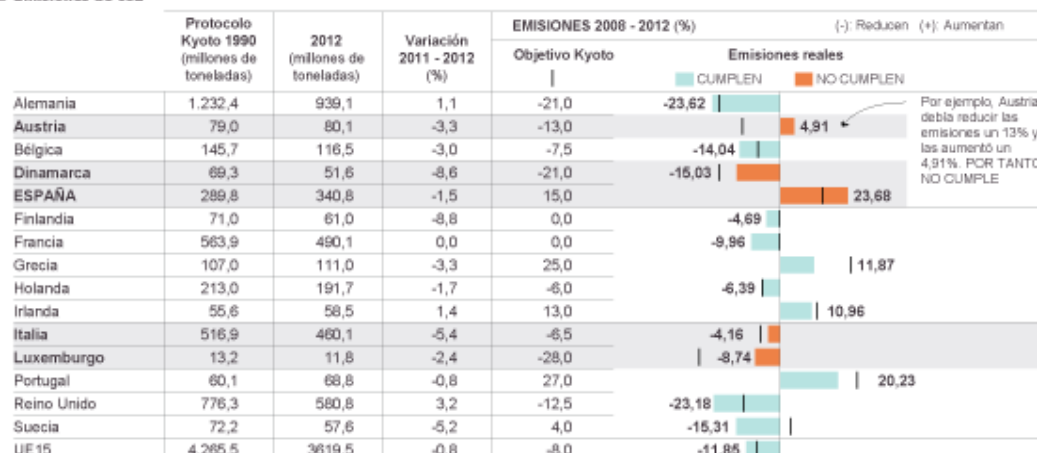


Figura 2.1 Objetivos Previstos del Protocolo de Kyoto y los resultados durante el periodo 2008-2012 (El País, 2014).

El mayor logro que ha tenido la humanidad, en temas medio ambientales fue disminuir el agujero de la capa de ozono, esto comenzó a principios de 1970 en donde diferentes científicos empezaron a sospechar y después a detecta que los CFC² destruían la capa de ozono mediante reacciones químicas, siendo también emisores de gases de efecto invernadero. En 1987 se firmó el protocolo de Montreal, el cual fue diseñado para reducir gradualmente la producción y consumo de las sustancias que son responsables del agotamiento de la capa de ozono. Actualmente tiene ratificación universal, siendo esto evidencia del compromiso de las diferentes naciones del mundo para proteger la capa de ozono. Además, el protocolo de Montreal ha evitado las emisiones de gases de efecto invernadero equivalente a más de 135 millones de toneladas de CO₂, siendo uno de los actores principales en la lucha en contra del cambio climático. Durante los años los resultados han sido positivos para la recuperación de la capa de ozono, pronosticando que se llegaría a tener el nivel que presentaba está antes de 1980 para mediados de este siglo (2050), mientras que la capa de ozono de la Antártida sería en unos 15 años más tarde. (PNUMA, 2015)

Pero la preocupación por la eficiencia energética a nivel global proviene de la combinación tres ideas:

² Clorofluorocarbonos

- El incremento de costos de combustibles y su impacto en la cadena de suministros.
- La creciente preocupación por la seguridad energética
- La conciencia ambiental y el impacto del uso cada vez mayor de recursos no renovables con la consecuente emisión de GEI.

Es por esto que la eficiencia energética está siendo utilizada por diferentes tipos de industrias como son la minería, comercial, transporte, etc. En la industria aérea las diferentes empresas que coexisten, como son las líneas aéreas, servicios de catering o handling, etc., están en continua mejora para la utilización de eficiencia energética para los diferentes procesos existentes. Esto se logra principalmente observando cómo se trató el tema en el pasado y que se está haciendo actualmente y justamente es lo que tratara el capítulo a continuación.

Actualmente el protocolo de Kyoto está llegando a su último periodo de vigencia, que será hasta el año 2020, es por esto que desde el 2015 se viene trabajando en un nuevo acuerdo que permita reemplazarla, es por esto que durante la 21° Conferencia de las Partes (COP21) organizada por la ONU el 12 de diciembre del mismo, fue adoptada por 195 países el denominado “Acuerdo de París”, el cual todos los países que ratifiquen este tratado deberán poner todos los esfuerzos necesarios para que a finales de este siglo no se rebasen los 1,5 grados Celsius y evitar así los impactos catastróficos del cambio climático. Para esto los países firmantes y que ratifiquen el acuerdo deberán presentar un plan en forma individual para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, pero a diferencia del protocolo de Kyoto, no es vinculante; por lo que los países pueden cambiar estos planes de forma interna y no habrá multas por quedar bajo las metas declaradas. Pero el presidente Donald Trump anuncio el 2017 que Estados Unidos se retirara del acuerdo, sin embargo, no se cierran las puertas para que se vuelva a incorporar en un futuro o con una nueva administración (The New York Times , 2017).

2.1 Antecedentes:

La preocupación por la eficiencia económica inicia en la época de los 70's en Estados Unidos, debido a la crisis petrolera que vivió en aquella época, cuando sus políticas de estado³ generaron que los países de la OPEP ⁴declararan el embargo de las exportaciones de petróleo a EEUU y a Europa Occidental. Provocando que las industrias generaran procesos más eficientes en cuanto al consumo energético, dando paso a los primeros proyectos de generación de energía con uso de recursos renovables. Según la Agencia Internacional de energía (AIE), entre los años 1974 y 2010 la eficiencia energética *“fue la mayor fuente de energía en un subconjunto de 11 países de la AIE, habiéndose evitado el consumo de 32 millones de toneladas equivalentes de petróleo”*. Además, la AIE estima que, sin estas medidas, en la actualidad tendríamos un consumo de energía un 50% mayor.

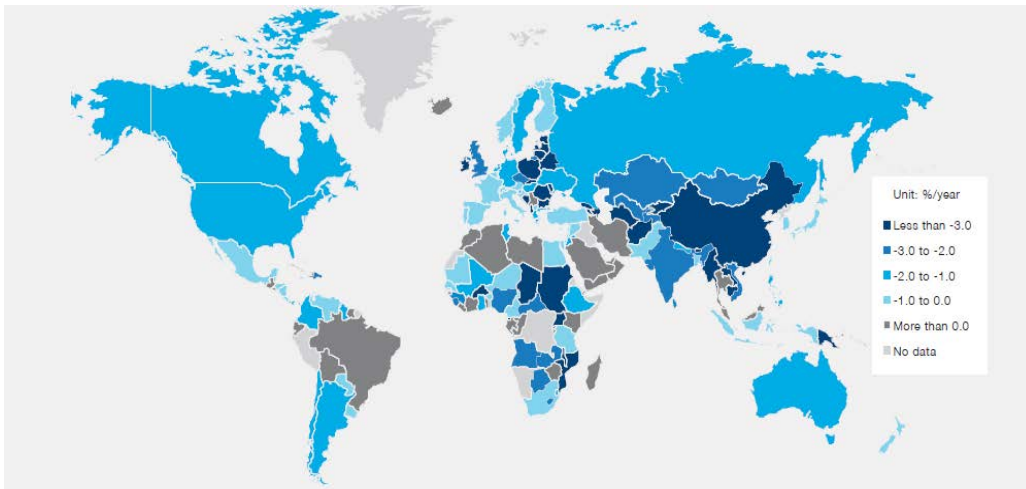


Figura 2.2 Tendencias en consumo de intensidad primaria de energía por país entre 1990-2011 (ABB, 2013)

Actualmente existe una tendencia hacia el ahorro de energía mediante la utilización del consumo eficiente y responsable de los recursos. En los últimos 25 años ha ido disminuyendo la intensidad del consumo primario de energía⁵ en un promedio de 1,3% desde el año 1990, como se observa en Figura 2.2, la caída

³ Apoyo de EE. UU. a Israel en la guerra de Yom Kippur.

⁴ Organización de los Países Exportadores de Petróleo

⁵ Relacionada con el consumo total de energía en una región o país con su PIB. Se entiende también como un indicador de “productividad energética”

en el consumo de energía se concentra principalmente en dos sectores: industrial y generación de energía, los cuales redujeron en un 30% y 15% respectivamente. Esto se explica por el incremento de la productividad de las industrias y en cambios en la estructura de sus procesos. Las industrias buscan equipos y procesos con mayor eficiencia, disminuyendo el consumo energético y a su vez teniendo una responsabilidad social que es contaminando en menor medida al medio ambiente.

La preocupación por el cuidado medioambiental no siempre estuvo presente en el mundo, no fue hasta a 1988 cuando se creó IPCC, perteneciente a la ONU, que se empezó a cuestionar de mejor manera el cambio climático, posteriormente en 1997 se realizó el protocolo de Kyoto, el cual es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, cada país participante de Kyoto tiene sus propios porcentajes de emisiones a disminuir (United Nations Framework Convention on Climate Change (UCFCCC), 2014). Posteriormente al año siguiente se realizó la primera conferencia internacional de Eficiencia energética, la cual es planteada como una de las políticas de freno para el cambio climático y la consecuencia de sociedades sostenibles, junto con el desarrollo de energías renovables y una política de transporte menos agresiva con el medio ambiente. En Chile no fue hasta el año 2005 que se creó el programa país de eficiencia energética, impulsado como política de estado, estrategias para el uso eficiente de la energía.

La importancia de la eficiencia energética como política pública fue reforzada con el protocolo de Kyoto por los países de la OCDE como fue mencionado anteriormente, esto se traduce en que al aplicar eficiencia energética con la misma capacidad de producción de energía se logra una mayor oferta, ya que los consumidores requerirán una menor cantidad de energía para realizar los mismos procesos que llevan actualmente en sus industrias, es decir, la misma cantidad de energía producida va a rendir más, ya que los procesos consumen menos energía.

De manera de contribuir aún más al cuidado medioambiental fue creado el Sistema de Gestión Ambiental, el cual tiene la finalidad de determinar qué

elementos deben considerar las empresas en materia de protección ambiental para asegurar que en el desarrollo de sus actividades minimicen el efecto sobre el entorno, pero para aplicar este sistema se necesita adaptar todas las exigencias de la norma ISO14001 a la organización, llevando cada requisito a la realidad de la organización, no perdiendo nunca el principal objetivo que es la protección del medio ambiente, optimizar y mejorar procesos, es decir, la búsqueda de la *eficiencia energética* (Isotools, 2015). Otro dato que destacar es que el Consejo Americano para una Economía de Energía Eficiente (ACEEE), desarrollo un ranking para evaluar la eficiencia energética de las 16 economías más grandes a nivel mundial, las cuales cubren más del 81% del PIB mundial, el 71% consumo de electricidad y 79% de las emisiones globales CO₂. El objetivo que tenía este ranking es proporcionar información sobre las mejores políticas y prácticas en todos estos países, y por otro, si bien fue realizado por EE. UU., se desarrolló de tal manera que pudiese constituir un punto de referencia que las economías puedan utilizar para mejorar su eficiencia energética. Si solo se analizara los resultados del sector del transporte de los 16 economías más grande, Italia quedaría en primer lugar (Ver Tabla 2.1) esto se identificó gracias a una gran cantidad de variables, entre las que se pueden encontrar políticas de uso eficiente del agua, intensidad energética en edificio comerciales, estándar de equipos y aparatos, transporte de carga por unidad de actividad económica, etc. (Tabla 6.1). Lamentablemente ningún país logro 25 puntos correspondiente al total. Australia en tanto, fue considerada el menos eficiente, al obtener 7 puntos.

Tabla 2.1 Ranking de Países en el sector de transporte (ACEEE, 2014).

País	Puntuación en Transporte
Italia	17
India	16
Japón	15
Reino Unido	15
Brasil	14
China	14
Francia	14
España	14
Unión Europea	13
Alemania	13
Canadá	11
Rusia	11
México	10
Sur Corea	10
Estados Unidos	8
Australia	7

Para continuar la sección se debe realizar un breve análisis a la situación actual del país, en el cual se puede observar que el consumo de energía en Chile se concentra en cuatro sectores principalmente, los cuales son:

1. Industria y Minería.
2. Transporte.
3. Comercial, Público y Residencial.
4. Sectores Energía: Autoconsumo

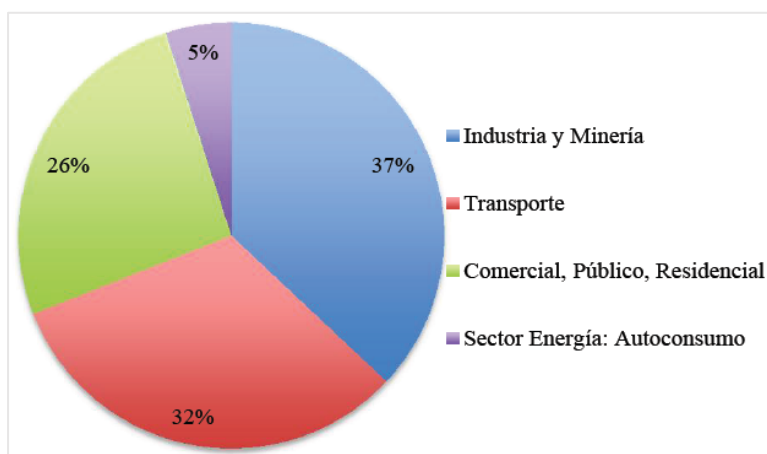


Gráfico 2.1 Distribución del consumo energético en Chile (Sepúlveda, 2016).

Del Gráfico 2.1 se puede desglosar que del 37% del primer sector, solo la minería relacionado con el cobre corresponde al 31% de esta. Además, el sector del transporte se subdivide en cuatro: terrestres, marítimo, aéreo y ferroviario, en donde el transporte terrestre es el que concentra el 79% del consumo, derivados del petróleo (Sepúlveda , 2016). En relación con el consumo se puede dividir en cuatro categorías, de las cuales el petróleo corresponde al 54%, la electricidad al 19,2%, leña 7,8% y gas natural un 5,5% (Ver Gráfico 2.2).

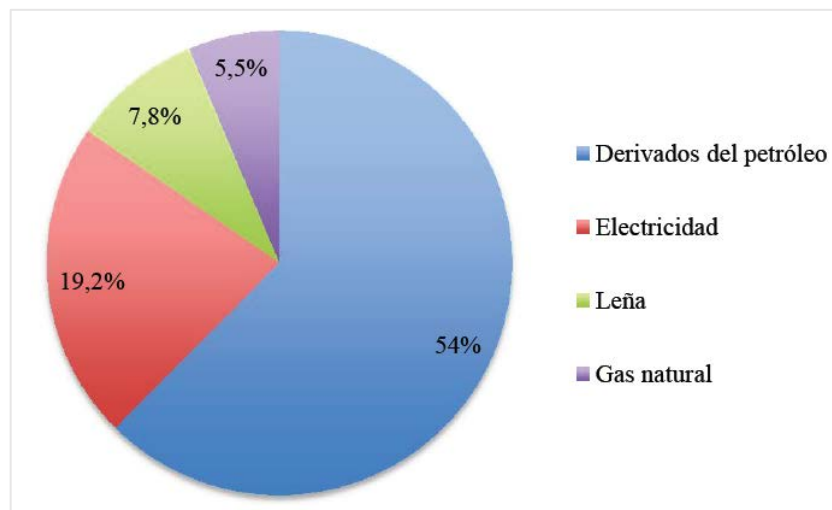


Gráfico 2.2 Consumo energético de la generación energética (Sepúlveda , 2016).

En la industria minera las principales fuentes de energía para realizar los procesos mineros son los combustibles y la electricidad, similares a la industria aeronáutica. La diferencia recae en que la minería tiene un mayor margen de implementación de proyectos de energía renovable como son las termosolares y solares-fotovoltaicos, debido a la gran área (terreno) que pueden utilizar para la implementación de estas medidas, para la industria aérea solo se podría utilizar en los edificios de las distintas empresas, no así en aeronaves. Los distintos proyectos en la industria minera tienen el fin de sustituir el consumo de combustibles fósiles y generar energía eléctrica para autoconsumo respectivamente; sin embargo, no existe información estadística de la participación energética de este tipo de fuentes. (Cifuentes, 2016). Los combustibles (diésel) son utilizados para procesos de fundición, hornos calderas

para calentar agua y sistemas eléctricos de respaldo, mientras que la electricidad es utilizada para el funcionamiento de máquinas de chancado⁶, molienda y bombeo, además para el movimiento de correas transportadoras y herramientas.

Cada proceso minero no consume la misma cantidad y tipo de energía, pero los aumentos de energía en la minería de cobre (Ver Gráfico 2.3) se debe al envejecimiento de yacimientos, lo que significa, mayor dureza del mineral y mayores acarreos. Esto implica un aumento en la intensidad de uso de energía, esto quiere decir que se está requiriendo cada vez más energía para explotar la misma cantidad de material.

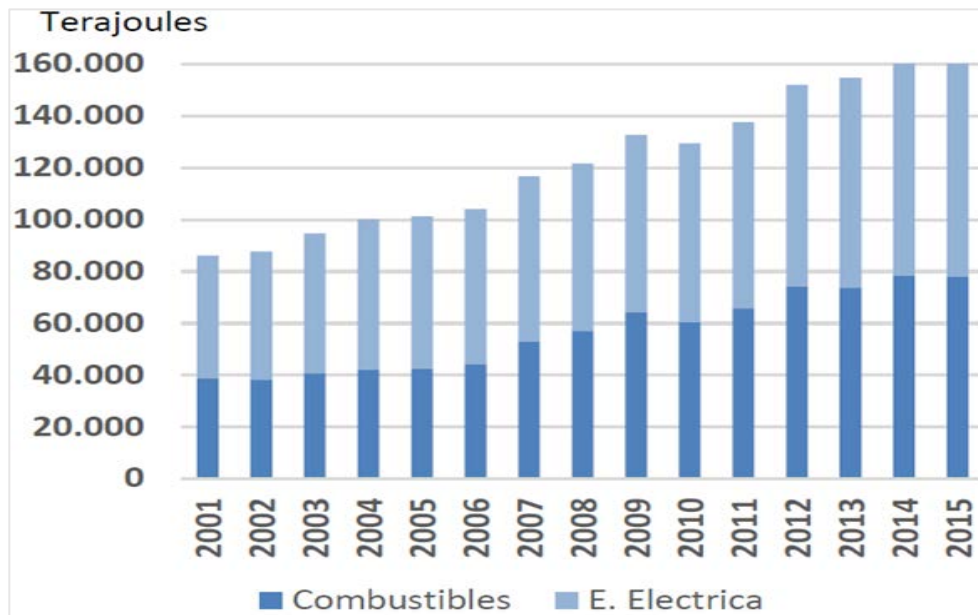


Gráfico 2.3 Consumo nacional de energía en la minería del cobre (Comisión Chilena del Cobre, 2015).

Para la industria minera según un estudio realizado (Cifuentes, 2016) se deben realizar primero la caracterización del sistema de consumo de energía, mediante la clasificación de la fuente de energía, además de realizar una subdivisión por el tipo de uso de los equipos. Las principales oportunidades de EE⁷ corresponden a

⁶ Principal propósito es efectuar las reducciones de tamaño necesarias hasta obtener un producto de una granulometría adecuada que permita depósitos en forma eficiente.

⁷ Eficiencia energética

procesos de conminución⁸ y transporte, los cuales justamente corresponden a los procesos de mayor consumo energético, en donde se implementará el molino de rodillos de alta presión, el cual obtiene una disminución de consumo entre 15% a 25% frente a los chancadores cónicos. En el transporte la gestión de carga útil y la velocidad de los camiones, en donde una variación del 10% y 20% de la carga total permite traslados con mayor velocidad y mayor cantidad de viajes. La mayoría de las oportunidades recaen en una mejora de la gestión y control de parámetros de operación.

Como se menciona anteriormente (Ver Gráfico 2.1) el transporte tiene el 32% del consumo de energía, de los cuales el 79% corresponde al transporte terrestre, el cual es vital para las distintas operaciones comerciales que se realizan en el país. Ante esta realidad, la industria de transporte de carga, perteneciente a la industria de transporte terrestre, está tomando distintos métodos para lograr una utilización eficiente de sus recursos, la cual es principalmente el combustible (diésel). Para Carlos Salazar, gerente de Desarrollo de Chile Transporte, existen 4 ejes fundamentales para lograr resultados en materia de eficiencia energética (Kawesqar, 2016), como son:

- Optimización logística
- Configuración de la flota
- Capacitación continua
- Gestión de flota

Existen diferentes tecnologías que ayudan a obtener EE en la industria de transporte terrestre, como son la electricidad, almacenamiento y tecnologías híbridas. El almacenamiento está relacionado con que el bus con tecnología eléctrica requiere de un sistema de acumulación (baterías) más potente de manera de asegurar la autonomía operativa, esto se lograría mediante baterías de litios. El sistema híbrido⁹ se prevé que sea la que ocupara el mayor espacio para el país,

⁸ Proceso a través del cual se produce una reducción de tamaño de las partículas de mineral, mediante la trituración y/o molienda.

⁹ Entiéndase como la mezcla de combustión diésel con accionamiento eléctrico

según Marcelo Salinas, gerente de Movilidad de Siemens Chile (Revistaei, 2016).

El gobierno de Chile realizó un proyecto de mejoramiento tecnológico en buses del transporte público, el cual tenía como objetivo entregar recomendaciones para facilitar la inclusión y acelerar la inversión en buses de tecnología ZLEV (buses de cero y baja emisión), en los procesos de renovación de flota proyectada para el periodo 2015-2022. Los resultados confirmaron que la incorporación de este tipo de tecnologías es una oportunidad para reducir emisiones y aumentar la EE en el transporte público, esto de acuerdo con antecedentes internacionales en donde se logró la disminución en el consumo de combustibles diésel de los buses híbridos serían al menos un 30%, otras tecnologías ZLEV tienen potencial de lograr beneficios equivalentes o superiores. Así, por ejemplo, con tan solo incorporar un 10% de buses híbridos a la flota actual (6.500), se lograría ahorros del orden de 30% de consumo equivalente a USD 9MM en costos operacionales, como se observa en la Figura 2.4 (Directorio de Transporte Público Metropolitano, 2014).

Tabla 2.2 Estimación del potencial de ahorro en consumo de combustible con la introducción de 10% de la Flota ZLEV (Directorio de Transporte Público Metropolitano, 2014)

Flota Transantiago (aprox) ²	6.500
Porcentaje estimado de flota ZLEV	10%
Flota buses ZLEV	650
Kilometraje recorrido anual por bus (promedio)	90.000 Km/año
Estimación % ahorro en consumo de combustible	30%
Ahorro en costo combustible Diesel por mes/bus ³	USD 1.172
Ahorro anual por bus	USD 14.063
Ahorro anual Flota ZLEV (10%)	USD 9.140.625

Volviendo al tema central del trabajo, la industria aérea en Chile consume un 11% (Ver Gráfico 2.1) de energía, pero solo correspondiente al 32% del consumo total de energía en el país, de igual manera la industria se compromete a ir disminuyendo estos porcentajes de manera de realizar operaciones más eficientes y amigables con el medio ambiente. Las diferentes líneas aéreas, entre ellas Latam, Avianca, American Airlines, Copa Airlines, Iberia, Aeroméxico etc.

Además, están conscientes del cambio climático que produce la contaminación ambiental, para esto en los últimos 8 años han realizado diferentes reportes de sostenibilidad, los cuales comunican de manera precisa los aspectos *ambientales*, sociales y económicos de la empresa, permitiendo una gestión más eficiente de la información al generar transparencia y credibilidad. En donde se detalla el compromiso frente al cambio climático, para esto se han implementado o implementarán un Sistema de Gestión Ambiental en diferentes procesos como son mantenimiento en línea, operaciones en tierra, etc., además de diferentes intervenciones como son la mejora en la **eficiencia** del consumo del combustible, mejora en la eficiencia energética de infraestructura (administrativos y hangares de mantenimiento), además de programas de reforestación como medio de compensación (LATAM Airlines Group, 2015).

Existen diversos métodos para tratar la eficiencia energética en la industria aérea, entre ellas se observan diferentes herramientas como son los reportes de sostenibilidad, en los cuales se registran los realizado por las compañías aéreas, para realizar un trabajo amigable con el medio ambiente, por ejemplo, Avianca está avanzando en la implementación del SGA, en donde se logró la gestión integral de residuos, para que posteriormente se logre un mantenimiento y mejoramiento continuo de cada proceso del SGA, además se realizan capacitaciones y sensibilización ambiental para el manejo de contingencias ambientales y que contribuyen a una cultura de respeto y cuidado con el medio ambiente, la empresa tiene un fuerte compromiso con la eficiencia energética, pero principalmente relacionado con el combustible, algunas propuestas son la utilización de un solo motor durante el taxeo (puerta de embarque o desembarque hasta la pista), reducción en la cantidad de agua potable suministrada de acuerdo a la distancia del vuelo, se evitará el exceso de combustible frente a lo previamente establecido en la orden de tanqueo¹⁰, para que finalmente se logre el plan de optimización de combustible del vuelo (Trip fuel, Taxi fuel, Contingency Fuel, etc.) en base a la información, lo más actualizado posible, de

¹⁰ La cual indica la cantidad de combustible necesaria para que la aeronave realice el trayecto planeado y las adiciones que establece la regulación aplicable

las variables que afectan al consumo de combustible para cada vuelo (AVIANCA Holding S.A., 2015).

Otra línea aérea es Iberia que también cuenta con SGA, implementan métodos similares a las de Avianca, además de diferenciar las emisiones en tierra en 3 grupos: Emisiones directas¹¹, indirectas¹² y otras emisiones indirectas¹³. Tiene diferentes proyectos medioambientales como es IAGOS (In-service Aircraft for a Global Observing System), el cual consiste en equipar instrumentos científicos para analizar la composición química y partículas del aire, de manera de evaluar la calidad de la atmosfera a determinadas altitudes, estas mediciones permitirán realizar predicciones de cuáles serán las condiciones climatológicas en un futuro, y que *políticas hay que adoptar contra el cambio climático*, mejorando a su vez los planes de eficiencia energética (Iberia Líneas Aéreas de España , S.A. Operadora Unipersonal, 2015).

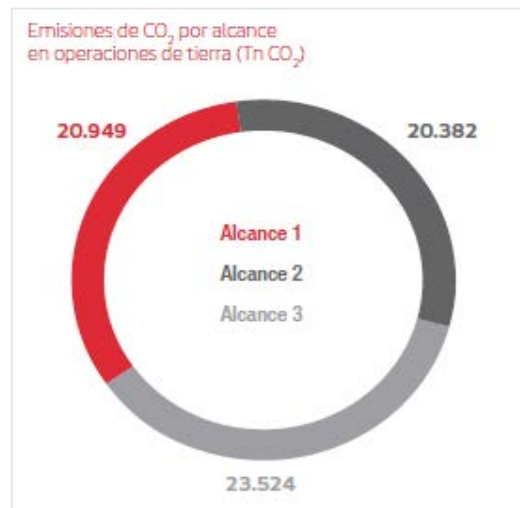


Figura 2.3 Emisiones de CO₂ en operaciones en tierra correspondientes a Iberia (Iberia Líneas Aéreas de España , S.A. Operadora Unipersonal, 2015).

Por ultimo LATAM busca activamente mejorar su desempeño ambiental y persigue metas de reducción de impactos, desde el año 2009, entre ellas se encuentra la mejora de eficiencia energética de infraestructura, la cual es la

¹¹ Relacionado con las emisiones producidas por los vehículos de gasolina y gasóleo cuando se realizan labores de asistencia a las aeronaves

¹² Emitidas en la producción de electricidad que se consumen en las instalaciones de la compañía.

¹³ Producidas por los servicios de catering, rutas de transportes de empleados y el resto de transporte de empleados al lugar de trabajo

iluminación eco eficiente en los edificios administrativos y hangares de mantenimiento, además de monitorear anualmente sus emisiones de gases de efectos invernadero, realizándolo de manera similar a Iberia, la cual consiste en 3 tipos de emisiones (directas, indirectas y otras emisiones indirectas), pero a un nivel total de la empresa y no solo a operaciones terrestres. LATAM se considera líder mundial de eficiencia en el uso de combustible, esto debido a que consume 10% menos combustible que el promedio registrado por la IATA, que reúne a 260 compañías aéreas, además el buen desempeño del grupo en estos temas representa una *ventaja competitiva* frente a los otros competidores, ya que cerca de un 25% de los ingresos de servicios de cargas provienen de clientes que utilizan criterios ambientales en la selección de los proveedores. Mantener una flota joven es pilar fundamental para esta línea aérea, es por esto que el promedio de edad de las aeronaves es de 7 años, teniendo motores más eficientes y a su vez combatir el desperdicio, asegurando el buen desempeño de la misma (LATAM Airlines Group, 2015).

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) tiene el anexo 16, el cual está dividido en 2 volúmenes, para la protección del medio ambiente, en donde se incluyen normas que limitan las emisiones¹⁴, además contiene procedimientos de medición detalladas y especificaciones sobre los instrumentos de la aeronave. Lo cual obliga y a su incentiva a las diferentes empresas aéreas a mejorar los aspectos medioambientales, y que esta a su vez impulsa la eficiencia energética. (OACI, 2008). Continuando y complementado con lo que respecta a la aviación y la protección del medio ambiente y como fue mencionado se creó el anexo 16 en 1981, este está dividido en 2 volúmenes (ambos creados en el mismo año), en el cual el Volumen I se trata el *Ruido de las aeronaves* y en el Volumen II sobre *Emisiones de los motores de las aeronaves*, actualmente van en la Quinta y Tercera edición respectivamente, mejorando y actualizando las medidas en cada versión con lo que respecta al cuidado medioambiental e impulsando la eficiencia energética en la industria.

¹⁴ Monóxido de carbono, hidrocarburos sin quemar, y óxidos de nitrógenos de los grandes motores turbo reactores y turbo fan, estas normas se basan en ciclos de aterrizajes y despegues (LTO) de la aeronave

2.2 Marco Teórico:

De acuerdo con los diferentes reportes de sostenibilidad de las diferentes líneas aéreas, se observa que se está realizando lo posible para reducir las emisiones contaminantes, ya sean relacionadas con la utilización del combustible o la energía eléctrica. Para esto, el estudio a realizar se orientará en la eficiencia energética en todos los niveles de la organización, para lo cual se utilizará el conocimiento existente, de manera de prevenir errores que se hayan cometido en el pasado, optimizando los recursos.

Sustentabilidad y sostenibilidad son palabras que en primera instancia son similares, pero existen pequeñas discrepancias que las hacen distintas, cuando se habla de sustentable se refiere a algo que puede sostenerse o sustentarse por sí mismo y con razones propias. Por otra parte, sostenible se refiere a algo que puede mantenerse por sí mismo gracias a que las condiciones económicas, sociales o ambientales lo permiten, es decir, se sostiene sin afectar los recursos.

Para comprender de donde se obtendrá la mayor parte de la información para realizar este trabajo es necesario definir que es un reporte de sostenibilidad, en qué condiciones y formatos se deben realizar. Un reporte de Sostenibilidad es un documento informativo a través del cual las empresas comunican su desempeño en 3 aspectos fundamentales, los cuales son ambiental, social y financiero. Abarca un periodo específico de forma puntual y objetiva (Expoknews, 2013). Existen variados formatos que sirven como guía, que si bien no son obligatorias sirven como base para realizar un reporte de sostenibilidad y abarcar los tres ejes ya mencionados, como son:

- GRI: Se centra en los indicadores de desempeño definidos por el marco para la elaboración de memorias de sostenibilidad definido Global Reporting Initiative (GRI), diseñado para ser utilizado por organizaciones de diferentes tamaños, sector y localización.

- ISO 26000: Guía internacional basada en 7 materias fundamentales¹⁵ que van desde la organización interna, hasta el papel de la empresa dentro de la comunidad. A diferencia de otras normas ISO, esta ***no es certificable***.
- AA 1000: Norma que promueve con certeza la responsabilidad social de la empresa. formada por documentos orientados a mejorar el desempeño sustentable de las organizaciones, basándose en el dialogo con los stakeholders. Además, es complementaria con GRI

Los reportes de sostenibilidad ayudan a las empresas a evaluar a tiempo los procesos que conllevan un daño potencial, permitiendo que la empresa pueda anticiparse a las posibles implicaciones, reduciendo costos en el control de calidad y aumentando la *eficiencia* en la producción (Expoknews, 2013).

La eficiencia energética es básicamente aquella que tiene como objetivo reducir el consumo de energía, pero conservando la calidad. La disminución del consumo de energía es en cualquiera de sus formas (eléctrica, térmica, etc.), por ejemplo, en climatización significa mantener los niveles de confort utilizando menos energía para ello. También puede ser definida como la relación entre la energía útil producida por un sistema con respecto a la energía suministrada al mismo con ese fin, se suele abreviar con la letra griega eta minúscula η :

$$\eta = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{suministrada}}} \quad (1)$$

La importancia de la eficiencia energética radica en sus beneficios económicos, medioambientales y sociales (Teslaenergy, 2014), como se muestran a continuación:

- Económicos: Mejora en la competitividad de las empresas, al reducir los costos de producción y operación
- Ambientales: Reduce el daño ambiental y la contaminación, además de reducir el consumo de recursos naturales.

¹⁵ Gobernanza de la organización, Derechos humanos, Prácticas laborales, El medio ambiente, Practicas justas de operación, Asuntos de consumidores, Participación activa y desarrollo de la comunidad.

- Sociales: Mejora la imagen de la empresa en el exterior, genera empleo y oportunidades de aprendizaje tecnológico.

Actualmente en Chile se está lanzando un nuevo sello de eficiencia energética para empresa, ya sea para pymes como a grandes empresas. Se indica que las empresas podrán ir escalando en las categorías desde implementación de medidas de eficiencia energética hasta certificar un Sistema de Gestión de Energía (ISO 50.001), provocando que sea un diferenciador para las empresas que lo obtengan (Publimetro, 2017).

Existen otros conceptos que ayudan a entender la EE, como son las medidas de eficiencia energética (MEE) las que corresponden a acciones destinadas a optimizar el uso de recursos energéticos utilizados en la organización, estas se distinguen en mejoras operacionales (gestión de actividades), recambios tecnológicos (equipos más eficientes), innovación en procesos y cambio cultural. Además, tenemos indicadores energéticos los cuales tienen como objetivo ser una base de información para poder comparar los consumos de energía entre periodos o entre distintos proyectos de la misma naturaleza, en donde encontramos:

- Consumo específico: Forma más común de establecer eficiencia energética de una empresa, consiste en conocer la cantidad de energía que se requiere por cada unidad productiva por una empresa, permitiendo compararse con otras empresas.
- Rendimiento: Nivel de procesos, compararse con instalaciones similares para conocer si la EE esta sobre o debajo de lo normal.
- Intensidad energética: Permite conocer la eficiencia global de producción en términos de unidad energéticas consumida por unidad monetaria de ventas.

Se debe considerar también los indicadores de factibilidad económica de un proyecto de EE, dentro de ellos podemos encontrar:

- Costo de ahorro energía (CAE): Representa el costo de evitar el consumir una unidad de energía, mediante la implementación de una

medida de mejora de EE. Considera la inversión adicional incluyendo el costo anual de capital invertido y la energía anual que se puede ahorrar con la implementación del proyecto de EE. Se deprecian los costos de operación y mantenimiento.

- Costo de inversión por cantidad de energía ahorrada: Sirve para priorizar entre proyectos de EE. Indicador mixto, en que el cociente del costo de la inversión (USD \$) por cantidad de energía ahorrada (kWh), siendo independiente de las fluctuaciones que puede experimentar el precio de energía durante la vida del proyecto.

También existen opciones de financiamiento para proyectos de EE, principalmente pueden ser por financiamiento propio de la empresa, pero existen otras maneras como son: “Leasing” para equipos o financiamiento por parte de alguna empresa externa (instituciones financieras).

Actualmente existen y conviven las energías convencionales y no convencionales, esto debido al consumo energético del mundo moderno, las energías convencionales son principalmente aquellas derivadas de los combustibles fósiles, el carbón o el gas. Mientras que las energías no convencionales son aquellas que no son tan comunes ni tan masificada y que una de sus limitaciones de uso es debido a los costos, dentro de ellos podemos encontrar la energía nuclear, energía solar, energía geotérmica, energía química, energía eólica y energía de biomasa.

Dentro de las energías no convencionales o comúnmente conocidas como **renovables**, se clasifican en dos:

- Renewable Convencional
- Renewable No Convencional

Esta clasificación es según sea el grado de desarrollo de las tecnologías para su aprovechamiento y la penetración en los mercados energéticos que presenten, dentro de las convencionales, las más importante es la hidráulica a gran escala.

La característica principal de las energías renovables es que son limpias y no contaminan, ya que por lo general no combustionan, además dependen de factores como la fuerza del viento, el nivel del mar o de la inclinación del sol.

Principalmente para la industria aeronáutica la energía solar y eólica, son las que a futuro podrían ser utilizadas como método para generar energía limpia y no contaminante, esto sí solo se le observa las fases relacionadas durante el vuelo propiamente tal, ya que si se quisiese hablar sobre las energías que podrían ser utilizadas para áreas administrativas o de mantenimiento se tendría un mayor abanico de posibilidades.

La energía solar es aquella que materializa o genera gracias a placas solares, que tiene una capa de vidrio que permite la entrada de las radiaciones solares, está se convierte en energía eléctrica gracias a las células fotovoltaicas.

Las células fotovoltaicas también conocidas como célula fotoeléctrica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía de la luz en electricidad mediante el *efecto fotovoltaico*, compuesto de un material semiconductor, a menudo silicio, absorben fotones de la luz y emite electrones, cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad. El conjunto de varias células fotovoltaicas forma un panel solar (fotovoltaico), en donde el tipo de corriente eléctrica que proporciona sería de tipo continua. El rendimiento de los paneles solares fotovoltaicos se va reduciendo en alrededor de 0,5% anual, donde la vida útil media a máximo rendimiento se sitúa en torno a los 25 años, periodo a partir del cual la potencia entregada disminuye por debajo de un valor considerable, aunque indudablemente esto varía según el fabricante (Ver Gráfica 2.4). Pero esto significa que luego de este periodo, la potencia de salida será inferior al 80% de la potencia nominal. La vida útil de un panel moderno es mucho más larga de lo que se espera, la cual era 25 años, esto significa que no se volverá a realizar una reinversión, sin contar la mantención y la actualización de los paneles, en un largo periodo, por lo que esto se traducirá en el bolsillo de la compañía. (Gstriatum, 2015)

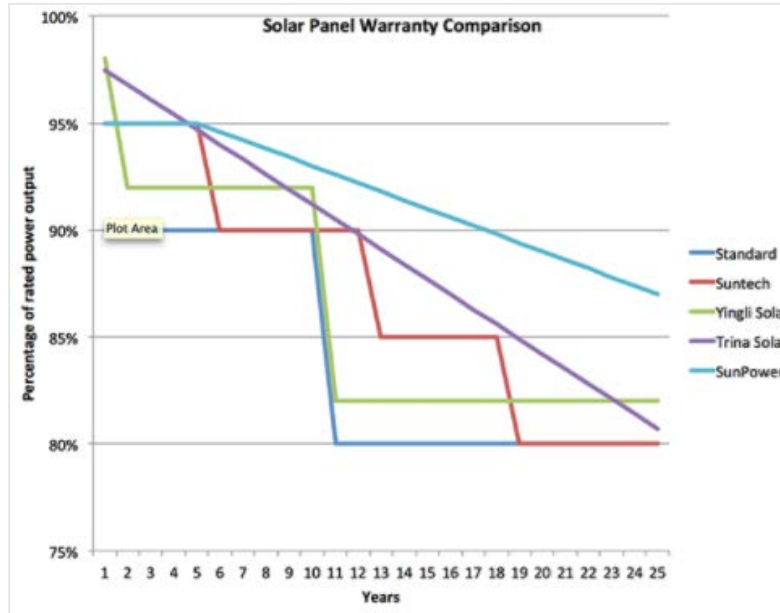


Gráfico 2.4 Relación de la vida útil de paneles solares con sus respectivos fabricantes con su potencia de salida (Gstriatum, 2015).

La energía eólica se consigue mediante aerogeneradores, en donde la energía del viento se empela para hacer girar una turbina que moverá el generador para producir electricidad. Para que esto ocurra la velocidad del viento tiene que ser entre 5 y 25 m/s.

El combustible es el costo más alto para una línea aérea, siendo un 40% del total de los costos, esto debido a que es utilizado desde las aeronaves hasta los automóviles que las asisten, por lo tanto, es necesario conocer cuánto se consume de manera de realizar una mejor gestión de ella. Realizando una mejor gestión reduce los costos y además las emisiones, es por esto la necesidad que se realice este trabajo, ya que como se menciona la eficiencia energética busca justamente esto.

Las líneas aéreas no solo tienen los costos relacionados con las aeronaves, sino que también el consumo de energía (principalmente eléctrica) en las oficinas administrativas o de mantenimiento, que va desde la iluminación hasta la utilización de computadores o herramientas que se utilizan para realizar mantenimiento.

2.3 Propuesta Metodológica:

La propuesta de este trabajo consiste esencialmente en generar estrategias exitosas en eficiencia energética en líneas aéreas, esto se logrará mediante la investigación en metodologías utilizadas, como se mencionaron anteriormente sobre las diferentes empresas o industrias. Mediante el análisis de la información provenientes de las distintas líneas aérea, en términos de consumo de energía (combustible, electricidad y agua), medidas para contrarrestar la contaminación y optimizar los procesos, se pretende generar estrategias para la eficiencia energética en líneas aéreas.

Luego se realizará un análisis de las distintas propuestas generadas, de manera de seleccionar la(s) estrategia(s) óptimas para la eficiencia energética, con el fin de incentivar en gran medida políticas de cuidado medioambiental sin una gran repercusión financiera a la organización, además de mostrar los beneficios de las diferentes estrategias propuestas.

Si bien el trabajo se enfoca en líneas aéreas, se pretende incentivar a las otras áreas de la industria aérea, como son las empresas de helicópteros, handling, catering etc., a la inversión en eficiencia energética, mediante la demostración de los beneficios que conlleva la implementación de está.

Capítulo 3 : “Desarrollo”

3.1 Analizar el comportamiento energético de un operador aeronáutico:

Para una simplificación del desarrollo se analizará el consumo y emisiones que realizan la principal línea aérea de Chile, LATAM Airlines, en donde se utilizarán los datos del último reporte de sostenibilidad dado a conocer, el cual corresponde al del año 2016. Esta elección se justifica ya que actualmente LATAM Airlines tiene el mayor porcentaje de participación del mercado, tanto para el tráfico doméstico como el internacional, los cuales son 73,6 % y 56,9% respectivamente, esto según el resumen de la base de estadística entregado por la JAC (Junta de Aeronáutica Civil, 2016). Además, otro factor que influye en esta elección es que esta empresa entrega una mayor cantidad de información acerca del consumo que realiza en sus diferentes áreas, las cuales serán separadas en el consumo realizado en vuelo (operaciones aéreas) y las terrestres, en donde está última es principalmente el consumo de electricidad.

3.1.1 Uso energético relacionado a operaciones aéreas:

Según el reporte de sostenibilidad de LATAM su consumo en combustible para el año 2016 fue de 155.310,60 [TJ] (Tabla 3.1), esto corresponde al 99,77% del total de su consumo interno de energía, esto quiere decir que las principales estrategias deben estar centrada en esta área, ya que cualquier impacto que se realice aquí, repercutirá inmediatamente en las futuras reducciones de emisiones y consumo, que a su vez podrían disminuir costos asociados.

Tabla 3.1 Presenta el consumo interno de energía de la empresa LATAM (LATAM, 2016)

CONSUMO INTERNO DE ENERGÍA (TJ)	2013	2014	2015	2016
Combustible de aviación	163.009,44	159.801,37	158.889,43	155.310,60
Gasolina	4,98	5,43	10,07	24,48
Diésel	86,52	79,65	351,70	161,33
Gas licuado de petróleo (GLP)	6,30	8,57	7,23	6,88
Gas natural	0,04	0,04	1,28	0,01
Etanol	-	-	0,26	-
Electricidad	218,04	228,36	214,92	165,39
Total	163.325,31	160.123,42	159.474,89	155.668,69

Se procede a calcular las emisiones directamente relacionada con el consumo de combustible, para esto se utiliza un factor de emisión de combustible, el cual se obtiene de una base de datos (DEFRA) que contiene gran cantidad de factores de emisión de distintas industrias, dicha base de datos tiene una fecha de expiración, esto debido a que año a año se actualiza, es por esto se utiliza la última en vigencia¹⁶. Posteriormente se multiplica por el consumo de combustible, esto se explica con la formula a continuación:

$$Emisión (t CO_2 e) = Consumo (Kwh) * Factor de emisión \left(\frac{t CO_2 e}{Kwh} \right) \quad (2)$$

El factor utilizado para calcular es el correspondiente al combustible de una turbina utilizado en la aviación (Aviation turbine fuel), además, se utiliza el concepto de “Gross Calorific Value (GCV)”, este corresponde a la mayor cantidad de calor liberada por la combustión completa por unidad de combustible, es el valor comúnmente utilizado ya que la mayoría de las empresas la utilizan en sus facturaciones de consumo energético. Al calcular solo las emisiones correspondientes al combustible de aviación se obtiene como resultado un total de 10.684.502,08 toneladas de CO₂ por unidad de combustible (t CO₂ e). Se procede a calcular la cantidad de CO₂ (Dióxido de Carbono) por unidad

¹⁶ Esta es validad hasta el 31 de julio de 2018.

presente en las emisiones de GEI por tonelada de dióxido de carbono, también la cantidad de CH₄ (Metano) por unidad y por último N₂O (Óxido Nitroso), en donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- 10.578.523,52 (t CO₂)
- 5891,77 (t CH₄)
- 100086,78 (t N₂O)

Por lo tanto, se observa que la mayor cantidad de partículas presentes en las emisiones GEI corresponden al Dióxido de Carbono (CO₂), esto se debe a que la unidad del factor de emisión se encuentra justamente en toneladas de CO₂ por unidad de combustible, entonces el 99,01% de dichas emisiones corresponden a este tipo de compuesto químico. El segundo compuesto químico con mayor presente es el Óxido Nitroso (N₂O) con un 0,94%.

Según el reporte de sostenibilidad de LATAM (LATAM, 2016) las emisiones de GEI de toneladas de CO₂ por unidad (t CO₂ e) debido al uso de combustible en operaciones aéreas son 11.343.650 como muestra la Tabla 2.3, mencionar que para obtener este valor se utilizaron las emisiones directas, las cuales consideran además del consumo relacionado a las operaciones aéreas, las fuentes fijas y vehículos de la flota LATAM, además de emisiones fugitivas de gases refrigerantes. Además, otro factor que pudo afectar es que la empresa LATAM utilizara un factor de emisión distinto al utilizado por este informe.

Cuando se compara los resultados obtenidos de elaboración propia con los que se da a conocer la empresa LATAM, se observa una diferencia de 659.148 (t CO₂ e), esto se debe a que como se mencionó anteriormente, la empresa considero otros tipos de emisiones adicionales a las del combustible de la aeronave agregando emisiones de la operación aérea como tal.

Tabla 3.2 Presenta las emisiones de GEI de la empresa LATAM (LATAM, 2016) .

GASES DE EFECTO INVERNADERO (t CO ₂ e)	2013	2014	2015	2016	Δ 2016/2015
Emisiones directas ¹	11.844.687	11.716.772	11.610.378	11.343.650	-2,30%
Emisiones indirectas ²	18.597	18.003	20.660	15.767	-23,68%
Otras emisiones indirectas ³	4.282	7.092	4.214	7.718	83,14%
Total	11.867.567	11.741.868	11.635.252	11.367.134	-2,30%
Intensidad de emisiones (kg CO ₂ e/100 RTK ⁴)	84,11	83,36	83,82	83,02	-0,95%

Al analizar en mayor detalle la Tabla 3.2 podemos observar que desde que la empresa empezó a implementar distintas medidas de ecoeficiencia se ha ido constantemente disminuyendo las distintas emisiones de GEI, las distintas medidas que ha implementado la empresa serán expuestas más adelante de manera de que sean explicada de manera exhaustiva para que aquel lector que no sepa acerca de la aviación logre comprender de la mejor manera.

Cuando se habla de intensidad de emisiones se refiere a un indicador comúnmente utilizado que tiene como objetivo conocer la relación entre los volúmenes total de emisiones de GEI producido y el producto interno bruto (PIB), para el caso de la industria aérea esta es calculada con la razón de GEI (t CO₂)¹⁷ y el ingreso por pasajero-kilometro o Revenue-Passenger-Kilometers (RPK¹⁸). Al disminuir la intensidad de las emisiones dan señales inequívocas de que los métodos utilizados por LATAM son energías más limpias en la actualidad que hace 4 años, esto es impulsado por la eficiencia energética.

3.1.2 Uso energético relacionado en tierra:

De manera de comprender la situación país, existen 4 sistemas eléctricos, de los cuales los principales que abastecen al país son 2:

¹⁷ LATAM calculado este facto en kilogramos en vez de tonelada, solo se debe realizar la conversión de toneladas a kilogramos y viceversa.

¹⁸ Es una unidad bastante utilizada en la industria aeronáutica, es calculada mediante el ingreso por pasajero multiplicada por la distancia total recorrida.

- SING: Sistema Interconectado del Norte Grande, el cual se extiende entre Tarapacá y Antofagasta, alcanzando a abastecer al 5,6% de la población nacional.
- SIC: Sistema Interconectado Central, el cual se extiende desde Taltal a la Isla Grande de Chiloé, abasteciendo al 92,2% de la población nacional.

El consumo energético relacionado en tierra está ligado principalmente al consumo de energía eléctrica, el cual representa solo un 0,11% del consumo total de la organización. Para desarrollar los cálculos se utilizó el factor de emisión correspondiente al Sistema Interconectado Central (SIC), esto se debe a que principalmente la empresa LATAM tiene gran parte de sus edificios administrativos y de mantenimiento en las regiones que abarca de este sistema eléctrico. Además, como fue mencionado, SIC cubre el abastecimiento del 92,2% de la población nacional, por lo que para simplificación de cálculos solo se utilizara el factor de emisión este sistema. Para calcular la emisión se utilizó la formula (2), dando como resultado una emisión total de la energía eléctrica de 18.243,436 (t CO₂ e). Al compararse con las emisiones obtenidas por LATAM, donde éstas fueron de 15.767 (t CO₂ e), esto se puede deber a distintos factores, como puede ser que consideraran oficinas administrativas fuera del área correspondiente al SIC, de manera que obviamente variaría el valor de emisiones, ya que el factor de emisión es distinto, a su vez se debe considera que LATAM se encuentra en distintos países del mundo, donde obviamente los factores de emisión son distintos.

Posteriormente se realizó el mismo proceso que se hizo para calcular las unidades presentes en las emisiones de GEI para los distintos compuestos químicos presentes, pero con la leve diferencia, que, para calcular dichas unidades, el porcentaje asociado a cada compuesto químico presente en GEI debió ser el de Inglaterra y no el de nuestro país, esto debido a que no se pudo encontrar los datos correspondientes a Chile, aclarando este detalle se obtuvieron los siguientes resultados:

- Dióxido de Carbono (CO_2) tiene una presencia de 18.102,81 (t CO_2) unidades por toneladas de Dióxido de Carbono.
- Metano (CH_4) tiene una presencia de 32,17 (t CH_4) unidades por toneladas de Dióxido de Carbono.
- Óxido Nitroso (N_2O) tiene una presencia de 108,46 (t N_2O) unidades por toneladas de Dióxido de Carbono.

Como se mencionó anteriormente estos datos quedaron bajo el supuesto de la relación entre las emisiones de los compuestos químicos por unidades entre Inglaterra y Chile deberían ser similares, obviamente esto dista mucho de la realidad ya que ambos países presentan diferentes sistemas eléctricos, además, de que ambos obtienen energía mediante métodos distintos. Chile se abastece principalmente de gas natural (21,74%), carbón (20,85%), hidráulica de embalse¹⁹ (14,78%), petróleo diésel (12,99%) e hidráulica de pasada (11,35%), esto considerando los 4 sistemas eléctricos del país (Comisión Nacional de Energía, 2017).

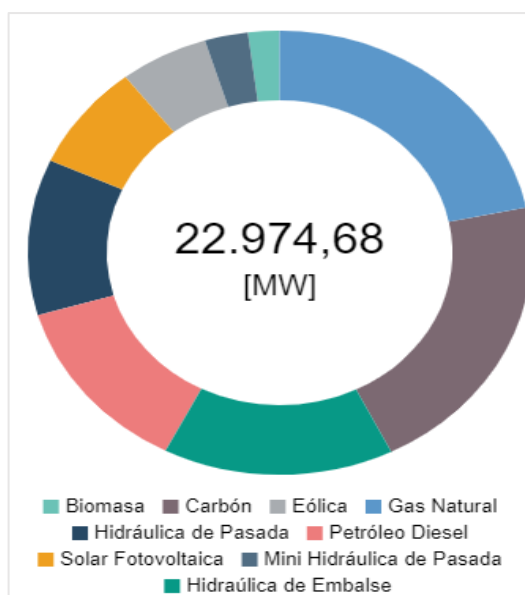


Gráfico 3.1 Generación eléctrica en Chile y la distribución de los métodos con la cual obtenida (Comisión Nacional de Energía, 2017).

¹⁹ Se diferencia con la hidráulica de pasada es que está desvía una porción del agua de los ríos para generar electricidad mientras que la hidráulica de embalse acumula un volumen de agua para generar electricidad.

En Inglaterra es drásticamente distinta la obtención de la energía eléctrica, principalmente mediante la energía térmica convencional y energías renovables, la cual aporta un 22,3% (Gráfico 3.2)

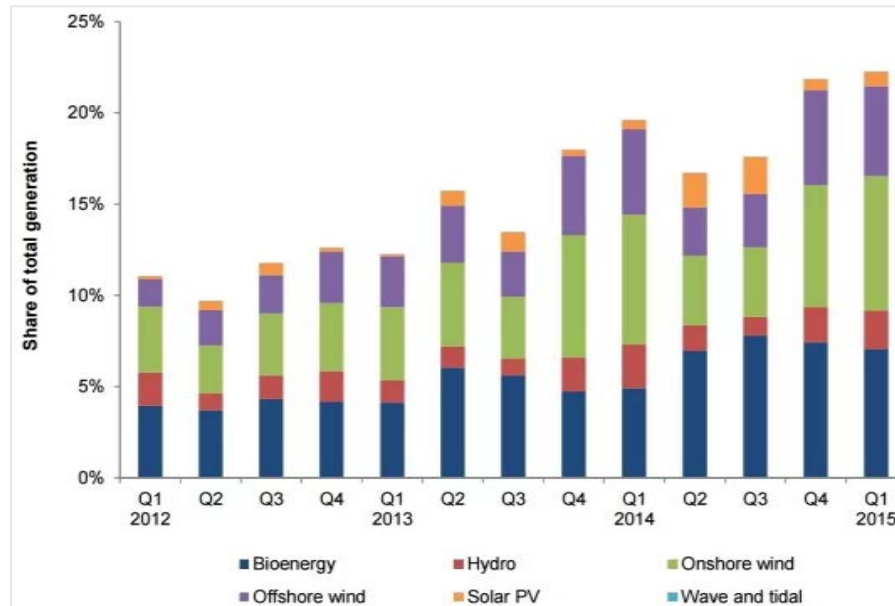


Gráfico 3.2 Producción total de energía renovable de Reino Unido desde 2012 hasta 2015 dividido en trimestres (El periódico de la energía, 2015).

3.1.3 Consumo total de la empresa LATAM:

Luego de obtener las emisiones de GEI se observan 2 tendencias que serán utilizados a lo largo del informe, esto es obviamente que la principal fuente de generación de emisiones se encuentra principalmente relacionado con la operación aérea (99,77%), mientras que lo relacionado con el lado administrativo corresponde solo al 0,11%, por lo tanto cualquier medida pensada en eficiencia energética debe estar principalmente enfocada en la primera, ya que es está en la cual habrá un mayor beneficio al impacto ambiental. Pero existen disyuntivas al solo pensar en aplicar medidas en la operación aérea y es que cualquier medida que se tome en esta impacta económicamente más que si fueran medidas relacionadas al área administrativa, por lo que en las siguientes páginas del informe se realizaran un equilibrio entre las medidas de eficiencia energética para el área operacional como la administrativa, de manera de generar variadas opciones.

A modo de ejemplo, Metro de Santiago ha realizado un gran avance en la utilización de energías renovables no convencionales (ERNC), ya que desde 2016 se viene gestionando la utilización de este tipo de energía para el transporte público que suministrará energía eléctrica durante 15 años, mediante un contrato con las empresas Sun Power y Latin American Power (LAP), las cuales abastecerán el 60% de la energía requerida. Actualmente llegará a obtener un 76% de energía renovable, esto si ENEL logra captar el 16% del total de energía que aporta (40%) a través de distribuidoras que poseen una generación de tipo tradicional o energía eléctrica convencional, pero que se espera que implementen proyectos sustentables, esto se lograría a través de iniciativas “verdes”, esto quiere decir que tienen aportes de iniciativas limpias como son:

- Sistema de Abastecimiento de emisiones: Durante el año 2016 finalizaron los proyectos de implementación de mejoras, permitiendo que la totalidad de las plantas utilizadas cumplan con los límites establecidos en el Decreto Supremo N°13/11 “Norma de Emisiones de Centrales Termoeléctricas”.
- Control de emisiones atmosférica: Las centrales térmicas a carbón deben medir isocinéticamente²⁰ la concentración de mercurio emitida por chimenea, al menos una vez por semestre, según registro del año 2016 se dieron cumplimientos a los límites aplicables.
- Gestión del agua: El agua luego de haber sido utilizada por las termoeléctricas para los sistemas de refrigeración, la cual puede ser captada desde el mar o de pozos, es devuelta casi en su totalidad, al ocurrir esto se realizan parámetros físicoquímica, los cuales son exigencia del D.S N°90/00.
- Vertidos de agua: Los vertidos industriales de las centrales termoeléctricas son monitoreadas bajo los parámetros, frecuencias y otros requisitos para la norma D.S N°90/00.

²⁰ Consiste en medir la concentración total de material particulado, que es emitido por una fuente fija, a través de laboratorios certificados por la seremi de salud, quienes la utilizan en la adopción de medidas tendientes a rebajar los niveles de contaminación atmosférica.

- Eficiencia energética en centrales termoeléctricas: Son evaluadas en función de la relación existente entre la energía neta producida en forma de electricidad y la energía que se aporta en forma de combustible.
- Gestión de residuos: Almacenamiento temporal de residuos no peligrosos en patios de salvataje²¹, y de peligrosos en bodegas de acopio temporal; El retiro y disposición final es ejecutados por empresas especializadas y facultadas.

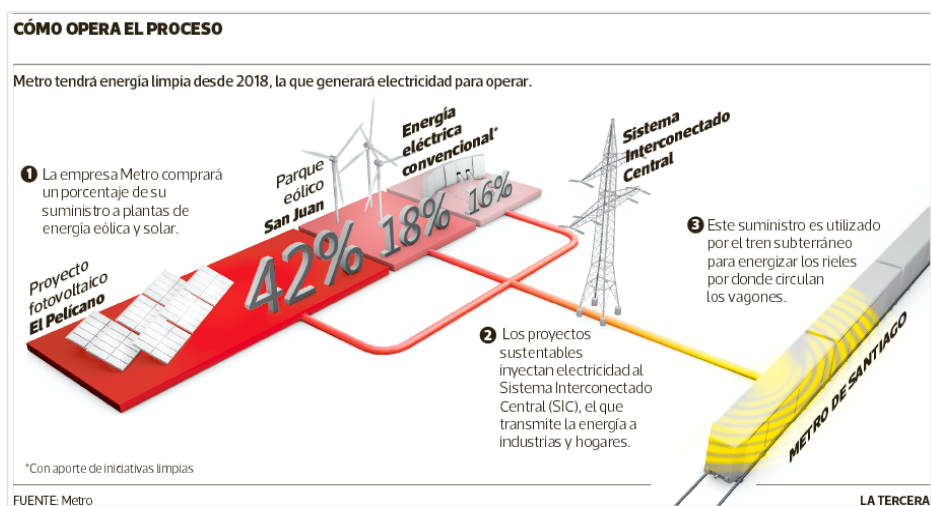


Figura 3.1 Muestra la distribución de la energía eléctrica para el Metro de Santiago (La Tercera, 2017).

Los métodos sustentables utilizados serán paneles fotovoltaicos y un parque eólico, donde el primero será suministrado por las empresas Sun Power y LAP las cuales aportarán un 42% del requerimiento energético de toda la red de Metro, denominado proyecto “El Pelicano”, que tiene una potencia equiparable a la electricidad que utilizan 100.000 hogares, el que está ubicado en La Higuera, Región de Coquimbo, contará con 255.000 paneles solares en un total de 186 hectáreas, teniendo una potencia de 110 MW. Mientras que el parque eólico “San Juan Aceituno” suministrará un 18%, ubicada en Freirina, Región de Atacama. En palabras de Rodrigo Azócar, presidente de Metro, añadir este tipo de consumo se disminuirán las emisiones de GEI en 130.000 toneladas anualmente. Este proyecto debería entrar en vigor a principios del año 2018.

²¹Sitio de almacenamiento transitorio de residuos sólidos industriales no peligrosos.

3.2 Análisis de Tipos de Energía en la Industria Aérea

A lo largo de la historia el ser humano ha creado distintas maquinas, que, a su vez vienen acompañadas con nuevas formas de obtener la energía necesaria para poder ser impulsadas. En primera instancia se creaban nuevas formas de obtención de energía para mejorar las performances de dichas maquinarias, pero de manera que éstas tuvieran una mayor potencia, lo que conllevaba a obtener una mayor producción, por ejemplo, el motor a vapor, el cual es un motor de combustión externa que transforma energía térmica de una determinada cantidad de agua en energía mecánica, el vapor generado produce la expansión de un cilindro empujando un pistón, este proceso provoca que, por ejemplo, giraran las ruedas de una locomotora o se accionara el rotor de un generador eléctrico. La obtención de este tipo de energía genera un gran empuje, el problema es que no se tiene en consideración los efectos adversos que provoca al medioambiente, desde calentar el agua, donde en la época con mayor industrialización se realizaba mediante la quema del carbón en una caldera, hasta el mismo vapor de agua generado, provocaban una gran cantidad de contaminantes, esto queda en evidencia cuando en Inglaterra la polilla moteada, pasa de tener un color gris claro a una de color gris oscuro, la primera era la más común, pero debido a la industrialización solo el 2% de las polillas encontradas en las cercanías de ciudades industrializadas era de color gris claro, este cambio de coloración se debió a que el carbón era el combustible común para las plantas eléctricas, el hollín provocado se asentó sobre la tierra, edificios y troncos de los árboles, estos pasaron a ser a tener una coloración más oscura, es por esto que como mecanismo de defensa las polillas durante el día se camuflaban entre los troncos y ramas de los árboles, con el cambio de coloración de los troncos las polillas ya no podían camuflarse por la notoria diferencia de coloración, esto provoco que las polillas se adaptaran a este nuevo ambiente, mutando de esta manera su color gris claro tradicional a un gris oscuro. Esto pone en evidencia lo que pueden llegar a provocar el abuso de nuevas formas de obtener energía, es por esto que hoy en día no solo se tiene interés en generar nuevas formas de obtener energía que

aumenten la productividad o eficiencia, sino que se busca a su vez la eficiencia energética, es por esto que a continuación se expondrán los distintos tipos de energías utilizadas en el mundo, divididas en dos grandes categorías, las cuales son las energías convencionales y las renovables no convencionales.

3.2.1 Convencionales

Históricamente este tipo de energía está relacionada con el petróleo, carbón, gas y combustibles fósiles, las cuales son no renovables, en este último término se debe hacer hincapié, ya que esto significa que son recursos naturales en los cuales existen cantidades fijas o que son consumidas más rápida de lo que la naturaleza pueda volver a recrearlos, además, estos no pueden ser producidos, regenerados o reutilizados.

Como se ha mencionado a lo largo del informe, los principales tipos de combustible utilizados por las líneas aéreas para generar la energía suficiente para el correcto funcionamiento de los motores de las aeronaves y/o de los automóviles relacionado con la empresa, además de lo requerido para sus áreas administrativas, mantenimientos y operaciones son dos: ***el combustible y la electricidad***. Pero el combustible utilizado por las aeronaves es totalmente distinto a la de los automóviles, tanto en su composición y propiedades.

En la actualidad los motores de las aeronaves comerciales son conocidos como “Motor Jet”, aunque dentro de la industria tienen un nombre más técnico, el cual es “Motor Bypass Turbofan”. Lo que realiza este motor es dejar ingresar aire a su parte delantera para luego mezclarla con el combustible en el combustor, luego una bujía suministra la chispa inicial que genera que la mezcla de aire y combustible se queme provocando que los gases calientes vayan a través del eje del compresor, esto genera que el compresor gire y empuje aire hacia el interior del motor, esta lógica se viene dando desde la creación de los motores jet, pero en la actualidad los motores son más eficiente (Ver Figura 3.2) y esto se debe al denominado bypass, éste permite generar un flujo secundario que va alrededor

del flujo principal, aumentando la cantidad de aire, que a su vez, aumentan el empuje, pero no solo esto sino que también disminuyen el ruido y combustible.

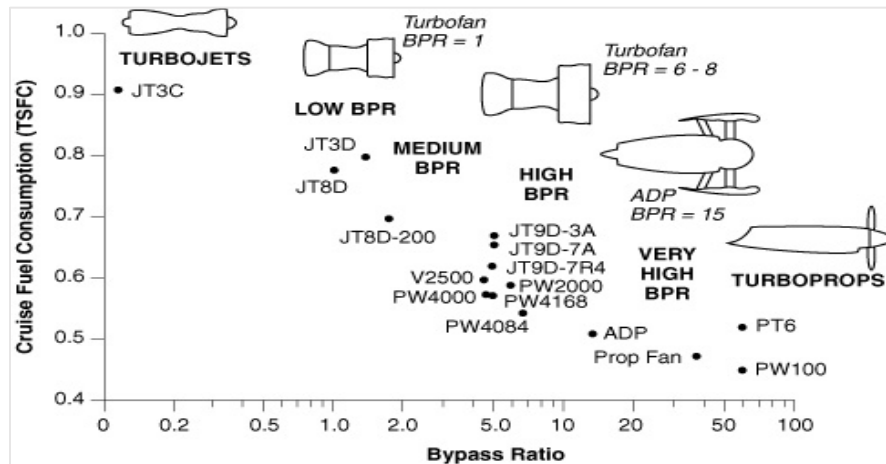


Figura 3.2 Muestra la relación del bypass ratio con TSFC (Potters, 2016).

La eficiencia de los motores como se mencionó anteriormente ha ido variando, estas se relacionan con la ratio del bypass del turbofan, actualmente el motor con mejor eficiencia pertenece a General Electric GE90, también es el más grande y con mayor potencia, con una eficiencia de 36,1%. Esto bajo a condiciones típicas de vuelo crucero, con una propulsión al 80%. (Kroo, 2012). A continuación, se observa una curva de eficiencia en base al Bypass Ratio:

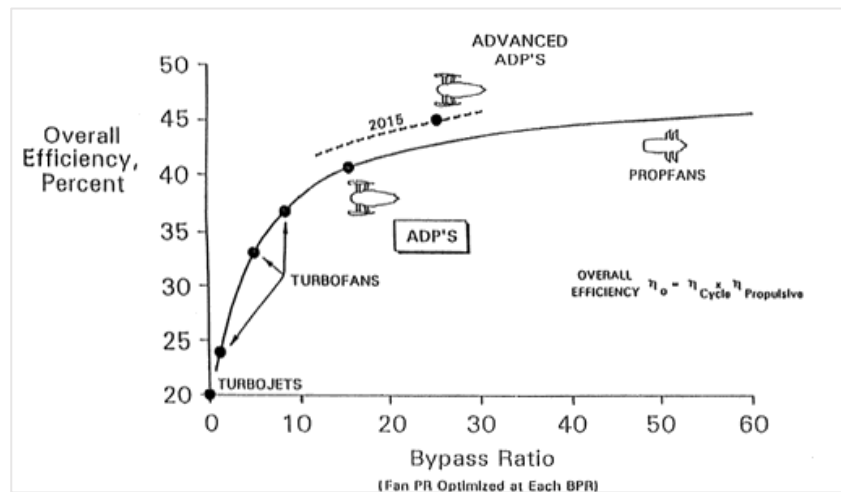


Figura 3.3 Muestra la relación del bypass ratio con la eficiencia de los motores, según el tipo del motor (Kroo, 2012).

El motor turbofan consta de los siguientes módulos:

- Módulo del Fan.
- Módulo del Motor Base.
- Módulo de la HPT (Turbina de Alta Presión).
- Módulo de la LPT (Turbina de Baja Presión).
- Módulo AGB.

El módulo del fan (Figura 3.4) se encuentra adelante del motor base, el cual está conformado por el conjunto del fan y estatores del compresor de baja presión, en la primera sección se encuentra la tobera de admisión, la cual está conformada por los fanblades (álabes), estas tienen la misión de comprimir en primer lugar el aire que ingresa, además de que sea distribuida de manera suave y uniformemente en el motor. Mientras que el compresor está conformado por varias etapas de álbes rotores y estatores, este conjunto tiene como misión principal entregar una gran masa de aire comprimido que luego pasara a la sección de combustión. Se debe tener en consideración que este módulo se suministra el 80% del empuje del motor, esto lo convierte en la sección más importante del conjunto del motor, ya que es donde ingresa el principal suministro que necesita el motor para que el conjunto del motor continúe girando, esto independiente del combustible (que es el tema central de este informe), ya que si bien el combustible es lo que genera la combustión que termina impulsando la aeronave, esta no se podría sustentar solo, sino que necesita del aire comprimido que sustenta el módulo del fan para mantener el impulso.

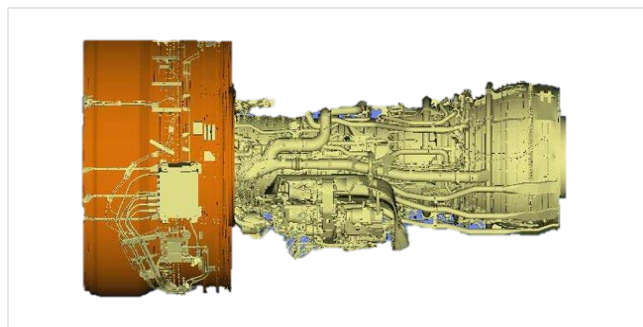


Figura 3.4 Representación del módulo Fan (Potters, 2016).

El módulo del Motor (Figura 3.5) se ubica detrás del módulo anteriormente señalado y delante de la carcasa estatora de la turbina, se compone por los rotores y estatores del compresor, cámara de combustión y tobera de la turbina de alta presión (HPT). La cámara de combustión es la sección esencial del módulo, ya que toma el aire comprimido proveniente del compresor y expande y acelera este aire agregándole combustible y quemando, suministrando aproximadamente el 20% del empuje total del motor. El combustible fluye desde los estanques del avión hacia un filtro y luego hacia la bomba, esta lo presuriza y la envía a los intercambiadores de calor, que luego fluye hacia la unidad de control combustible, donde esté suministra el combustible a las toberas, para que posteriormente se rocíe el combustible en la cámara de combustión.

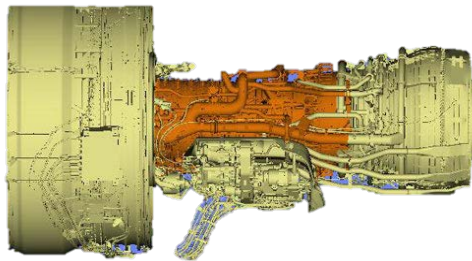


Figura 3.5 Representación del Módulo Motor (Potters, 2016).

Recordar que el combustible para las aeronaves se encuentra en sus alas, éstas cuentan con dos accesorios esenciales para mantener el combustible en su estado químico y distribución optima, una de ellas es la Baffle Check Valve, la cual está instalada en los estanques de combustibles (Alas), estas están encargadas de mantener el combustible en el área de las bombas de combustible, por ejemplo, cuando el avión se encuentra con la “nariz” hacia arriba o una ala abajo, estas válvulas reducen el flujo de combustible hacia la punta de las alas. Para mantener una mayor seguridad las válvulas se abren solamente hacia adentro. El otro accesorio importante son los sistemas de ventilación del combustible, las que evitan que se dañe la estructura del ala, la disminución de la evaporación de combustibles y tener presión positiva para flujos de combustibles. Se ventilan

usando los stringers de las alas y los surge tanks²² en las puntas de las alas, las cuales son ventilados con ram air.

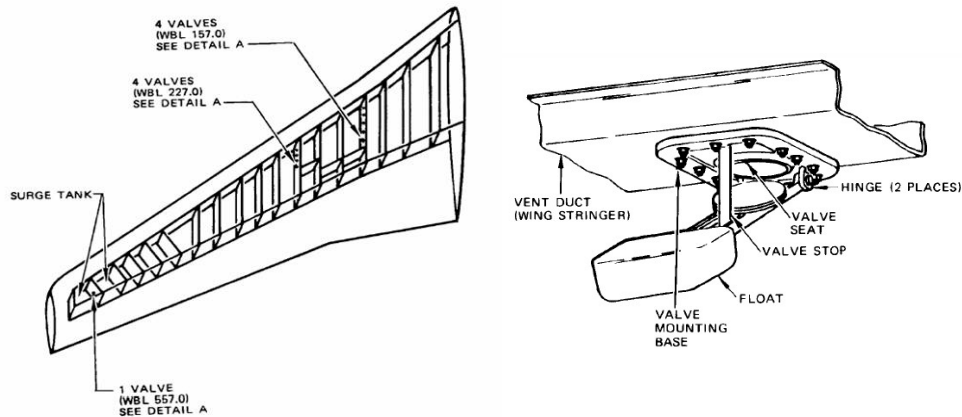


Figura 3.6 Representación del Baffle Check Valve (Potters, 2016).

El módulo de la Turbina de Alta Presión (HPT) está ubicado detrás del soporte trasero del compresor y delante de la carcasa estatora de la turbina de baja presión (LPT), compuesta por el rotor HPT y estator HPT, este remueve la energía de los gases de la combustión de manera de hacer girar al compresor de alta presión y la caja de engranajes de los accesorios (AGB).

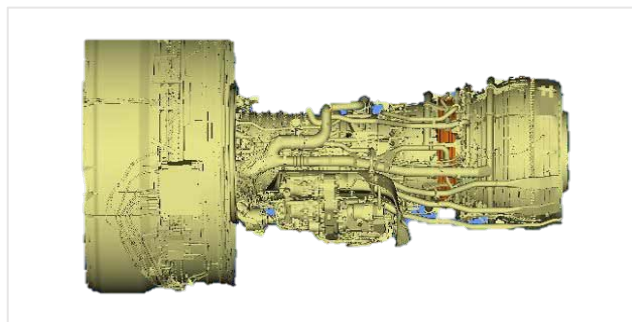


Figura 3.7 Representación del módulo HPT (Potters, 2016).

El módulo de la Turbina de Baja Presión se ubica en la parte trasera del motor, detrás de la carcasa del estator de la turbina de alta presión y delante de la tobera de escape, está compuesto por el rotor de LPT, carcasa estatora de la tobera de la

²² Su función es asegurar que el combustible no se derrame al momento de que se expanda, constantemente estos se vacían para prevenir derrames futuros.

LPT y el soporte trasero de la Turbina (TRF). Este módulo está encargado de remover energía de los gases de combustión para guiar el conjunto del rotor del compresor de baja presión. Por lo tanto, el conjunto de la turbina tiene como función principal hacer girar el eje que la soporta, de manera de mantener girando a los accesorios del motor de la aeronave, generando un ciclo que mantiene a la aeronave con impulso constante.

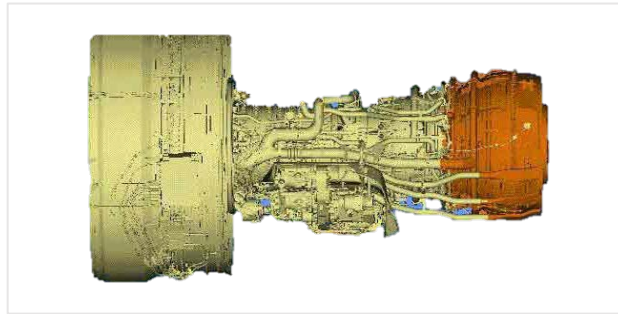


Figura 3.8 Representación del módulo LPT (Potters, 2016).

Por último, el módulo Guía de Accesorios (AGB) se ubica desde el centro del soporte trasero del Fan a la carcasa estatora del compresor, parte externa inferior o lateral de la aeronave. Esta encargado de transferir potencia para hacer girar los accesorios del motor y de la aeronave. Es donde están montados todos los componentes guiados mecánicamente.

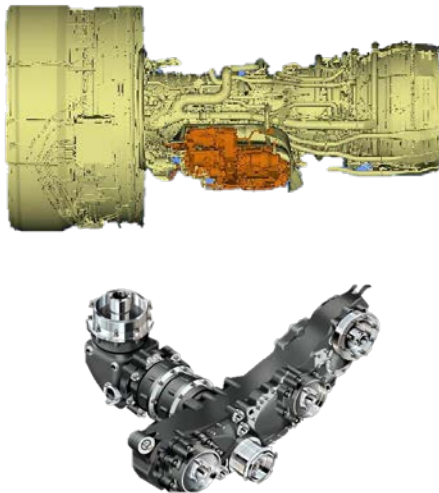


Figura 3.9 Representación del módulo AGB (Potters, 2016).

Luego de todo este conjunto de módulo se encuentra la sección de escape, la cual dirige hacia atrás y los acelera para producir mayor empuje. Existen de tipo variable y fija, pero generalmente en la aviación comercial se utiliza la de segundo tipo.

El denominado JET A-1 es el combustible utilizado en las turbinas de los motores a reacción en la aviación civil, es un queroseno que procede de la destilación del crudo del petróleo, la cual tiene como función principal suministrar potencia al avión, es incoloro con una densidad de 0,8 kg/l y se inflama a temperaturas superiores a 38°C, la característica principal de este combustible es que tiene una elevada potencia calórica que le permite obtener mayor poder con un mínimo peso, la cual tiene una buena resistencia al frío, ya que este debe aguantar la cristalización que sufren las aeronaves debido a las elevadas altitudes en las cuales transitan, además también es utilizado como fluido hidráulico para los sistemas de control del motor de la aeronave y como refrigerante para ciertos componentes del sistema de combustible. Finalmente, el combustible se inyecta continuamente en la cámara de combustión, la cual se combina con el aire comprimido que viene desde el compresor del motor de la aeronave.

El combustible utilizado en la aviación comercial es denominada turbosina, pero es conocida en el ámbito aeronáutico como Jet A-1, comúnmente se le relaciona con el keroseno y esto se debe a que se extrae en el mismo nivel que ese tipo de combustible. A modo de contextualizar, las refinerías separan el crudo mediante torres de fraccionamiento o de destilación primaria. Primero se calienta a 400 °C de manera de generar vapores, los cuales suben a través de compartimiento, al ir ascendiendo los vapores se van enfriando, está da a lugar a cada uno de los pisos que se muestran a continuación:

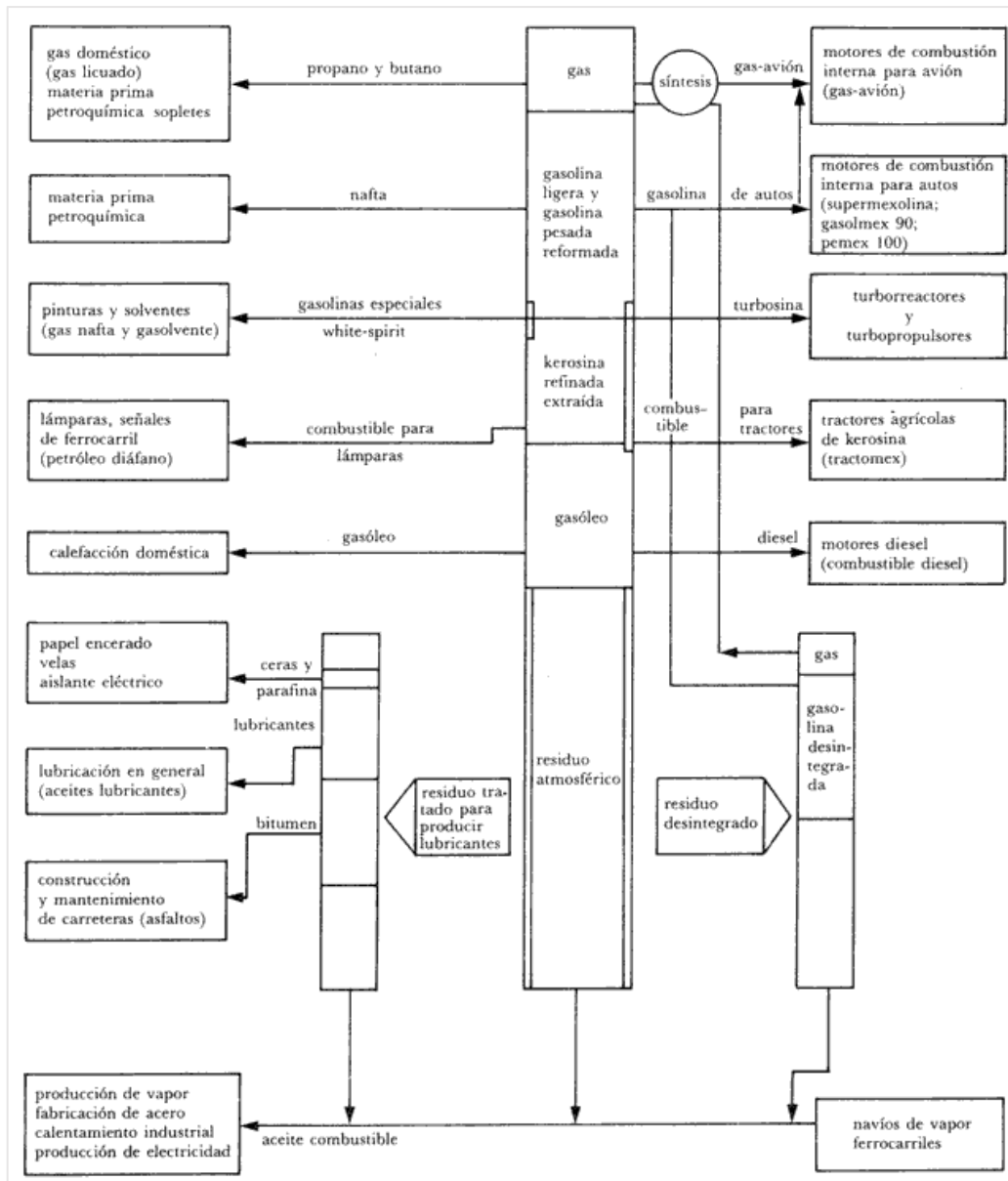


Figura 3.10 Muestra las distintas fases de destilación en las cuales se fracciona el proceso del crudo (Biblioteca Digital, 2013).

La energía eléctrica generalmente consiste en la transformación de alguna clase de energía (térmica, química, nuclear, etc.) a energía eléctrica, para esto se utilizan centrales eléctricas. Lo anterior se realiza mediante un generador eléctrico, la corriente eléctrica generada es de corriente alterna, la cual facilita que la energía llegue a todos los lugares habitados del mundo, siendo la más común en las viviendas. Pero en la actualidad coexisten dos tipos de corrientes,

alternas y continua²³, esta última puede ser rectificadora de manera de pasar de corriente alterna a continua, para ello se utilizan rectificadores que convierten la tensión a una adecuada.

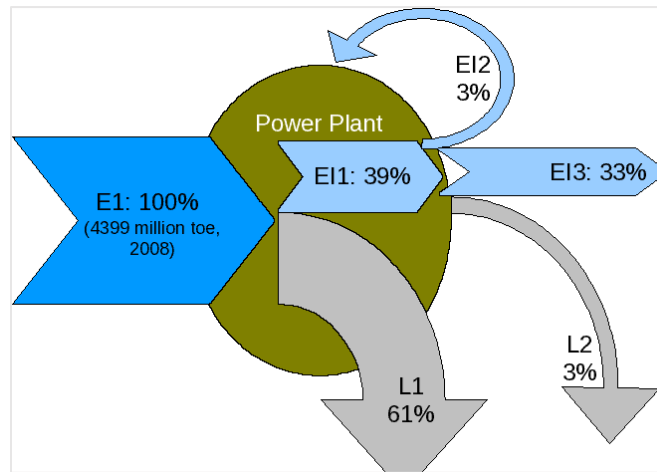


Figura 3.11 Representación de la producción energética de una central eléctrica en el año 2008 (OCDE, 2008).

En la Figura anterior se observa el flujo de energía de las centrales eléctricas, donde E1 es la energía utilizada, o que ingresa a la central eléctrica, E1 es la energía eléctrica generada, E2 el uso interno, E3 es la energía eléctrica para consumo final, mientras que L1 es pérdida en los procesos para generar electricidad y L2 es la pérdida en transmisión a los hogares, todo esto corresponden al año 2008.

Las centrales eléctricas se clasifican dependiendo de la fuente primaria de energía utilizada, las cuales son:

- Químicas: Aprovechamiento de reacciones de carbón, gas, oxígeno e hidrógeno.
- Termoeléctricas: En base al uso del carbón, petróleo, gas, nucleares y solares termoeléctricas.
- Hidroeléctricas: Aprovechando corrientes de ríos. Actualmente existen de dos tipos en Chile:
 - o Hidroeléctrica de Embalse.

²³ Utilizada principalmente por los equipos que llevan electrónica, aquellos que tienen batería.

o Hidroeléctrica de Pasada.

- Mareomotriz: Aprovechando corrientes del mar.
- Eólicas
- Solares Fotovoltaicas
- Geotérmicas

La mayor parte de la energía mundial generada proviene de las 2 primeras, en Chile se hace hincapié en la segunda nombrada. Las centrales termoeléctricas se genera energía eléctrica a partir del calor y este se obtiene tanto de la combustión, los combustibles más utilizados son los combustibles fósiles y sus derivados, además de los biocarburantes o del metano generado en algunas estaciones depuradoras de aguas residuales.

Las centrales termoeléctrica consisten en una caldera en la que se quema el combustible para generar calor que transfiere a unos tubos por donde circula agua, donde se evapora. Este vapor sometido a una alta presión y temperatura, se expande en una turbina de vapor, cuyo movimiento genera la electricidad. Por último, el vapor es enfriado en un condensador por el cual circula agua fría, provenientes de un caudal de un río o torre de refrigeración.

Existen también las centrales termoeléctricas denominadas de “ciclo combinado” en las cuales se usan los gases de combustión del gas natural para mover una turbina de gas. Al igual que todas las centrales termoeléctricas tiene una cámara de combustión donde se quema el gas y se inyecta aire para acelerar velocidad a los gases y mover la turbina, los gases al encontrarse a altas temperaturas (500 °C) se reutilizan para generar vapor que mueve una turbina de vapor, donde cada una de estas impulsa un alternador, es decir, tiene el mismo funcionamiento, donde solo varía el cómo se obtiene la energía eléctrica.

Las centrales térmicas liberan dióxido de carbono (CO₂), siendo este el principal gas responsable del calentamiento global. Dependiendo de combustible utilizada también se puede liberar otros contaminantes, tales como son el óxido de azufre y el óxido de nitrógeno.

Enel al igual que diversas compañías en Chile y el mundo entrega un informe de sostenibilidad y el año 2017 no fue la excepción. Un dato que se debe tener en consideración es el consumo de combustible, para el año 2016 se consumieron 1.73 Millones de Toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), mientras que para el año 2015 fue de 1,33 Mtep, según se explica, esta variación se debe al aumento del consumo de carbón y de gas natural. El aumento del primero se debe a una mayor generación eléctrica del complejo central Bocamina, mientras que el segundo se debe al aumento del despacho de este a centrales termoeléctricas San Isidro y San Isidro II.

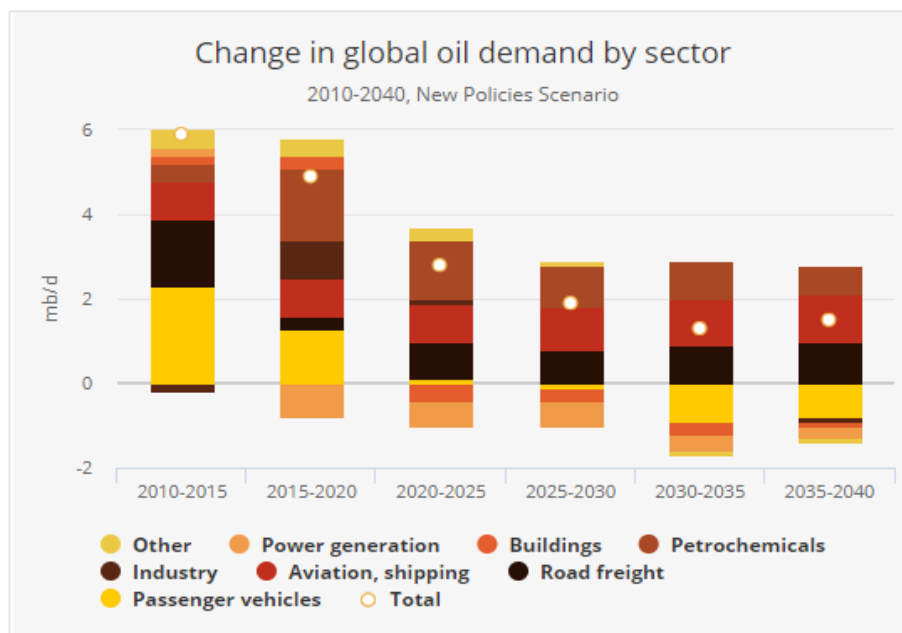


Gráfico 3.3 Proyección de la demanda de petróleo en las distintas industrias (International Energy Agency IAE, 2017).

En el Gráfico 3.3 se muestran la demanda por el petróleo para diferentes industrias, en las cuales se realizan proyecciones hasta el año 2040, la unidad en la que se mide es la de mb/d, esta significa los millones de barriles por día que se demandan. Se observa que la industria de la aviación ira disminuyendo la demanda del petróleo hasta el año 2020-2025, esto debido a la mejora de eficiencia de los motores, pero que luego de este periodo, no variara significativamente dicha demanda, esto se debe al constante crecimiento de esta industria, lo que da resultado un mayor número de aeronaves que a su vez viene

impulsado por el aumento de la demanda de parte de las personas por volar en una aeronave, debido a los tiempos de conexión con sus destinos finales.

Mientras que la industria de generación de energía, ira disminuyendo considerablemente la demanda de petróleo, debido a la entrada de las energías renovables, las cuales son más limpias.

3.2.2 Renovables Convencionales y No Convencionales

Como se mencionó anteriormente la energía renovable se puede clasificar en convencional y no convencional, la diferencia recae en que el segundo son aquellas que poseen un gran potencial de desarrollo en el futuro.

Para la industria aérea el consumo de energía eléctrica es mínima si se le compara con el consumo de combustible, pero de igual manera se debe mitigar, ya que de esta manera reducen las emisiones provenientes de la industria generadora de energía, esto se logra observar en la Gráfico 3.3. El tipo de energía eléctrica utilizada en la industria dependerá del como obtienen la energía eléctrica la central eléctrica, que luego abastecerá a las oficinas administrativa y lugares de mantenimiento de la línea aérea, por lo que a continuación se presentarán los 4 tipos de energía renovable, ya sean convencionales y no convencionales, que se están utilizando o se utilizarán, para este caso: Chile.

La energía hidráulica se obtiene del aprovechamiento de la energía cinética y potencial de la corriente del agua o de los saltos naturales. Con la aparición de las ruedas hidráulicas para la generación de energía eléctrica, esto durante la revolución industrial y en especial el siglo XIX, debido al encarecimiento de crear estos sistemas en aquellos años, esta manera de generar energía eléctrica se volvió ineficiente, por lo que se olvidó por casi 100 años.

El renacimiento de la energía hidráulica se produjo debido al desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina eléctrica, además del aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX.

Las centrales hidroeléctrica de tipo embalse están determinadas por dos factores principales, el caudal y la altura del salto. Se construyen represas para aprovechar de mejor manera dichos factores, además de regular el caudal en función de la época del año, a su vez sirve para aumentar la caída o salto. Las centrales aprovechan la salida de agua a través de la represa de manera de generar electricidad, donde mueve una turbina que está conectada a un generador. De esta manera la energía potencial de la caída del agua se convierte en cinética, provocando la rotación de las turbinas que posteriormente se transforma en energía eléctrica por medio de dichos generadores.

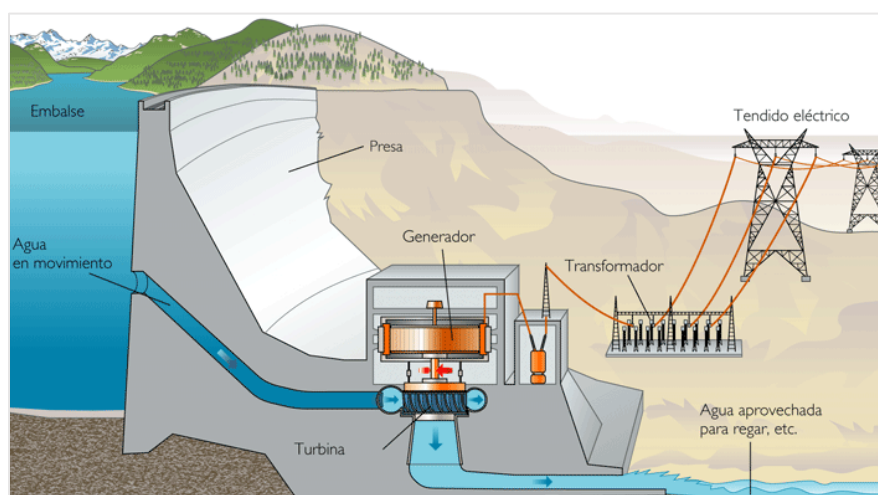


Figura 3.12 Representación de la obtención de energía eléctrica para una hidráulica de embalse (Renovables Verdes, 2017).

Actualmente existe el concepto de minihidráulicas, conocidas como hidráulicas de tipo de pasada, esta entrega una potencia no mayor a 10MW, si bien este tipo de sistema generador de electricidad es principalmente de autoconsumo, en caso de producirse excedentes puede llegar a venderse a la red. Se habla de dos tipos de centrales minihidráulicas, aquella que retiene en un pequeño embalse y las de tipo con agua fluyente. La primera se refiere a seguir el curso de un río directamente y el aprovechamiento de un salto natural, sin afectar su flujo y caudal, mientras que el segundo implica construir una represa que canaliza y deriva parte del flujo del río de manera de aprovechar el salto producido por la represa.

Otro tipo de energía que se encuentra en esta sección es la energía solar, está aprovecha la radiación electromagnética que proviene del sol. Por lo tanto, la energía solar es la energía contenida en la radiación solar que luego es transformada mediante determinados dispositivos, dichos elementos encargados de captar la radiación son los paneles solares.

Existen tres tipos de mecanismos de aprovechamiento de la energía solar:

- Energía Solar Térmica
- Energía Solar Fotovoltaica
- Energía Solar Pasiva

Las dos primeras son consideradas como tecnologías activas, donde la energía solar térmica consiste en aprovechar la energía procedente del sol para transferirla a un captador²⁴ de calor. La misión de los captadores es transmitir la energía térmica, permitiendo aumentar la temperatura de un fluido que circula por la instalación, luego la energía recolectada será trasladada a aquellas fuentes que se quieran calentar. Por lo tanto, la función es calentar principalmente el agua para uso sanitaria o para la calefacción de la vivienda. Existen diversos tipos de captadores que son clasificados en base a la temperatura que irradian, es por esto por lo que se clasifican en colectores de baja temperatura, media temperatura y alta temperatura.

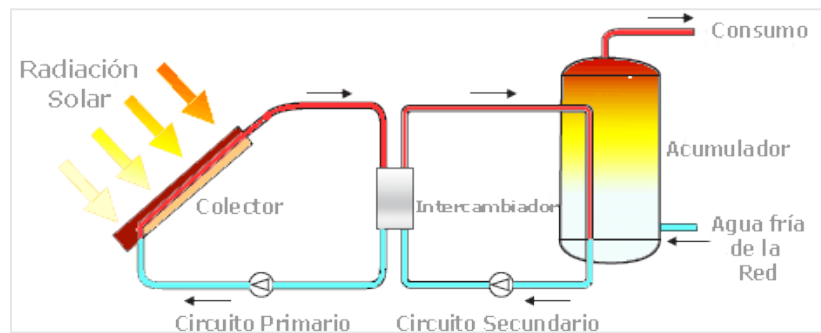


Figura 3.13 Representación de obtención de energía térmica mediante panel solar térmico (Solar Energia, 2018).

²⁴ Dependiendo del país también son conocidos como colectores o portador, a lo largo del informe se utilizará el concepto de captador.

Los captadores de baja temperatura proveen calor útil a temperatura a menores de 65 °C, los de temperatura media oscilan entre 100 °C y 300 °C, mientras que las de altas temperatura trabajan sobre los 500 °C, donde estos son utilizados para la generación de energía eléctrica.

La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación de la radiación solar en energía eléctrica, dicha transformación se consigue aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores mediante las células fotovoltaicas, siendo el material base para la fabricación de los paneles fotovoltaica. El elemento químico más habitual considerado como precursor de las células fotovoltaicas es el silicio, la cual luego conforma una lámina cristalina.

Cuando los fotones o comúnmente conocidos como luz solar inciden, en una de las caras de la célula solar se genera una corriente eléctrica. El campo eléctrico se genera a través de la polarización de dos zonas de la célula fotovoltaica, esto significa que una sección es de carácter negativo y el resto es de carácter positivo. Debido a la diferencia de carga eléctrica en el material, se produce el denominado campo eléctrico, o que posteriormente se establecerá corriente eléctrica. Es importante que todas las células que compongan el panel solar tengan las mismas características, debido a lo delicado que es el proceso explicado anteriormente. La producción de energía puede ser de pequeña y gran escala, dependiendo si es para consumo general o consumo personal.

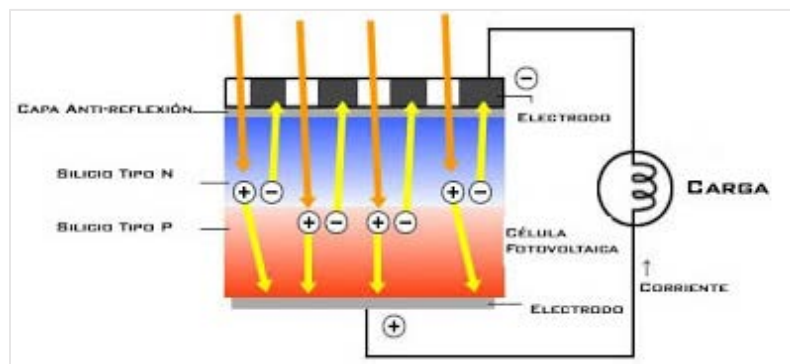


Figura 3.14 Representación de la obtención de energía eléctrica mediante panel solar fotovoltaico (Universidad de Jaén, 2016).

Mientras que la tecnología de tipo pasivo viene dada por la denominada arquitectura bioclimática, esta consiste en aprovechar las condiciones climáticas, intentando disminuir los consumos energéticos. Está busca principalmente que la edificación se realice en base a la orientación del sol, además de que estas tengan materiales con masa térmica favorable, es decir, que tenga propiedades de dispersión de la luz, también se busca el concepto de ventilación natural²⁵.

Adicionalmente se tiene la energía eólica la cual se obtiene mediante la energía cinética generada por las corrientes de aire. De todas las mencionadas anteriormente esta se considera la más madura y eficiente de todas. Es considerada una de la energía más antigua de la historia humana, esto debido a que este concepto era utilizado por los molinos, donde obviamente se utilizaba para un fin distinto al de obtener energía eléctrica, sino que se utilizaba para el molido de los cereales.

Las corrientes de vientos son aprovechadas de manera de que las maquinas eólicas (turbina eólica) sean capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica. La energía eólica mueve una hélice, la cual hace girar un rotor de un generador, la cual producirá la energía eléctrica, el conjunto de todo el sistema se denomina turbina eólica o aerogenerador. Para aumentar la capacidad energética se deben instalar un número determinado de aerogeneradores, las cuales son denominados parques eólicos.

Para aportar energía suficiente a la red eléctrica, se debe instalar un sistema de sincronización de manera que la frecuencia de la corriente generada se mantenga constante y sincronizada con la frecuencia de la red eléctrica. Además, las aspas deben contar con un sistema de control acerca del ángulo de ataque que variara en función a la velocidad del viento, a su vez debe constar con un sistema de control de rotación, esto en caso de encontrarse con vientos extremadamente fuertes, que pueden llegar a poner en peligro toda la instalación (Ver Figura 3.15).

²⁵ Aquella que aprovecha las depresiones o sobrepresiones creadas en el edificio por el viento, humedad, convección térmica del aire o cualquier otro fenómeno sin que sea necesario un sistema mecánico.

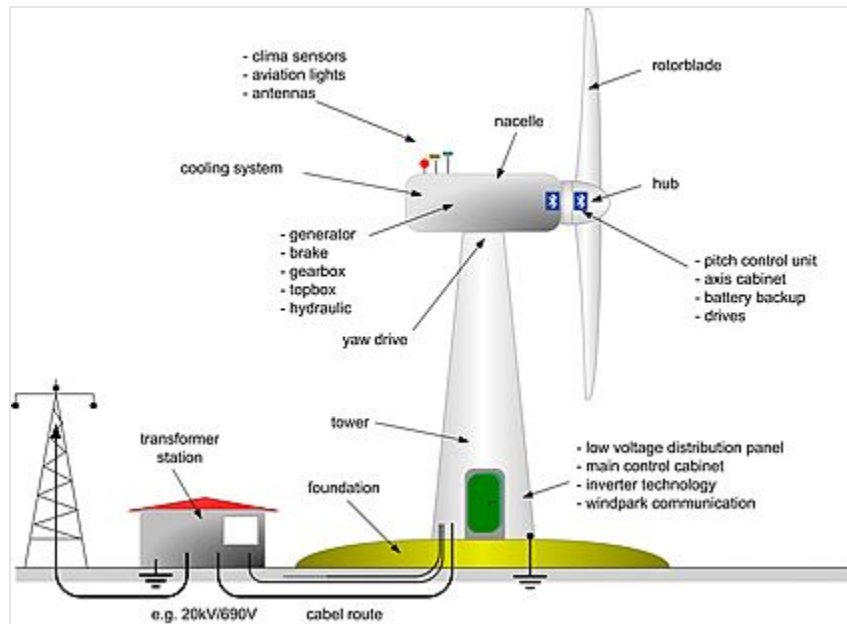


Figura 3.15 Representación de la obtención de energía eléctrica mediante la turbina eólica (Pinterest, 2018).

Por último, se tiene la energía geotérmica, la cual permite obtener energía eléctrica mediante el aprovechamiento del calor producida al interior de la tierra, pero la aplicación de la geotérmica depende de las características de cada fuente. Si los recursos geotérmicos son de altas temperaturas (superiores a los 100°C) se aprovecha principalmente para la producción de electricidad, cuando la temperatura del yacimiento no es suficiente para generar energía eléctrica a gran escala (temperaturas por debajo a los 100°C), sino que, para pequeñas centrales eléctricas, es por esto que se en primea instancia para la calefacción y refrigeración de sectores industriales, servicios y residenciales. Por último, para temperaturas muy bajas (por debajo de los 25°C) solo se podría utilizar para la climatización y obtención de agua caliente, esto se denomina climatización geotérmica, esta utiliza la inercia térmica del subsuelo para los sistemas de climatización.

Actualmente se consideran 3 tipos de fuentes que permiten generar energía geotérmica, las cuales son:

- Yacimiento de agua caliente (Hidrotérmicos)
- Yacimiento seco

- Géiseres

Dependiendo de las características del yacimiento varía el uso que se le dará, ya que, si predomina el vapor por sobre el agua, se puede utilizar para generar energía eléctrica mediante las turbinas de vapor, mientras que, si en el sistema predomina el agua, se pueden presentar problemas debido a la cantidad de gases corrosivos y partículas sólidas.

Los yacimientos de agua caliente son reconocidos de dos maneras, una de ellas es mediante la formación de una fuente, como las utilizadas para los baños termales, esto mediante distintas tuberías que dirigen el agua hacia las termas. Mientras que la segunda forma es subterránea, contenido en acuíferos, para lograr extraer el agua caliente se deben utilizar dos pozos, uno de ellos extraerá el agua caliente del subterránea y el otro pozo vuelve a inyectar el agua utilizada al acuífero, de esta manera se conseguirá que el acuífero nunca se seque ya que constantemente se está devolviendo el agua utilizado.

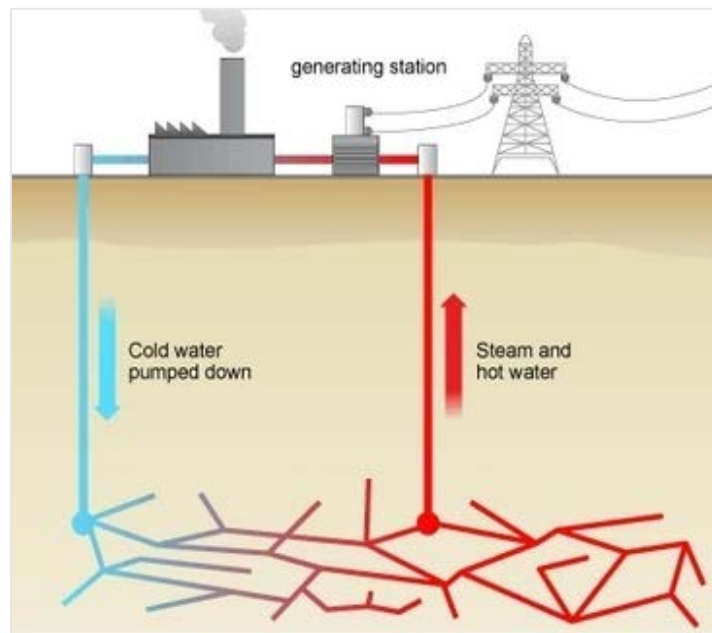


Figura 3.16 Representación de la obtención de energía eléctrica mediante yacimiento seco (Erenovable , 2018).

Los yacimientos secos no necesitan agua para generar energía geotérmica, es por esto que se denominan *producción artificial*. Mas del 80% de las fuentes geotérmicas del planeta son de este tipo, estos también se denominan fuentes petrotermales (roca caliente) que se forman por bancos de rocas. Para generar energía eléctrica primero se debe encontrar el lecho de roca caliente, para luego realizar una perforación para alcanzarla, mientras que en otro extremo se realiza una segunda perforación, que también alcanza a la roca caliente, en la primera perforación realizada se introduce agua fría que, al entrar en contacto con la roca caliente, se transforma en vapor de agua, donde esta saldrá a presión en la segunda perforación realizada. Posteriormente el vapor generado se transformará en energía eléctrica, mediante la utilización de una turbina, la cual pasará a un generador de energía eléctrica.

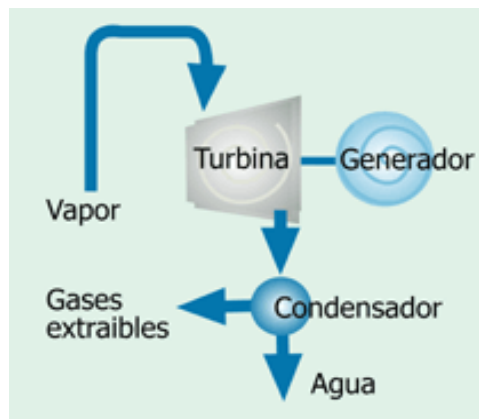


Figura 3.17 Diagrama de la obtención de energía eléctrica mediante una turbina en yacimiento seco (Erenovable , 2018).

Actualmente en Chile se creó la primera planta geotérmica de Sudamérica, llamada “Cerro Pabellón” ubicada en Ollagüe en la región de Antofagasta que genera 48 MW cuando se encuentre en plena capacidad producirá alrededor de 340 GWh al año, abasteciendo aproximadamente a 165.00 hogares. Se considera un yacimiento de agua caliente, ya que el agua extraída luego es devuelta al pozo garantizándose la sostenibilidad del recurso.

3.3 Análisis a Métodos Actuales de Eficiencia Energética en la industria aérea

A lo largo de este sub capítulo se presentarán las variadas metodologías utilizados por variadas líneas aéreas que permiten aumentar la eficiencia en el consumo de combustible para las aeronaves y el consumo de energía eléctrica para las oficinas requeridas por la empresa.

Como se ha mencionado anteriormente en el informe, la búsqueda de la disminución de los costos relacionados con los consumos de combustible y electricidad, mediante una utilización eficiente de estas, aporta a la disminución de los gases de efecto invernadero, esta relación de disminución de consumo y contaminación son los factores en la búsqueda de la eficiencia energética. En el capítulo a continuación se presentarán diferentes métodos que se han utilizado por las distintas aerolíneas, además de presentar los beneficios que tienen la implementación de estos métodos, pero también los problemas que conlleva realizarlos.

3.3.1 Eficiencia energética de la industria aérea en la actualidad

Se realizarán dos grandes divisiones en esta sección, las cuales serán la eficiencia relacionada en el aire y en tierra. Se debe recordar que el 99,77% de las consumo interno de energía está relacionado con las operaciones aéreas, por lo tanto, cualquier metodología que permita reducir el consumo relacionado a operaciones en tierra (administrativas y hangares de mantenimiento), serán comparativamente inferior.

La eficiencia en tierra no solo se puede a las áreas ya mencionadas, sino que también se pueden relacionar con el uso de determinados vehículos en tierra que pueden asistir a los trabajos en tierra o solamente que puedan trasladar personal.

Primero se realizará el enfoque netamente al cómo obtener energía eléctrica para las áreas administrativas, de mantenimiento y operación. Existen diversas formas de que la empresa obtenga energía eléctrica limpia y de manera eficiente, esto quiere decir que la empresa disminuirá los gases de efecto invernadero, uno de ellos es que la empresa realice negociaciones por la compra de la energía, para ello se podría buscar alguna empresa que genere energía eléctrica de manera sustentable, esto si la ley lo permite, ya que en Chile luego del cambio del régimen energético, las empresas pudieron optar a ser tratados como agente libre, permitiéndole negociar la compra de energía.

Si la empresa es capaz de negociar el cómo abastecerse de electricidad, tiene la oportunidad de no solo pensar en el ámbito económico, aunque esta obviamente es el principal factor que incide en la elección, sino que también elegir la opción más optima en términos del grado de contaminación que se produce para poder obtener energía eléctrica. Por ejemplo, LATAM a partir de junio del presente año empezará a abastecerse de energía eléctrica de una nueva empresa que le permitirá disminuir en un 20% los gastos de la empresa en términos de consumo energético, esto sin afectar la calidad de los servicios y el grado de consumo energético.

La línea aérea también puede optar a realizar proyectos complementarios que permitan obtener energía eléctrica adicional o de reserva para la empresa, es aquí donde entran en juego las tecnologías mencionadas en el sub capítulo anterior, donde puede optar a instalar paneles solares ya sea de tipo fotovoltaica o térmica, donde la primera se puede enfocar a generar energía eléctrica que abastezca la línea de suministro de cualquier área en la cual se necesita energía eléctrica o también tener esta energía como respaldo en caso de algún mal o incorrecto funcionamiento de la red principal, obviamente esta se debe pensar en cuanto será el grado de generación eléctrica y dependiendo de esto la empresa puede seleccionar en cual área tendrá un mayor aporte o también en base a que esta tenga una función crítica para la operación.

La energía térmica como se mencionó se utiliza principalmente para calentar agua de carácter sanitaria o calefaccionar, a esta última se puede dar un gran enfoque, debido a que la mayoría de las oficinas o áreas de mantenimiento tienen aire acondicionado, lo cual permite regular la temperatura al interior de dichas áreas. Utilizando esta tecnología la empresa puede destinar energía térmica almacenada para mantener climatizada las áreas de trabajo.

Otra forma de obtener energía eléctrica complementaria a la red es mediante la instalación de aerogeneradores, pero la instalación de estas debe estar a una distancia prudente si es que se quiere abastecer de energía a alguna área dentro del perímetro de algún aeropuerto, esto debido a que existen regulaciones que no permiten construir elevadas estructuras cercanas a éste, ya que podrían ser causante de algún accidente o incidente.

Por lo tanto, el método que tiene una mayor probabilidad de abastecer complementariamente la red eléctrica es la del panel fotovoltaica, obviamente esta tiene ventaja debido a las cualidades que tiene para obtener energía eléctrica, además de tener una instalación menos engorrosa que las otras. Otro punto a favor es que no solo se puede instalar en los edificios, sino que también se puede optar a que la empresa compre algún terreno en el cual se le permita la instalación de estos paneles, de manera que pueda obtenerse una mayor generación eléctrica.

Si bien la línea aérea debería concentrar sus recursos en mejorar su consumo de energía eléctrica mediante las medidas señaladas anteriormente, existen diferentes maneras de mitigar su consumo de combustible relacionados a los automóviles que asisten a la operación o al personal de la empresa.

Por ejemplo, el aeropuerto Arturo Merino Benítez actualmente se encuentra realizando modificaciones a su infraestructura, lo cual permitirá aumentar su capacidad de demanda futura, esto según proyecciones realizadas, esto permitirá dar abasto a la creciente y continua demanda de la industria aérea, debido a esta ampliación, la conectividad con el aeropuerto ha disminuido debido a la larga espera que se debe realizar para ingresar al aeropuerto, esto sumado a la escasa conectividad que existía antes, debido a la lejanía que tiene con la ciudad y que

además existe un escaso transporte público que llegue, siendo las únicas formas de llegar son mediante un vehículo particular o a través de empresas como son Turbus o Centro Puerto. Las empresas aéreas se ven obligados muchas veces a tener sus propios buses de acercamiento, de manera que su personal no tenga complicaciones para ingresar a sus zonas de trabajos, es aquí donde se puede tener la idea de tener buses que aporten a la disminución de gases de efecto invernadero, para ello se podrían utilizar vehículos híbridos o totalmente eléctricos.

Suele suceder que las líneas aéreas tienen solo enfoque en lo relacionado a la aeronave, por lo tanto, es fácil olvidar lo que sucede en tierra, tener como medida de eficiencia energética la utilización de vehículos eléctricos otorga como señal que la empresa no solo busca tener beneficios económicos, sino que también busca disminuir sus emisiones de gases contaminantes y a su vez disminuir el consumo de combustible. Esta idea también se puede aplicar a vehículos que dan asistencia a la aeronave, aunque esta generalmente se relaciona a las empresas de ground handling, la empresa puede optar a tener un contrato que tenga alguna especificación en la utilización de vehículos de este tipo, pero en los subcapítulos a continuación se expondrán los beneficios y también los problemas que puedan llevar a tomar estas medidas

Otro tipo de medida es la utilización de edificios no contaminantes, esto lleva a la empresa a realizar un estudio de impacto ambiental antes de la construcción de alguna infraestructura que desee utilizar, o que la misma estructura este diseñada de tal manera que permita a la empresa optimizar los recursos energéticos que utilice, de manera que la empresa pueda optar a la disminución de los costos asociados a estos.

Actualmente existe el certificado BREEAM²⁶ la cual entrega el grado de sostenibilidad de un edificio desde un punto técnico, este fue creado en Reino Unido en 1990. Existen diferentes tipos de certificaciones, tales como:

²⁶ De las siglas Building Research Establishment's Environmental Assessment Method.

- Nuevas estructuras: Dirigidas a proyectos residenciales y no residenciales, bajo códigos y estándares de cada país.
- En uso: Permite ayudar a los administradores a reducir los costos de funcionamiento y mejorar la eficiencia de los edificios.
- Reconstrucciones: Entrega un método de diseño para la reconstrucción la cual puede mejorar la sustentabilidad y eficiencia medioambiental.
- Comunidades: Asiste a profesionales a diseñar edificios sustentables

Por lo tanto, para obtener esta certificación se debe contar con un asesor reconocido e independiente, el cual se encargará de registrar el proyecto y plantear las distintas estrategias para que el edificio pueda obtener el certificado. Posteriormente se entrega una calificación que puede variar, desde que solo *pasa*, donde se obtiene una calificación del 30% hasta *excepcional* con calificación de 85%. A modo de ejemplo la nueva terminal 2 de Heathrow es la primera terminal aeroportuaria certificada con BREEAM, obviamente las líneas aéreas no realizan inversiones en las terminales, sino que serían las concesiones, con en el caso de Chile, las encargas de realizar estas inversiones, pero si ya se dio el pie inicial para construir este tipo de edificación relacionada con la aviación, las líneas aéreas podrían realizar inversiones en sus edificios administrativos que puedan a futuro tener este tipo de certificación.



Figura 3.18 Muestra la nueva terminal 2 de Heathrow, que está diseñada bajo estándares BREEAM (ATAG, 2018).

El mayor consumo de energía por parte de la línea aérea se centra en las operaciones aéreas y para esto se han realizados distintos métodos que permiten reducir el consumo de combustible las cuales se irán explicando. Existen diversas maneras de aumentar la eficiencia de las operaciones aéreas, desde intervenir

algunas fases que realiza la aeronave en el aeropuerto o durante el vuelo como tal, también utilizar distintos mecanismos que permitan a la aeronave tener un mejor desempeño y realizar ajustes a los motores, siempre y cuando no afecte a la seguridad de la operación.

Una de las medidas que más se utiliza es el taxeo con un solo motor o la mitad de la configuración total de motores, esto debido a la simplicidad de este método, ya que solo consiste en que durante el transito que ocurre cuando la aeronave sale del puente de embarque y llega a la pista para tomar posición para el despegue, este método se denomina Single Engine Taxi. De esta idea se crea el sistema EGTS²⁷, lo que resulta en una reducción significativa en emisiones de gases contaminante, este sistema funciona mediante la utilización de motores eléctricos que están conectados al tren de aterrizaje de la aeronave.

El sistema EGTS permite autonomía al movimiento en tierra de la aeronave, eliminando la necesidad de un tractor, la energía eléctrica necesaria es extraída mediante la utilización de la APU (Auxiliary Power Unit), por lo tanto, no necesita que los motores principales se encuentren encendidos. La APU es un dispositivo que provee energía, principalmente para el impulsar a los motores principales, una vez que este se encuentre encendido no solo provee energía eléctrica, sino que también provee energía neumática e hidráulica, esto depende del diseño.

El sistema EGTS pesa un total de 300 Kg y se encuentra permanentemente instalada en la aeronave, donde este permite acelerar hasta 20 nudos, el uso típico para este sistema es para la aeronave Airbus A-320. EGTS permite al actuador de la rueda del tren de aterrizaje aplicar el torque y la velocidad requerida que están determinadas por las instrucciones dadas desde la cabina de mando, la cual luego pasa al sistema denominado WACU (Wheel Actuator Controller Unit) que permite traspasar las instrucciones para el motor eléctrico que luego proporcionar energía al actuador de la rueda. Obviamente para poder realizar el traspaso de

²⁷ Proveniente de las siglas Electric Green Taxiing System

energía eléctrica la APU debe realizarse algunas modificaciones para general la energía adicional necesaria para impulsar el sistema EGTS.



Figura 3.19 Muestra la conexión de la rueda del tren de aterrizaje con el sistema EGTS (ATAG, 2018).

Como en cualquier industria del mundo, la innovación atrae o conlleva mayor innovación y el sistema EGTS no queda ajeno de esto, ya que se puede decir que tiene su propio competidor, el cual se denomina Taxibot, el cual permite mover a la aeronave durante su salida del puente de embarque, al igual que lo hace el EGTS. El Taxibot es un semirobot es un tractor que permite hacer de tractor a la aeronave, permitiéndole salir a la aeronave desde el puente de embarque hasta el punto de despegue, donde también realiza la función al revés, es decir, la fase luego del aterrizaje hasta el punto de desembarque. Este Taxibot permite eliminar el uso de los motores durante el taxeo, reduciendo significativamente el uso del combustible. Si a este concepto se le instalan una serie de baterías intercambiables de manera de funcionar con un motor eléctrico, el taxibot podrá operar durante un día completo sin tener que recargarse. Este sistema consiste en que el piloto de taxibot se instale en el tren de aterrizaje delantero de la aeronave, es decir, el que se ubica en la nariz del avión, para que luego el piloto de esté tome el mando, el sistema de frenos de las ruedas de los aviones se utilizan para desacelerar, por lo tanto, se tiene control de la dirección y la velocidad.



Figura 3.20 Muestra el funcionamiento del TaxiBot con la aeronave conectada (Tree Hugger, 2013).

Otro tipo de método utilizado es la optimización del uso de la APU/GPU, esta consiste en reducir la utilización de la APU en los aeropuertos en que se encuentre disponible el servicio del GPU, siempre y cuando el costo de uso del GPU no supere los costos de uso de la APU. La mayoría de las aeronaves actuales utilizan la APU en tierra mientras los motores principales se encuentran apagados, esto permite encender el aire acondicionado cuando los pasajeros están abordando, pero la utilización máxima de la APU se establece en base a las temperaturas presentes en el aeropuerto. El GPU permite suministrar electricidad a la aeronave, esta electricidad proviene del mismo aeropuerto o un generador, a su vez también permite suministrar aire acondicionado a la aeronave, por lo tanto, otorga las mismas capacidades que el APU, por lo que un uso óptimo de la combinación de ambos sistemas permitirá disminuir las emisiones de gases invernaderos.

Si solo se utiliza la GPU para suministrar aire acondicionado y energía eléctrica para algunas funciones determinadas (*limpieza interna de la aeronave*), solo se debería encender la APU para poder encender los motores, esto momentos antes de realizar el despegue. No solo disminuye las emisiones, sino que también el ruido, ya que no habría motor encendido. En el aeropuerto de Niza el año 2014 se instaló un sistema GPU denominado “pop out”, el cual emerge a la pista (Ver Figura 3.21)

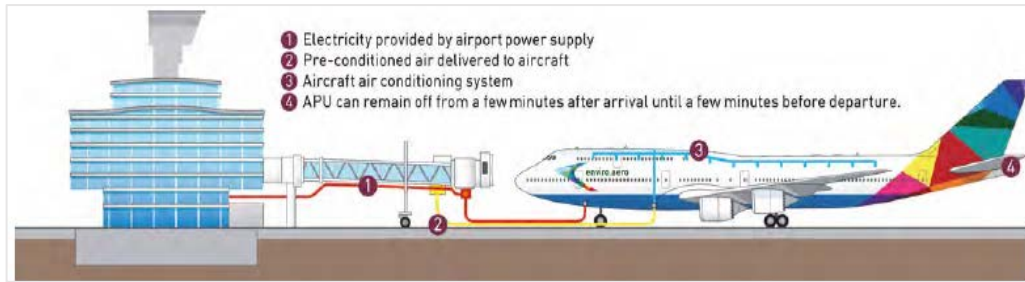


Figura 3.21 Muestra la conexión de "Pop Out" entre aeropuerto y aeronave (ATAG, 2018).

Un método comúnmente utilizado en el ascenso continuo que permite disminuir el consumo de combustible ya que no se realiza un despegue “escalonado”. Si bien este método suena sencillo, no lo es, debido a que se debe planificar con la torre de control, además se debe considerar el tipo de aeronave, ya que sus características influyen en el gradiente de ascenso de la aeronave, los principales gradientes son:

- Numero de Motores
- Peso de la aeronave
- Condiciones meteorológicas
- Elevación del aeródromo

El número de motores influye de manera que, si una aeronave que cuenta con cuatro motores solo utiliza dos de sus motores, que funcionan con exceso de potencia, la aeronave asciende con mayor rapidez, esto ya que abastecimiento de potencia de los motores se está distribuyendo en un menor número de motores. Lo anterior solo se puede afirmar si los motores elegidos²⁸ tienen la suficiente potencia y confiabilidad para poder realizar la tarea descrita.

Si bien las dos últimas no tienen que ver directamente con la aeronave, idealmente se deben considerar para la correcta utilización del método CCO²⁹, además se debe considerar datos locales, esto se refiere a obstáculos, así como también la población presente en los alrededores del aeródromo. Además, se debe asegurar que el aeropuerto pueda optimizar la segregación de los arribos y

²⁸ Al momento de realizar la compra de una aeronave a cualquier fabricante (Boeing y Airbus principalmente), la línea aérea puede elegir el motor que utilizara la aeronave.

²⁹ De las siglas en ingles de Continuos Climbs Operations, que significa “Operaciones de Ascenso Continuo”.

despegues sin la constante intervención de la ATC, a su vez dependerá del número de pistas y sus orientaciones. Otro punto para tener en consideración es al momento de realizar los despegues, ya que se deben tener en cuenta la separación de los tiempos de ascensos que realiza la aeronave, algunas tienen un ratio de ascenso mayor que otras, esto se refiere a que tiene un tiempo menor en ascender a su altura ideal.



Figura 3.22 Presenta la diferencia entre realizar un ascenso continuo y escalonado (Sustainable Aviation, 2013).

Las condiciones como temperatura y presión afectan al ascenso continuo, ya que si se presenta una densidad mayor a baja altura agrega resistencia adicional a la configuración de los flaps extendidos, requiriéndose energía adicional.

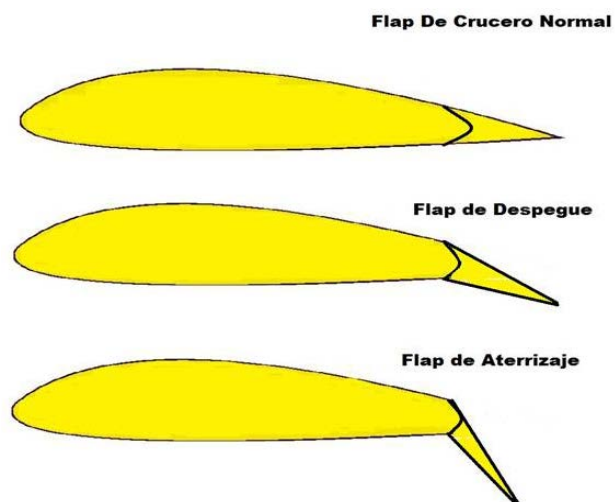


Figura 3.23 Presentan la condición de Flap en diferentes fases del vuelo (Morales, 2014).

Luego de considerar todos los factores anteriores se pueden realizar distintos planes de CCO, que varían para las situaciones del espacio aéreo que presenta el aeródromo. Se definirán dos principalmente, ya que de estos se pueden extraer la información suficiente para que se entienda lo simple y hasta complejo que puede resultar diseñar un ascenso continuo para las distintas posiciones que se pueda encontrar la línea aérea.

La primera se denominará un CCO básico, esto ya que está basado en procedimientos diseñados con un ascenso irrestricto, es decir, que no se presentan alguna de las restricciones anteriormente señaladas. Esto permite a la aeronave ascender con una variada pendiente positiva, ya que el área que se presenta en la Figura 3.24 muestra el rango en el que puede ascender la aeronave, permitiendo de esta forma realizar un ascenso pronunciado (Maximum Climb Gradient) o gradual (Minimum Climb Gradient), pero en ambas el ascenso sigue considerándose continuo, ya que no se varía el ángulo en el que se produce el ascenso.

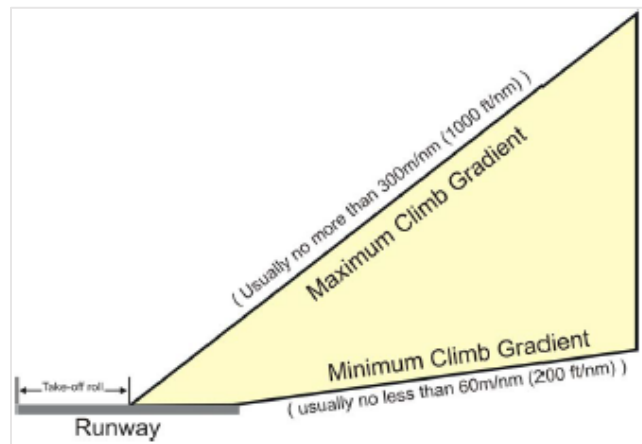


Figura 3.24 Muestra los gradientes entre los que puede ascender una aeronave (OACI, 2010).

El segundo es un CCO para múltiples gradientes de ascenso, diseñada para un espacio aéreo con restricciones, es por esto que se puede dar la posibilidad de que se deba aumentar el gradiente de ascenso mínimo, para esto se diseña un SID³⁰,

³⁰ De las siglas en ingles de Standard Instrument Departure, que significa “Salida Estándar por Instrumentos”

esta hace relación a un ascenso bajo una ruta diseñada para el aeródromo o para una pista específica del aeródromo, normalmente está diseñada por el ATS. Pueden haber variados SID para una pista, esto debido a las distintas capacidades que puede presentar la aeronave, por ejemplo, para el caso de SID 1 (Ver Figura 3.25) es válido para aeronaves que están capacitados para realizar un alto ratio de ascenso, pero para aquellas aeronaves que no puedan realizar esta acción se diseña un segundo SID.

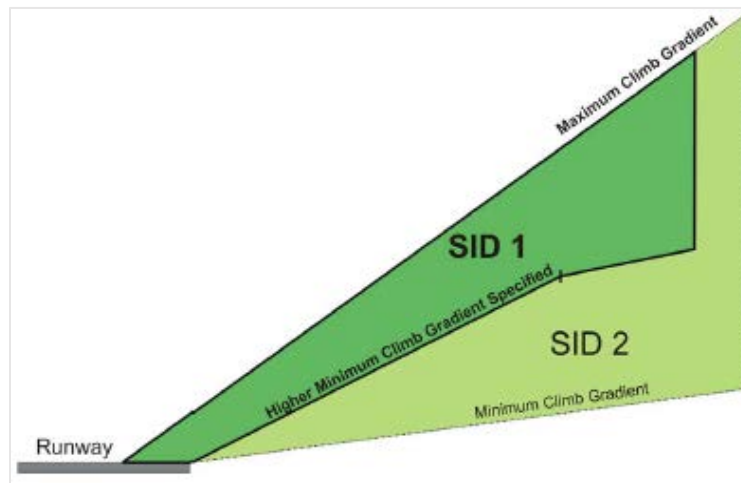


Figura 3.25 Muestra diseño de SID's de acuerdo a distintas condiciones presentes (OACI, 2010).

La diferencia entre ambos SID no queda bien definida en la Figura 3.25 ya que presenta solo el perfil de ascenso de la aeronave, esto queda más claro en la Figura 3.26 ya que se presenta de un punto de vista distinto. En esta se puede observar que el SID 2 puede tener dos opciones de ascenso, en donde una presenta que la aeronave puede rodear el obstáculo terrestre sin cambiar su trayectoria posterior a alcanzar su altitud optima de vuelo, mientras que la otra es similar pero la aeronave vuelve a una trayectoria similar a la de SID 1. Esta diferencia en SID 2 se puede debe a la ruta que debe tomar la aeronave para llegar a su destino o simplemente por presencia de algún factor climático. Esto demuestra que se pueden diseñar distintas trayectorias para los SID diseñados.

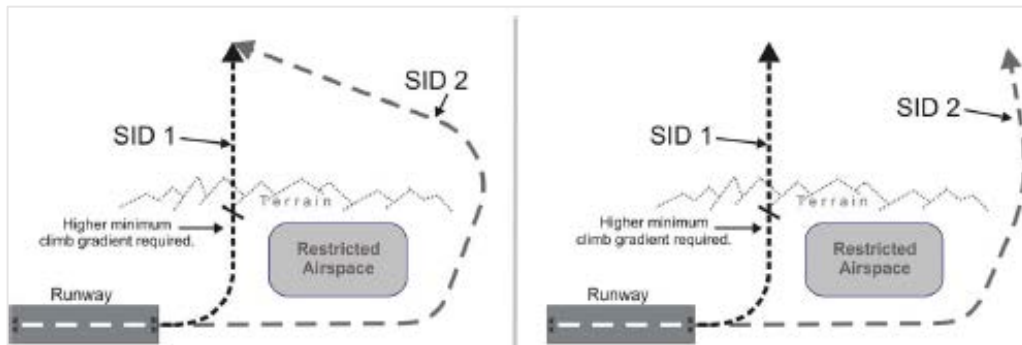


Figura 3.26 Muestra diseño de SID's en una vista superior (OACI, 2010).

Lo anterior será válido si se cumplen las distintas limitaciones que pueda presentar tanto la aeronave como el aeródromo, pero todavía falta un factor por explicar y aquel es el entrenamiento de la tripulación, particularmente el piloto y el copiloto. Para proceder a realizar un ascenso continuo, estos deben aprobar las restricciones de velocidades que se puedan encontrar, así como también los posibles efectos del viento, presión y condiciones de hielo presente., pero no solamente se tiene lo anterior, sino que también se debe considerar el nivel de automatización que pueda tener la aeronave al momento de realizar el ascenso. Luego de considerar todo lo anterior y pasar por cada etapa que se necesita para planificar un ascenso continuo, que será solo para un de pista en particular, se puede aprobar la utilización de este método de eficiencia energética.

Así como existe el ascenso continuo, también existe el descenso continuo (CDO). Similar al caso anterior al momento de realizar un descenso continuo se está disminuyendo el consumo de combustible, ya que al realizar un descenso “escalonado” los motores constantemente se encuentran generando intercambio de potencia. Dicho de otra manera, el descenso continuo es una técnica que permite a la aeronave tener una posición optima utilizando un mínimo de empuje de los motores, mientras se realiza un descenso a niveles de vuelos que mantengan la operación segura.

Al igual que en el caso del ascenso continuo, para realizar un descenso continuo se deben verificar primero las condiciones de la aeronave, así como también las del aeropuerto, ya que esta técnica está diseñada para cada uno de los aeropuertos en los que opera la línea aérea. Por lo que, tanto el CCO como CDO se deben tener en consideración similares gradientes.

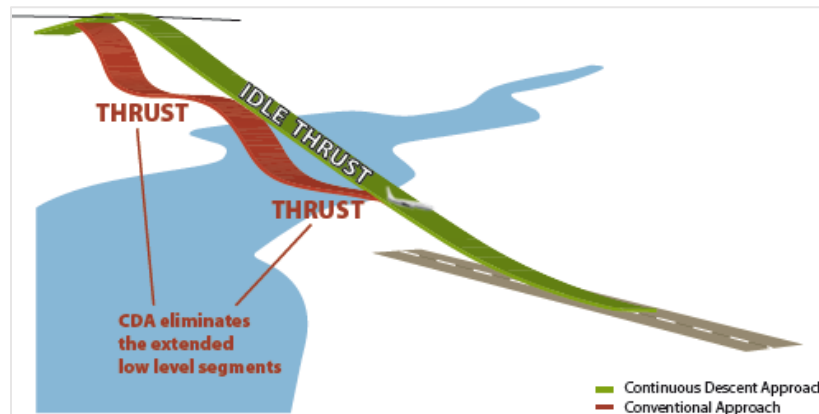


Figura 3.27 Muestra diferencia entre descenso continuo y escalonada (OACI, 2010)

Pero en CDO se debe considerar adicionalmente la aproximación a la pista, es por esto que se diseñan dos tipos de métodos que están ligados a las rutas que utilizan las aeronaves, estas se denominan “fijados laterales”. El nombre de este método deriva que literalmente el aproximamiento de la aeronave se hace de manera lateral y paralela a la pista de aterrizaje, pero actualmente se utilizan dos metodologías, una de ellas es conocida como “camino abierto” y el otro como “camino cerrado”.

La metodología de “camino cerrado” está diseñada de manera que considera descenso continuo hasta el momento en la aeronave toca la pista de aterrizaje. Por lo que se afirma que esta metodología considera todos los pasos durante la aproximación, desde que la aeronave empieza a realizar las aproximaciones previas para alinearse con la pista, hasta que la aeronave se encuentra alineada para realizar el descenso continuo y llegar a la pista de aterrizaje. Además, se asocia a STAR³¹

³¹ De las siglas en Inglés de Standard Instrument Arrival, que significa “Arribo Estándar por instrumento”

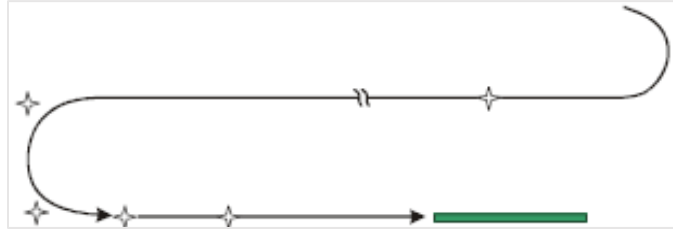


Figura 3.28 Diseño de aproximación de "camino cerrado" (OACI, 2010).

Mientras que la metodología de “camino abierto” está diseñada para considerar solo los momentos de aproximación previo a comenzar el descenso. Una diferencia con la anterior metodología es que considera dos tipos de aproximaciones, una de ellas dadas por el piloto y otra considera el caso de una posible corriente de viento que pueda afectar a la aeronave. En la primera el piloto realiza una estimación de la distancia requerida para realizar una aproximación optima de manera de descender a discreción del piloto.



Figura 3.29 Diseño de aproximación de "camino abierto" (OACI, 2010).

Mientras que la segunda se realiza una combinación de rutas fijadas para el aproximamiento a la pista, esto debido a que se tiene conocimiento de las condiciones meteorológica presentes. Por lo tanto, la diferencia principal entre ambas metodologías recae en que uno está diseñado con la inclusión del punto de aproximación final (FAP).

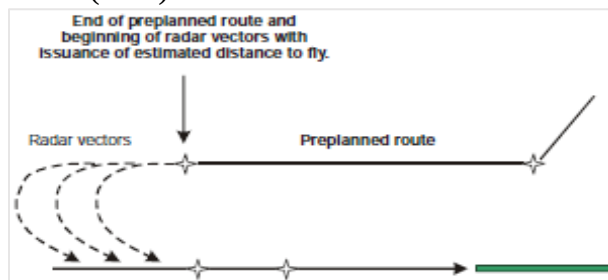


Figura 3.30 Diseño de aproximación de "camino abierto" en combinación con rutas fijadas (OACI, 2010).

Pero para lograr una optimización tanto del arribo como del despegue, estos se deben diseñar en conjunto, esto debido a que se debe segregar el espacio aéreo en base al peso de la aeronave al momento de ascender y/o descender, ya que ambos pesos son totalmente distintos y que adicionalmente en el aeródromo existen múltiples interacciones de diversos empujes de motor que puedan afectar a la seguridad del vuelo que le siguen. Además, se tienen que considerar todos los factores anteriormente expuesto (número de pistas, largo de la pista, etc.), es por esto que se diseña un mapa de interacción entre CCO y CDO (ver Figura 3.31) de esta manera se tienen múltiples perfiles que tienen el potencial de utilizar un SID/STAR para las trayectorias de vuelo y poder realizar un óptimo arribo y despegue.

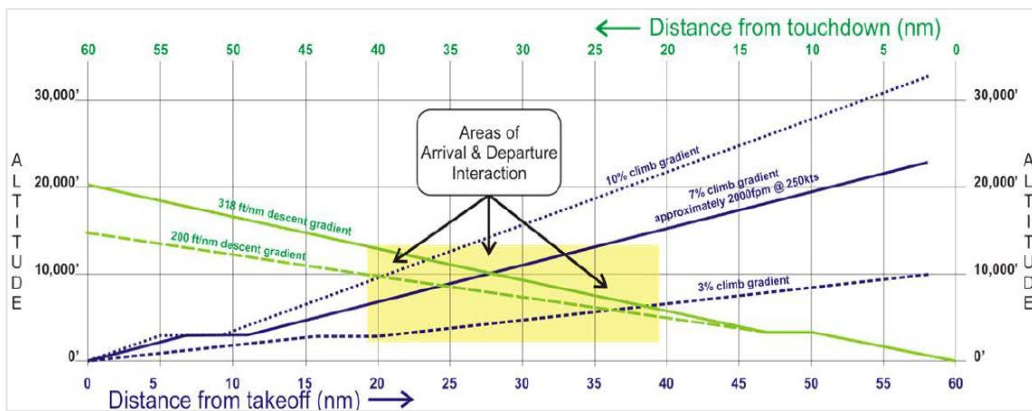


Figura 3.31 Muestra el área de interacción de la planificación de ascenso/descenso continuo (OACI, 2010)

Para lograr un ascenso y un descenso continuo es necesario hablar de los sistemas de navegación, ya que sin ninguno de estos se podría realizar una optimización de las rutas que tienen las aeronaves, así como también la aproximación al aeródromo. A lo largo de la historia han existidos múltiples sistemas de navegación, algunos bastante básicos y otros con una mayor complejidad, pero con mayor precisión. Lo que permite finalmente los sistemas de navegación es administrar eficientemente el espacio aéreo para un óptimo y seguro tráfico aéreo.

Pero administrar el espacio aéreo no es tarea fácil, ya que se debe monitorear un objeto que viaja a aproximadamente a 900 kilómetros por hora y a esto se le debe

sumar el impacto de las condiciones meteorológicas, áreas con espacio aéreo restringidas (principalmente por la existencia de bases militares) y por sobre todo mantener niveles altos de seguridad.

Es por esto que actualmente se está utilizando un concepto denominado *Performance-based navigation* (PBN). Este concepto es la base para la definición de un conjunto de sistema de navegación junto a sus equipos relacionados, además entregan una guía de implementación. Este concepto utiliza dos variantes en conjunto, los cuales son:

- RNAV (Air Navegation)
- RNP (Required Navigation Performance)

Lo que realiza básicamente el RNAV en la utilización de diversas radioayudas en la ruta, permitiendo utilizar rutas “, incrementando la eficiencia del espacio aéreo. Mientras que el RNP utiliza una serie de parámetros que deben cumplir los equipos de navegación para **poder** volar en zonas RNAV, este sistema también permite definir un cubo alrededor de la aeronave (Ver Figura 3.32) de la cual la no se puede desviar y si lo hace no puede exceder el 5% del tiempo, por lo que RNP optimiza el uso del espacio aéreo.

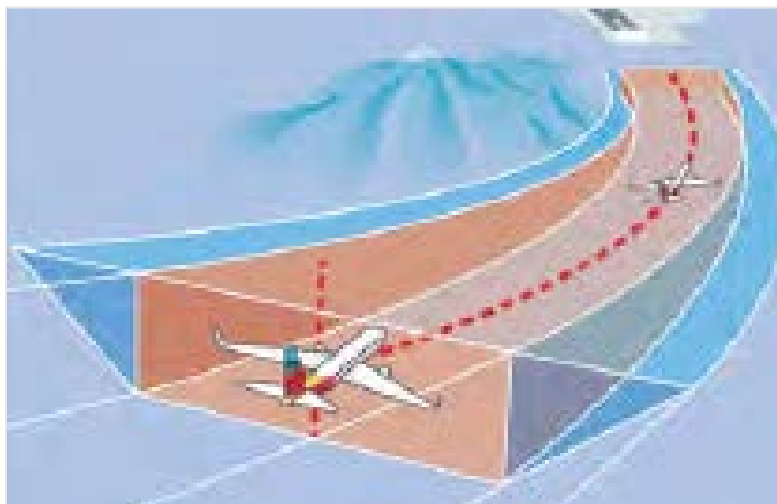


Figura 3.32 Representación de uso de sistema RNP (ATAG, 2018).

Por lo que básicamente se podría hablar de que el sistema RNP utiliza la tecnología del RNAV para realizar un vuelo con mayor precisión (Ver Figura 3.33), aumentando la eficiencia en la navegación y permitiendo reducir la separación entre las aeronaves, que a su vez aumentan la creación de rutas y tener un tránsito con mayor fluidez

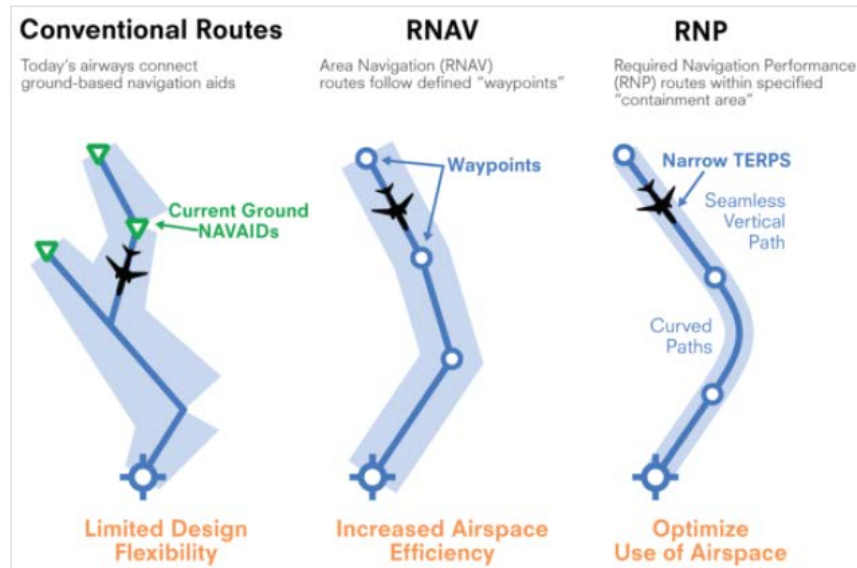


Figura 3.33 Beneficio de la navegación satelital a lo largo del tiempo (ATAG, 2018).

Además, este sistema permite aterrizaje ante condiciones climáticas adversas de manera de que la aeronave no realice sobrevuelos innecesarios y que puedan causar malestar en la población circundante.

De esta manera la diferencia principal recae en sus especificaciones, ya que RNAV tiene especificaciones basada en la navegación de área que no incluye el **requisito** de vigilancia y alerta de la performance a bordo. Mientras que el RNP tiene especificaciones basada en la navegación de área que incluye el **requisito** de vigilancia y alerta de la performance a bordo.

Ambas especificaciones tienen designaciones mediante prefijos, las cuales pueden significar aplicaciones de navegación en áreas oceánicas y continentales, navegación en ruta y área terminal, fases de vuelo y requisitos adicionales que han de determinarse (Ver Figura 3.34)

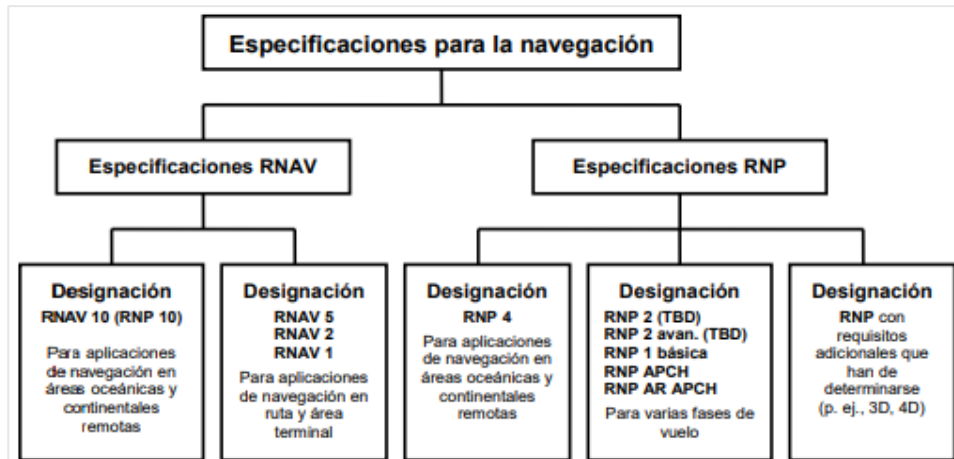


Figura 3.34 Diagrama que explica las especificaciones y diferencias entre RNAV y RNP (OACI, 2010).

Pero la navegación aérea en la actualidad le debe todo a la navegación satelital, para ello se utilizan las características de un Sistema Global de Navegación por Satélite o GNSS de sus siglas en inglés, ya que es reconocido como un estándar para las ayudas a la navegación aérea. GNSS es un término genérico referido a una constelación de satélites, en la actualidad existen dos principales en un óptimo funcionamiento, uno de ellos es el GPS (norteamericano) y el otro es GLONASS (ruso). Mientras que otros 4 están en fase de desarrollo o en transición a operar completamente³², entre ellos podemos nombrar a GALILEO (europeo), BEIDOU (chino), QZSS (japonés) y IRNSS (indio).

Lo que realiza los sistemas satelitales actuales es determinar la posición a través de la triangulación mediante la utilización de tres satélites, mientras que un cuarto determina la altitud, también se debe tener uno de *back-up* en caso de alguno tenga no esté operativo y tener alternativa en caso de una hipotética falla.

En la aeronave se encuentra un receptor la cual obtiene la señal que emiten los satélites, donde se sincroniza la información. La posición del satélite se transmite mediante un mensaje de datos en código unido a la sincronización, si bien existe una serie de errores, estos deben ser corregidos debido a los efectos atmosféricos, pero los satélites utilizan relojes atómicos con precisión de nanosegundo

³² Existen dos posibilidades, uno de ellos es que se estén lanzando los satélites que conformaran la constelación y el otro es que los satélites ya estén en órbita y se están afinando detalles finales.

otorgando una alta precisión, garantizando exactitud en los cálculos de posicionamiento.

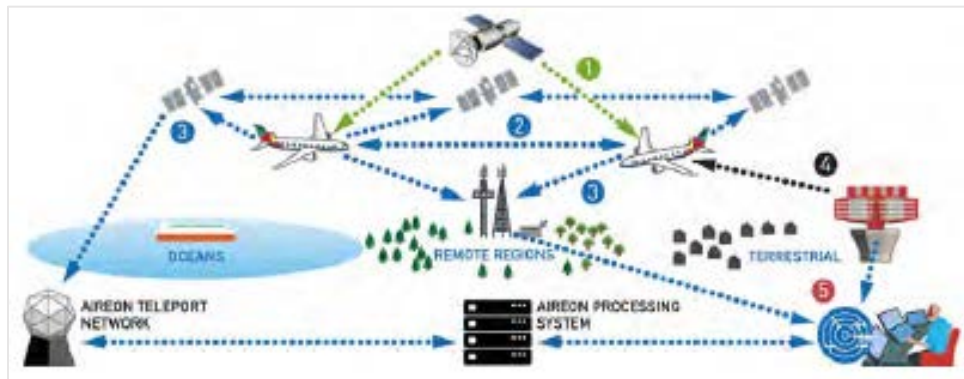


Figura 3.35 Representación de transmisión de la navegación satelital hasta la aeronave (ATAG, 2018).

Pero también existen cuatro sistemas que permiten aumentar la precisión, estos son:

- ABAS (Aircraft-Based Augmentation System), aumentación a los receptores GPS con detección de fallos y mejora de la precisión.
- GBAS (Ground-Based Augmentation System), se basa en aumentación de precisión con estaciones suplementarias terrestres sin la dependencia de estaciones geoestacionarias, es por esto que es útil en las proximidades de los aeropuertos.
- GRAS (Ground-based Regional Augmentation System), consiste en estaciones GBAS desplegadas en un área extensa, permitiendo contar con una aumentación SBAS de carácter regional.
- SBAS (Aircraft Satellite-based Augmentation System), comprende todos los sistemas de aumentación basadas en satélites, entre ellos podemos encontrar WAAS (USA), EGNOS (europeo) y MSAS (japonés). Se encuentran en proceso de desarrollo el GAGAN (indio) y en proyecto SNAS (chino) y SACCSA (latinoamericano).

Utilizando la navegación satelital actual se permite usar una nueva tecnología denominada Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) la que permite tener una ruta optima mediante la utilización de estaciones en tierra,

GPS³³ y servicios ATC (Air Traffic Controllers). Lo que realiza este sistema básicamente es una vigilancia cooperativa en la que un avión determina su posición y la emite periódicamente, este sistema es automático ya que no requiere acción externa, pero si es dependiente ya que depende de los datos del sistema de navegación de la aeronave

Como se muestra en la Figura 3.35 primero se obtiene las coordenadas de la posición de la aeronave mediante la utilización de algún GNSS, luego la posición es transmitida junto a otra información (meteorología, cercanía con otras aeronaves, entre otras) a cualquier aeronave o a los equipos de estaciones en tierra, esto permite reemplazar al radar secundario³⁴. Luego la señal ADS-B es enviada a los satélites Aireon y receptores en tierra que utilizan menor área. Aireon es una compañía norteamericana que provee data para el control del tráfico aéreo. Por último, la información combinada es enviada por completo a un ATM (Air Traffic Management) y a los ATC.

Esta tecnología está siendo instalada a lo largo de mundo, pero todavía no se puede cubrir en los océanos, es por esto que durante el año 2018 Aireon utilizara una constelación satelital denomina Iridium NEXT, instalando receptores ADS-B en 66 satélites de baja orbita, permitiendo cruzar la data y creando un sistema dinámico para asegurar la continuidad de la cobertura durante la totalidad del vuelo, este sistema aparte incrementara la optimización y otorgará una mayor flexibilidad en la gestión del espacio aéreo.

Otro tipo de método que se utiliza es el lavado del motor antes del despegue, ya que durante la espera en el aeropuerto y también mientras la aeronave se encuentra en vuelo (en particular al despegue) se puede acumular suciedad además de insectos. Esto provoca una leve disminución de la eficiencia del motor y disminuye el tiempo de vida de estos, por lo cual un motor consumirá mayor

³³ Se utiliza este como ejemplo ya que es el más se utiliza a nivel mundial.

³⁴ Es un sistema que permite identificación y seguimiento de aeronaves, esto se logra mediante el envío de una señal desde la aeronave la cual llega a un receptor en tierra, de esta manera se obtiene la posición de la aeronave.

combustible y operará a mayor temperatura debido a esta acumulación, lo que puede provocar un mantenimiento anticipado.



Figura 3.36 Representación de uso sistema EcoPower (U.S Air Force, 2010).

El sistema EcoPower ha demostrado la efectividad de remover las partículas contaminantes del compresor del motor, restaurando la performance del motor, reduciendo el consumo de combustible. Este sistema utiliza detergentes no tóxicos, el agua es filtrada y desionizado para volver a ser utilizada.

El siguiente método es bastante simple y es la de reducción de peso durante el vuelo, para ellos existen múltiples formas de realizarlos desde utilizar tablets para almacenar los manuales de vuelo, mapas y cartas que necesitan los pilotos, así como también el uso de contenedores livianos o Unit Load Devices (ULDs) como se denominan técnicamente en la industria, pero a la vez resistente para la carga.

En la aviación aunque por muy simple y básico que parezcan las soluciones que permiten reducir el consumo de combustible y que a su vez reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, pueden marcar la diferencia en la sustentabilidad y es por esto que aprovecha las oportunidades que otorgan la tecnología actual, como son las tablets las que permiten a los pilotos tener toda la información que necesitan de los manuales de vuelos, además esto les permite actualizar automáticamente dichos manuales constantemente, de esta manera no deben estar esperando a que les llegue las nueva versión del manual de vuelo a sus respectivas líneas aéreas. Esta reducción de peso es alta, ya que un manual convencional en

conjunto con los mapas de aproximación de los aeropuertos sumado al plan de vuelo suma aproximadamente 20 kilogramos, mientras que un iPad (por ejemplo) pesa aproximadamente 500 gramos. Además, esto permite reducir el consumo de papel, lo cual también es una forma de reducir la huella de carbono de la línea aérea, pero indirectamente, ya que la fabricación de papel proviene de los árboles, los cuales al no ser talados para la manufacturación de manuales y mapas principalmente ayudan a reducir el CO₂ de la atmosfera.

Los ULD permiten realizar el transporte de carga eficientemente, ya que estos permiten distribuir la carga en los contenedores que estarán dentro de la aeronave, de esta manera se puede calcular el centro de gravedad al momento de despegue de la aeronave otorgando seguridad durante el vuelo, para que la carga no se mueva. El centro de gravedad de una aeronave es de mucha importancia para la estabilidad y seguridad de la aeronave, este punto no es fijo ya que se mueve con la distribución del peso, pero si están fijados los límites a los cuales puede estar. Si una aeronave se encuentra dentro de los límites es manejable y responde a los mandos de forma prevista y con seguridad, pero si el desplazamiento es mayor a los límites permitidos se puede volver inmanejable poniendo a los ocupantes en grave riesgo. Como se puede observar en la Figura 3.37 se ven las interacciones de las fuerzas que tiene una aeronave, esta aeronave es estable debido a una buena disposición de su peso, tal como se refleja en la balanza.



Figura 3.37 Fuerzas que interactúan con el centro de gravedad de la aeronave (Manual Vuelo, 2014).

El peso de un ULD puede variar dependiendo de sus dimensiones, pero la utilización de uno de estos fabricados con la tecnología MACRO-Lite son un 20% más liviano, siendo ideal para la industria del transporte de carga aérea ya

que le permite a la línea aérea reducir el consumo de combustible. Por lo que, la utilización de contenedores livianos viene apoyada también por nuevas tecnologías que las hacen más resistentes al fuego. Los materiales con los que están siendo contruidos algunos contenedores que están siendo actualmente utilizados por UPS Airlines, Latam Airlines Group (LAN cargo, TAM cargo, MasAir) y Finnair, están compuesto por paneles hechos de un material de plástico denominada MACRO-Lite, que esta reforzada con una fibra (Kevlar) similar a las que utilizan los chalecos antibalas. Al utilizar un material similar al Kevlar permite tener una resistencia cinco veces mayor que el acero o aluminio, que era con lo que eran contruido comúnmente los ULD.



Figura 3.38 Muestra un ULD tradicional (ATAG, 2018).

Un método bastante simple de aplicar es la de volar a un mayor nivel de altura, ya que el nivel de vuelo es inversamente proporcional al consumo de combustible, esto se debe a tres factores que constantemente interactúan con el rendimiento del motor, estos son la densidad, temperatura y presión. Es importante mencionar los fenómenos que ocurren con estos factores, uno de ellos es que a medida que aumenta la altura la densidad del aire disminuye, así como también la presión y la temperatura. La densidad al ser calculada con la ecuación de los gases ideales es el producto de la temperatura y presión, manteniendo constante el peso, pero la disminución de la temperatura tiende a contraer el gas aumentando la densidad, por otra parte, la disminución de la presión a mayor altura disminuye la densidad, pero existe una tendencia (experimental) que

explica que la presión influye más sobre la densidad que la temperatura, es por esto que se explicaría que esta disminuye con la altura. Además, se debe considerar los datos correspondiente al SFC ya que cada motor tiene una eficiencia de consumo de combustible para las distintas fase, la cual para este caso será la de crucero.

El biocombustible en un futuro cercano será el método que más se utilizara y la razón es que cada vez queda menos petróleo, que es de donde se obtiene el combustible para los aviones comerciales. Este combustible es el resultado de derivados de biomasa, principalmente de plantas u desechos metabólicos. Si bien este combustible emite CO₂ se considera que no tiene emisiones netas de carbono, en otras palabras, no genera huella de carbono ya que al quemarse el CO₂ es absorbido inmediatamente por las plantas.

Tabla 3.3 Muestra la diferencia entre especificaciones de un A320 y A320NEO; Elaboración Propia: (Airbus , 2018)

Airbus A320-200	Especificaciones	Airbus A320neo
37.57	Longitud ³⁵	37.57
34.1	Envergadura ³⁵	35.8
11.76	Altura ³⁵	11,76
2	Motores	2
98-120	Empuje por Motor ³⁶	110-150
196- 240	Empuje Total ³⁶	220-300
78.000	MTOW ³⁷	79.000
6.100	Autonomía ³⁸	6.500
0.82	Velocidad Max Operativo (Mach)	0.82
150	Capacidad Pax (2 Clases)	165
190	Capacidad Pax máxima	194

Se pueden agrupar en tres tipos de biocombustibles, uno de ellos es la denominada primera generación las cuales se producen a través del azúcar, almidón, grasas animales o aceite vegetal. La denominada segunda generación se genera a partir de cultivos no comestibles y que son considerados como

³⁵ Unidad se encuentra en metros

³⁶ Unidad se encuentra en kilonewton

³⁷ Unidad se encuentra en kilogramos

³⁸ Unidad se encuentra en kilómetros

desperdicios, entre ellos se encuentran las vainas, cascara de frutas o tallos. Mientras que la tercera y última generación son aquellos que se producen a través de algas, donde se genera aceite o combustible del mismo producto.

Por ultimo y la que tiene mayor repercusión en la eficiencia del consumo de combustible es sin lugar a duda la renovación de la flota, según estadísticas de Air Transport Action Group (ATAG, 2018) el 70% de las aeronaves en servicio actualmente son un 80% más eficiente en el consumo de combustible que aeronaves de 1960. A modo de ejemplo se comparará las capacidades y especificaciones de dos modelos de la misma familia de aeronave, estos serán el Airbus A320-200 y el Airbus A320neo, ya que es el mejor caso que se puede explicar para demostrar que realizar pequeñas modificaciones a una aeronave puede hacer la diferencia en el consumo de combustible, aumentando la eficiencia energética.

Como se puede observar en la Tabla 3.3 el Airbus A320neo tiene múltiples beneficios, los cuales son principalmente operativos, la envergadura es mayor que su predecesor debido a que cuenta con los “Sharklets”, estos permiten disminuir el consumo de combustible en un 3,5% aproximadamente a alturas superiores a 2.800 kilómetros, esto debido a que disminuyen los vórtices que se provocan durante el vuelo, es decir, disminuyen la resistencia durante el vuelo .pero aumenta su peso en 200 kilogramos.

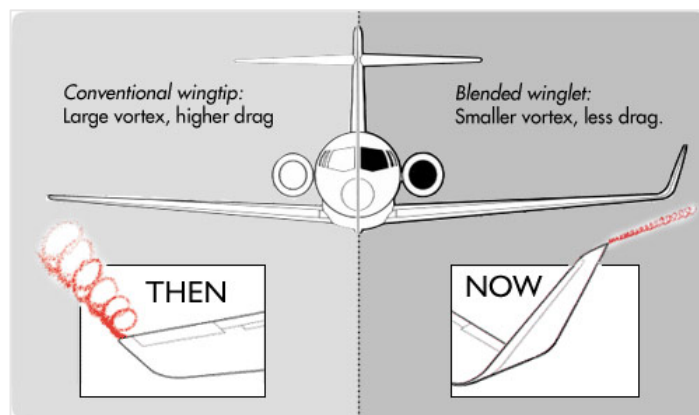


Figura 3.39 Diferencia con la instalación de "Sharklets" (The Flying Engineer , 2013).

Además, se utiliza motores con una mayor eficiencia y empuje, esto debido al aumento proporcional del ratio bypass de los motores, permitiendo disminuir el ruido de los mismos. También aumenta la autonomía, permitiendo realizar rutas más directas. Estas mejoras permiten obtener un mayor margen operacional debido a que se puede aumentar el número de pasajeros y carga que se pueden transportar, mejorando los beneficios para la línea aérea.

3.3.2 Beneficios de Implementación

Uno de los principales beneficios de la implementación de medidas de eficiencia energética es obviamente la reducción del consumo de combustible y eléctrico, que a su vez representa lo más importante para cualquier empresa y en particular a los que la dirigen que es la reducción en costos relacionados a estos temas. Es importante mencionar que generalmente para cualquier empresa una de sus mayores preocupaciones es la reducción de los costos, ya que esto permitirá aumentar los beneficios, asumiendo obviamente que las ganancias se mantienen constantes.

Es por esta razón que empresas les importa realizar inversiones en eficiencia energética, ya que es la mejor inversión que se pueda realizar producto de que optimiza distintos procesos sin aumentar sus costos. Para una línea aérea esto empieza desde la elección de la aeronave que se quiera adquirir, ya que algunas tienen mayor eficiencia del combustible en distancias predeterminadas que otras, así como también las actualizaciones de nuevas aeronaves en algunas partes de fuselaje o componentes que se utilizan. Por ejemplo (Boeing 747-8 vs 747-400) se reduce en un 16% las emisiones de CO₂ y un 3,5% de eficiencia en consumo de combustible.

La nueva generación de motores permite una mayor eficiencia, Rolls-Royce utiliza la última tecnología y procesos de desarrollo permitiendo disminuir las emisiones de CO₂ entre 20% y 25% comparado con la primera generación de la serie Trent.

Para las líneas aéreas el peso de la aeronave es un directo indicador del consumo de combustible que tendrá la aeronave, ya que a mayor peso mayor es el consumo. Para esto se pueden realizar reducciones de un 30% del peso a los asientos, permitiendo transportar un mayor número de pasajeros y reduciendo más de 21.000 toneladas de CO₂ anuales. La implementación de carros de catering con reducción de peso de hasta un tercio del modelo anterior a “Quantum” permite reducir en 28.000 toneladas de CO₂ anualmente.

Como se mencionó en el subcapítulo anterior en los aeropuertos y edificios se pueden realizar inversiones para aumentar la eficiencia energética en tierra, mediante la utilización de paneles fotovoltaico, los primeros traerían mayores beneficios que el otro debido a la extensión del área, es así como se puede llegar a tener un 25% de la electricidad requerida por el aeropuerto, este es el ejemplo de lo que realizo el aeropuerto de Atenas el cual produce 13.000 mWh de electricidad anualmente, reduciendo sus emisiones de CO₂ en 11.500 toneladas en el mismo periodo. Otro ejemplo, pero en menor escala comparativamente hablando es la instalación de paneles solares en el aeropuerto de Brisbane que produce un estimado de 125 mWh anualmente, reduciendo sus emisiones de CO₂ en 118 toneladas anualmente.



Figura 3.40 Aeropuerto de Atenas utilizando paneles fotovoltaicos (ATAG, 2018).

El siguiente método es bastante común en la actualidad y es la utilización de la mitad de los motores normales de una aeronave durante el taxeo de la aeronave, permitiendo de esta manera reducir aproximadamente 2.362 toneladas de CO₂

durante el 2014. La disminución del consumo de combustible dependerá del tipo de aeronave (Ver Tabla 3.4), según estimaciones de Eurocontrol³⁹ se reduciría entre 12 a 36 kilogramos de combustible en esta fase del vuelo.

Tabla 3.4 Diferencia entre el uso de un solo motor durante el taxeo en pista frente a un taxeo regular (EuroControl, 2016).

Aeronave	Taxeo regular (Kg/min)	Reducciones SETO (Kg/min)
A320	12	4
A321	12	4
A330	20	6,25

Continuando con los principales beneficios se tiene la utilización de vehículos híbridos para el acercamiento al aeropuerto, donde las emisiones disminuirán ya que al utilizarlos estos usan la energía que abastece el motor eléctrico hasta alcanzar los 50 km/h luego de superar esta velocidad el motor de gasolina se enciende, por ende si se utiliza en ciudad para recoger y dejar al personal se podría disminuir el consumo de combustible debido a que generalmente en la ciudad es donde más se utiliza, es por esto que dependiendo del tipo de vehículo se podría reducir el consumo hasta un 50%, los principales beneficios se verán a largo plazo (10 años).

El sistema EGTS es un posible sustituto al taxeo con la mitad de los motores, este es un método que se utilizara en el futuro cercano, ya que fue presentado recién el año 2013 y al año siguiente 30 pilotos de todas partes del mundo tuvieron la oportunidad de realizar pruebas. Solo se han implementado en Airbus A320 y se predice que ahorrara 250.000 USD al año por cada aeronave que cuente con este sistema en términos de combustible, además de reducir un 61% de emisiones de CO₂.

Existen tecnologías actuales que permiten combinar el uso de la APU y la GPU, es por esto que se puede utilizar una configuración que permite solo el uso de la segunda durante dos minutos luego de que la aeronave llega al puente de

³⁹ Organización Intergubernamental, conformado por 41 miembros que busca eficiencia y cuidado medioambiental en el tráfico aéreo europeo.

embarque y hasta 5 minutos antes de abandonar el puente de embarque para luego despegar, durante este tiempo la APU se encuentra apagada ya que su función es suplida por la GPU, esta técnica permite reducir hasta 58.000 toneladas de emisiones de CO₂ anualmente. Otro sistema similar es que se cambia la energía generada por la GPU por la que genera el mismo aeropuerto, este método reduce las emisiones de CO₂ hasta 416 toneladas anualmente.

La planificación de realizar un descenso y ascenso continuo son similares desde el punto de vista de los actores que participan, pero sus beneficios cuantitativos son distintos. Al realizar un descenso continuo permite reducir el consumo de combustible, así como también el ruido, según estimaciones del aeropuerto de Budapest en conjunto a la línea aérea Wizz Air al implementar esta técnica se podría reducir el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ en un 48% por cada arribo, por lo que la reducción sería de 323 kilogramos por cada aeronave. La línea aérea Kenya Airways trabajo junto a IATA y la autoridad de aviación civil del país durante seis años realizaron descensos continuos en el 85% de los arribos en 15 aeropuertos distintos, evitándose 5 millones de toneladas de CO₂ durante ese periodo.

Mientras que el ascenso continuo no tiene el gran impacto que tiene el descenso continuo en términos de reducciones de emisiones y consumo, aun así, cada reducción es importante, es por esto que se puede evitar entre 100 y 300 kilogramos de CO₂ por cada arribo, variando por el tipo de aeronave, espacio aéreo y características del aeropuerto.

Pero las dos técnicas anteriores no serían posible sin la implementación de un óptimo sistema de navegación, ya que esta encargada de gestionar el espacio aéreo. Según estimaciones por cada aproximación se podría evitar 75 kilogramos de combustible, ya que se puede reducir hasta nueve minutos por cada aproximación, que dependerá del número de operaciones que tiene el aeropuerto, evitándose 14.350 toneladas de CO₂ anualmente. Esto ocurre gracias a la tecnología RNP que encasilla a la aeronave en un cubo reduciendo el espacio aéreo que ocupa una sola aeronave, es por esto que LATAM a podido reducir el

consumo 3,7 millones de litros de combustible y evitar 8.600 toneladas de CO₂ en un solo año, siendo implementado en solo tres países (Perú, Ecuador y Chile).

El lavado del motor se realiza luego del aterrizaje o previo al despegue, ya que este puede acumular polvo e insectos que afectarían el rendimiento del mismo y consumiendo mayor cantidad de combustible, es por esto que por cada kilogramo de combustible no consumido se elimina 3.15 kilogramos de emisiones de CO₂. Este sistema además permite reducir sobre un 1,5% el uso de combustible que es cargada en la aeronave. Además, este sistema ha sido utilizado por 65 líneas aéreas a nivel mundial, reduciendo 1 millón de litros de combustible y 500.000 toneladas de CO₂ anualmente.

El uso del biocombustible es el futuro de la industria aérea ya que se tiene proyectado que se agote el combustible fósil dentro de los próximos 50 años, aunque estas son estimaciones tempranas, además que este es sumamente contaminante para el planeta es por esto que urge la necesidad de utilizar energías renovables, es aquí donde surge el uso del biocombustible. Este es capaz de reducir las emisiones de CO₂ entre un 50- 80% si se les compara con el combustible fósil, obviamente esto dependerá de la tecnología utilizada en el combustible, si se utilizara un 3% de biocombustible de segunda generación se evitaría un total de 10 millones de toneladas de CO₂ al año en el mundo.

Por último, el método que obtiene un mayor beneficio es la de tener una flota joven, es decir, realizar grandes inversiones en nuevas aeronaves que tienen nuevas tecnologías siendo más eficiente. Si se comparan los Airbus A320 y A320neo este último tiene una reducción del 20% del consumo de combustible que su predecesor, esto debido a la nueva tecnología que utiliza en los motores, mientras que si se compara un Boeing 737-800 y Boeing 737 MAX 8 que son aeronaves con características similares a las de Airbus y que compiten entre sí en el mercado, permite reducir también un 20% de consumo de combustible. Por lo que, si ambas actualizaciones en las aeronaves tienen un mismo porcentaje de reducción de combustible en sus nuevos modelos, solo queda comparar entre ambos modelos la eficiencia en el consumo de combustible y esto dependerá

netamente de la línea aérea y las rutas que utiliza, además de la capacidad de las aeronaves. Según Boeing el modelo 777 MAX 8 es un 4% más eficiente en el consumo de combustible que el A320neo.

3.3.3 Problemas de Implementación

Al utilizar nuevas tecnologías y/o proceso generalmente traerá consigo problemas de implementación, los cuales son variados ya que pueden ser resistencia al cambio del personal o de la gerencia (la cual será tratada exhaustivamente en el siguiente subcapítulo) hasta la de falta de área para la instalación de nuevos sistemas o de que el personal no se encuentre capacitado para la incorporación de estas innovaciones. Es por esto que a continuación se realiza un análisis a los métodos utilizados en lo que respecta estos problemas de implementación.

La instalación de paneles fotovoltaico es una de las tecnologías renovables con mayor potencial en la industria aérea, pero esta requiere una gran extensión de área para ser instalada, si es que se quiere obtener el mayor beneficio posible. Obviamente la instalación de estos debe realizarse en edificios administrativos y hangares, el problema del segundo es en la posición en la cual son instalado ya que provocan reflejo que podrían causar malestar a los pilotos durante el aproximamiento, pero a su vez ese reflejo es menor que los que causan los automóviles u vidrio. Previamente a la instalación se debe calcular la energía requerida por el edificio y en base a esta información calcular cuánto aportara los paneles fotovoltaico y además el aporte de radiación solar disponible, la cual variara de acuerdo a la estación del año, es por esto que la implementación debe enfocarse en el mes que es más desfavorable en radiación, pero con esto surge un nuevo problema y es que con el actual cambio climático que cada vez se hace más presente en el planeta, la estimación de este mes puede variar cada año. Si a lo anterior se le suma las distintas posición climáticas de los diferentes países del mundo da que la implementación de esta tecnología se utilizaría principalmente en países que presenten una elevada irradiación, siendo Chile uno estos y

principalmente para la zona norte y centro del país, esto queda reflejado en la Figura 3.41



Figura 3.41 Mapa de poder potencial de energía fotovoltaico (Solagis, 2017).

Luego de tener la información anterior se procede a calcular el número de paneles solares donde obviamente estará determinada por la potencia del mismo, los cuales varían desde 50 W hasta los 320W, donde obviamente el precio está directamente relacionado a la energía que aportan. Además, se debe estimar que en el futuro existirá la posibilidad de que se ensucie o deteriore el panel por lo que el número a instalar también dependerá de este factor. Por lo que luego de considerar estos diversos factores se podrá realizar

Continuando con los métodos expuesto tenemos la implementación realizar el taxeo con un solo motor o la mitad de la configuración total, viene dado

principalmente por la potencia del motor y generalmente se utiliza para aeronaves que están diseñadas con dos motores, así que el principal problema que puede ocurrir es que no estén funcionando correctamente el motor, lo cual sería un problema con la gestión del mantenimiento, pero obviamente en la industria aérea existen altos estándares de seguridad que permiten la utilización de un solo motor para el taxeo, ya que para la certificación se debe cumplir una serie de requisitos, a modo de ejemplo la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de Chile pide como requisito que la línea aérea tenga un manual de control de mantenimiento (MCM) y que este aceptada por la misma entidad, esto sumado a la incorporación de un programa de mantenimiento que debe estar bajo las mismas directrices que el MCM.

El siguiente problema que se presenta es la de la instauración de un flota de vehículo híbridos para el acercamiento al aeropuerto, para la adquisición de estos se debe realizar una inversión inicial alta ya que su precio fluctúa entre los 500.000 y 900.000 USD y que está en primera instancia se verían beneficios a largo plazo, es por esto que la empresa debe tener en consideración el periodo en el cual quiere recuperar la gran inversión.

Al realizar la instauración del sistema EGTS existe el problema que todavía esta en fase de desarrollo, esto quiere decir que todavía se están realizando pruebas, aunque estas hayan sido favorables esta tecnología se podría implementar en un futuro cercano es decir en un periodo de 10 años aproximadamente. Otro problema es que solo ha sido testeada en un solo tipo de aeronave (Airbus A320) provocando un encasillamiento de esta tecnología, por lo que está limitada.

La instauración de un combinación del uso de la APU y GPU tiene un solo problema de implementación principalmente y este es que el uso del segundo no debe superar al costo del uso del primero, ya que si ocurre esto obviamente la línea aérea preferirá la utilización de la APU, debido a que obviamente es más económica, sumado a que la GPU solo abastece de energía eléctrica y no el sistema de climatización de la aeronave, para lo cual se debe abastecer mediante la utilización del sistema PCA, aumentando aún más los costos para

implementación. Estos costos variaran dependiendo del proveedor de estos sistemas que por lo general suele ser los encargados del aeropuerto.

Los problemas de implementar un descenso y ascenso continuo es que depende de diversos factores, como son las condiciones y capacidades del aeropuerto, así como también un seguimiento a la ruta de la aeronave. Además, la línea aérea la debe diseñar en conjunto al aeropuerto, así como también a la entidad reguladora del país, por lo que necesita un tiempo prudente de planificación el cual puede variar entre uno a dos años. Esta planificación es extensa ya que debe considerarse los obstáculos (naturales y/o artificiales) y población circundante del aeropuerto, adicionalmente se debe considerar las características que tiene la aeronave para realizar estos procesos, ya que no todas tienen la misma potencia de ascenso o descenso.

Los sistemas de navegación al ser obligatorios a nivel mundial no tienen mayores problemas de implementación ya que son estándares de la industria, pero obviamente al irse encontrando nuevas tecnologías las líneas aéreas deben adaptarse y donde tienen mayores problemas es en la capacitación del personal, si bien la industria aérea está constantemente realizando estas actividades significa una inversión que debe realizar la línea aérea, lo cual desde el punto de vista económico significa un gasto periódico pero que debe realizarse.

La reducción del peso es un método que se convertido en una de las actividades con mayor cotidianidad en la industria ya que el peso de la aeronave es un director indicador del consumo de combustible, el problema que puede surgir es que al reducir el peso se tenga que invertir en nuevas tecnologías, siendo un inversión para la línea aérea, a modo de ejemplo tenemos la utilización de las tablets a bordo de la aeronave que reemplaza a los manuales de vuelo, si bien la reducción de peso es considerable se deben adquirir estos artefactos.

El problema de implementación del biocombustible son varios, uno de ellos es que se deben realizar modificaciones al motor, ya que este tiene propiedades totalmente distintas al combustible tradicional, por lo cual significa realizar inversiones en los motores, a lo cual no todas las líneas aéreas estarán comprometidas a realizar, es por esto que actualmente solo algunas de ellas realizan vuelos con este tipo de combustible, este es el caso de KLM Airlines en conjunto a otras compañías (Ver Figura 3.42), solo realiza un vuelo a la semana con este tipo de combustible, con un Boeing 777-200 que realiza la ruta entre New York y Ámsterdam, realizando un total de 26 vuelos al año. Por lo que los costos para realizar este tipo de vuelo son altos ya que este combustible tiene un elevado precio si se le compara con el combustible tradicional, es por esto que las líneas aéreas deciden realizar estas inversiones solo si el precio del biocombustible es igual o menor al del combustible tradicional, en caso contrario las líneas aéreas no estarán interesados en realizar estas inversiones, a menos que se afilien entre varias empresas para solventar los gastos mediante un código compartido.



Figura 3.42 Empresas que participan en la realización de vuelo con biocombustible (ATAG, 2018).

Mientras que la renovación de flota es la mejor opción para reducir el consumo de combustible, es también la más costosa y la que requiere una mayor cantidad de inversión para la línea aérea. Es por esto que se diseñó un cuadro comparativo (Tabla 3.5) con aeronaves con similares características, pero de los dos principales fabricante del mundo y con distintas tecnologías, de esta manera se clarifica la inversión que se debe realizar, esto sumado a que al tener nuevas

tecnologías tanto los pilotos como las personas encargadas del mantenimiento deben realizar capacitaciones, aunque estos últimos gastos son solventados por el fabricante. Es por esto que las líneas aéreas deben analizar muy bien su situación financiera antes de adquirir una aeronave nueva, esto se debe añadir que, si la línea aérea cuenta con una flota joven, es decir, que tenga un promedio menor a 10 años, no sería necesario la adquisición de nuevas aeronaves. La situación sería totalmente distinta de tener un edad de flota superior a 10 años, ya que posiblemente tenga aeronaves que tengan 20 años en servicio hasta aquellas que tenga 5 años en servicio, siendo las primeras las que más opciones tienen de realizarse renovación de flota. Obviamente las líneas aéreas buscan que, al realizar la renovación de flota, tengan características similares entre la aeronave que se dará de baja y la que ingresara a la línea aérea, esto quiere decir que tengan similar o mejor autonomía, capacidad de carga y pasajeros, siendo el principal factor el consumo de combustible.

Tabla 3.5 Diferencia de precio entre aeronaves de misma familia, pero de distinto fabricante, elaboración propia

Fabricante	Modelo	Precio (Million USD)
Airbus	A320	101
	A32neo	110,6
Boeing	B737-800	102,2
	B737 MAX 8	117,1

3.4 Medidas de Eficiencia Energética:

Luego de haber realizado una exhaustiva investigación a variados métodos de eficiencia energética y/o reducción de consumo de combustible, que existen en la actualidad y en un futuro cercano, con sus beneficios y problemas de implementación respectivos se logra tener una mayor claridad cuáles de ellos pueden ser utilizado por las líneas aéreas que logren optimizar el consumo energético. Es por esto que a continuación se expondrán datos cuantitativos y cualitativos de algunos de los métodos anteriormente expuestos para una cierto tipo de aeronaves, estos datos son estimado bajo a un extensa investigación que

permiten saber cuál es la verdadera proporción de consumo bajo características reales que se enfrentan las líneas aéreas.

3.4.1 Explicación de Medidas de Eficiencia Energética a Utilizar

Antes de calcular los beneficios se debe explicar cuáles serán estos específicamente, de esta manera se entenderá con mayor facilidad lo que se quiere lograr, y son dos principalmente, reducir el consumo de combustible y/o eléctrico o sustituir las energías convencionales utilizadas por energías con mayor sustentabilidad, donde se pretende que se reduzcan las actuales emisiones contaminante.

Para lograr realizar medidas que optimicen los recursos energéticos con lo que cuente la empresa primero se debe recalcar que el 99,77% del consumo energético corresponde a lo relacionado con el vuelo, es por esto que el impacto será mayor si se instauran medidas entorno a este tema, de igual manera se planteara una medida que se considera conveniente entorno a las condiciones que presentan las líneas aéreas en tierra.

En primer lugar, se expondrán las medidas que fueron seleccionados por su mayor efectividad en la reducción del consumo, ya que como se detalló en los anteriores capítulos existen diferentes métodos y con diversos resultados, siendo algunas más eficientes que otras pero a su vez se debe evaluar el costo de ellas debido a que se está hablando de una empresa y a estas lo que más les importa es la salud económica de la misma, es por esto que se utilizan las siguientes métodos y que posteriormente serán analizada con sus beneficios tanto cuantitativos y cualitativos en términos económicos, reducción de consumo y emisiones de gases contaminantes, las medidas son:

1. Instalación de paneles fotovoltaicos en el techo de un solo hangar.
2. Adquisición de un equipo EcoPower.

3. Equilibrio en la utilización de GPU/APU.
4. Renovación de flota.
5. Ascenso Continuo.

La primera que se señala es debido a que como se quiere realizar medidas de eficiencia energética en línea aérea se debe pensar en cada área en la se desempeña, es por esto que se selecciona el área de mantenimiento, debido que aquella es la que más consume electricidad y se gasta cerca de 1.000.000 USD anualmente⁴⁰, esto según la entrevista realizada a don Enrique Guzmán Urbina (Ver Anexo II), Gerente Senior Medio Ambiente de LATAM. Para esto se selecciona un solo hangar perteneciente a la empresa LATAM (ver Figura 3.43), ubicada en las cercanías del aeropuerto internacional “Comodoro Arturo Merino Benítez”, esta instalación se realizará en un área de 654,3 m² permitiendo abastecer hasta 104,688 kWh.

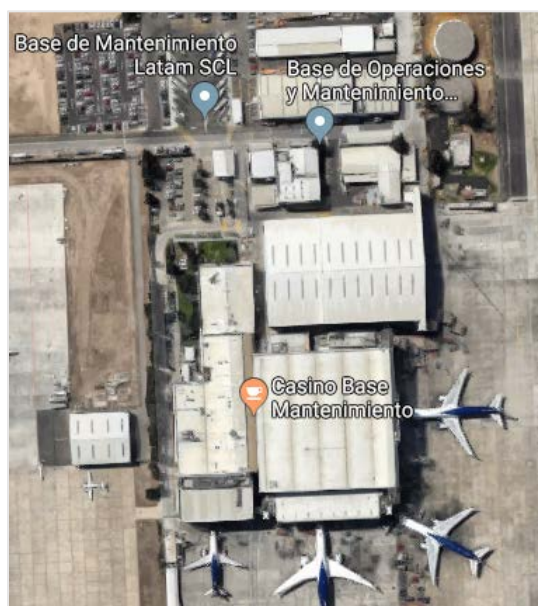


Figura 3.43 Vista satelital de la base de mantenimiento de LATAM (Google Maps , 2016).

La implementación de paneles fotovoltaico es solo una medida que podrá abastecer una pequeña fracción (el porcentaje será presentado en capítulo 3.4.2)

⁴⁰ Hay que mencionar que se considera el gasto total en los distintos países en las que tienen centro de mantenimiento la empresa (Chile, Colombia, Argentina, Perú, Ecuador y Estados Unidos).

del real consumo que tiene la empresa, es por esto que la empresa debe complementar esta medida mediante la negociación del abastecimiento de su régimen energético, siempre y cuando la legislación del país lo permita. Esta negociación permite a la empresa gestionar la manera de la cual se abastece de energía eléctrica, esto quiere decir que puede elegir algún porcentaje, que le parezca a la empresa adecuada, la forma en la cual se genera la electricidad, donde esta puede ser mediante energías convencionales o renovables. Permitiendo a la empresa tener un mejor estándar de sustentabilidad debido a que se está abasteciendo de energías con una menor o nula contaminación.

Para una línea aérea en particular se selecciona la energía solar debido a su aporte energético, área de instalación y principalmente por la versatilidad que tiene de ser instalado en diversas partes a lo largo de globo terráqueo, obviamente se debe analizar el territorio en el cual se quiere instalar en términos de radiación solar (se incluyen todas sus variantes anteriormente explicadas), temperatura, viento y geografía si es que se instala al nivel del suelo. Como se instalará en un techo se debe considerar además la poca ventilación que tendrá por debajo del panel, aumentando su temperatura debido a que la construcción alledaña le transferirá calor, por lo que reducirá su eficiencia. Además, se debe calcular la orientación que tendrán los paneles solares, para todos los datos anteriores se utilizó un sistema innovador lanzado por el ministerio de energía en conjunto al departamento de geofísica de la Universidad de Chile, que permite mediante algoritmos calcular todas las variables posibles para obtener un sistema de paneles fotovoltaico óptimo para la empresa, también permite obtener mediciones para la utilización de energía térmica. Este sistema se encuentra al alcance de cualquier persona que tenga conexión a internet, sin la necesidad de realizar pago alguno para la utilización de este gran aporte a la ciencia. Actualmente solo se puede utilizar para realizar cálculos en todo el territorio nacional, menos la Antártida por obvias razones meteorológicas (Ministerio de Energía, 2017). Además, se debe agradecer la utilización de este servicio a los expertos que trabajaron en él, mediante un reconocimiento en esta sección (Molina, Mark, & Roberto, 2017).

Con la utilización del sistema mencionado se obtuvieron datos que permite reconocer cuales son los periodos que más aportara energía eléctrica al sistema, así como también su franja horaria.

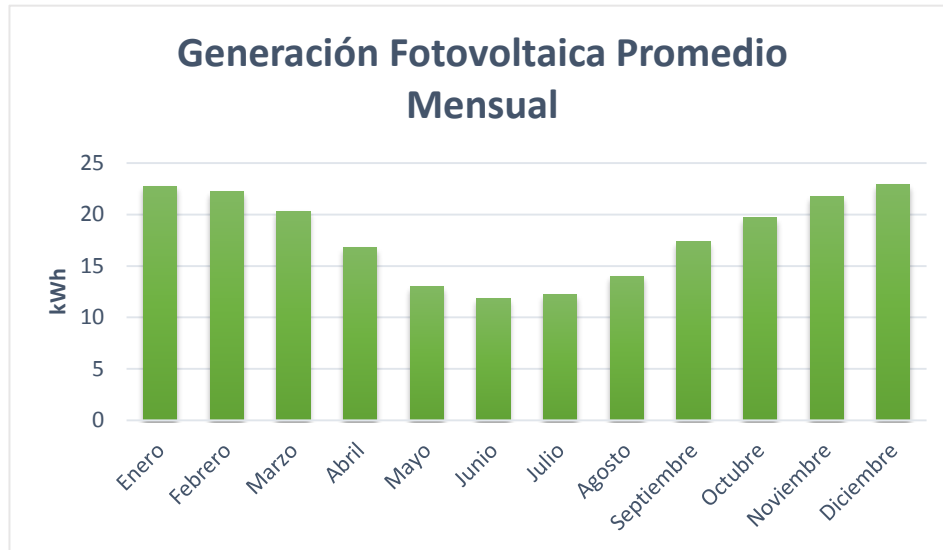


Gráfico 3.4 Representación de la generación promedio mensual de sistema fotovoltaico propuesto; Elaboración propia (Ministerio de Energia, 2017).

Como se observa en el Gráfico 3.4 los meses que tienen un mayor aporte al sistema son los correspondiente a la época de verano, esto por obvias razones climatológicas, teniendo un radiación solar superior y por un periodo de tiempo mayor. Siendo el mes de diciembre el que tiene un mayor aporte con 22,97 kWh. Mientras que los meses con menor aporte corresponden a la época de invierno, siendo el mes de junio el menor aportando 11,83 kWh, pero sin importar las condiciones y época del año el sistema fotovoltaico continuara aportando. Recaltar que estas medidas son promedios mensuales y no lo que realmente puede aportar el sistema completo, ya que obviamente durante los periodos nocturnos no se genera energía eléctrica, para lograr resolver esto se pueden instalar baterías que permitan almacenar la energía obtenido durante los periodos que realmente se genera electricidad y además el sistema debe contar con inversores de capacidad, debido a que la corriente generada por los paneles fotovoltaica es de tipo corriente continua, mientras que la electricidad ocupada en las oficinas y hogares es en corriente alterna.

La instalación de baterías al sistema fotovoltaico dependerá de si la empresa está dispuesta a realizar una mayor inversión para la instalación de estas, ya que no es obligatorio contar con estas, no así con el inversor de capacidad. La decisión en la instalación de la batería dependerá del cómo se paga la tarifa por kWh, si se paga una misma tarifa sin importar la hora o el uso mensual no se recomienda del todo su instalación, a menos que se quiera tener respaldo en caso de apagones, por otro lado, si se realizan cargas mensuales por demanda durante hora punta y/o por potencia suministrada, la empresa debería recapacitar en la inversión de baterías. Cuando se habla de demanda durante hora punta se hace referencia a que se cobrara más por la utilización de electricidad en esos horarios, mientras que la segunda se realiza un cobro al promedio de las dos demandas más alta en los últimos doce meses. El conjunto de inversores debe tener la misma capacidad que la que suministra el sistema fotovoltaico.

El segundo método por utilizar y ya entrando a lo que respecta a la aeronave, es la adquisición de un sistema EcoPower, en otras palabras, un sistema que permita realizar un lavado de motor. Esto mantiene la eficiencia del motor en estado óptimo, es decir, como si hubiera salido de la fábrica misma, obviamente esto dependerá de si se le realizan los mantenimientos correspondientes, ya que no existe equipo alguno en la aviación que dependa de un solo factor para mantenerse en vigencia y más aún es un estado que genere un beneficio para la empresa.

Este método es elegido debido a que durante los vuelos los alabes perteneciente al compresor acumulan suciedad y otras partículas, generalmente se encuentran cercanas al suelo ya que se encuentran en suspensión. Producto de esto se vuelven menos eficiente y consumen mayor combustible, el sistema EcoPower como se señaló en el capítulo pasado utiliza un detergente no contaminante y reutiliza el agua en cada proceso, siendo un método amigable con el medio ambiente.

Si se realiza un análisis más técnico, la realización de un lavado de motor permite que el compresor de alta presión del motor trabaje de manera eficiente, siendo la temperatura en operación menor que un motor con importantes cantidades de suciedad, esto a su vez permite tener un mayor tiempo de encendido, ya que básicamente no se sobrecalentara con mayor tasas de rapidez y provocando que haya un menor estrés a la estructura del motor. Este método además permite aumentar los ciclos de vidas, reduciendo costos de mantenimientos debido a que no se realizan con la misma tasa de frecuencia que un motor que no se haya lavado.

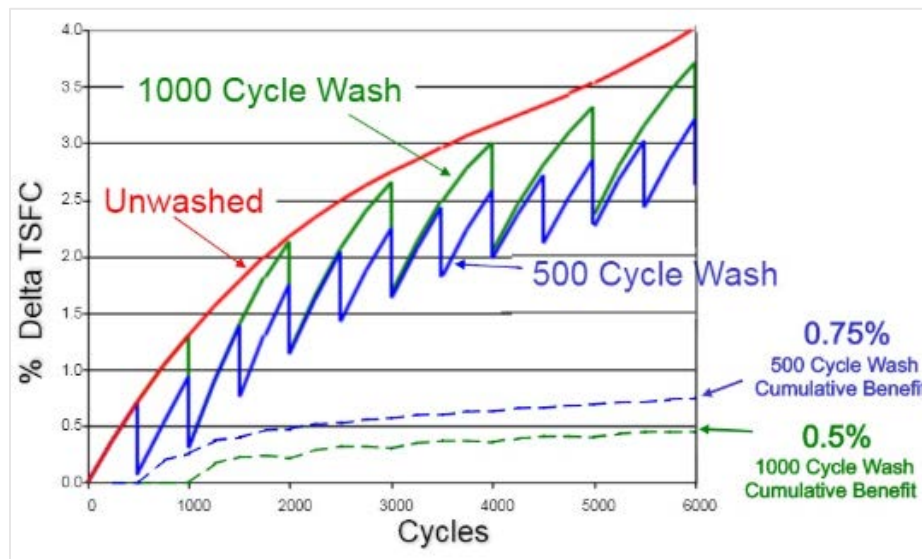


Gráfico 3.5 Representación de beneficios de lavado de motores y el tiempo que transcurre entre cada lavado (Great Bustards Flight, 2017).

En el Gráfico 3.5 se observa como mejora la eficiencia del motor en términos de Thrust Specific Fuel Consumption o TSFC, obteniéndose que al realizarse el lavado del motor en un menor número de ciclo se mejora en hasta un 0,75% el delta TSFC, esta variación se encuentra determinada entre el TSFC sin haberse realizado el lavado de motor y si se hubiese realizado.

Obviamente la eficiencia del método del lavado del motor dependerá de varios factores, entre ellos encontramos el tipo de aeronave y los motores, haciendo alusión a la edad de esta. Pero también se debe señalar que estos tienen un ciclo

de vida útil distinto entre sí, por lo que, aunque este método permita aumentar la eficiencia alargado el ciclo de vida, se llegara en un punto en que no se podrá seguir realizando ya que al compararse los costos de realización de este método frente a los beneficios no serán positivos para la empresa. Uno de los principales es que este sistema utiliza agua calentada, desionizada y atomizada permitiendo no tener el problema de engelamiento, esto se destaca ya que frente este problema se pueden causar accidentes, además que este sistema permite ser trasladado a cualquier parte de la plataforma o hangar de mantenimiento, otorgando versatilidad.

El tercer método seleccionado es un equilibrio en la utilización del uso de GPU/APU, ya que el uso del APU consume una gran cantidad de combustible para un proceso muy corto, como se ha mencionado anteriormente se utiliza principalmente para lograr encender los motores principales de la aeronave, además de alimentar al sistema de climatización al interior de la cabina. El uso de GPU viene a sustituir la función de encender los motores principales, disminuyendo el consumo de combustible para la empresa, el problema surge cuando se quiere climatizar a la aeronave debido a que esté no le da soporte a esta fase y es aquí donde ingresa un sistema innovador en los aeropuertos que permite climatizar la cabina mediante la entrega de parte de su aire acondicionado a la aeronave, sustituyendo completamente el uso de la APU.

La climatización de una aeronave es muy distinta a cualquier sistema de aire acondicionado común, debido a que se obtiene principalmente de lo que se genera en los motores, mezclándose aire frío y caliente, es decir, se utiliza el sistema neumático. Debido a que el aire caliente se encuentra a una muy alta temperatura (250°C), provocada por los gases que genera el motor, se debe pasar por una serie de mecanismo para poder enfriarlo, este proceso se conoce como “sangrado del motor”, debido a que se extrae de algún proceso, generalmente del compresor del motor. Luego este “sangrado” pasa a intercambiadores de calor, disminuyendo la temperatura mediante el uso del aire al exterior del avión, posteriormente se vuelve a pasar por el compresor para recalentar, esto debido a que se quiere

aumentar el rendimiento de la turbina que luego atravesara el “sangrado”, luego de pasar por la turbina este se expande y se enfría, obteniéndose un aire a temperatura muy baja (0 a 5 °C). El aire frío se mezcla con la temperatura ambiente de la cabina del avión, sumando al aire caliente generado por los motores principales o de la APU, obviamente se debe contar con un controlador de temperatura para que ingrese una pequeña porción de este aire caliente, debido a que como se mencionó se encuentra una alta temperatura, provocando la variación de la temperatura al interior de la aeronave (ver Figura 3.44).

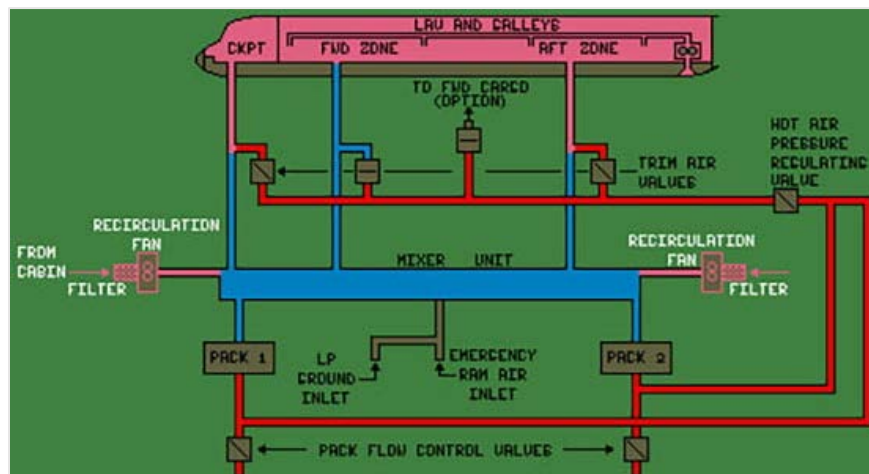


Figura 3.44 Representación de sistema de climatización de una aeronave tipo (TMS, 2012).

El diseño anterior es bastante tradicional, pero actualmente existen aeronaves que tienen un sistema de climatización que no extrae aire de los motores, ya que al realizarse este proceso se pierde eficiencia en los motores. El diseño del Boeing 787 permite alimentar al sistema de aire acondicionado mediante el uso de baterías eléctricas y extrayendo aire frío del ambiente y lo presuriza para elevar la temperatura, eliminándose de esta manera el sistema neumático. Por obvias razones se debe constar con un conjunto de baterías que tenga una alta redundancia, debido a que es un sistema vital para la aeronave, es por esto que tiene hasta 6 generadores de energía eléctrica que permiten dar una redundancia segura para la operación (ver Figura 3.45).

Para poder climatizar la aeronave mediante el uso del sistema de aire acondicionado del aeropuerto, éste último debe contar con el sistema “pop out” ya que de esta manera se traspasa, de no existir esto se pueden instalar dispositivos en los alrededores de donde se encuentra la aeronave estacionada.

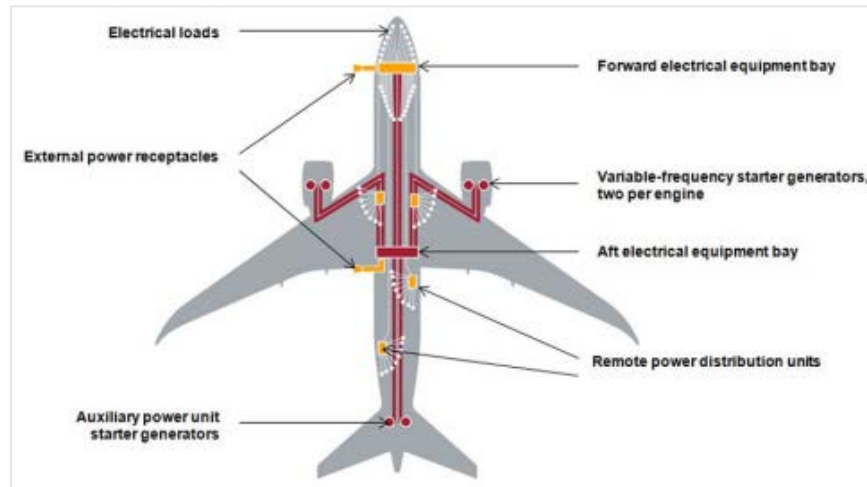


Figura 3.45 Redundancia del sistema eléctrica de B787 que permite climatización de aeronave (Bibing, 2014).

Por lo que se puede decir que la utilización de este método es bastante simple y económico, debido a que solo se debe contar con dos sistemas para suplir las características totales de APU, siendo aun así más económica que está. El problema recaerá en el costo de uso de GPU varía según la temperatura ambiente presente en el aeródromo y la altura, esto debido a que al ser un motor común y corriente que funciona a combustible se ve afectada bajo distintas condiciones. Otro problema es el costo que cobra el aeródromo por el uso del GPU, ya que se generalmente se cobra por hora de utilización, por lo que si este es superior al costo de utilización de APU obviamente a empresa preferirá utiliza esté. Aunque actualmente en muchos aeródromos se está restringiendo el uso de la APU debido a la gran cantidad de ruido que genera, siendo limitándose el uso de está, por lo que en muchos casos la línea aérea no tiene otra opción que utilizar la combinación anteriormente mencionada para poder suplir las características esenciales de la APU.

La cuarta medida que se puede utilizar es la renovación de flota y es también la más efectiva para la línea aérea, debido a que la adquisición de nuevas aeronaves permite disminuir el consumo de combustible producto de las nuevas tecnologías que se implementan. Se debe hablar de una aeronave como un conjunto, ya que no puede volar por si sola y esto nos referimos a no solo tener la aerodinámica que le dé capacidad para volar, sino que también el empuje necesario para poder realizar viajes a larga distancia y principalmente para los despegues, que es el punto donde mayor se consume combustible en un corto periodo de tiempo y esto último se hace referencia a la eficiencia de los motores.

Se habla de renovación de flota para líneas aéreas cuando se presentan aeronaves que se encuentran volando por un periodo mayor a 15 años, esto según el criterio de quien escribe el presente informe, ya que si la empresa desea mantener por un mayor o menor periodo tiempo lo puede realizar bajo su propio criterio. La elección de 15 años se debe a que según lo investigado se hace importante para la empresa ir mejorando requerimientos en seguridad aeronáutica, además de utilización de nuevas tecnologías que permiten reducir el consumo de combustible, otros puntos a considerar, pero que son de menor importancia es la de comodidades dentro de la cabina para los pasajeros (sistemas de entretenimiento, wifi, entre otros.).

Tabla 3.6 Edad media de flota de principales líneas aéreas; Elaboración propia (Airfleets, 2018).

Empresa	Edad Media Flota
Avianca S.A.	5,6
Iberia	10
British Airways	13,8
KLM Airlines	11
American Airlines	10,4
Lufthansa	11,9
Air France	12,7
LATAM Airlines	6,2
Promedio	10,2

Obviamente la edad propuesta es la de una aeronave en particular y no la edad media que presenta la flota de la línea aérea, ya que hablar en estos términos varía de acuerdo al uso de las aeronaves. Según lo investigado la flota de las principales compañías del continente americano y europeo, tienen una edad media de 10,2 años, como se muestra en la Tabla 3.6

Al hablar sobre la edad media de flota se considera la totalidad de aeronaves, para esta caso se recomienda una flota que no supere los 12 años de media, ya que significa que la empresa tendrá aeronaves con una mayor antigüedad afectando la eficiencia del consumo de combustible, se elige ese periodo de tiempo promedio ya que se considera que una flota joven es inferior a 8 años, otorgando una holgura de 4 años para que la empresa piense en renovar parte de su flota de aeronaves. Obviamente se debe considerar las características que tiene la aeronave que se dejen de utilizar para realizar un recambio adecuado, algunos de los factores que se deben tener en consideración son la autonomía, capacidad de pasajeros y carga, además del punto central de este informe que es la eficiencia energética.

Por obvias razones la adquisición de nuevas aeronaves supone una gran inversión para la empresa aérea, es por esto que no se debe hablar a la ligera la adquisición de estas, pero existe un factor externo que impulsa más aun la renovación de flota y es el precio del combustible, debido a que si se proyecta que el precio del combustible aumentará por un prolongado periodo de tiempo la empresa se verá afectada económicamente por este factor, actualmente el barril de combustible Jet-A1 se encuentra a un precio de 94 USD, siendo su mayor valor el año 2008, justo en un periodo de crisis económica a nivel mundial debido al efecto “Subprime”, llegando a un precio de hasta 167 USD por barril, siendo un elevado costo para las líneas aéreas. Si es que llegase a ocurrir algún escenario similar, aeronaves con mayor eficiencia energética en el consumo de combustible significara una gran piso para la línea aérea, si bien aumentaran sus costos, la aeronave “joven” será aún más eficiente que una aeronave “vieja”.

Para el último método elegido se tiene que realizar una planificación con un diseño para ascenso/descenso continuo, esto se consideran juntos, pero solo se realizara el primero, para ambos casos se tienen factores similares, pero con características diferentes que son importantes, entre ellas se deben mencionar el empuje que se producen en estas fases son totalmente distintas, ya que durante el despegue se necesita una mayor cantidad de empuje para poder mover el peso total de la aeronave, mientras que para el aterrizaje solo se necesita mantener un empuje relativamente bajo, para mantener a la aeronave con sustentación necesaria para que continúe en vuelo durante esta fase. Se acaba de mencionar otro factor a considerar, que es el peso, por lo que como se puede observar todos los factores son importante para una aeronave, ya que afectan directamente al rendimiento de la aeronave. El peso influye ya que cada aeronave está diseñada para tener un pesaje, que está determinada por el fabricante, distinto para cada fase, esto queda más claro en el Gráfico 3.6

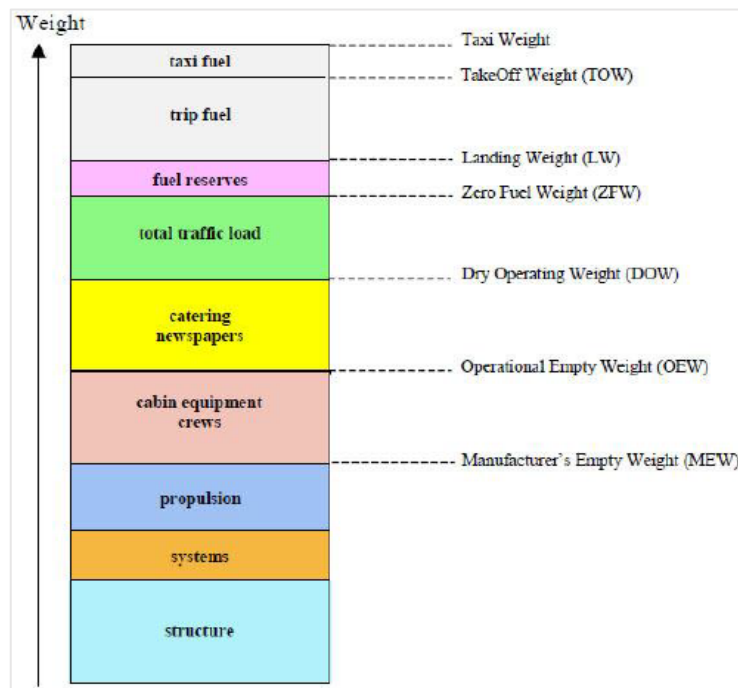


Gráfico 3.6 Representación del peso de una aeronave comercial típica (Viana, 2011).

Pero diseñar un ascenso continuo tiene un mayor beneficio para la empresa, esto se debe a que como el peso de la aeronave es superior en el despegue, se consume

una mayor cantidad de combustible, es por esto que la empresa tiene la opción de diseñar solo esta medida en vez de desarrollar el ascenso y descenso en conjunto. Pero para el caso del presente informe se recomienda realizar ambos, debido a que no solo depende de la empresa diseñar estos métodos, sino que también factores externos, como son los servicios de navegación aérea y asistencia de la misma, además de coordinarse con autoridades aeronáuticas del país, debido a lo sensible que son estas fases del vuelo. Es por esto que a pesar de que suena sencillo, no lo es, ya que se deben considerar una gran cantidad de factores, pero de igual manera se selecciona como método a utilizar ya que trae grandes beneficios para la línea aérea en términos de eficiencia energética.

Se menciona que la fase de ascenso y descenso se considera sensible ya que en estas es donde se tiene un mayor porcentaje de accidente, siendo el más importante la fase de aproximación y el aterrizaje, entre ambas fases se da un 48% de probabilidades de que ocurra un accidente, mientras que la fase de despegue y el ascenso inicial suman un 13%.

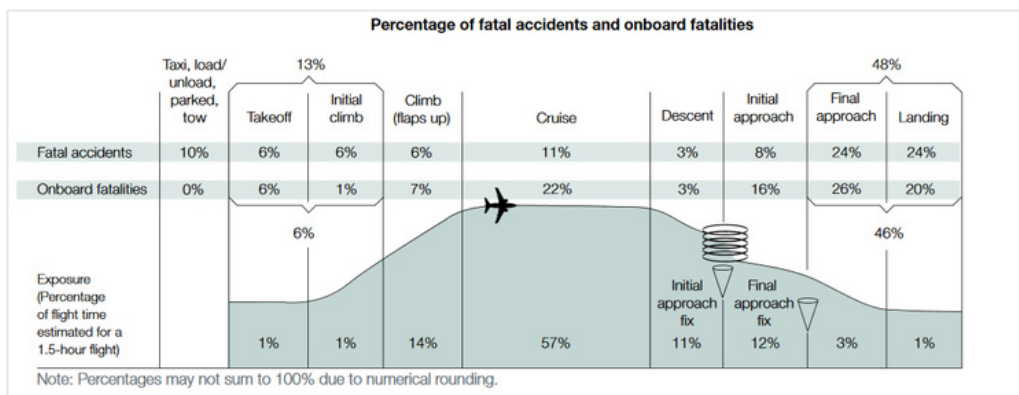


Figura 3.46 Representación de los porcentajes de accidentabilidad de acuerdo a la fase de vuelo (Boeing, 2016).

3.4.2 Beneficios Cuantitativos y Cualitativos

Luego de haber expuesto por qué fueron seleccionados los 5 métodos mencionados se procederá en el mismo orden a exponer los beneficios cuantitativos y cualitativos, así como también sus costos asociados, de esta

manera se exponen todos los datos que un gerente necesita para tomar decisiones y decidir si realizar la inversión en el método de eficiencia energética.

La primera es la utilización de paneles fotovoltaicos, para esto se plantea que la instalación de este sistema sea en el techo de un hangar de mantenimiento de la empresa LATAM, la elección de esta empresa se debe a que se decidió pensar en una aerolínea que tiene un modelo de negocio estilo legacy, esto solo a nivel nacional ya que actualmente la única empresa de este estilo, las otras existente en el país como SKY Airlines y JetSmart son modelos de negocio Low Cost Carriers (LCC), por lo que estas últimas generalmente externalizan varios procesos de la empresa, reduciendo altamente sus costos. Si bien actualmente LATAM se está transformando a un modelo de negocio híbrido más que un modelo legacy, de igual manera se le considera para realizar un ejemplo de cómo se debe instalar un sistema fotovoltaico.

Antes de continuar se debe realizar una pequeña definición para entender los modelos de negocio mencionados, el modelo de negocio estilo legacy se le considera tradicional siendo su característica principal una extensa red de destino brindando un servicio de abordaje completo y con una diversa flota para las distintas distancias a recorrer, generalmente ofrecen variadas clases de vuelo. Las de tipo LCC, se caracterizan por tener una flota homogénea, es por esto que solo adquieren un solo tipo de avión y con una sola configuración de asientos, además de tener pasajes a bajo costo y realizar rutas consideradas como corta y mediana distancia. Mientras que la que utilizan un modelo de negocio híbrido que básicamente busca combinar características de las anteriores, tratando de utilizar lo mejor de ambos mundo, las clase Legacy intentan abaratar sus servicios de manera que la diferencia con las LCC no sea tan perceptible para los pasajeros, una medida de ellas es la reducción de la comida a bordo.

Luego de hacer un pequeño paréntesis, pero no por eso menos importante se continua con la idea central de este capítulo. La implementación de un sistema fotovoltaico se instalará en el hangar de la Figura 3.47 en esta además se marca el área en la cual serán instalados los paneles fotovoltaicos (en la Figura 3.43 de la sección pasada se presenta el complejo de mantenimiento de LATAM)



Figura 3.47 Hangar y área al cual se propone instalación de paneles fotovoltaicos (Google Maps , 2016).

Como se ha mencionado el área total en la cual se instalará el sistema de paneles fotovoltaico será de $654,3 \text{ m}^2$ y se podrá generar hasta un máximo de 104,688 kWh, en otras palabras, generar un total de 104.688 Watts en un hora. Obviamente la generación dependerá de la estación del año, así como también del horario, pero según las estadísticas la mayor generación de energía promedio será entre las 13:00 y 14:00, horario de verano del país, siendo evaluado entre enero y diciembre. Esto se debe principalmente por la posición que tendrá el sol con respecto al terreno. Esto se puede ver en el Gráfico 3.7, además de este se puede extraer aun mayor información como es la que durante la noche se generaran energía y el cómo varia la generación dependiendo del horario, impulsando a la empresa a saber en cual momento el sistema será de gran utilidad para ahorrar costos, ya que se podrá abastecer de los paneles fotovoltaico. De igual manera se podrá observar en el Tabla 6.2 la generación de energía completa por horario y por mes obtenida mediante la utilización del sistema entregado por el ministerio de energía. Cabe mencionar que se calcula con una pérdida de eficiencia del 14%, donde las causas posibles son: suciedad acumulada sobre el

panel, sombra del entorno, tiempo apagado por mantenciones e imperfecciones del panel, conexiones y cableado.

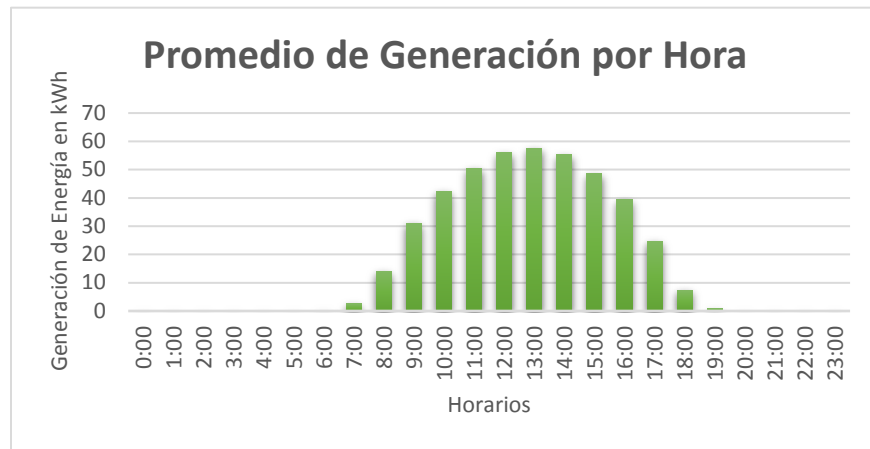


Gráfico 3.7 Representación de generación promedio por hora; elaboración propia (Ministerio de Energía, 2017).

Solo se ha mencionado lo que se puede generar en términos de energía eléctrica, pero para la gerencia es importante hablar en términos económicos y es por esto que se plantean distintos escenarios de inversión para la instalación de paneles fotovoltaicos. Hay que destacar que solo se contabilizara el costo mismo del panel fotovoltaico y del inversor, es por esto que no se considera la mano de obra de la instalación, ni refuerzos al techo de ser necesario, ya que no se pudo obtener mayor información sobre este ámbito.

Como se presenta en la Tabla 6.3 presente en el Anexo I, la mejor opción económica es la utilización del panel fotovoltaico modelo KYL-270P KUHN, donde se realizará una instalación total de 388 paneles solares, ocupando una menor área que la que se estimaba, reduciendo el área de uso a 629,46 m² pero teniendo la misma capacidad máxima de aporte de energía. Además, se elige esta opción ya que el costo de adquisición de los paneles es la menor de todas las analizadas, siendo un total de \$42.949.795. Bajo estas tres condiciones principales se justifica el uso de este tipo de panel fotovoltaico.

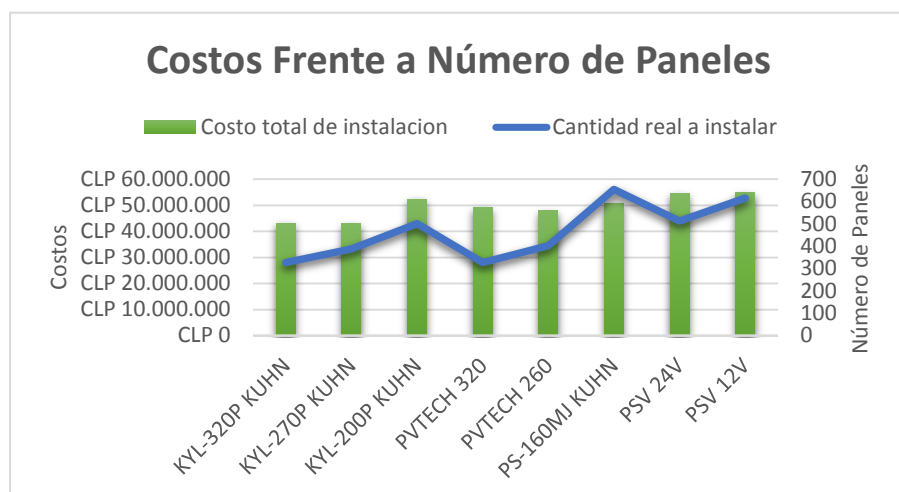


Gráfico 3.8 Representación de costos de instalación frente al número de paneles a instalar; elaboración propia.

Como se observa en el Gráfico 3.8 el panel utilizado es uno de los que tiene un costo de instalación menor y también un menor número de paneles a instalar, estas características hacen idóneas para la empresa decidir si realizar la inversión en paneles fotovoltaicos.

Pero la instalación de paneles fotovoltaico es solo el primer paso, ya que además se debe adquirir inversores de potencia, la cual es calculada con eficiencia del 96%, estos deben tener la misma capacidad que la que aporta el sistema fotovoltaico, ya que como se mencionó se debe transformar a energía alterna. Los precios de los inversores fluctúan entre los \$50.000 y \$980.000 pesos chilenos, esto se puede observar en el Gráfico 3.9, esta gran diferencia se debe principalmente a la cantidad de corriente continua que puede transformar por un determinado de tiempo, ya que cada uno de esto son diferente.

Utilizando criterios similares y observando Tabla 6.4 para la elección del panel fotovoltaico se elige el modelo de inversor de corriente KPF-600S-12 KUHN debido a que se debe poder abastecer la misma cantidad que la potencia máxima, siendo instalado un total de 174 inversores obteniéndose una inversión total de \$20.169.888.

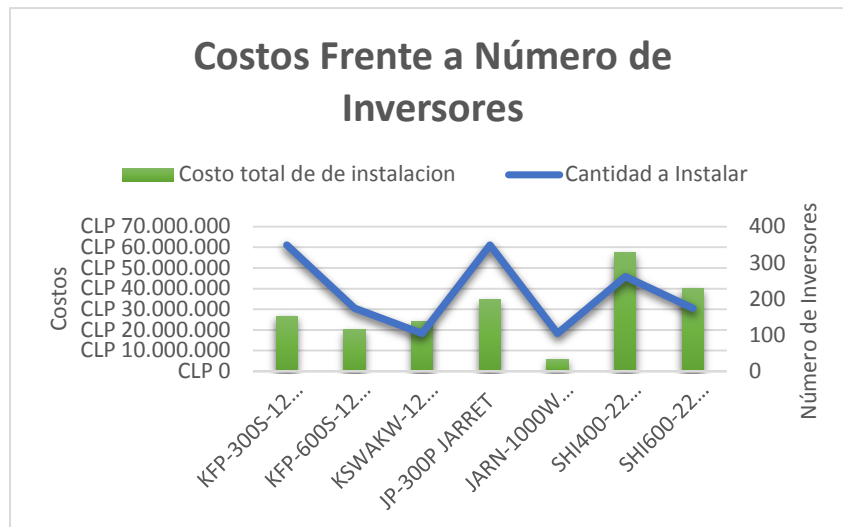


Gráfico 3.9 Representación de costos de instalación frente al número de inversores; elaboración propia.

Para que se logre una idea completa, un solo computador con su monitor consume 160 Watts, si se llegase a utilizar 31 días seguidos durante las 24 horas tiene un consumo global de 119,04 kWh y se debería pagar cerca de \$12.155, utilizando un costo estimado por kWh de \$102,1. Se puede tender a confundir que consume más que los que es capaz de generar el sistema fotovoltaico, pero no es así, ya que el consumo anterior corresponde a un periodo prolongado de tiempo siendo un total de 744 horas, mientras que como se mencionó anteriormente la capacidad máxima del sistema es calculada en una hora, por lo que este sistema es capaz de proveer una gran cantidad de energía, otorgando soporte al uso de artículos eléctricos. Por lo que perfectamente el sistema puede disminuir el gasto en energía eléctrica, mediante la utilización de un solo tipo de energía renovable.

Como se puede observar en Tabla 3.7 el aire acondicionado dentro de algún recinto, llegando a gastarse \$197.502 en 744 horas continuas y consumiendo un total de 1936,4 kWh durante ese periodo, llegándose a gastar un total de \$320.258 si se considera todos los elementos presentes.

Tabla 3.7 Representación del consumo de implementos utilizados en base de mantenimiento de LATAM; elaboración propia (ENEL, 2018).

<i>Elemento</i>	<i>Potencia</i>	<i>Número de días de uso</i>	<i>Horas diarias de uso</i>	<i>Consumo (kWh)</i>	<i>Gasto</i>
<i>Ampolleta Eficiente</i>	20	31	24	14,88	CLP 1.519
<i>Tubo Fluorescente</i>	36	31	24	26,784	CLP 2.734
<i>Computador con Monitor</i>	160	31	24	119,04	CLP 12.154
<i>Ventilador</i>	150	31	24	111,6	CLP 11.394
<i>Aire Acondicionado</i>	2600	31	24	1934,4	CLP 197.502
<i>Impresora Tinta</i>	150	31	24	111,6	CLP 11.394
<i>Impresora Multifuncional</i>	600	31	24	446,4	CLP 45.577
<i>Lampara de Halógeno</i>	500	31	24	372	CLP 37.981

Al realizar una idea global de cuanto se estaría ahorrando la empresa en conceptos de uso energético es de \$10.687 cada hora, siempre y cuando se logre llegar a la capacidad máxima estimada, de no ser así el ahorro durante las horas de funcionamiento, que son entre las 06:00 y 19:00, fluctuara entre los \$60 y \$6000 por hora, para este cálculo se utilizan los datos presentes Gráfico 3.7. Siendo un gran aporte para la empresa diariamente, ya que el consumo del mismo aire acondicionado por hora asciende a \$266, teniendo un gran margen durante las horas punta en generación de energía. He de recordar que los cálculos fueron unitarios, por lo que, si se tiene una mayor cantidad de artefactos, obviamente el consumo y gasto aumenta. Por lo que básicamente si es que se generase la potencia necesaria para abastecer mensualmente los elementos se ahorraría hasta \$320.258.

Debido a que se elige optar por no tener un sistema de baterías de almacenaje, se recomienda aprovechar al máximo la generación eléctrica durante los horarios

anteriormente mencionados. Otro punto para tener en consideración será que no se producirá la misma cantidad de energía todo el año y que variará dependiendo de la situación climatológica, por lo que la empresa deberá tener políticas de consumo para distintos periodos, asegurándose una óptima utilización de la energía generada.

Todo lo anterior son beneficios y costos en términos cuantitativos, ya que se entregan resultados numéricos, mientras que el punto de vista cualitativo para este método se separa en ventajas y desventajas cualitativos.

La principal ventaja cualitativa es el cómo vera tanto los funcionarios como el público, el uso de una energía limpia y renovable para la autogeneración de energía limpia, potenciando la imagen de la empresa en términos medioambientales, ya que actualmente este término es de suma importancia por los efectos del cambio climático que se está viviendo. Otra ventaja cualitativa será impulsar a los empleados a colaborar en medidas de eficiencia energética, ya que, si la empresa está poniendo esfuerzo en estos temas, cualquier persona lo puede realizar algún aporte, dando la posibilidad de que sea escuchado y puede beneficiarse tanto la persona como la empresa.

Pero una de las principales desventajas cualitativas será que la utilización de energías renovables en muchos casos se ve como inversiones para que la empresa pueda muchas veces limpiar su imagen, tergiversando la idea principal de esta medida, pero otro problema que puede existir es que se crea esta medida podrá dar abasto a todo el consumo energético de una empresa, causando que los empleados crean que con esta tecnología se podrá trabajar tranquilo, sin la necesidad de reducir sus consumos, por ultimo otra desventaja es que actualmente el aporte energéticos de tecnologías renovables generalmente es menor que energía convencionales o tradicionales, siendo esta la que más perjudica la instalación de estos sistemas, sumado que en el país las tecnologías de características renovables, recién están siendo ocupadas en grandes escalas.

Para el caso del segundo método, que es el la adquisición de un equipo EcoPower, se debe detallar que solo se pudieron conseguir el costo de adquisición de un

equipo, sumado a los datos de costo por pérdida de eficiencia en términos monetarios anuales de una empresa y cuanto es el costo de lavar un motor. Los datos obtenidos para el uso de EcoPower son los siguientes:

Tabla 3.8 Beneficios y costos de implementación de sistema EcoPower; Elaboración propia.

<i>Sistema</i>	<i>Inversión</i>	<i>Costo por Ineficiencia</i>	<i>Costo de limpiar Motor</i>	<i>Beneficio Primer Año</i>	<i>Beneficio desde Segundo año</i>
<i>EcoPower</i>	USD 100.000	USD 450.000	USD 320.000	USD 30.000	USD 130.000

Como se observa en la Tabla 3.8 el beneficio de implementar un lavado de motor se verá impulsado desde el primer año, ya que la suma de la adquisición de un equipo, en conjunto a los costos de limpiar un motor serán inferiores al costo que verá la empresa si no realiza un lavado de motor, por lo que al siguiente año el beneficio por mantener eficiente el motor será mayor, obteniéndose mayores ahorros para la empresa.

Se debe mencionar que el lavado de motor propuesto es uno frente a varios otros, siendo uno de ellos el que utiliza Lufthansa denominado Cyclean Engine Wash, pero como se ha mencionado anteriormente su elección se debe a que su sistema es bastante eficiente, ya que no se desperdicia un alto porcentaje del agua utilizada, sino que se va reutilizando entre lavados de motor. Esto significa un ahorro para la empresa ya que no tendrá que realizar gastos repetitivos en el consumo de agua, obteniéndose aún más beneficios para la empresa.

El problema existente con los cálculos realizados, es que corresponde a un solo variante de motor con determinada edad de vida y esto no es cercano a la realidad, ya que las líneas aéreas generalmente tienen una amplia gama de aeronaves que tiene entre si distintos motores (no se deben contar las aerolíneas tipo LCC) por lo que la recuperación de eficiencia en los motores tendrá un gran espectro de beneficios para la empresa, pero independiente del tipo de motor, siempre se producirá un aumento en la eficiencia del motor, ya que luego de cada vuelo los alabes se ensucian por diversos factores.

Las ventajas cualitativas de este método es principalmente que los motores estarán más limpios, provocando no solo un aumento de la eficiencia de estos, sino que también visualmente será más atractivo para los pasajeros, dando una imagen de buen mantenimiento, sintiéndose más seguros. Al tener un motor con mejor eficiencia podrá otorgar una ventaja competitiva con otras empresa, ya que podrán consumir menos combustible en distancias similares, provocando que la empresa que realizo la limpieza tenga beneficios superiores. La realización de este método trae consigo indirectamente también una disminución de los gases contaminantes ya que la disminución del consumo de combustible es directamente proporcional. El lavado del motor se puede realizar incluso entre medio de algún vuelo, siempre y cuando se tenga un tiempo prudente para que se realice, este tiempo por lo general es sobre una hora.

Esto último también puede significar una desventaja cualitativa, pero desde el punto de vista de que puede demorar el despegue de la aeronave, si es que no es bien estimado el tiempo que tendrá la aeronave en tierra, otorgando beneficios a las otras empresa debido a que no tendrán atrasos en sus vuelos y los pasajeros solo por este hecho pueden cambiar de opinión acerca de la línea aérea y preferir aquella que tiene un menor número de retrasos de los vuelos.

Tabla 3.9 Comparación de consumo, emisiones y costos entre APU y GPU; Elaboración propia.

<i>Tipo de Consumo</i>	<i>APU</i>	<i>GPU</i>	<i>Costo APU</i>	<i>Costo GPU</i>	<i>Emisión APU (t CO₂ e).</i>	<i>Emisión GPU (t CO₂ e).</i>
<i>Mínimo</i>	151,4	3,8	USD 89,52	USD 3,53	0,000547087	0,000013765
<i>Máximo</i>	378,5	18,9	USD 223,81	USD 17,65	0,001367716	0,000068826

El tercer método que se menciona es el equilibrio en el uso de APU/GPU, para esto se calculó el consumo en litros, el costo por la totalidad de combustible utilizado y las emisiones de gases contaminantes durante el periodo de tiempo de una hora.

Los datos entregado en la Tabla 3.9 vienen a respaldar el reemplazo del uso de la APU por la GPU, ya que disminuye tanto el consumo de combustible, como los

costos y las emisiones, por lo que se puede decir que es una medida bastante efectiva. Además, está impulsada por que en varios aeropuertos del mundo la APU tiene restricciones de uso.

Se debe mencionar que el combustible entre GPU y APU son distintos entre sí, mientras el primero utiliza Jet-A1, el segundo utiliza generalmente diésel. Como se puede observar el uso de una sola hora de APU puede llegar a consumir un máximo de 378,5 litros, mientras que el uso de GPU tiene un consumo máximo de 18,9 litros, por lo que el consumo de este es veinte veces menor que el primero, ahorrando hasta 206,16 USD por hora. Este cálculo igualmente es aproximado, ya que actualmente estos sistemas no se utilizan por una hora continua, de hecho, el máximo tiempo promedio de utilización no sobrepasa los 15 minutos, esto según lo investigado.

Así como se mencionó que disminuye el combustible y los costos, las emisiones también deben detallarse y es por esta razón que disminuyen en la misma proporción que el consumo, esto obviamente es porque las emisiones son calculadas en base a un factor de emisión y el consumo realizado, por lo que el único distinto es el primero, pero aun así la proporción en la disminución de emisiones es igual a la del combustible, es decir, si se utiliza en un máximo de potencia se disminuyen hasta veinte veces.

El detalle de la utilización del GPU en reemplazo del APU recae en que no supe todas las actividades de la segunda y es por esto que además de la utilización de la GPU se debe ocupar algún sistema de climatización de la cabina, generalmente esto es proporcionado por el aeropuerto, ya sea a través de mecanismo que conecten a la aeronave con el aeropuerto, de manera que se alimenta del sistema de climatización del mismo, hasta maquinas generadores de aire acondicionado que son conectados a la aeronave. Esto provoca que la línea aérea deba incurrir a un gasto más, pero aun así este será más económico que la utilización de la APU, generalmente el cobro del sistema de climatización para la aeronave está determinado por el aeropuerto y este decide de cuanto será la tarifa, es por esto que totalmente variable para los distintos aeropuertos. El problema surgirá

cuando el cobro de la climatización junto al uso de la GPU supere al de la APU, para este caso solo se tendrá en consideración el termino monetario ya que al final siempre decide la empresa bajo estos términos.

Bajo todos los datos mencionados se decide que la mejor opción es que si se mantiene los costos de la Tabla 3.9, además de contabilizar el uso del aire acondicionado a través del aeropuerto y también el tiempo de uso promedio mencionado, se debe optar reemplazar totalmente el uso de la APU, de esta manera la empresa podrá tener todos los beneficios que ya se han mencionado.

Una ventaja cualitativa es que al cambiar el uso de la APU se permitirá tener un ruido ambiente amigable para las personas que trabajan en plataforma, así como también a los pasajeros que ingresaran a las aeronaves ya que no escucharán el ruido de una turbina en funcionamiento, permitiendo tener una mejor interacción con la tripulación por lo que existirá una mejor comunicación disminuyendo los problemas de entendimiento mutuo, permitiendo administrar de mejor manera lo que sucede en la aeronave, otorgando una mayor comodidad para los pasajeros. Otra ventaja es que al utilizar este método permite a la empresa mejorar la utilidad de estos dos sistemas, ya que se logra alcanzar una mejora en la utilidad de ambos, optimizando ambos recursos.

Una desventaja cualitativa de este método es que dependerá mucho de las características del sistema GPU y sistema de climatización presente en el aeropuerto, ya que si no logran reemplazar de manera óptima la APU, este método no se podrá utilizar, esto se debe a que el rendimiento de la GPU varía bajo muchos factores, como son la temperatura, altura y presión atmosférica presente en el aeropuerto, provocando que el uso de la APU sea leve o fuertemente mayor en términos de eficiencia, por lo que los costos del conjunto de la GPU y climatización sean superiores.

El cuarto método para utilizar es el de la adquisición de nuevas aeronaves, renovando la flota existente, esto solo será posible si es que la línea aérea tiene aeronaves con mayor edad de vida y/o tiene una edad promedio de flota superior de las mencionadas en la anterior sección. De ser así se evaluaron distintos tipos

de aeronaves y que a su vez tienen diferentes tipos de alcances, para ellos se expondrán los beneficios de renovar flota en términos de consumo de combustible y a su vez la reducción de emisiones contaminantes. Pero no solo se evaluarán las características de la aeronave en sí, ya que se evaluará también como interactúan los motores de la aeronave, todo lo anterior será evaluado en la fase de vuelo crucero, debido a que es la fase que más consume combustible y por un periodo de tiempo mayor.

Cuando se habla de fase de vuelo en crucero, se hace referencia a cuando la aeronave se encuentra recto y nivelado, alcanzando la altura necesaria para realizar un vuelo seguro y en la cual generalmente no se manipula el impulso que generan los motores de la aeronave, por lo que su consumo es constante durante el tiempo. Se prefirió esta fase producto que una aeronave tiene distintos consumos para sus distintas fases, donde algunas tienen más consumo que otras por periodos de tiempo, estas fases son:

- Fase de Despegue en Pista
- Fase de Ascenso
- Fase de Crucero
- Fase de Aproximación
- Fase de Descenso
- Fase de Aterrizaje en Pista

Se partirá describiendo las características principales para el análisis de cada aeronave siendo estas la autonomía y la capacidad máxima de combustible que puede almacenar.

Tabla 3.10 Especificaciones técnicas de algunas aeronaves de las principales fabricantes en unidad de sistema internacional SI; elaboración propia

<i>Modelo</i>	<i>Autonomía</i>	<i>Capacidad Máxima de Combustible</i>	<i>Kilómetros por Litros</i>	<i>Consumo por Kilometro</i>
A320	6.100	27.200	0,2243	4,46
A320 NEO	6.500	26.730	0,2432	4,11
A321	5.950	30.030	0,1981	5,05
B737-800	5.665	26.020	0,2177	4,59
B737 MAX 8	6.570	25.817	0,2545	3,93
B767	6.028	90.774	0,0664	15,06
B787-8	14.140	126.920	0,1114	8,98
A350	15.000	141.000	0,1064	9,40
B747-8	14.816	226.118	0,0655	15,26
A380	15.186	320.000	0,0475	21,07

Como se puede observar en la Tabla 3.10 dependiendo del tipo de modelo varia su autonomía y su capacidad de combustible, por lo que se tienen múltiples escenarios para los distintos consumos de combustible de cada aeronave, este cálculo es bastante sencillo ya que se toma su autonomía, que es aquella distancia máxima que puede alcanzar la aeronave con su capacidad máxima de combustible y este último dato también se tiene, ya que cada fabricante de aeronave debe entregar estos datos, lamentablemente por temas de confidencialidad de las empresas, no se pudo tener los valores claros de consumo por aeronave y se debió calcular bajo estos conceptos, como se ha mencionado en reiteradas ocasiones a lo largo del presente informe el consumo varía de acuerdo a la fase de vuelo, pero aun así el cálculo realizado es bastante realista para lo que consume una aeronave.

Si bien se presentan distintas autonomías, se agruparán en dos principalmente, corto-media distancia y larga distancia, dentro del primer grupo encontramos el A320, A320NEO, A321, B737-800, B737 MAX8 y B767, mientras que en el segundo grupo encontramos B787-8, A350, B747-8, A380. Hay que mencionar

que más adelante se desarrollara un cuadro comparativo con las diferencias entre ambos A320 Y B737, para tener una data más específica del desarrollo de estas aeronaves. Continuando con el tema de la autonomía y la razón de uso de combustible, se observa que no existe aeronave alguna que tenga el mismo consumo por kilómetro y/o un rendimiento de kilómetros por litros, si bien suenan que son similares no lo es, ya que el primero nos dice cuanto combustible consume en un kilómetro mientras el segundo nos dice cuantos kilómetros recorre con un solo litro de combustible, habiendo realizado esta aclaración de términos, se observa que la aeronave que menos consume por kilómetros es el B737-MAX8 siendo de 3,93, por lo que se podría decir que recorre una mayor cantidad de kilómetros con menor consumo de combustible, pero solo si se compara aeronaves de la primera categoría descrita en autonomía. Mientras que la aeronave del segundo tipo de autonomía que tiene un consumo menor por kilómetro es el B787-8 siendo de 8,98. Por lo que si la empresa quisiese tener una aeronave que consuma menos combustible por kilómetros estas aeronaves serían la indicada, la diferencia entre los datos expuestos en la Tabla 3.10 se deben a la razón entre autonomía y capacidad de combustible en algunos es mayor que otra, pero como en la industria aérea la elección de una aeronave no solo depende de estas características, sino que también la cantidad de pasajeros que pueden transportar y la capacidad de carga.

A continuación, se analizará lo que pasa entorno a los pasajeros transportados y la capacidad de combustible, ya que estos indicadores serán más cercanos a la realidad de la línea aérea, además estos factores son los principales términos para la línea aérea, ya que es aquí donde se tienen las ganancias para la empresa.

Tabla 3.11 Especificaciones en base a asientos por aeronaves y costos asociados al consumo de combustible; Elaboración propia.

Modelo	Asientos	Consumo en litros de 100 km por Asiento	Millas por galón por Asiento	Gasto Total Combustible
A320	150	2,97	79,13	USD 16.081,82
A320 NEO	165	2,49	94,38	USD 15.803,93
A321	220	2,29	102,53	USD 17.755,04
B737-800	162	2,84	82,96	USD 15.384,15
B737 MAX 8	178	2,21	106,55	USD 15.264,13
B767	290	5,19	45,30	USD 53.669,60
B787-8	290	3,10	75,99	USD 75.040,60
A350	325	2,89	81,32	USD 83.365,31
B747-8	410	3,72	63,19	USD 133.690,75
A380	523	4,03	58,38	USD 189.197,86

En la Tabla 3.11 se agregan la capacidad de pasajeros con una distribución de cabina de dos clases, pero se utilizan los mismos datos de autonomía y capacidad máxima de combustible, con la leve diferencia ya que se realizan ciertas variaciones para tener una mayor alternativas de medición, una de ellas es que se calculó la capacidad en una unidad distinta al litro, la cual es galón US, la cual corresponde aproximadamente a 3,78 litros. Mientras que la otra es que se utiliza la unidad millas para poder calcular las millas por galón (US) por asiento.

Para obtener estos resultados se realizaron las siguientes formulas:

$$\text{Consumo por Asiento}_{\left(\frac{Lt}{100km*pax}\right)} = \frac{\text{Capacidad Máxima}_{lt}}{\text{Autonomía}_{Km} * \text{Asientos}} * 100 \quad (2)$$

$$\text{Millas por Galón por Asiento}_{mpg \text{ pax}} = \frac{\text{Autonomía}_{millas} * \text{Asientos}}{\text{Capacidad Máxima}_{galón \text{ US}}} \quad (3)$$

En base a estos resultados se puede mencionar que la mejor opción considerando todos estos factores se cambiar algunas de las elecciones realizadas anteriormente, pero primero se analizar por parte ya que presentan múltiples elecciones dependiendo de qué resultado se quiera analizar de la Tabla 3.11.

Observando los datos entregados en la parte que se calcula el consumo en 100 kilómetros por cada asiento, a lo que se le llamara rendimiento, la mejor opción a corta y mediana distancia se mantendría la elección del B737-MAX8, ya que dicho valor es de 2,21. De igual manera si se le compara con A320 NEO, el consumo es levemente mayor siendo de 2,49, por lo que la línea aérea tiene dos opciones bastante accesibles para este tipo de distancia. Mientras que para larga distancia y manteniendo el criterio anterior la elección realizada en la que solo se tenía considerada la autonomía y capacidad máxima, cambio y la aeronave que tiene un mejor rendimiento para largas distancias es el A350, teniendo un valor de 2,89, por otro lado, la el B787-8, que fue elegida anteriormente, quedaría relegado a segundo lugar con un rendimiento de 3,1. La razón del porque varia el análisis bajo este criterio se debe a que la inclusión de los pasajeros cambia drásticamente los cálculos, por lo que entregaría un dato con mayor realidad a lo que se puede enfrentar la línea aérea. Además, si se comparan las capacidades de pasajeros para corta y mediana distancia, la mejor opción sería la utilización del A321, ya que puede trasladar hasta 220 personas y tiene un rendimiento de 2,29, lo cual es levemente superior a la del B737-MAX8, pero este traslada cuarenta pasajeros menos que el A321, por lo que tendría una mejor eficiencia en razón de traslado de pasajero. Esto último es de gran relevancia ya que la empresa tendría mayor beneficio tanto por la venta del ticket, como una disminución de costos en combustible.

Analizando el siguiente concepto que son las millas por galón por asiento, que básicamente es la distancia que recorre al consumir un galón por cada pasajero, la mejor opción para corta y mediana distancia es el B737-MAX8, ya que su valor es de 106,55 manteniéndose la elección realizada en el primer análisis. La aeronave que le sigue es el A321 con un valor 102,53, si se comparan ambas aeronaves, el A321 tiene la ventaja de que puede transportar un mayor número de pasajero, por lo que una vez más la inclusión de los pasajeros es un factor decisivo al momento de seleccionar una aeronave. Mientras que la elección para una aeronave de larga distancia es el A350 teniendo un valor de 81,32 por lo que al igual que el caso anterior, se prefirió esta aeronave por sobre el B787-8

teniendo un valor de 75,99 y una vez más el factor de la cantidad de asiento disponible es la que decide la elección de la aeronave.

Como se puede observar para ambos casos en ningún momento se eligió A380 y B747-8 como aeronave principal para largas distancias, siendo ambas aeronaves diseñadas principalmente para transportar un gran número de pasajeros y distancias, esto se puede deber principalmente al número de motores. Todas la aeronaves seleccionadas tiene 2 motores principales, mientras que el A380 y B747-8 tiene 4 motores, por lo que tiene que distribuir su capacidad de combustible en una mayor numero de motores, aumentando el consumo de combustible. Pero la razón del porque se siguen diseñando aeronaves de gran tamaño que consumen mayor combustible, es una vez más por la cantidad de pasajeros que puede transportar, ya que al tener una mayor capacidad puede transportar en un solo vuelo la cantidad de pasajeros que se transportarían en dos o más vuelos que las otras aeronaves analizadas, por lo que al final el consumo seria mayor al realizarse un mayor número de vuelos. De igual manera las líneas aéreas seleccionan una aeronave en base a las rutas que realizan y la demanda existen, esta última es el factor clave ya que con este dato se sabrá cual es la cantidad de pasajeros que se transportara y cuál será el factor de ocupación⁴¹ de una aeronave, para el caso del A380 y/o B747-8 existe la posibilidad de que la demanda sea menor provocando que la aeronave realice el vuelo con una mayor cantidad de asientos vacíos, significando perdidas para la línea aérea, mientras que si se utilizara un A350 y/o B747-8 el factor de ocupación seria mayor y habría una menor cantidad de asientos vacíos en la aeronave.

El último análisis que se puede realizar de la Tabla 3.11 es la de los costos en combustibles, estos costos están directamente con la capacidad de combustible, ya que se calculó de manera de estimar cuanto es el máximo que pagara una línea aérea por vuelo, se observa que para vuelos de corta y mediana distancia una vez más se debería elegir el B737-MAX8, esto debido a que el mayor costo a pagar

⁴¹ El factor de ocupación hace referencia al porcentaje de pasajeros transportado en una aeronave frente a la cantidad de asientos ofrecidos, actualmente este porcentaje se encuentra en un promedio en la industria de 80 a 85%

será de 15.264 USD, mientras que para largas distancias el B787-8 sería la opción obvia ya que su máximo costo a pagar sería de 75.040 USD.

Luego de haber todos los factores anteriores se puede realizar una idea que permita obtener la elección con mayor optimización de los recursos de una línea aérea, de esta manera se impulsara la eficiencia energética debido a que, al adquirir una nueva aeronave, con sus respectivas características y tecnologías, se mejorara el consumo de combustible sin afectar la calidad de las rutas y los servicios. Para esto se darán a conocer los puntos que se deben tener a consideración para elegir la mejor opción en base al estilo o modelo de negocio que presenta la línea aérea:

1. Dependiendo de la distancia de la ruta a volar, se prefiere realizar un análisis previo de la demanda existen y/o futura de manera de que se elija la mejor opción, para este caso se debería a tener en consideración los datos que entrega millas recorridas con un galón por pasajero.
2. Luego de tener claro el punto anterior, elegir el tipo de aeronave en base a la cantidad de pasajeros que puede transportar, optimizando el factor de ocupación
3. Por último, luego de tener ambos puntos anteriores, se debe considerar los costos que se realizaran en términos del consumo de combustible.

Teniendo en consideración los tres puntos anteriores se podrá elegir adecuadamente una aeronave para cada tipo de ruta. La razón del porque se menciona la ruta es que debido a estas es que las líneas aéreas existen, la necesidad de las personas por recorrer ciertos lugares hace que las líneas aéreas generen sus ganancias, más aún si las distancias a recorrer son largas, ya que estas permiten ser alcanzadas en un menor tiempo que los otros tipos de transporte.

Sin embargo, solo se ha analizado a la aeronave y no la parte esencial que consume combustible, esto hace referencia al motor que utilizan. Al momento de la elección de una aeronave el fabricante le da la opción a la línea aérea de elegir el conjunto de motores que tendrá, de esta manera pueden seleccionar la que más

convenga para la empresa ya sea por términos de costos de adquisición y/o eficiencia del motor.

Tabla 3.12 Especificaciones por motores utilizados por aeronaves analizadas, Elaboración propias (Jet Engine , 2012).

Aeronave	Modelo Motor	SFC en Crucero	Empuje Crucero	Consumo por Hora
A320	CFM56-5A3	0,596	5.000	2.980,00
	CFM56-5B4	0,545	5.020	2.735,90
	IAE V2500-A1	0,581	5.070	2.945,67
	IAE V2527E-A5	0,543	5.090	2.763,87
A321	CFM56-5B1	0,596	5.840	3.480,64
	CFM56-5B2	0,545	5.840	3.182,80
	IAE V2533-A5	0,538	5.700	3.066,60
	IAE V2530-A5	0,574	5.725	3.286,15
B737-800	CFM56-7B20	0,633	5.450	3.449,85
	CFM56-7B24	0,627	5.480	3.435,96
B747-8	PW 4062	0,576	9.400	5.414,40
	GE CF680C2B5F	0,564	12.820	7.230,48
	RR RB211524H	0,570	11.813	6.733,41
A380	GP 7270	NA	12.633	NA
	GP 7277	NA	13.700	NA
	Trent 970	NA	NA	NA
	Trent 977	NA	NA	NA

En la Tabla 3.12 se observa que se eligieron solo algunas aeronaves y motores respectivos que se pueden seleccionar al momento de la compra de la aeronave, mencionar que las unidades presente en la misma se encuentran en la ecuación número 4. A manera de contextualizar el tipo de motor se nombrarán a que compañía corresponden:

- Motores con iniciales CFM corresponden a un Joint Venture⁴² entre General Electric y Safran Aircraft Engines, actualmente a entregado 30.700 motores.
- Motores con iniciales IAE corresponden a la compañía International Aero Engines, formada por un consorcio de cuatro grandes compañías

⁴² Una Joint Venture es una alianza estratégica o comercial entre compañías que buscan aprovechar una oportunidad que requiere la unión de capacidades de cada compañía, básicamente crean una tercera compañía.

constructoras de motores (Pratt & Whitney, Rolls-Royce, MTU Aero Engines, Japanese Aero Engines Corporation), hasta el año 2015 ha entregado 6.200 motores.

- Los motores con iniciales PW corresponden a la compañía Pratt & Whitney, actualmente se han entregado alrededor aproximadamente más de 16.000 motores.
- Motores con iniciales GE corresponde a la compañía General Electric, fue fundada en 1917.
- Los motores con iniciales RR corresponden a la compañía Rolls-Royce, actualmente es el segundo constructor de motores del mundo, los motores clase Trent también pertenecen a esta compañía.
- Por último, los motores con iniciales GP, corresponden a la compañía Engine Alliance, esta es un Joint Venture entre General Electric y Pratt & Whitney creada en 1996.

Para la realización del contenido presente en la Tabla 3.12 se debió hacer una ardua investigación ya que la data presente es generalmente confidencial o de difícil acceso, por lo cual se debió investigar durante días para llegar a tener la mayor cantidad de información, es por esto que también está la presencia de “NA” que significa que no se pudo encontrar información y no aplica el cálculo a realizar. El principal dato presente para saber métodos de reducción de consumo de combustible es la que aparece en la sección de consumo por hora, esta se obtiene mediante la siguiente formula:

$$Consumo_{lbs\ fuel\ per\ Hour} = SFC_{\left(\frac{lbs}{hr*lb_f}\right)} * Thrust_{lb_f} \quad (4)$$

SFC hace referencia al Specific Fuel Consumption y es la eficiencia del combustible de un motor que está relacionado con el empuje del mismo, al igual que el caso anterior se realiza en base a la fase crucero. Mediante la fórmula anterior se logra saber cuánto consume, en libras, un solo motor durante una hora

de empuje constante, de esta manera se puede elegir la mejor opción frente a variadas opciones.

Para el A320 la mejor opción sería la adquisición del motor CFM56-5A3, teniendo un consumo de 2.735,9 libras por hora, mientras que para el A321 que es de la misma familia de la anterior aeronave, se preferiría el motor IAE V2533-5 teniendo un consumo de 3.066,60. Esta variación entre motores se debe a que generalmente se diseñan motores en base a las características de la aeronave para que luego al motor se realice modificaciones que permitan aumentar su eficiencia. Mientras que para el caso del B737-800 se preferirá el motor CFM56-7B24 teniendo un valor de 3.435,96. Por lo que para aeronaves de corta y mediana distancias existen múltiples elecciones de motores y que dependerá de la línea aérea la elección de esta.

Para el caso del B747-8 es la aeronave que tiene el mayor número de motores que puede elegir, pero de entre ellos sobresale el motor PW 4062 teniendo un valor de 5.414,48, mientras que para el A380 no se pudo realizar el análisis correspondiente a que como se ha mencionada no se pudo obtener data.

Pero todavía falta un análisis más por realizar y es el sobre la cantidad de emisiones que emite cada tipo de aeronave, para la realización de esto se considerará la capacidad máxima de combustible, la distancia recorrida por galón por pasajero y el consumo por hora durante la fase de crucero, de esta manera se calculará en variadas unidades la cantidad de gases contaminantes que son emitidos por una sola aeronave.

De esta manera se tendrá una idea clara de cómo enfrentar la toma de decisión al momento de elegir una aeronave, pero desde el punto de vista ambiental. Si bien a las líneas aéreas les importa muy poco lo que se reduce en emisiones, siendo más importante la reducción de los costos, de igual manera se debe mencionar ya que de esta forma se tendrá una idea más clara que implica tomar medidas de eficiencia energética y se logrará mejorar los índices de sustentabilidad en industria aérea.

Tabla 3.13 Representación de emisiones contaminante en base a distintas unidades; elaboración propia.

Modelo	Capacidad Máxima en litros	Consumo por Hora)	Millas por Galón por Asientos	Emisión "Global"	Emisión "Por Hora"	Emisión "Por Asiento"
A320	27.200	2.735,90	79,13	0,0983	0,0000005644	0,0000072147
		2.763,87			0,0000005702	
A320 NEO	26.730	NA	94,38	0,0966	NA	0,0000058673
B737- 800	26.020	3.435,96	82,96	0,0940	0,0000007089	0,0000070041
B737- MAX8	25.817	NA	106,55	0,0933	NA	0,0000081869
B747-8	226.118	5.414,40	59,71	0,8170	0,0000011170	0,0000028160
		7.230,48			0,0000014917	
		6.733,41			0,0000013892	
A380	320.000	NA	53,82	1,1562	NA	0,0000017954
		NA			NA	

Observando la Tabla 3.13 se analiza que la aeronave que tiene una menor cantidad de emisión global, es decir, por la cantidad máxima de combustible que puede transportar, corresponde al B737-MAX8 siendo esta la recomendada para reducir las emisiones de gases contaminantes con 0,0933 (t CO₂ e) por vuelo, luego le sigue la aeronave predecesora a ese modelo con 0,0940 (t CO₂ e) y en tercer lugar es el A320NEO con una emisión global por vuelo de 0,0966 (t CO₂ e). Las anteriores aeronaves corresponde a vuelos de corta y mediana distancia, mientras que para aeronaves a larga distancia, se recomienda el B747-8 con una emisión global de 0,8170 (t CO₂ e), se puede observar que el aumento de emisiones existente entre una aeronave de corta-mediana distancia con esta es abismante y esto se debe a que como se realizó el cálculo en base la capacidad máxima de combustible, la diferencia entre estas aeronaves puede llegar a ser de hasta diez veces, por lo que obviamente emitirá una mayor cantidad de dióxido de carbono.

La siguiente emisión a analizar es la que se realiza en hora por la utilización de un solo motor, al igual que paso en el caso anterior no se pudo recolectar cierta

información debido a que existe un alto grado de confidencialidad en temas técnicos, pero de los datos encontrados el motor que emite una menor cantidad de gases es uno de los motores usados por el A320, siendo el modelo CFM56-5B4, por lo que se puede decir que esta aeronave tiene los motores con mayor eficiencia energética, debido a que anteriormente también había sido seleccionado como el motor que menos consume combustible, mientras que la aeronave para larga distancia se elige el B747-8, pero esto se debe principalmente a que no se encontró mayor data sobre sus aeronaves competidoras, siendo el modelo de motor PW 4062 elegido para tener la mayor eficiencia.

Por último, se observa que la aeronave que tiene una menor cantidad de emisión por asiento es el A320NEO. Este dato sirve para que la industria aérea se compare con otros medios de transporte y logre incentivar el uso de la aeronave, si es que sus emisiones son menores. Mientras que la aeronave a larga distancia seleccionada será el A380, mediante estos datos se puede realizar un segundo análisis y es que a medida que aumenta la distancia y la cantidad de pasajeros de las aeronaves las emisiones por asiento disminuyen, por lo que el pasajero “emitirá” una menor cantidad de gases contaminantes al ambiente.

Luego de haber analizado a la aeronave y los motores que la conforman se puede realizar una última comparación y esta corresponde a lo que sucede cuando se adquiere una aeronave nueva que pertenece a la misma familia de aeronaves.

Tabla 3.14 Comparación de características entre aeronaves de una misma familia y fabricantes; Elaboración propia.

<i>Modelo</i>	<i>Autonomía</i>	<i>Variación % Autonomía</i>	<i>Capacidad Máxima de Combustible</i>	<i>Variación % Combustible</i>	<i>Millas por galón por pasajero</i>	<i>Variación % mpgPax</i>
<i>A320</i>	6100		27200		79,13	
<i>A320 NEO</i>	6500	6,56%	26730	-1,73%	94,38	19,27%
<i>B737- 800</i>	5665		26020		82,96	
<i>B737 MAX 8</i>	6570	15,98%	25817	-0,78%	106,55	28,43%

Los datos comparativos entre estas aeronaves presentes en la Tabla 3.14, permiten observar que la adquisición de las aeronaves nuevas comparadas con su modelo anterior, existen mejoras en la eficiencia del consumo, autonomía y distancia recorrida por cierta cantidad de combustible por pasajero. Entre la aeronave A320 y A320 NEO existe una mejora del 6,56% en la autonomía de vuelo, por lo que tendrá un mayor alcance, mientras que la capacidad de combustible disminuyó un 1,73%, esto nos dice que la aeronave está teniendo un mayor alcance con una menor capacidad de combustible, por lo que claramente la eficiencia de la aeronave aumentó y para tener una mayor claridad de esto, las millas recorridas por un galón de combustible en base a la cantidad de asientos, aumentó un 19,27%, por lo que lo anterior mencionado quedó demostrado y esto sumado a que la nueva versión del A320 puede transportar un mayor número de pasajeros, significará para la empresa un mayor beneficio y un menor costo en cada vuelo, siempre y cuando el precio del combustible se mantenga estable.

Utilizando lo anterior también se puede realizar un análisis al B737-800 y B737-MAX8, se observa que hubo un aumento del 15,98% en la autonomía y una disminución de la capacidad de combustible de 0,78%, por lo que una vez más la adquisición de la nueva versión de una aeronave mejora la eficiencia del consumo de combustible, causando que la aeronave logre una mayor distancia con una menor capacidad de combustible, esto queda claramente demostrado en las millas recorridas con un galón de combustible frente a la capacidad de pasajeros, la cual aumenta en un 28,43%, por lo que una vez más el beneficio aumenta y disminuyen los costos relacionados al combustible por cada vuelo.

La ventaja cualitativa es que al tener un aumento en la optimización del consumo de combustible se puede tener una ventaja frente a sus competidores, debido a que tendrán menores costos en estos temas, mientras que al mismo tiempo si se revela información de reducción de consumo de combustible al público general se tendrá una mejor imagen corporativa. Otra ventaja cualitativa es que al adquirir una aeronave nueva se contará con la mejor tecnología, otorgando seguridad y

comodidad para los pasajeros, provocando que ellos prefieran esta línea aérea por el solo hecho de estos factores.

Mientras que una desventaja cualitativa es que existen elevados costos de adquisición provocando que la empresa piense muy bien la decisión de cual aeronave es mejor para las rutas y características de la línea aérea.

El ultimo método a detallar será el del ascenso continuo, para esto se utilizaron datos muy similares a los calculado al momento de saber el consumo por hora. Al igual que el caso pasado se analizará a diferentes aeronaves, ya sea que tenga una autonomía de corto, mediana y larga distancia, de esta manera se tendrá un mayor espectro al momento de decidir cual aeronave tiene el mejor performance durante esta fase del vuelo.

Tabla 3.15 Especificaciones por motores durante la fase de ascenso y su consumo, Elaboración propia (Jet Engine , 2012).

<i>Aeronave</i>	<i>Modelo</i>	<i>SFC</i>	<i>Empuje Máxima</i>	<i>Consumo por Hora</i>
A320	CFM56-5A3	0,330	26.500	8.745,00
	CFM56-5B4	0,340	33.000	11.220,00
	IAE V2500-A1	0,350	25.000	8.750,00
	IAE V2527E-A5	0,360	27.000	9.720,00
A321	CFM56-5B1	0,350	30.000	10.500,00
	CFM56-5B2	0,350	31.000	10.850,00
	IAE V2533-A5	0,360	31.400	11.304,00
	IAE V2530-A5	0,370	33.000	12.210,00
B737-800	CFM56-7B20	0,360	20.000	7.200,00
	CFM56-7B24	0,370	24.000	8.880,00
B747	PW 4062	0,335	63.300	21.205,50
	GE CF680C2B5F	0,323	62.100	20.058,30
	RR RB211524H	0,330	60.600	19.998,00
A380	GP 7270	NA	70.000	NA
	GP 7277	NA	77.000	NA
	Trent 970	NA	78.300	NA
	Trent 977	NA	83.835	NA

De la Tabla 3.15 se observa que el motor CFM56-7B20, perteneciente al B37-800, esto quiere decir que esta aeronave consume una menor cantidad de combustible durante la fase de ascenso que las otras aeronaves.

La fase de ascenso es la que más consume de todo el vuelo, pero esto si se evalúa en un periodo de tiempo, ya que como se mencionó al realizar el análisis durante la fase de vuelo crucero, este consume la mayor parte del combustible pero lo realiza uniformemente a lo largo del tiempo, pero para el caso del ascenso es totalmente distinto, ya que esta dura por un breve periodo de tiempo y consume una gran cantidad de combustible y esto se debe a que en esta fase se utiliza el empuje máximo que pueden realizar los motores. Al estar los motores a máxima potencia a estos se le deben inyectar una mayor cantidad de combustible a la zona de combustión de manera de generar una mayor potencia, recordar que solo el 20% de la potencia total del motor es provocada por lo que genera la cámara de combustión, mientras que el 80% restante se realiza mediante el aire que pasa por el bypass, al mezclarse ambas se genera el empuje necesario para mantener a la aeronave volando constantemente.

Luego de tener en consideración los datos técnicos sobre el empuje que tiene cada aeronave y el consumo que realiza, se puede empezar a realizar la planificación del ascenso continuo ya que en base a la performance de la aeronave se puede realizar un primer diseño del gradiente de ascenso que tendrá. Al dato anterior se le debe considerar los obstáculos presentes y además las condiciones climáticas que presenta la pista, esto debido a que como se ha mencionado el ascenso continuo se diseña en base a una pista y no a un aeropuerto en particular. Si el aeropuerto no presenta obstáculo alguno, se puede diseñar el ascenso en base a la información que presenta los motores y en particular su ángulo de ascenso, por lo cual no tendría que realizarse ningún SID y solo dependería de las características de la aeronave, mientras que se si presentase algún obstáculo, ya sea artificial o natural se deberá realizar uno o varios SID's dependiendo de las características del obstáculo y de la aeronave, esto queda mejor reflejado en la Figura 3.26 que se encuentra en la anterior sección.

Al momento de tener claro las características anteriores se debe tener múltiples conversaciones con autoridades nacionales y pertenecientes al aeropuerto, para diseñar de la mejor manera posible este proyecto, ya que también deberá implementarse con un sistema de navegación óptimo, este sería el sistema RNP ya que optimiza el uso del espacio aéreo y mejorará el ratio de ascenso de la aeronave.

Tabla 3.16 Consumo y emisiones de motores durante la fase de ascenso; elaboración propia (Jet Engine , 2012).

<i>Aeronave</i>	<i>Modelo</i>	<i>Consumo por Hora</i>	<i>Emisión por Hora</i>
A320	CFM56-5A3	8.745,00	0,00000180418
	CFM56-5B4	11.220,00	0,00000231479
	IAE V2500-A1	8.750,00	0,00000180521
	IAE V2527E-A5	9.720,00	0,00000200533
A321	CFM56-5B1	10.500,00	0,00000216625
	CFM56-5B2	10.850,00	0,00000223846
	IAE V2533-A5	11.304,00	0,00000233212
	IAE V2530-A5	12.210,00	0,00000251904
B737-800	CFM56-7B20	7.200,00	0,00000148543
	CFM56-7B24	8.880,00	0,00000183203
B747	PW 4062	21.205,50	0,00000437490
	GE CF680C2B5F	20.058,30	0,00000413822
	RR RB211524H	19.998,00	0,00000412578
A380	GP 7270	NA	NA
	GP 7277	NA	NA
	Trent 970	NA	NA
	Trent 977	NA	NA

En la Tabla 3.16 se observa la cantidad de emisiones que emite el motor durante la fase de ascenso, pero con el leve alcance de que se encuentra calculado durante el periodo de una hora y esto en la realidad no ocurre, generalmente el ascenso puede durar entre 5 a 10 minutos, dependiendo de la altura que se quiere alcanzar. El motor que tiene una mayor cantidad de emisiones contaminantes es el modelo CFM56-7B20 perteneciente al B737-800 con 0,00000148543 (t CO₂ e), de igual manera este motor también es el que menos consume, por lo que se puede afirmar que la cantidad consumida es directamente proporcional a la cantidad de gases

contaminantes. Si se analiza el consumo por minutos presente en la Tabla 6.7 de Anexo II el motor que tiene un menor costo por consumo es el CFM56-5A3 llegando a los 2.188,82 USD mientras que su versión más actualizada, es decir, el modelo CFM56-5B4 tiene un costo asociado al consumo por minuto de 2.808,3 USD, esto se debe principalmente a que la versión actualizada tiene un mayor empuje, pero esto causa básicamente que alcance su altura para vuelo crucero más rápidamente, por lo que su mayor consumo se equilibra con el menor tiempo de uso.

La ventaja cualitativa que se presenta es similar a los anteriores métodos ya que se lograra aumentar la eficiencia del consumo de combustible, por lo que disminuirán los costos en este ámbito, además al realizar un ascenso continuo y no en forma escalonada se disminuirá el ruido que provocan los motores, por lo que la población circundante tendrá menos problemas de convivencia con el aeropuerto. Una desventaja cualitativa es que al realizar la planificación del ascenso continuo se puede tener algún problema en el diseño de este, por lo que se tendría que cambiar el diseño que la línea aérea consideraba más optimo, viéndose afectada la eficiencia de este método, pero aun así se lograr disminuir el consumo de combustible.

3.4.3 Resistencia al Cambio

Luego de haber analizado y realizado las propuestas de métodos de eficiencia energética tanto para las operaciones en tierra como aéreas, se debe presentar un tema que generalmente sucede al momento de implementar nuevas tecnologías o una nueva metodología y esta es la resistencia al cambio.

La resistencia al cambio se puede dar por diferentes factores, entre ellos se encuentran:

- Elevados costos de inversión hacen que la gerencia ponga en duda la implementación de métodos de eficiencia energética.
- Nuevas tecnologías pueden causar rechazo de los trabajadores y también de la gerencia por tener que realizar capacitaciones.

- Implicar nuevas metodologías puede poner en conflictos al personal con mayor antigüedad de la empresa.

Estos son solo algunos factores que pueden interferir en la utilización de medidas de eficiencia energética, provocando que en muchas oportunidades los gerentes sean los que tengan la última palabra.

La resistencia al cambio debe ser tratada por la empresa mediante intervenciones en la empresa, esto debido a que esto puede causar problemas para la empresa, por que como se ha mencionado puede provocar que las inversiones no se realicen debido a que los trabajadores o algunos directores no estén de acuerdo con esto, por lo que es importante que quien plante los proyectos nuevos y que tengan un impacto a la eficiencia de los recursos debe realizar una análisis para demostrar que el método servirá para la empresa y que a pesar de que se deba realizar estas inversiones y cambio de metodología serán para mejor para la empresa. Para esto se deben plantear una marcha blanca ya que esta es la mejor manera para realizar una implementación paulatina, de esta manera los trabajadores podrán tener un periodo de adaptación y no tener que recibir de golpe estos grandes cambios, además de realizar la marcha blanca se deberá tener planificados capacitaciones previas a la marcha blanca de esta manera al momento de realizar esta se tendrá mejor preparado al personal. Para el caso de la aviación y en particular a las líneas aéreas, cuando se presentan nuevas tecnologías y son adquiridas por ellas, el fabricante realiza capacitaciones sin costo alguno, ya que ellos saben que la existencia de nuevas tecnologías habrá resistencia a la implementación de estas, por lo que llevan a parte del personal, que tenga relación con la sección de la nueva tecnología, para que la conozcan y realicen preguntas sobre el funcionamiento de esta, así también el fabricante tendrá un feedback de parte del personal que convive constantemente con el sistema a actualizar y tener referencia directas, de esta manera se podrá mejorar el sistema.

La resistencia al cambio como se mencionó también se puede dar por temas monetarios, es por esto que al momento de diseñarse nuevas metodologías o tecnologías se deben presentar tanto los costos mismos de adquisición, pero también impulsando los beneficios que tendrá para la empresa, ya que de esta manera se podría cambiar la opinión de los ejecutivos. De no poder convencer a los ejecutivos se deberá proponer a otra empresa, posiblemente competidores para demostrar que la decisión tomada fue incorrecta y que a pesar de los costos los beneficios a largo plazos fueron mayores. En este punto también tiene mucha influencia la situación financiera de la empresa, por lo que, si existe la posibilidad de que se quisiese adquirir una nueva tecnología y/o metodología, pero su situación no lo acompaña, no quedara más remedio para la línea aérea que resistirse a sí misma al cambio, por lo que esto también puede ser un problema que pueda significar resistencia al cambio.

Capítulo 4 Conclusiones y Recomendaciones:

El desarrollo industrial indiscriminado durante un largo periodo, casi 250 años, emitió una gran cantidad de emisiones contaminante provocando que las generaciones actuales no pudieran conocer la majestuosidad de la naturaleza, es así como lugares donde existía hielo como Montana (EEUU) solo se consigue actualmente observar 25 glaciares de gran extensión cuando anteriormente solían encontrarse alrededor de 150. Así mismo el Océano Ártico presenta este fenómeno, donde año tras año es menor la capa de hielo. Esto también trae consigo el aumento de los niveles del mar, en donde islas completas podrían desaparecer. A su vez aumentan la potencia de las tormentas o fenómenos climáticos, como son el fenómeno del niño o la niña, en donde hay periodos más prolongados de sequías o inundaciones y con una mayor potencia que hace 60 años. Todo esto ha hecho recapacitar al ser humano y tomar acciones para evitar que esto empeore y no afectar a las futuras generaciones, donde se han creado tratados internacionales como son el Protocolo de Kyoto o el acuerdo de Paris.

En conjunto a los países las diferentes industrias deben hacerse cargo de las emisiones que provocan, es por todo esto que surge la idea de la eficiencia energética, la cual busca mantener o aumentar la eficiencia en el consumo de energía, pero disminuyendo a la vez las emisiones contaminantes, esto sin afectar a la calidad de los productos y/o servicios de cada empresa.

En la industria aérea (OACI) se observa que está comprometida a disminuir las emisiones de gases contaminantes, en donde recortaran su huella de carbono en un 50% para el año 2050, además mejoraran la eficiencia del combustible en un 1,5% anual hasta el año 2020. Esto se logra por diferentes métodos como son: la utilización de nuevas tecnologías tanto en las aeronaves en si (utilización de fibra de carbono), como los motores (optimización del consumo de combustible). Pero las líneas aéreas también se planifican para lograr estas disminuciones usando métodos tales como: Utilización de un solo motor durante el taxeo (Embarque/Desembarque), reducción en la cantidad de agua potable suministrada de acuerdo a la distancia del vuelo, iluminación ecoeficiente en

edificios administrativos y hangares de mantenimiento, etc. LATAM es considerada líder mundial de eficiencia en el consumo de combustible, puesto que consume 10% menos combustible que el promedio registrado por la IATA.

Durante el proceso del presente informe se debió recopilar una gran cantidad de información para poder entender la situación actual de las líneas aéreas de manera de reconocer cuales son las que tienen una mayor impacto en la reducción del consumo energético, impulsando el uso de la eficiencia energética. Cada medida investigada se debió analizar de manera de comprender por qué se utilizan y cuáles son los beneficios que traerá, es así como se recopiló y analizo más de 15 métodos utilizados actualmente, ya sea para disminuir el consumo energético en tierra y aire, mejorando estándares de sustentabilidad. Cada medida trae consigo una disminución de gases contaminantes, mejorando las condiciones ambientales donde se realizan las operaciones.

Luego del análisis de cada medida implementada, se pudo establecer los puntos críticos del sector aeronáutico, siendo el principal consumidor energético la línea aérea, especialmente las operaciones en vuelo, consumiéndose un total de 99,77% del total energético. Reconociendo estos datos se priorizo utilizar métodos enfocado a esta área ya que cualquier impacto en esta, mejorará en gran medida los estándares de sustentabilidad y reducirá los costos relacionados al consumo de la empresa, sin embargo, se propuso un método de eficiencia energética en tierra y esta fue seleccionado debido a sus características de instalación, siendo la óptima para la línea aérea. Luego de tener claro a grandes rasgos los puntos críticos se procedieron a realizar análisis más afondo obteniéndose los siguientes datos:

- Al momento de realizar el ascenso, es el proceso que consume una gran cantidad de combustible en un tiempo reducido, llegándose a consumir hasta 21.205,5 libras de combustible durante una hora. Como se ha mencionado esto no es tan realista ya que esta fase no dura este tiempo.
- Durante el crucero se consume una gran cantidad de combustible, que variara de acuerdo a la aeronave, pero al contrario del punto anterior el

consumo es uniforme durante el periodo de tiempo que se encuentra, llegándose a consumir hasta 7.230,28 libras de combustible durante una hora.

- Otro punto clave es la eficiencia del motor y para esto se identificaron dos, uno de ellos es el lavado del motor, ya que mejora y/o mantiene la eficiencia del motor, debido a que a medida que se utiliza este se ensucia y pierde eficiencia. Mientras que el otro punto es la adquisición de un nuevo motor, pero generalmente esto se utiliza al momento de adquirir una nueva aeronave.
- Relacionado al consumo en tierra se observó que el consumo es menor comparativamente al que se usa en vuelo, pero de igual manera se gasta una gran cantidad de dinero, LATAM anualmente está pagando cerca de 1.000.000 USD solo en esta área y es por esto que se desarrolla un plan de mitigación de consumo energético en tierra mediante paneles fotovoltaicos.
- El último punto crítico está directamente relacionado con la aeronave, es por esto que se ha comprobado que a medida que se renova la flota, el consumo de combustible disminuye.

Luego de tener clarificados los puntos críticos de las líneas aéreas se desarrollaron propuestas de eficiencia energética, para que de esta manera se reconozca las reducciones de consumo y emisiones que se harán en base a estas propuestas.

Las propuestas que se desarrollaron se hicieron en base a los puntos críticos, por lo que se mejorara el desempeño energético de cada uno de estos puntos. Partiendo por el uso del panel fotovoltaico, se estima que se generará 104,688 kWh y tendrá una inversión total de \$63.119.109 (se considera paneles fotovoltaicos e inversores de potencia), lo cual permitirá reducir el consumo en un máximo de \$10.689 por cada hora.

El segundo método para utilizar es la utilización es el lavado de motor que permite reducir gastos relacionados tanto al mantenimiento como al consumo de

combustible, al primer año se podría obtener un beneficio como mínimo de 30.000 USD anualmente, mientras que desde el segundo año se tendrá como beneficio desde 130.000 USD anualmente, siendo que la adquisición de un sistema de lavado de motor es de 100.000 USD, por lo que la inversión de esta se verá rápidamente solventada. Según lo investigado se podría mejorar la eficiencia hasta en un 0,75% el TSFC O SFC, provocando que se consuma una menor cantidad de combustible y emitiendo menores partículas contaminantes.

Mientras que el tercer método, el cual es el equilibrio de uso entre GPU y APU se logra tener una reducción de hasta 360 litros de combustible por hora, permitiendo reducir sus costos y el consumo de combustible, esto a su vez disminuye la cantidad de partículas contaminantes. Sin embargo, este método debe complementarse con un sistema de climatización proporcionado por el aeropuerto, por lo que los costos podrían aumentar, dependiendo de los cobros que realice este.

El cuarto método es la renovación de flota y este es el más eficiente de los anteriores, debido a que el cambio de aeronave permite obtener una gran reducción de combustible, el mejor ejemplo que se observa es la variación que tiene el B737-800 y B737-MAX8, la cual es de 28,43% de las millas que recorre con un galón por cada pasajero, esta diferencia positiva entre ambas versiones de aeronaves permite reducir la capacidad de combustible de la aeronave y llegando a mayores distancia, por lo que se mejora la eficiencia del consumo de combustible, esto además permite saber cuánto es lo que consume cada “pasajero” durante el vuelo, lo cual es un buen indicador para la empresa, ya que puede saber cuánto puede ser el beneficio entre el costo del ticket y lo que gasta en cada uno de ellos. Estos datos también permiten afirmar que se reduce las emisiones contaminantes debido a que obviamente está directamente relacionado con la cantidad de combustible.

Por último, el método de ascenso continuo se relacionó con la potencia del motor durante esta fase del vuelo, ya que es complejo realizar análisis a esto debido a que también dependerá del ángulo de ataque que tendrá la aeronave, además de

la gradiente de ascenso que tiene la aeronave. A lo anterior se le debe sumar los obstáculos que pueden estar presente en la pista, pero independiente de esta falta de data se logra realizar un estimado del consumo del motor y que puede llegar hasta 21.205,5 libras consumidas por hora, pero mediante el análisis realizado a cada motor, se puede realizar una correcta elección de cuál es el que menos combustible, esto dependiendo de la aeronave puede variar. Como se observa para el caso del A320 la elección del CFM56-5A3 puede disminuir durante la fase de ascenso en 2.475 libras de combustible por hora frente al uso del modelo CFM56-5B4, el problema existente con esto que el primer modelo mencionado es una versión con mayor tiempo en operaciones, por lo que se podría pensar que el motor es menos eficiente y no es así, sino que el segundo motor en cuestión tiene un mayor empuje, por lo que este aumento del consumo durante esta fase es mayor, esto queda ejemplificado en el consumo que tiene durante la fase de crucero, siendo menor que el primer motor mencionado siendo su diferencia de 244,1 libras de combustible por hora, por lo que si bien el consumo durante la fase de ascenso será mayor el tiempo de uso es menor, mientras que el uso en crucero que es aquella que más consume durante el tiempo será menor el consumo del segundo motor.

A modo de recomendaciones se debe estar constantemente monitoreando las nuevas tecnologías que cada año se crean para disminuir el consumo de

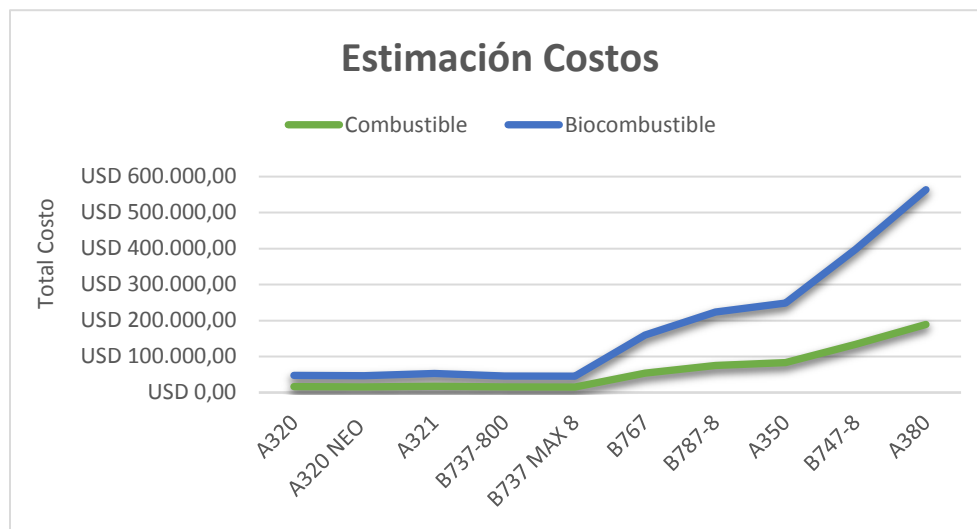


Gráfico 4.1 Diferencia de costos entre Biocombustible y combustible Jet-A1; elaboración propia (IATA, 2018).

combustible y además las empresas deberían compartir muchas de estas ideas, ya que de esta manera se tiene una industria con mayor eficiencia de consumo de combustible y el índice de sustentabilidad mejorar, logrando llegar a ser la industria con los menores índices de contaminación. Además se recomienda proyectar los costos futuros de combustible y la posible integración del uso regular del biocombustible, esto debido a que según los investigado los costos actuales se encuentran muy por encima del primero, esto queda representado en el Gráfico 4.1, pero según lo mencionado por don Enrique Urbina Soto, gerente senior de LATAM las aerolíneas realizaran grandes inversiones solo cuando el precio del biocombustible y el combustible común se encuentre al mismo precio y/o el primero sea más económico.

Otras recomendaciones para las líneas aéreas es la implementación de políticas de eficiencia energética, ya que de esta manera la empresa incentivara al personal a trabajar de manera más eficiente, pero desde el punto de vista energético y no tanto sobre la producción, por ejemplo, incentivar a utilizar las principales maquinarias o elementos durante el proceso que produzca energía eléctrica limpia, tal como la utilización de paneles fotovoltaicos. A su vez, si la empresa impulsa estas medidas y se tienen políticas de eficiencia energética, deben estar obviamente respaldadas por los directores.

Todas las medidas propuestas a lo largo del informe son recomendaciones para que las líneas aéreas puedan utilizar y todas son efectivas, el problema siempre recaerá en la situación financiera, por lo que una última recomendación es siempre ver el estado financiero de la empresa, ya que si esta no se encuentra en una situación favorable debiera implementarse solo aquellas que sean viables, de manera de que la misma tenga seguridad de que lo que realizar no afecte negativamente a la empresa, en vez de que se influya positivamente a la empresa.

Finalmente, y para englobar todas las ideas presentadas, el consumo energético de una línea aérea se puede realizar siempre y cuando exista el respaldo de los ejecutivos, ya que sin su apoyo estas medidas de eficiencia energética no serían posible, ya que se deben realizar una gran cantidad de inversiones para que se

lleven a cabo. A lo largo del informe se presentaron múltiples posibles soluciones, pero se eligieron estas cinco debido a la efectividad que tienen en la actualidad y en el futuro cercano. Además este informe sirve con impulsor a futuras generaciones ya que la mayor parte de la investigación que se pueda realizar se encuentra a lo largo de estas páginas, obviamente se podrá seguir expandiendo el uso de metodologías que permitan la eficiencia energética y cada vez más se van creando nuevas tecnologías por lo que este informe servirá como punto de partida para quien desee seguir cultivando la reducción de combustible en las líneas aéreas y también poder reducir sus emisiones de gases contaminantes.

Capítulo 5 Bibliografía

- ABB. (2013). *The state of global energy efficiency. Global and sectorial energy efficiency trends* . Recuperado el 1 de Julio de 2017
- ACEEE. (2014). *The 2014 International Energy Efficiency*. Recuperado el 4 de Julio de 2017
- Agencia Chilena de Eficiencia Energetica. (14 de Abril de 2017). *Que es EE - ACEE*. Obtenido de Sitio de ACEE: <http://www.acee.cl/eficiencia-energetica/que-es-ee/>
- Air Transport Action Group. (2010). *Environmental Efficiency*. Recuperado el 27 de Mayo de 2017, de Sitio Avition benefits: <http://aviationbenefits.org/environmental-efficiency>
- Airbus . (2018). *Aircraft* . Obtenido de <http://www.airbus.com/aircraft.html>
- Airfleets. (2018). Obtenido de <https://www.airfleets.es/home/>
- ATAG. (2018). *ATAG*. Recuperado el 8 de Mayo de 2018 , de <https://www.atag.org/component/factfigures/?Itemid=>
- AVIANCA Holding S.A. (2015). *Informe de Responsabilidad y Sostenibilidad Social 2015*. Recuperado el 24 de Mayo de 2017
- Bibing. (2014). Sistema de Accionamiento. *Capitulo 3* , 50.
- Biblioteca Digital. (2013). *ciencia*. Recuperado el Marzo de 2018, de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec_9.html
- Boeing. (2016). *Current Market Outlook*. Recuperado el 19 de Junio de 2017
- Cifuentes, R. C. (2016). *Manual de Eficiencia Energética para Minería*. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Mecánico , Universidad de Chile , Departamento de Ingeniería Mecánica , Santiago de Chile. Recuperado el 1 de Julio de 2017
- Comisión Chilena del Cobre. (2015). *Informe de actualización del consumo energético de la minería del cobre*. Gobierno de Chile , Ministerio de Minería. Recuperado el 2 de Julio de 2017
- Comisión Nacional de Energía. (2017). *energia abierta*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2017, de Capacidad instalada: <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/capacidad-instalada/>
- Directorio de Transporte Público Metropolitano. (2014). *Proyecto de Mejoramiento Tecnológico en Buses del Sistemade Transporte Público*

de Santiago. Ministerio de Transporte , Santiago. Recuperado el 2 de Julio de 2017

El País. (3 de Junio de 2014). Europa cumple la reducción de emisiones del protocolo de Kyoto. (E. G. Sevillano, Ed.) Madrid. Recuperado el Mayo de 2017, de
https://elpais.com/sociedad/2014/06/03/actualidad/1401798742_648544.html

El periódico de la energía. (21 de Agosto de 2015). Reino Unido alcanza una cuota récord de producción renovable del 22,3%. (J. A. Roca, Ed.) Recuperado el Octubre de 2017, de
<https://elperiodicodelaenergia.com/el-reino-unido-alcanza-una-cuota-record-de-produccion-renovable-del-223/>

ENEL. (2018). *Simulador consumo*. Obtenido de
<https://www.eneldistribucion.cl/simulador-consumo>

Erenovable . (20 de Abril de 2018). *energía geotermica* . Obtenido de
<https://erenovable.com/energia-geotermica/>

EuroControl. (2016). *single twin engines taxi*. Obtenido de
<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/events/presentation/2-1-single-twin-engine-taxi-acdm-info-exchange-2016.pdf>

Expoknews. (10 de Julio de 2013). *¿Que es un reporte de sustentabilidad?* (C. Acosta, Editor) Recuperado el 29 de Mayo de 2017, de Sitio de Expoknews: <http://www.expoknews.com/que-es-un-reporte-de-sustentabilidad-y-como-se-realiza/>

Fondo Monetario Internacional. (2012). *IFM*. (j. Clift, Ed.) Recuperado el 2018, de
<https://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/spa/2012/06/pdf/fd0612s.pdf>

Google Maps . (2016).

Great Bustards Flight. (21 de Noviembre de 2017). Obtenido de
<https://greatbustardsflight.blogspot.com/2017/11/lavado-de-motores.html>

Gstriatum. (4 de Junio de 2015). *gstriatum*. Recuperado el 24 de Octubre de 2017, de energiasolar:
<http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2015/06/04/cuanto-duran-los-paneles-solares/>

- IATA. (2018). *Jet Fuel Price Monitor*. Recuperado el 24 de Mayo de 2018, de <http://www.iata.org/publications/economics/fuel-monitor/Pages/index.aspx>
- Iberia Líneas Aéreas de España , S.A. Operadora Unipersonal. (2015). *Informe de responsabilidad Corporativa 2015*. Recuperado el 25 de Mayo de 2017
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (14 de Abril de 2017). *Organization IPCC*. Obtenido de Sitio de IPCC: <http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>
- International Energy Agency IAE. (2017). *World Energy Outlook* . Obtenido de 2017: <http://www.iea.org/weo2017/>
- IPCC. (2014). *Cambio climatico 2014: Impacto, adaptación y vulnerabilidad*. Recuperado el 19 de abril de 2017
- Isotools. (2015). *nch ISO14001*. Recuperado el 28 de Mayo de 2017, de sitio Isotools: <http://www.isotools.cl/normas/nch-iso-14001/>
- Jet Engine . (2012). Obtenido de <http://www.jet-engine.net/civtfspec.html>
- Junta de Aeronáutica Civil. (Diciembre de 2016). *JAC*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2017, de Informe mes diciembre 2016: <http://www.jac.gob.cl/wp-content/uploads/2017/01/INFORME-MES-Diciembre-2016.pdf>
- Kawesqar. (20 de Septiembre de 2016). *eficiencia energetica en el transporte terrestre los avances vitales para el pais*. Recuperado el 4 de Julio de 2017, de Sitio de Revista Kawesqar: <http://www.revistakawesqar.cl/eficiencia-energetica-en-el-transporte-terrestre-los-avances-en-una-logistica-vital-para-el-pais/>
- Kroo, I. (12 de Diciembre de 2012). *Standford* . Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de edu : <https://archive.is/dsmaQ>
- La Tercera. (15 de Agosto de 2017). El 76% de la energía que usará Metro será renovable a partir de 2018. (O. F. Orellana, Ed.) Santiago. Recuperado el Marzo de 2018, de <http://www2.latercera.com/noticia/76-la-energia-usara-metro-sera-renovable-partir-2018/>
- LATAM. (2016). *Reporte de Sostenibilidad*. Reporte de sostenibilidad . Recuperado el 16 de Noviembre de 2017
- LATAM Airlines Group. (2015). *Sustainability Report 2015*. Recuperado el 25 de Mayo de 2017, de Sitio LATAM: <http://sostenibilidad2015.marketinglatam.net/?lang=es>

- Manual Vuelo. (2014). *PRE*. Obtenido de PRE43:
<http://www.manualvuelo.com/PRE/PRE43.html>
- Ministerio de Energia. (2017). *minenergia*. Recuperado el 24 de Mayo de 2018, de exploradorsolar: <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>
- Molina, A., Mark, F., & Roberto, R. (1 de Noviembre de 2017). *nature*.
 Recuperado el 25 de Mayo de 2018, de articles:
<https://www.nature.com/articles/s41598-017-13761-x>
- Morales, C. (2014). Universidad Tecnica Federico Santa Maria. *Aeronave. Estructura y Sistemas* . Santiago, Chile.
- OACI. (2008). *Anexo 16 Volumen 2: "Emisiones de los motores de las aeronaves"*. Recuperado el 27 de Mayo de 2017, de
<http://www.udi.edu.co/images/biblioteca/aeronautica/anexo16-2.pdf>
- OACI. (2008). *Anexo 16 Volumen I: "Ruido de la aeronave"*. Recuperado el 27 de Mayo de 2017, de
<http://www.udi.edu.co/images/biblioteca/aeronautica/anexo16-1.pdf>
- OACI. (2010). *Continuous Climb Operations Manual*.
- OACI. (2010). *Continuous Descent Operations Manula*.
- OACI. (2010). *Manual del Inspector de Operaciones* .
- OACI. (2016). *Environmental Report 2016*. Recuperado el 14 de Abril de 2017
- OCDE. (2008). *World Energy Outlook*. International Energy Agency .
- Pinterest. (2018). (A. Machado, Editor) Recuperado el Abril de 2018, de
<https://www.pinterest.ca/pin/352477108312916126/>
- PNUMA. (2015). *42functions* . Recuperado el 12 de Octubre de 2017, de MP achievements challeges:
http://42functions.net/sp/MP_achievements_challenges.php
- Potters, M. (2016). Universidad Tecnica Federico Santa Maria. *Propulsión*. Santiago, Chile. Recuperado el Mayo de 2018
- Publimetro. (26 de Abril de 2017). Lanzas nuevo sello de Eficiencia Energetica. Santiago, Chile. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de
<https://www.publimetro.cl/cl/economia/2017/04/26/lanzan-nuevo-sello-eficiencia-energetica-empresas.html>
- Renovables Verdes. (19 de Agosto de 2017). *Las mayores centrales hidroléctricas de España*. (T. Bigorda, Editor) Recuperado el Marzo de 2018, de <https://www.renovablesverdes.com/las-mayores-centrales-hidroelectricas-espana/>

- Revistaei. (22 de Marzo de 2016). *tecnologias eficientes en transporte publico*. Recuperado el 4 de Julio de 2017, de Sitio de Revistaei: <http://www.revistaei.cl/2016/03/22/tecnologias-eficientes-en-transporte-publico/>
- Sepúlveda , S. S. (2016). *Elaboración de un Plan de Negocios para la implementación de una empresa de servicios de eficiencia energética para el sector industrial chileno y latinoamericano*. Tesis para optar al grado de Magister en Gestión para la Globalización , Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Industrial, Santiago de Chile. Recuperado el 1 de Julio de 2017
- Solagis. (2017). Obtenido de <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/chile/>
- Solar Energia. (17 de Abril de 2018). *energia solar termica*. Obtenido de <https://solar-energia.net/energia-solar-termica>
- Standford. (12 de Diciembre de 2012). *Archive*. (I. Kroo, Editor) Recuperado el Marzo de 2018, de <https://archive.is/KVQJ>
- Sustainable Aviation. (2013). *The Sustainable Aviation Progress Report*. Recuperado el 2018
- Teslaenergy. (2014). *Eficiencia Energetica*. Recuperado el 1 de Junio de 2017, de Sitio de Tesla Energy: <http://www.teslaenergy.cl/eficiencia-energetica/>
- The Flying Engineer . (Enero de 2013). *flighdeck*. Obtenido de winglets and sharklets : <http://theflyingengineer.com/flightdeck/winglets-and-sharklets/>
- The New York Times . (1 de Junio de 2017). ¿Qué es el Acuerdo de París? (B. Plumer, Ed.) Recuperado el 11 de Junio de 2018, de <https://www.nytimes.com/es/2017/06/01/que-es-el-acuerdo-de-paris/>
- TMAS. (Diciembre de 2012). Obtenido de <http://www.tmas.es/foro/noticias-y-reportajes/206-funcionamiento-del-sistema-de-aire-acondicionado-de-un-avion.html>
- Tree Hugger. (25 de Febrero de 2013). *aviation*. (M. G. Richard, Editor) Obtenido de taxibot reduce airplane emission and noise pollution: <https://www.treehugger.com/aviation/taxibot-reduces-airplane-emissions-and-noise-pollution.html>
- U.S Air Force. (2010). *Photos* . Obtenido de <http://www.af.mil/News/Photos/igphoto/2000603246/>

- UNFCCC. (2014). *protocolo de Kyoto*. Recuperado el 30 de Junio de 2017, de Sitio UNFCCC:
http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/items/6215.php
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2014). *Protocolo de Kyoto*. Recuperado el 28 de Mayo de 2017, de Sitio UNFCCC:
http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/items/6215.php
- Universidad de Jaén. (2016). *ujaen*. Obtenido de
https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_04.htm
- Viana, J. P. (2011). *Takeoff and Landing Performance Optimization*. Master Degree , Universidad Técnica de Lisboa . Recuperado el 2018

Capítulo 6 Anexo I:

Tabla 6.1 Muestra las características evaluadas mediante métricas y puntajes para ranking energético (ACEEE, 2014).

Métricas	Puntaje
Esfuerzos Nacionales	25
Cambio en intensidad energética	6
Eficiencia de plantas térmicas de generación	3
Metas obligatorias de ahorro de energía	3
Impuestos, créditos y préstamos	3
Gasto en eficiencia energética	5
Gasto en I+D en eficiencia energética	2
Tamaño del mercado de compañías de servicios de energía	2
Políticas de uso eficiente del agua	1
Edificación	25
Intensidad energética en edificios residenciales	4
Intensidad energética en edificios comerciales	4
Códigos en edificios residenciales	3
Códigos en edificios comerciales	3
Etiquetado en edificios	2
Estándar en equipos y aparatos	5
Etiquetado en equipos y aparatos	2
Políticas de renovación de edificios	2
Industria	25
Intensidad energética del sector	8
Electricidad generada por cogeneración	6
Inversión de manufactura en I+D	2
Acuerdos voluntarios de rendimientos de energía	3
Planes obligatorios de energía para gerentes	2
Auditorías energéticas obligatorias	2
Intensidad energética en la agricultura	2
Transporte	25
Millas-vehículo recorridas per cápita	3
Rendimiento de combustible para vehículos livianos	3
Estándares de rendimiento de combustible para vehículos livianos	4
Estándares de rendimiento de combustible para camiones pesados	3
Intensidad energética para el transporte de carga	3
Transporte de carga por unidad de actividad económica	3
Uso del transporte público	3
Inversión en ferrovías vs. Caminos	3

Tabla 6.2 Muestra la generación promedio de energía en sus respectivos meses y horarios en la unidad kWh (Ministerio de Energía, 2017).

Meses\Horario	Promedio Mensual	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Enero	22,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	4,54	19,73	38,19	52,02	60,99	66,86	68,34	66,64	60,83	50,85	36,20	17,56	3,28	0,00	0,00	0,00	0,00
Febrero	22,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,57	16,05	35,28	49,66	59,32	66,08	68,54	66,75	61,65	51,55	36,15	17,03	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00
Marzo	20,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	15,86	32,37	47,34	56,60	62,74	64,62	62,53	56,26	46,24	30,78	12,01	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
Abril	16,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,48	26,93	39,44	48,73	55,15	56,63	54,59	47,72	36,96	21,40	2,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mayo	13,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,07	19,66	30,90	38,08	44,23	46,51	43,65	35,95	29,88	16,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Junio	11,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	23,59	26,79	34,08	39,29	42,52	40,85	33,49	28,87	14,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Julio	12,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	21,65	28,18	35,64	41,22	42,97	40,84	34,40	29,32	17,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	14,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,70	22,67	32,45	40,70	46,43	48,56	46,09	39,00	31,42	18,39	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Septiembre	17,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,45	17,85	31,65	42,57	50,72	54,91	55,49	53,71	46,20	35,80	21,30	5,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Octubre	19,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	6,16	19,80	36,76	49,21	56,42	61,02	62,04	58,60	51,67	39,63	23,89	7,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Noviembre	21,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,46	8,27	24,73	41,31	53,44	60,62	66,21	66,43	62,05	55,39	43,93	27,70	10,02	1,17	0,00	0,00	0,00	0,00
Diciembre	22,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,70	7,20	23,74	41,68	54,71	62,55	67,82	68,71	66,11	59,68	47,99	32,76	13,89	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00
Promedio Anual	17,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	2,57	14,08	30,98	42,22	50,37	56,00	57,61	55,20	48,52	39,37	24,73	7,34	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 6.3 Nombre y características de los paneles solares analizados y cotizados, además de contabilizar la cantidad a instalar, área a utilizar, generación generada y costos asociados , Elaboración propia.

Modelo panel	Potencia Máxima (Watts)	Potencia Por Panel (kWh)	Cantidad Aproximada de Paneles a instalar	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área por panel	Área total por utilizar	Cantidad Paneles Determinada Por Área Total	Cantidad Real por Instalar	Costo por Paneles	Costo Total de Instalación	Potencia Total de Sistema
KYL-320P KUHN	320	0,32	327	1960	990	1,94	634,80	337	327	CLP 131.300	CLP 42.954.795	104,688
KYL-270P KUHN	270	0,27	388	1640	990	1,62	629,52	403	388	CLP 110.770	CLP 42.949.221	104,688
KYL-200P KUHN	200	0,2	523	1320	990	1,31	684,03	501	501	CLP 104.300	CLP 52.221.832	100,138
PVTECH 320	320	0,32	327	1956	992	1,94	634,79	337	327	CLP 150.000	CLP 49.072.500	104,688
PVTECH 260	260	0,26	403	1640	992	1,63	655,06	402	402	CLP 119.000	CLP 47.859.523	104,567
PS-160MJ KUHN	160	0,16	654	1480	670	0,99	648,80	660	654	CLP 77.700	CLP 50.839.110	104,688
PSV 24V	200	0,2	523	1580	808	1,28	668,24	513	513	CLP 106.000	CLP 54.326.827	102,503
PSV 12V	170	0,17	616	1460	670	0,98	602,39	669	616	CLP 89.000	CLP 54.807.247	104,688

Tabla 6.4 Nombre y características de los inversores de capacidad analizados y cotizados, además de contabilizar cantidad a instalar y costos asociados, Elaboración propia.

Modelo Inversor	Tipo de Onda	Eficiencia	Potencia Nominal	Cantidad Por Instalar	Costo por Inversor	Costo Total de Instalación	Energía Convertida
KFP-300S-12 KUHN	Onda Pura	90%	300	349	CLP 76.305	CLP 26.627.393	104,688
KFP-600S-12 KUHN	Onda Pura	90%	600	174	CLP 115.600	CLP 20.169.888	104,688
KSWAKW-12 KUHN	Onda Pura	95%	1000	105	CLP 229.000	CLP 23.973.552	104,688
JP-300P JARRET	Onda Pura	85%	300	349	CLP 99.000	CLP 34.547.040	104,688
JARN-1000W JARRET	Onda Modificada	85%	1000	105	CLP 55.000	CLP 5.757.840	104,688
SHI400-22 EPSOLAR	Onda Pura	91%	400	262	CLP 218.960	CLP 57.306.211	104,688
SHI600-22 EPSOLAR	Onda Pura	94%	600	174	CLP 229.000	CLP 39.955.920	104,688

Tabla 6.5 Muestra aeronaves analizadas con sus especificaciones técnicas, además de estar analizadas en unidades métricas internacionales SI, Elaboración propia.

Modelo	Asientos	Autonomía (Km)	Capacidad Máxima de Combustible (lt)	Kilómetros por litros	Consumo por kilometro	Consumo en kilogramo por kilometro	Consumo en 100 km por asiento	Kilogramos por 100km por asiento
A320	150	6.100	27.200	0,2243	4,46	3,59	2,97	2,39
A320 NEO	165	6.500	26.730	0,2432	4,11	3,31	2,49	2,00
A321	220	5.950	30.030	0,1981	5,05	4,06	2,29	1,84
B737-800	162	5.665	26.020	0,2177	4,59	3,69	2,84	2,28
B737 MAX 8	178	6.570	25.817	0,2545	3,93	3,16	2,21	1,77
B767	290	6.028	90.774	0,0664	15,06	12,11	5,19	4,17
B787-8	290	14.140	126.920	0,1114	8,98	7,22	3,10	2,49
A350	325	15.000	141.000	0,1064	9,40	7,56	2,89	2,33
B747-8	410	14.816	226.118	0,0655	15,26	12,27	3,72	2,99
A380	523	15.186	320.000	0,0475	21,07	16,94	4,03	3,24

Tabla 6.6 Muestra aeronaves analizadas con sus especificaciones técnicas, además de estar analizadas en unidades no métricas internacionales o sistema anglosajón, Elaboración propia.

Modelo	Asientos	Autonomía (Millas)	Capacidad Máxima de Combustible (Galón US)	Millas por galón	galón por pasajeros	Millas por galón por pasajero	Consumo por millas	Consumo por 100 millas
A320	150	3.790	7.185	0,5275	47,9	79,13	1,896	189,57
A320 NEO	165	4.039	7.061	0,5720	42,8	94,38	1,748	174,83
A321	220	3.697	7.933	0,4660	36,1	102,53	2,146	214,57
B737-800	162	3.520	6.874	0,5121	42,4	82,96	1,953	195,27
B737 MAX 8	178	4.082	6.820	0,5986	38,3	106,55	1,671	167,06
B767	290	3.746	23.980	0,1562	82,7	45,30	6,402	640,19
B787-8	290	8.786	33.529	0,2620	115,6	75,99	3,816	381,61
A350	325	9.321	37.248	0,2502	114,6	81,32	3,996	399,64
B747-8	410	9.206	59.734	0,1541	145,7	63,19	6,488	648,84
A380	523	9.436	84.535	0,1116	161,6	58,38	8,958	895,84

Tabla 6.7 Muestra características de motor encontradas por aeronave con especificaciones en consumo y costos por minuto (Jet Engine , 2012).

Aeronave	Modelo	SFC (lbs/(hr*lbf))	Empuje Máximo (lbf)	Consumo por Minuto (lbs/min)	Costos por Minuto
A320	CFM56-5A3	0,330	26.500	145,75	USD 2.188,82
	CFM56-5B4	0,340	33.000	187,00	USD 2.808,30
	IAE V2500-A1	0,350	25.000	145,83	USD 2.190,07
	IAE V2527E-A5	0,360	27.000	162,00	USD 2.432,86
A321	CFM56-5B1	0,350	30.000	175,00	USD 2.628,09
	CFM56-5B2	0,350	31.000	180,83	USD 2.715,69
	IAE V2533-A5	0,360	31.400	188,40	USD 2.829,32
	IAE V2530-A5	0,370	33.000	203,50	USD 3.056,09
B737-800	CFM56-7B20	0,360	20.000	120,00	USD 1.802,12
	CFM56-7B24	0,370	24.000	148,00	USD 2.222,61
B747	PW 4062	0,335	63.300	353,43	USD 5.307,61
	GE CF680C2B5F	0,323	62.100	334,31	USD 5.020,47
	RR RB211524H	0,330	60.600	333,30	USD 5.005,38

Capítulo 7 Anexo II

Entrevista a Don Enrique Guzmán Urbina, Gerente Senior de Medio Ambiente LATAM.

1. En el mundo de los efectos provocados por el cambio climático están más que presentes ¿Por qué es necesario tomar medidas para disminuir los efectos en las diferentes industrias del mundo y principalmente en la industria aérea?

Dependiendo de quien lo exponga, EEUU habla de que no hay influencia del ser humano para continuar el consumo, que es un periodo normal de la tierra, pero la mayoría dice que es realidad. Con la salida de EE.UU. se podía ver afectada por la salida del acuerdo de París, pero se está viendo que igualmente que el mundo y en especial los Europeos tienen mucha fuerza ya que es un problema global, cada industria ya sea pública o privada, deben unirse para poder revertir la situación y esto no es nuevo, el mundo ya se unió una vez y fue para reducir el agujero en la capa de ozono de la Antártida, esto se llevó a cabo por el acuerdo de Montreal, logrando controlar el problema. En la industria aérea solo aporta el 2%, pero pasando un dígito y creciente, si no se realiza nada no se va a poder contener, la aviación es la única industria que, mediante un compromiso escrito, primero para reconocer la existencia del problema y trazar medidas hasta el 2050, firmado por todas las aerolíneas, es de esta manera que mediante este ejemplo las demás industrias deberían realizar un esfuerzo y aportar como lo que está realizando la aviación.

2. Si bien la industria aérea existe un compromiso de disminuir emisiones de GEI y mejorar la eficiencia en el consumo energético ¿Por qué no todas las líneas aéreas realizan inversiones en la eficiencia energética? Y si lo realizan ¿Por qué muchas no lo demuestran mediante reportes de sostenibilidad o algún otro medio?

Eficiencia energética en la industria está enfocada principalmente a la aeronave y la medida que más aporta es definitivamente tener una flota moderna, entonces la inversión debe ser muy alta y es la que más ayuda a reducir la huella de carbono. Si el petróleo baja se desmotiva la renovación de la flota, esto quiere decir que, si tienes una aeronave vieja y definitivamente el consumo es importante, es decir, el precio del petróleo es alto vas a pensar en renovar flota por temas económicos, de manera que a futuro el consumo con una aeronave nueva sea menor que la aeronave actual de manera de reducir los costos en consumo, pero si el petróleo es bajo, conviene conservar a la aeronave antigua para mantener un mayor margen

de ganancia, ya que obviamente invertir en una aeronave es costoso y no sería necesaria para las actuales ganancias.

Es un negocio del combustible, que mejor que tener flotas nuevas, pero si el precio no acompaña no se pueden realizar inversiones, ahora si se invirtiera en el bio combustible, por parte de las empresas petroleras, que una forma de contener el problema, si es de origen vegetal se reduciría en un 80% de GEI, pero si el precio del bio combustible no está al precio del combustible o menor tampoco sería eficiente para las distintas empresas comprar el biocombustible. Cuando el precio del petróleo suba la empresa o industrias volverán a invertir en estas medidas.

El biocombustible es totalmente distinto al petróleo, desde la logística hasta la operación, ya que las maquinarias son totalmente distintas, para clarificar este tema, el combustible normal se refina del crudo que proviene desde las profundidades, mientras que el biocombustible se cosecha. Los mismos aeropuertos deberían tener secciones para los biocombustibles además de ajustar también los motores de las aeronaves.

3. *¿Cuáles han sido las medidas implementadas por LATAM en los últimos 5 años y sus respectivos impactos (disminución de GEI, consumo energético, dinero, etc.)? y, según su experiencia, ¿Cuál han sido las más eficaces?*

Eficiencia energética, huella de carbono es principalmente durante el vuelo. Área de combustible es poco el personal, pero constantemente trabajan para disminuir el consumo de combustible y para esto se realizan diferentes actividades (25) para enfocarse en la disminución del consumo, la meta es la reducción de 1,5 % anual en términos de emisiones y se está llegando al 2% anual. Muchas actividades están relacionadas con el manejo del avión como son: evitar aceleraciones prolongadas, descender de manera escalonada evitando un consumo mayor, se apaga un motor y se conecta el motor en tierra, taxeo con un solo motor, sistemas de navegación satelital (RNP y PBN) para poder aterrizar ante condiciones climáticas adversas de manera de no sobrevolar y causa molestias a la población circundantes. Se han realizado cambios como son: manuales de papel a tablets,

Disminución del consumo energético en tierra, desde cambios de iluminarias ecoeficiente, con el actual cambio de régimen energético, las empresas pueden optar a ser un cliente libre y no regulado como era anterior, de manera de poder negociar la compra de la energía, a partir de junio del próximo año se hará contrato con nueva empresa que permitiría ahorrar al menos un 20% en gastos para la empresa, obviamente sin afectar la calidad de los servicios y afectar el consumo de la energía. El PRINCIPAL TERMINO ES EL TERMINO MONETARIO, EL IDIOMA DEL GERENTE. No preguntan por reducción del consumo sino cuanto se ahorra, toda la

energía será proveniente de energías alternativas (paneles fotovoltaico y eólica), donde se beneficiarán los base de mantenimiento y edificios corporativas.

Se compensa la huella de carbono mediante proyectos, como en Perú, donde se ofreció un proyecto reconocido y acreditado en las amazonias en donde se compraron bonos de carbonos, que compensaron la huella de carbono en tierra, durante los últimos 5 años y 3 en Colombia se hizo algo similar en la frontera con Panamá.

Caso de Colombia decidió sacar en la reforma tributaria un impuesto al carbono, esto a finales del año pasado, se les iba a cobrar 5 USD por toneladas de emisiones y LATAM hizo entender que no se podía realizar este cobro a vuelos internacionales ya que sería muy grave para la industria a nivel mundial, por lo que se acoto solo a vuelos nacionales, además si se lograba mostrar que existía carbono no neutro por parte de la empresa no se cobraría este impuesto y esto se ha lograda debido a la constante compensación mediante los bonos de carbonos. Chile también tiene impuesto al carbono, pero solo a fuentes fijas (también 5 USD).

TEMA IMPORTANTE: los impuestos verdes sirven para observar si el país de verdad está interesado en términos medioambientales o solo le interesa llenar las arcas fiscales mediante este impuesto, además, si este dinero no va dirigido a proyectos ambientales también se acaba el nombre al impuesto verde.

*Industria tiene el compromiso de **crecimiento** de carbono neutro, desde el 2021 ingresaran Europa y EE.UU., mientras que chile entraría en 2027 y otros países entrarían más adelante*

4. Si pudiera realizar una lista de los distintos métodos de cuidado medioambiental y eficiencia energética ¿Cuáles serían, según usted, los métodos de eficiencia energética óptimos para las líneas aéreas?

Lo que más reduce obviamente es tener una flota nueva o joven, otro punto es el uso del biocombustible, estos netamente relacionado con el avión, estas dos encabezan la lista, pero se requiere gran cantidad de inversión. El 99.8% de la huella de carbono es provoca durante el vuelo, lo que se realiza en tierra es mínimo comparativamente.

El cambio climático ha provocado una exigencia mayor las aeronaves, por ejemplo, en vuelos al sur se está teniendo que usar una mayor cantidad de descongelante (Ice ci) en las alas de los aviones, ya que se concentra mayor cantidad de hielo en las mismas. Afecta a la operación de la aeronave.

Rutas más cortas o directas también son métodos de eficiencia en el consumo energético, por ejemplo, para ir a Madrid se tiene que entrar por Portugal,

ya que en canarias se tiene un impuesto y para la empresa es más barato rodearla que pagar dicho impuesto, sin embargo, si se pasara por encima de canarias obviamente se reduciría el consumo de combustible, pero obviamente se debe llegar a un consenso con los intereses de la empresa.

IMPORTANTE: EE. UU tiene argumentos de peso para defenderse en temas de no reducir las emisiones que emite, uno de ellos es que Europa deben pagar para que América sustente o mantenga los pulmones del mundo (Amazonias, Yellowstone, Parques en general) ya que estos devastaron o agotaron sus recursos durante los años, es fácil agredirlos, más ahora que esta Trump. El segundo es tener un proceso gradual a realizar las reducciones de emisiones.

5. ¿Cuál sería la importancia en invertir en estrategias de eficiencia energética en la **industria aérea**?

Se reduce a volar lo más eficientemente posible, los factores principales son la tecnología del avión (como tal) y el factor de ocupación, este último es fundamental ya que si la aeronave va “lleno necesitara menos cantidad de viajes para transportar un número determinado de personas”. Si no se tienen medidas de eficiencia energética difícilmente se pueden dar utilidades, el equipo de combustible siempre está buscando medidas y proyectos para reducir el consumo, como son acortar rutas, se vuelan más alto, entre más alto menos consumo.

Pero los fabricantes son los pilares importantes, ya que se están priorizando al consumo de combustible, la estrategia se centra en el consumo de combustible fósil. Si se tuviera otro tipo de fuente los fabricantes deberían apuntar a mejorar estas nuevas tecnologías, como son las energías alternativas, pero a su vez tener sistemas híbridos. El problema es que cualquier peso extra que se agregue es perjudicial para los operadores.

6. ¿Cuáles son los principales compromisos de LATAM, en materia de cuidado ambiental y eficiencia energética, para los próximos 5 años?

Existe compromiso de renovación de flota, cambiando los Boeing-767 por Boeing-787, y en caso Airbus se está cambiando para la generación NEO que ya viene incorporado los Sharklets y no como la generación anterior. Además, ya no se utiliza el A-340 que tenía 4 motores y ahora se está utilizando el A-350 que es el símil europeo del B787.

Cualquier proyecto de eficiencia energético que se presente se tiene que pagar entre 6 meses y un año para que sea aceptable.

Lo que se viene es neutralizar emisiones en operaciones terrestres en todas las operaciones a nivel mundial, faltando nuestro país y argentina. En Perú y Colombia se realizó de gran forma. Se espera un ahorro del 20% en

consumo de energía. Se espera retomar el uso del biocombustible, como empresa se espera fomentar el cultivo y producción de materia prima necesaria para la fabricación del biocombustible en Brasil, ya que el terreno es perfecto y además que se tiene la cultura “BIO”, esto debido a que en Brasil se produce combustible a partir del alcohol. En Chile había potencial a partir de las algas, debido a la gran cantidad de costa presente en nuestro país, pero nunca se llegó a algo concreto. Otra decepción fue la planta/cultivo jatrofa, que se podía cultivar en terreno degradado y no era tan exacta ya que no daba frutos. La única forma que las aerolíneas tomen esta medida es que se acabe el combustible fósil o que la producción de esta tenga el mismo precio que el combustible “normal”. México está tomando pequeños cultivadores para producir este combustible, pero les toca refinar en Houston, pero se está esperando que los árabes o cualquier otro país tome la iniciativa. En EE. UU se tiene la iniciativa, pero entorno al poder y militar, ya que cuando se acabe el combustible ellos van a ser los únicos que tendrán aeronaves volando. El tema monetario de las inversiones en eficiencia energética siempre se provocan discusiones por el tiempo en el cual se pagará el proyecto energético, en donde se termina decidiendo por el que tenga el menor tiempo de retorno.

Se observa que se puede hacer una mejora a la APU y se podría realizar un cambio para que no consumo tanto, quien la propuso fue el mismo gerente de combustible, disminuyendo la huella de carbono. Se hace una modificación al avión que permite evitar encender el motor APU en todos los procedimientos singles engine taxi, reduciendo 2.000.000 de galones de CO2 al año. Al apagar el APU no se reemplaza por otro tipo de fuente adicional, ya que era un consumo redundante.

Se paga 1.000.000 USD en energía en base de mantenimiento, constantemente se está tratando de encontrar la manera de mejorar la eficiencia, pero no solamente pensarlo en proteger el medioambiente. Se tienen proyectos en que se reducirán en cada país un 5% anual y lo logran, también se tiene como meta que la empresa al 2020 sea 0 residuos al vertedero.

7. En la fusión de LAN y TAM ¿Cuáles fueron los mayores problemas o dificultades para lograr una unificación en las metas de la búsqueda de la eficiencia energética o cuidados medioambientales? ¿Fueron las políticas medioambientales de cada país o las políticas internas de cada línea aérea las que dificultaron la inversión en eficiencia energética?

Brasil tenía un gran avance ya que tienen interiorizado el tema de eficiencia energética, si el país tiene normas en temas relacionado con el cuidado ambiental generalmente las empresas de ese país están muy avanzado en las medidas del ahorro del consumo, en este caso Brasil tiene una gran cantidad

de normas, superior a la chilena y de cualquier país, allá hay 5 entidades que las regulan. Por ejemplo, hay bases que están rodeados de bosques (Sao Paulo), entonces están constantemente vigilándolos que cumplan las leyes. Como estos sectores están tan avanzado no es necesario tener metas, pero si estar constantemente revisando las actividades. Pero se observa que existen dos mundos, el ya mencionado y las bases que están dentro de los aeropuertos, en esta falta mucho por hacer.

Para estos casos depende mucho de las personas que estén, cada 15 días existen llamadas telefónicas a Brasil para compartir ideas. Ellos tienen un proyecto total, desde agua, residuos, etc. en eficiencia energética

Un gerente debería tener interiorizado diversos temas no solo buscar las ganancias, productividad, sino que también tener considerar lo que es la eficiencia energética o el cuidado medioambiental