

FUERZA AÉREA DEL PERÚ

ESCUELA DE OFICIALES



TESIS

**RECONOCIMIENTO DE CLASES DE VEHICULOS AEREOS MEDIANTE LA
HUELLA ACUSTICA PRODUCIDA DURANTE EL DECOLAJE EN EL
AEROPUERTO JORGE CHAVEZ EN EL AÑO 2018.**

PRESENTADO POR:

ALF. FAP. RIVAS VASQUEZ ANDREA KAROLINA

LINEA DE INVESTIGACION

CIENCIAS AEROSPACIALES – ING. ELECTRÓNICA

ASESOR:

Mg. FANNY APARICIO FERNANDEZ

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN CIENCIAS
AEROESPACIALES**

LIMA – 2018

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mis abuelos Cesar e Hilda y a mi madre Helen, que gracias a su constante apoyo y gran esfuerzo me han permitido realizarme como oficial de la Fuerza Aérea Del Perú.

Agradecimientos

El presente trabajo de investigación se ha hecho realidad gracias al COR.FAP® Cesar Narvaja Romero siendo asesor temático en mi trabajo de investigación, aportándome todos sus conocimientos como Ingeniero Electrónico, dándome su tiempo y dedicación a mi tema y al Dra. Fanny Aparicio por su grandioso aporte con la entrega de documentos en información para la culminación de este trabajo.

Resumen

El presente trabajo de investigación denominado: “Reconocimiento de clases de vehículos aéreos mediante la huella acústica producida durante el despegue en el Aeropuerto Jorge Chávez en el año 2018.”, cuyo propósito fundamental es relacionar la huella acústica y el reconocimiento de clases de vehículos aéreos, donde la huella acústica tiende a buscar una relación muy importante con el objetivo general de buscar una correlación entre ambas; fue realizada en la Escuela de Oficiales de la Fuerza Aérea del Perú- Base Aérea las Palmas como cadete de la especialidad Ingeniería Electrónica.

La presente investigación presenta un modelo computacional para el reconocimiento de clases de aeronaves basado en la extracción de rasgos característicos de la señal registrada durante el despegue, en un futuro se podrá implementar en un sistema de monitoreo para la gestión del ruido en las cercanías del Grupo Aéreo N°8-Callao. Las aeronaves son agrupadas en clases dependiendo del tipo de motor instalado. El modelo hace la precisión por el ruido de huella acústica en las aeronaves comerciales de gran capacidad de pasajeros que decolan en el Grupo Aéreo N°8 y que serán detalladas según la tabla .

Luego de haber aplicado la metodología de la Heurística con alguna rigurosidad se ha llegado a concluir que se puede determinar la relación de la huella acústica y el reconocimiento de vehículos aéreos en el Aeropuerto Jorge Chávez en el año 2018, recomendándose lo siguiente: esperando aportar con un modelo computacional de reconocimiento de clases de vehículos aéreos mediante la huella acústica producida durante el despegue en el Grupo Aéreo N°8 para el conocimiento de la Fuerza Aérea del Perú.

Palabras claves: huella acústica, toma de muestras, procesamiento, reconocimiento

Abstract

The present research work called: “Recognition of air vehicle classes through the acoustic footprint produced during the decoration at the Jorge Chavez airport in 2018.”, whose main purpose is to relate the acoustic footprint and the recognition of air vehicle classes , where the acoustic footprint tends to look for a very important relationship with the general objective of finding a correlation between the two; It was held at the School of Officers of the Peruvian Air Force - Las Palmas Air Base as a cadet of the Electronic Engineering specialty.

This research presents a computational model for the recognition of aircraft classes based on the extraction of characteristic features of the signal recorded during takeoff, in the future it may be implemented in a monitoring system for noise management in the vicinity of the Group Air No. 8-Callao. Aircraft are grouped into classes depending on the type of engine installed. The model makes precision due to acoustic footprint noise in large passenger commercial aircrafts that decorate in Air Group No. 8 and which will be detailed according to the table.

After having applied the Heuristics methodology with some rigor it has been concluded that the relationship of the acoustic footprint and the recognition of aerial vehicles at the Jorge Chavez airport can be determined in 2018, recommending the following: hoping to contribute with a computational model for the recognition of air vehicle classes by means of the acoustic footprint produced during the decoration in the Air Group No. 8 for the knowledge of the Peruvian Air Force.

Keywords: acoustic footprint, sampling, processing, recognition

Introducción

La importancia de este trabajo de investigación es determinar la relación entre la Huella Acústica y el reconocimiento de las aeronaves durante su despegue en el Grupo Aéreo N°8, Callao 2018. Mi interés por este tema se halla en que habiendo cursado mi cuarto año y teniendo busco aplicar mis conocimientos adquiridos durante la carrera de ingeniería electrónica como la transformada de Fourier mediante un modelo computacional en los 5 años como cadete de la Escuela de Oficiales de la Fuerza Aérea del Perú en el Aeropuerto Jorge Chavez.

Dado que los diferentes aeropuertos están deseando saber los ruidos que hace cada aeronave, me planteo la idea de poder aplicar una solución a este problema en el Aeropuerto Jorge Chavez debido a que en dicho lugar se encuentran diferentes tipos de aeronaves que harán mucho más interesante su estudio de una huella acústica variada dependiendo del tipo de aeronaves que exista en el Aeropuerto Jorge Chávez , ante esta situación decidí tomar en cuenta los diferentes métodos que se utilizan para reconocer dichas aeronaves , para ello es necesario tener una muestra de huella acústica de cada avión para así obtener la base de datos , se tomaran las muestras respectivas y de ahí se realizara el procesamiento tanto en el dominio del tiempo mediante el software Audacity y esta misma en el dominio de la frecuencia mediante la transformada de Fourier empleando el software Matlab , el cual reconocerá el tipo de aeronave mediante su huella acústica al momento de despegue .

INDICE

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Introducción	vi
INDICE	vii
Índice de Tablas	ix
Índice de Gráficos	x
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1 Planteamiento del problema	13
1.2 Formulación del problema:	15
1.2.1 Problema General	15
1.2.2 Problemas Específicos	15
2.1 Objetivos:	15
1.2.3 Objetivo General	15
1.2.4 Objetivos específicos	16
1.4 Hipótesis:	16
1.4.1 Hipótesis General	16
1.4.2 Hipótesis Especificas	16
CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE	17
2.1 Contaminación acústica	17
2.2 Establecimiento de prioridades en la gestión del ruido	19
2.3 Iniciativas para evaluación, gestión y legislación de ruido	20
2.4 Legislaciones para el control de la emisión de ruido en la ciudad de Lima	22
2.5 Evolución del transporte aéreo	23
2.6 Sistemas de Monitoreo	25
2.7 Reconocimiento de clases de aeronaves	28
CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO	31
3.1 Antecedentes :	31
• Internacionales	31
• Nacionales:	36
3.2 Conceptos de acústica	41
3.2.1 Tipos de ruido	42
3.2.2 Propagación del ruido	43
3.2.3 Fuentes de ruido	45

3.2.4 Instrumentos de medición.....	48
3.2.5 Indicadores de valoración del sonido.....	51
3.3 Técnicas de procesamiento de voz.....	52
3.3.1. Codificación Predictiva Lineal (LPC)	52
3.3.2 Predicción perceptual lineal (PLP)	55
3.3.3 Coeficientes cepstrales en las frecuencias de Mel (MFCC).	59
3.3.4 Análisis de octava	62
3.3.5 Análisis cepstrum	64
3.3.6 Redes Neuronales Artificiales.....	65
3.3.7 Perceptrón Multicapa (MPL).....	66
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES DEL RUIDO GENERADO DURANTE EL DESPEGUE.	68
4.1 Sistema de medición	68
4.2 Punto de Medición.....	69
4.3 Señal de ruido de una aeronave durante el despegue	70
4.4 Base de datos de ruido generado durante el despegue.....	72
CAPÍTULO 5. MÉTODO DE RECONOCIMIENTO	90
5.1 Etapa de reconocimiento	90
CAPÍTULO 6. PRUEBAS Y RESULTADOS	96
6.1 Modelo computacional para el reconocimiento de aeronaves.....	96
CONCLUSIONES	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

Índice de Tablas

Tabla 1. Estándares Nacionales de Calidad ambiental para ruido por cada zona de aplicación	21
Tabla 2. Correspondencia entre la presión sonora y niveles de presión sonora	42
Tabla 3. Toma de datos de las aeronaves en el momento del despegue	71

Índice de Gráficos

Figura 1 Vista actual del Aeropuerto Internacional Jorge Chavez.....	15
Figura 2 Relacion entre el tipo de ambiente y el nivel de decibeles (dB)	18
Figura 3 Topologia de un sistema de monitoreo ANOMS (Cortesía Brüel & Kjaer)	26
Figura 4 Nivel de ruido vs tiempo . La señal de audio de diversos ruidos.....	27
Figura 5 Ejemplo de los rasgos (linea negra) del ruido de los aviones Falcon (turborreactor).....	29
Figura 6 Ejemplos de rasgos utilizando LPC para aeronave MD87 . a) FFT , b) coeficientes	29
Figura 7 Procedimiento para extraccion y seleccion de rasgos con segmentacion en el tiempo	30
Figura 8 Fuente de ruido por trafico de vehiculos.....	45
Figura 9. Fuente de ruido por trafico aereo	46
Figura 10. Ruido producido por maquinaria en obras publicas.....	46
Figura 11. Ruido generado por actividades industriales.....	47
Figura 12. Ruido producido por actividades urbanas	47
Figura 13. Sonometro Digital	48
Figura 14. Curvas de ponderacion estandarizadas internacionalmente.....	50
Figura 15. Diagrama de bloques para el análisis PLP	56
Figura 16. Umbrales y contornos de igual nivel de sonoridad	58
Figura 17.Relacion entre la escala de frecuencia y la escala de Mel.....	60
Figura 18. Banco de filtros espaciados logaritmicamente	62
Figura 19. Filtro de octava, un filtr pasa banda que cubre una octava	63
Figura 20. Diagrama de bloques para el calculo del cepstrum	65
Figura 21. Red Perceptron multicapa con una capa oculta.....	67
Figura 22. Arquitectura del sistema de medición	69
Figura 23. Pista de despegue y aterrizaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez(GRUP8).....	70
Figura 24.Huella acústica de descolaje del Airbus 320-214 (HC-CVJ)	72

Figura 25. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 320-214 (HC-CVJ)	73
Figura 26. Huella acústica de decolaje del Airbus 320-233 (N490TA)	73
Figura 27. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 320-233 (N490TA)	73
Figura 28. Huella acústica de decolaje del Airbus 319-112 (HC-CKN)	74
Figura 29. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 319-112 (HC-CKN)	74
Figura 30. Huella acústica de decolaje del Airbus 319-132 (N521TA)	74
Figura 31. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 319-132 (N521TA)	75
Figura 32. Huella acústica de decolaje del Airbus 320-214 (CC-BFT)	75
Figura 33. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 320-214 (CC-BFT)	75
Figura 34. Huella acústica de decolaje del Airbus 320-214 (CC-BFM)	76
Figura 35. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 320-214 (CC-BFM)	76
Figura 36. Huella acústica de decolaje del Airbus del Airbus 319-132 (CC-CQL).....	76
Figura 37. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 319-132 (CC-CQL).....	77
Figura 38. Huella acústica de decolaje del Airbus 320-233 (N496TA)	77
Figura 39. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 320-233 (N496TA)	77
Figura 40. Huella acústica de decolaje del Airbus 320-214 (CC-BFN).....	78
Figura 41. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 320-214 (CC-BFN).....	78
Figura 42. Huella acústica de decolaje del Airbus 320-214 (HK-5164)	78
Figura 43. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 320-214 (HK-5164)	79
Figura 44. Huella acústica de decolaje del Airbus 320-214 (N446AV).....	79
Figura 45. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 320-214 (N446AV).....	79
Figura 46. Huella acústica de decolaje del Airbus 319-132 (N479TA)	80
Figura 47. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 319-132 (N479TA)	80
Figura 48. Huella acústica de decolaje del Airbus 320-251Neo (N776AV)	80
Figura 49. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 320-251Neo (N776AV)	81
Figura 50. Huella acústica de decolaje del Boeing 767-316ER (CC-CXG)	81
Figura 51. Espectro de frecuencia de decolaje del Boeing 767-316ER (CC-CXG).....	81
Figura 52. Huella acústica de decolaje del Airbus 320-214 (CC-BFO).....	82
Figura 53. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 320-214 (CC-BFO).....	82
Figura 54. Huella acústica de decolaje del Airbus 321-211 (CC-BEJ).....	82
Figura 55. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 321-211 (CC-BEJ)	83
Figura 56. Huella acústica de decolaje del Airbus 320-214 (CC-BEF)	83

Figura 57.Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 320-214 (CC-BEF)	83
Figura 58.Huella acústica de despegue del Boeing 767-316ER (CC-CWF)	84
Figura 59.Espectro de frecuencia de despegue del Boeing 767-316ER (CC-CWF)	84
Figura 60.Huella acústica de despegue del Airbus 320-214 (HK-5164)	84
Figura 61.Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 320-214 (HK-5164)	85
Figura 62.Huella acústica de despegue del Boeing 787-8 DREAMLINER (CC-BBJ).....	85
Figura 63.Espectro de frecuencia de despegue del Boeing 787-8 DREAMLINER (CC-BBJ)	85
Figura 64.Huella acústica de despegue del Airbus 319-112 (CC-BCE).....	86
Figura 65.Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 319-112 (CC-BCE).....	86
Figura 66.Huella acústica de despegue del Boeing 767-316ER (CC-CXG)	86
Figura 67.Espectro de frecuencia de despegue del Boeing 767-316ER (CC-CXG).....	87
Figura 68.Huella acústica de despegue del Airbus 320-214 (CC-BFQ).....	87
Figura 69.Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 320-214 (CC-BFQ).....	87
Figura 70.Huella acústica de despegue del Boeing 737-330 (OB-2139P).....	88
Figura 71.Espectro de frecuencia de despegue del Boeing 737-330 (OB-2139P).....	88
Figura 72.Huella acústica de despegue del Boeing 777-32W (PT-MUE)	88
Figura 73.Espectro de frecuencia de despegue del Boeing 777-32W (PT-MUE)	89
Figura 74.Modelos de aeronaves que pertenecen a la clase A320, (a) A318,(b)A319 y (c)A320.....	89
Figura 75.Interfaz del software matlab	96
Figura 76. Espectro de la grabacion Avion: 14 hercules	98
Figura 77.Espectro de la grabacion Avion: 14 hercules	98
Figura 78.Espectro de la grabación Avión: 14 héroes	99
Figura 79. Modelo de reconocimiento neuronal empleando programación grafica con LabVIEW.....	99

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad tanto en Europa como el país de España, uno de los aspectos más importantes en los sistemas de monitoreo de ruido de aviones se refiere a la correcta detección y marcado de los eventos sonoros causados por los aviones en los ficheros de medida, ya que esto tiene como influencia en los resultados reportados. En ISO 20906(referida al monitoreado desatendido de ruido de aviones en las proximidades de los aeropuertos) el marcado queda dividido en una tarea de clasificación de aquellos eventos sonoros posiblemente causados por los aviones, y una identificación final de los eventos asociados a ruidos de aviones basada en características.

En la actualidad, en Bogotá LA OACI, a normado y ha propuesto reglas como El Anexo 18, sobre los daños que ocasiona el ruido en las proximidades de los aeropuertos. Ha reconocido los efectos perjudiciales en el ambiente que pueden tener las aeronaves, y se ha puesto a orientar el desarrollo de la aviación civil internacional en este ámbito, para que haya compatibilidad entre el desarrollo seguro de la aviación y la calidad del medio ambiente humano. Se ha encontrado que estos ruidos están ocasionando daños ambientales que hoy se les conoce como ruidos ambientales de origen aeronáutico. Han sido numerosas y constantes las quejas de dichas comunidades, que radican básicamente en la contaminación

auditiva a la que se ven expuestas día y noche, debido a la operación aérea, las cuales se argumentan en una pérdida continua de la audición y perturbación a su tranquilidad, causando efectos nocivos para la salud. Este hecho ha llevado a autoridades competentes como el Ministerio del Medio Ambiente, de la protección Social y en especial a la autoridad aeronáutica, a trabajar en medidas que mitiguen el riesgo del ruido aéreo a estas comunidades. Queda por descubrir si son realmente eficientes y eficaces las medidas que se han adaptado para atenuar el riesgo de contaminación auditiva para esta población.

En Perú el ruido aeronáutico causa un impacto ambiental negativo en la áreas de influencia del aeropuerto, debido a las operaciones de aproximación, aterrizaje, taxeo y despegue de las aeronaves , las mismas que pasan por las zonas pobladas del Callao como Bellavista .Se sabe que el ruido ambiental generado por las operaciones aeronáuticas del Aeropuerto J. Chávez, amenazan a los habitantes de las zonas urbanas, específicamente Bellavista, constituyendo una molestia continua, perturbando las actividades habituales de los residentes, con una serie de consecuencias patológicas. Mediante monitoreos del ruido de las aeronaves que pasan por el ámbito de Estudio, donde se determinó una red de monitoreo, habiéndose encontrado los valores del ruido ambiental, que serán comparados con los valores establecidos en la reglamentación, vigente.

El ruido ha sido un problema ambiental muy importante para el ser humano, por los efectos dañinos que puede causar en él. Sin embargo, los problemas causados por el ruido en el pasado no son comparables con los que se tienen en la actualidad. En nuestros días un gran número de autos y transportes de carga cruzan regularmente nuestras ciudades día y noche; sin embargo, las que añaden una gran cantidad de ruido al ambiente son el transporte aéreo y ferroviario. Siendo en la actualidad el transporte Aéreo el principal factor.



Figura 1 Vista actual del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez

1.2 Formulación del problema:

1.2.1 Problema General

¿De qué manera la huella acústica producida por el ruido generado por los motores de una aeronave durante el despegue se relaciona con el reconocimiento de clases de vehículos aéreos en el Aeropuerto Jorge Chávez, en el año 2018?

1.2.2 Problemas Específicos

¿De qué manera la huella acústica producida por el ruido generado por cada tipo de motor de una aeronave durante el despegue se relaciona con el reconocimiento de cada tipo de clase de vehículo aéreo en el Aeropuerto Jorge Chávez, en el año 2018?

2.1 Objetivos:

1.2.3 Objetivo General

Determinar de qué manera la huella acústica producida por el ruido generado por los motores de una aeronave durante el despegue se relaciona con el reconocimiento de clases de vehículos aéreos en el Aeropuerto Jorge Chávez, en el año 2018.

1.2.4 Objetivos específicos

Determinar de qué manera la huella acústica producida por el ruido generado por cada tipo de motor de una aeronave durante el despegue se relaciona con el reconocimiento de la clase de vehículo aéreo en el Aeropuerto Jorge Chávez, en el año 2018.

1.4 Hipótesis:

1.4.1 Hipótesis General

Existe una relación significativa entre la huella acústica producida durante el despegue y el reconocimiento de clases de vehículos aéreos en el Aeropuerto Jorge Chávez, en el año 2018.

1.4.2 Hipótesis Específicas

- a. Existe una relación significativa entre la huella acústica producida por el motor de la aeronave durante el despegue y el reconocimiento de clase de vehículo aéreo en el Aeropuerto Jorge Chávez, en el año 2018.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

2.1 Contaminación acústica

La contaminación sonora es la presencia en el ambiente de niveles de ruido que implique molestia, genere riesgos, perjudique o afecte la salud y al bienestar humano(OEFA,primera edición , 2016) los bienes de cualquier naturaleza o que cause efectos significativos sobre el medio ambiente (OEFA,primera edición , 2016) Actualmente, este es uno de los problemas más importantes que pueden afectar a la población, ya que la exposición de las personas a niveles de ruido alto puede producir estrés, presión alta, vértigo, insomnio, dificultades del habla y pérdida de audición. Además, afecta particularmente a los niños y sus capacidades de aprendizaje. La intensidad de los distintos ruidos se mide en decibeles (dB). Los decibeles son las unidades en las que habitualmente se expresa el nivel de presión sonora; es decir, la potencia o intensidad de los ruidos; además, son la variación sonora más pequeña perceptible para el oído humano. El umbral de audición humano medido en dB tiene una escala que se inicia con 0 dB (nivel mínimo) y que alcanza su grado máximo con 120 dB (que es el nivel de estímulo en el que las personas empiezan a sentir dolor), un nivel de ruido que se produce, por ejemplo, durante un concierto de rock.

Otros daños causados por el ruido alto son: la irritabilidad, alteraciones de sueño, disminución de la agudeza visual, afecta la visión del color, aumenta la secreción de ciertas

hormonas, aumenta la frecuencia respiratoria, hipertensión, taquicardia, aumenta la secreción gástrica y la motilidad intestinal (Organismo de evaluación y fiscalización ambiental, 2016)

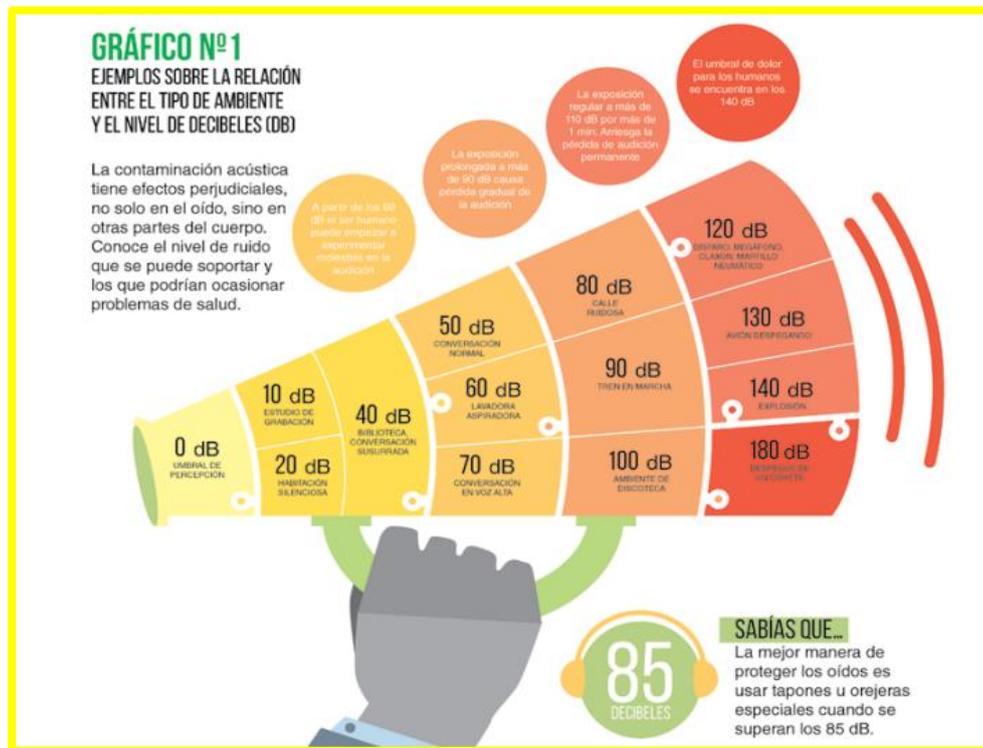


Figura 2 Relación entre el tipo de ambiente y el nivel de decibeles (dB)

De hecho, en el Perú mediante Ley N° 30370 del 28/11/2015 (Ley que regula la gestión ambiental del ruido generado por aeronaves), la presente Ley tiene el objeto de regular la gestión ambiental del ruido generado por las aeronaves de las compañías aéreas nacionales e internacionales, que operan en territorio peruano. Los Límites máximos permisibles, donde el Ministerio del Ambiente, mediante decreto supremo refrendado también por el ministro de Transportes y Comunicaciones, establece sobre la base de criterios de protección a la salud y al ambiente y en función a un análisis de impacto regulatorio sobre el subsector aeronáutico y poblaciones involucradas, los límites máximos permisibles de ruido generado por las aeronaves que operan en el territorio nacional.

Diversos estudios de monitoreo del ruido e informes sociológicos en los últimos años han señalado la necesidad de la reducción de ruido. La contaminación acústica es, pues, otro contaminante ambiental que debe ser reconocido oficialmente como una verdadera amenaza para la salud humana y la calidad de vida. La idea fundamental es que el ruido puede ser considerado definitivamente como un contaminante de la atmosfera tanto como una partícula o un gas contaminante. (Márquez, 2013)

Hay evidencia de que el ruido puede poner en peligro la eficiencia, afectar negativamente a la salud, y aumentar las tasas de accidentes (Hansell et al., 2013). A niveles suficientemente altos, el ruido puede dañar de inmediato la audición, e incluso en los niveles inferiores puede haber un deterioro progresivo de la audición (Chambers, 2005)

2.2 Establecimiento de prioridades en la gestión del ruido

La eliminación o reducción del exceso de ruido en el lugar de trabajo no es meramente una responsabilidad legal de las empresas, sino que responde igualmente a los intereses comerciales de una organización. Cuanto más seguro y saludable sea el entorno de trabajo, menos probabilidades existirán de absentismo, accidentes y bajo rendimiento, y por tanto se ahorrarán costes. En esta hoja informativa se describen las principales medidas que deben adoptarse para reducir y controlar el ruido en el lugar de trabajo. La eliminación de una fuente de ruido es la forma más eficaz de prevenir los riesgos que corren los trabajadores, y siempre debe considerarse al planificar nuevos equipos o lugares de trabajo. Una política de adquisición basada en el principio de «sin ruido o poco ruido» resulta generalmente la manera más eficaz de prevenir o controlar el ruido. Varios Estados miembros cuentan con bases de datos para ayudar a las empresas a seleccionar el equipo de trabajo así mismo. En 2003 se adoptó la Directiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las

disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido). Esta Directiva debe transponerse a la legislación nacional de todos los Estados miembros antes del 15 de febrero de 2006 (1). El artículo 5, apartado 1, de esta Directiva establece que, habida cuenta de los avances técnicos y de la disponibilidad de medidas de control del riesgo en su origen, «los riesgos derivados de la exposición al ruido deberán eliminarse en su origen o reducirse al nivel más bajo posible». La Directiva establece un nuevo valor límite para la exposición diaria de 87 dB(A). (Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo, 2005) además Según (Márquez, 2013) dice que las prioridades en la gestión del ruido varían entre los países, de acuerdo con los objetivos de su política, necesidades y capacidades. El establecimiento de prioridades en la gestión del ruido se refiere a dar prioridad a los riesgos de salud y en la concentración de las fuentes más importantes de ruido. Para la gestión eficaz del ruido, los objetivos, las políticas y los sistemas de control de ruido tienen que ser definidos. Los objetivos para la gestión del ruido abarcan leyes y reglamentos para el establecimiento de normas de ruido y para asegurar su cumplimiento. La cantidad de información que debe incluirse en la implementación de planes de bajo nivel de ruido y en el uso de comparaciones de costo/beneficio también entre dentro del ámbito de las políticas de gestión de ruido. Las técnicas para el control de ruido incluyen control de la fuente, los obstáculos en las vías de ruido y protección auricular. Modelos adecuados en el cálculo para la propagación del ruido, así como los sistemas de monitoreo de ruido, son parte de un plan general de control de ruido.

2.3 Iniciativas para evaluación, gestión y legislación de ruido

Sabemos que el gobierno de cada país tiene la responsabilidad de establecer políticas y la legislación para el control de ruido de la comunidad (Márquez, 2013). Para medir la contaminación sonora, se siguen las pautas contenidas en el Decreto Supremo N°

085-2003-PCM - Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido (en adelante, Reglamento ECA Ruido), documento a través del cual se establecieron los estándares nacionales de calidad ambiental para ruido (ECA Ruido) y los lineamientos para no excederlos. Los ECA Ruido son instrumentos de gestión ambiental prioritarios para prevenir y planificar el control de la contaminación sonora. Representan los niveles máximos de ruido en el ambiente que no deben sobrepasarse para proteger la salud humana, según cuatro zonas de aplicación: Zonas de protección especial (es decir, áreas donde se encuentren ubicados establecimientos de salud, centros educativos, asilos y orfanatos) Zonas residenciales, Zonas comerciales, Zonas industriales. A cada zona de aplicación le corresponde un nivel de ruido para horarios diurnos y uno para horarios nocturnos, tal como se detalla en la siguiente tabla (OEFA, primera edición, 2016)

Tabla 1.

Estándares Nacionales de Calidad ambiental para ruido por cada zona de aplicación

ZONAS DE APLICACIÓN	VALORES EXPRESADOS EN LAEQT ⁴	
	HORARIO DIURNO (07:01 A 22:00)	HORARIO NOCTURNO (22:01 A 07:00)
Zona de protección especial	50 dB	40 dB
Zona residencial	60 dB	50 dB
Zona comercial	70 dB	60 dB
Zona industrial	80 dB	70 dB

Fuente: Decreto Supremo N° 085-2003-PCM - Reglamento de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido.

Fuente: Revista OEFA. Primera edición: junio del 2016

También, el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) es parte de esta estrategia de monitoreo y medición, ya que aprueba las normas metroológicas relativas a los instrumentos para la medición de ruidos y califica y registra a las instituciones públicas o privadas que realicen la calibración de equipos para la medición de ruidos (OEFA, primera edición ,2016).

Si los gobiernos aplican políticas y regulaciones de ruido débiles, no serán capaces de evitar un aumento continuo de la contaminación acústica y los efectos nocivos asociados a la salud. También el incumplimiento de regulaciones estrictas es ineficaz en la lucha contra el ruido (Marquez,2013).

Las normas regulatorias pueden basarse únicamente en los datos científicos y técnicos que muestran los efectos nocivos del ruido en la salud pública. Sin embargo, otros aspectos se consideran normalmente, ya sea establecer normas o en el diseño de las medidas apropiadas para la reducción del ruido. Estos aspectos incluyen la viabilidad tecnológica, los costos de cumplimiento, los niveles de exposición predominantes, y las condiciones sociales, económicas y culturales (Gottlob, 1995).

2.4 Legislaciones para el control de la emisión de ruido en la ciudad de Lima

En el Perú mediante Ley N.º 30370 del 28/11/2015 (Ley que regula la gestión ambiental del ruido generado por aeronaves), tiene el objeto de regular la gestión ambiental del ruido generado por las aeronaves de las compañías aéreas nacionales e internacionales, que operan en territorio peruano. Los Límites máximos permisibles, donde el Ministerio del Ambiente, mediante decreto supremo refrendado también por el ministro de Transportes y Comunicaciones, establece sobre la base de criterios de protección a la salud y al ambiente y en función a un análisis de impacto regulatorio sobre el subsector aeronáutico y poblaciones involucradas, los límites máximos permisibles de ruido generado por las aeronaves que operan en el territorio nacional.

Las condiciones actuales de urbanización en la ciudad de Lima exponen a millones de personas a niveles de ruido capaces de ocasionar efectos nocivos a su salud como: hipertensión arterial (MCNamee, 2006), impactos cardiovasculares (Hansell, 2013) y pérdida paulatina de capacidad auditiva (Berglund, 1999), entre otros.

Expertos en acústica y en el cuidado de la audición, coinciden en que la Ciudad de Lima se ubica entre las cinco ciudades más ruidosas de América Latina, debido al exceso de sonido ocasionado por la actividad humana, la industria, el tráfico vehicular y aéreo, entre otras fuentes. Esta aplica a pequeñas, medianas y grandes industrias, comercios establecidos, servicios públicos o privados y actividades en la vía pública.

Con el incremento del tráfico aéreo en el espacio peruano, en el año 2015 se emitió la Ley que establece dentro de la república peruana los límites máximos permisibles de emisión de ruido producido por aeronaves de reacción subsónicas, propulsadas por hélice, supersónicas y helicópteros, su método de medición, así como los requerimientos para dar cumplimiento a dichos límites.

2.5 Evolución del transporte aéreo

El transporte aéreo es uno de los servicios más importantes del mundo, que contribuye en gran medida al progreso de la sociedad moderna. El uso de la aviación comercial ha crecido más de siete veces desde el primer vuelo de pasajeros en la década de 1940, y su crecimiento es incomparable con cualquier otra forma de transporte. Las aeronaves modernas han transformado los viajes de lujo internacionales para unos pocos, en una opción accesible para la mayoría de nosotros. Hoy en día, el negocio del transporte aéreo es global, en el que participan diferentes áreas, como los fabricantes de aeronaves, fabricantes de motores, proveedores de componentes de aeronaves, aeropuertos, la industria de servicios de tierra, proveedores de combustible, autoridades locales, regionales e

internacionales, organizaciones y organismos reguladores, etc. Convirtiéndose en una fuerza económica y una fuente de gran riqueza (Prats i Menéndez, 2011).

Según (Marquéz, 2013) El transporte aéreo tiene un impacto local y global en el medio ambiente. Las emisiones de las aeronaves representan aproximadamente el 4% de las emisiones atmosféricas (hechas por el hombre) del mundo, de acuerdo con el Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 1999). Estas emisiones impactan de manera significativa el cambio climático (el efecto invernadero) y niveles en la calidad del aire. Otra cuestión ambiental importante es el ruido de los aviones.

Como bien es sabido, el ruido nos perturba o molesta. En particular, la presencia del ruido ambiental interfiere en las actividades que realizamos, tales como la comunicación, escuchar música, relajarse, dormir, leer, trabajar, estudiar, etc. Las quejas sobre la exposición al ruido es una de las que con más frecuencia se reportan por las poblaciones que viven en las grandes ciudades (Martin-Houssart, 2002). Por ejemplo, de acuerdo con (Roy, 2003), en el año 2001, el 51% de los ciudadanos franceses reconocen haber sido perturbados por el ruido ambiental. En este contexto, el ruido es la molestia más importante que se reporta por las personas que viven en grandes ciudades como París. Dentro de este 51% de personas que sufren molestias debido al ruido, el 66% reporta el tráfico carretero como la principal fuente de molestia, mientras que el tráfico aéreo representa solo el 17%. El ruido por tráfico carretero se vuelve aún más importante si se consideran solo las grandes ciudades, pero el ruido por las aeronaves se vuelve cada vez más importante. De acuerdo con la Oficina Parlamentaria de Ciencia y Tecnología (UK-Parliament, 2003), el ruido de las aeronaves tiene el potencial de afectar la calidad de vida de por lo menos medio millón de personas que viven cerca de los aeropuertos del Reino Unido. El 80% de esas personas viven cerca de los principales aeropuertos del sudeste de Inglaterra. Además, la Oficina de Contabilidad

General de los Estados Unidos (GAO, 2000) ha reportado el ruido como el mayor problema ambiental de 29 de los 50 aeropuertos con más tráfico de Estados Unidos.

El ruido de las aeronaves es un sonido no deseado en las proximidades de los aeropuertos que perturba las actividades diarias y la paz de la población que habita estas áreas, y es reconocido como un importante obstáculo para la expansión de las operaciones aeroportuarias. Si bien se ha avanzado en la reducción del ruido de las aeronaves, nuevas reducciones se vuelven más difíciles de lograr. El problema se hace más difícil por el aumento del ruido debido al crecimiento de las operaciones de las aeronaves. En este contexto, la previsión de vuelos en el Eurocontrol Statistical Reference Area (ESRA) para el 2030 es entre 1.7 y 2.9 el tráfico de 2007 (Eurocontrol, 2008). Por tanto, se espera un crecimiento promedio de 2.3 % a 3.5% por año. También se espera que la demanda en aviación general y de negocios aumenten en el largo plazo, aun promedio de 1.8% al año hasta 2025 (FAA, 2009). Por otra parte, los fabricantes de aeronaves son un poco más optimistas y prevén cifras más grandes. Airbus, por ejemplo, prevé un aumento de tres veces en el tráfico aéreo de todo el mundo para el año 2025 (Airbus, 2007), mientras que Boeing pronostica un crecimiento promedio de 4.8% anual del tráfico aéreo en los próximos 20 años. Ambos fabricantes de aviones también estiman que la frecuencia de vuelos entre destinos será más del doble durante el próximo periodo de 20 años.

2.6 Sistemas de Monitoreo

Según Marquéz (2013) En relación con las infraestructuras de transporte, los sistemas de monitoreo de ruido son muy importantes para las etapas de planificación y gestión del ruido, los cuales pueden fijar indicadores utilizados en la implementación de nuevas normas sobre el control del ruido. Las unidades de supervisión y monitoreo del ruido, especialmente aquellos integrados en los sistemas de vigilancia de aeropuertos, deben ser capaces de medir

los niveles de ruido para la creación de históricos, identificando sucesos de ruido y clasificar los eventos producidos por las aeronaves.

Un sistema de monitoreo cuenta con por lo menos 5 EMU (Environmental Monitoring Unit), existen sistemas con hasta 25 EMU y una unidad central de procesamiento, normalmente se requiere la entrada de información del sistema RADAR, FDPS (Flight Data Processing System), GPS (Global Position System), esto para correlacionar los datos. Adicionalmente, algunas de estas unidades son capaces de distinguir automáticamente el tipo de ruido detectado, es decir, si es un avión de turbinas, de hélices, un helicóptero o simplemente ruido de fondo como es el caso de EMU 2100 de Lochard según reporte

Márquez (2013, pp15) además uno de los principales sistemas de monitoreo utilizado en algunos de principales aeropuertos del mundo ANOMS de la compañía Brüel & Kjør, la Fig.3 muestra el esquema del sistema (Brüel & Kjør, 2012).

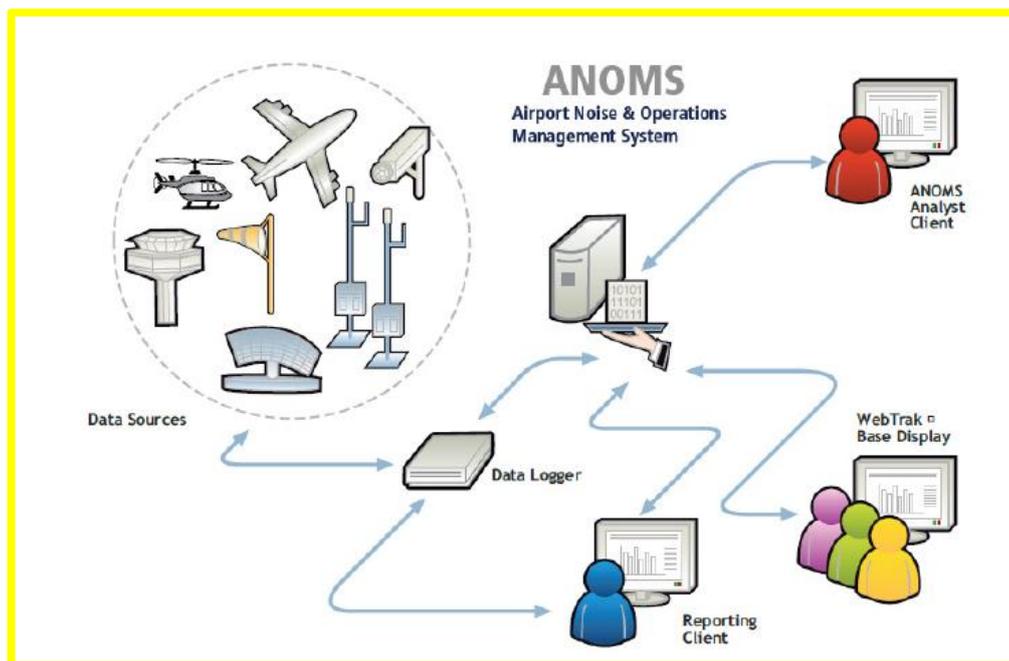


Figura 3 Topología de un sistema de monitoreo ANOMS

Fuente: (Cortesía Brüel & Kjør)

La tarea de clasificación, en relación con la fuente de sonido del evento de ruido, es un punto débil de las unidades de monitoreo. Una unidad de control sencilla detecta eventos de ruido utilizando umbrales aplicados a series de datos de ruido en el tiempo (ver Fig. 4) según Marquez (2013)

Cuando el nivel de ruido alcanza un valor encima del umbral durante más de una duración establecida, se detecta un evento de ruido (Barbo et al., 2009)

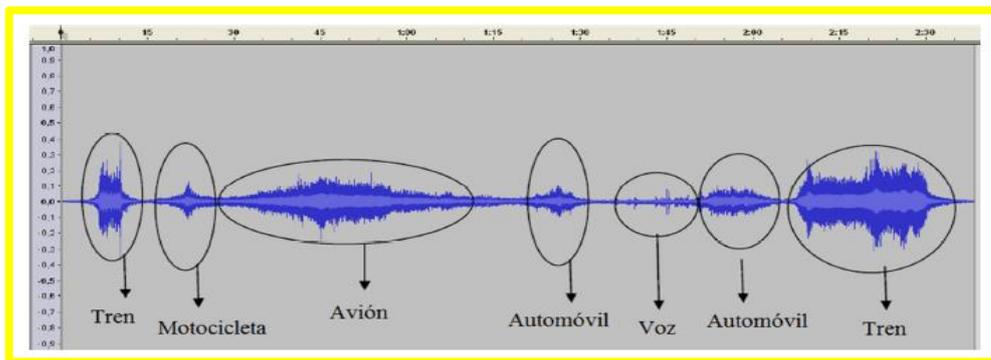


Figura 4 Nivel de ruido vs tiempo. La señal de audio de diversos ruidos

Fuente: Marquéz. M (2013)

La clasificación de estos eventos en la mayoría de los sistemas de monitoreo de los aeropuertos internacionales se lleva a cabo utilizando pistas del radar de los vuelos realizados. Si el evento de ruido se detecta cuando una aeronave se encuentra cerca del receptor, este evento será clasificado como producido por una aeronave y no se consideran otras características acústicas del sonido Según (Bekebrede, 1984).

Según Marquéz (2013) afirma que Se han hecho algunas otras investigaciones para clasificar los eventos de ruido ambiental (Goldhor, 1993), aplicando métodos de reconocimiento de patrones y técnicas de reconocimiento de voz con el fin de clasificar los eventos sonoros ambientales. La mayoría de ellos aplican un enfoque de detección y clasificación utilizando redes neuronales, modelos ocultos de Markov (Couvreur, 2004) y han mostrado buenos resultados, pero el principal problema al que

se han enfrentado es la detección en entornos ruidosos. Un trabajo reciente presenta un método en tiempo real para el seguimiento continuo de la semejanza de un audio de entrada y el ruido de una aeronave, así la unidad de monitoreo pueda ser capaz de marcar eventos de ruido generados por aeronaves (Asensio et al., 2010), mediante la extracción de coeficientes ceptrales en las frecuencias de MEL (Escala musical Perceptual de tonos)

2.7 Reconocimiento de clases de aeronaves

En la actualidad los trabajos de investigación que se encuentran en el estado del arte relacionados con la identificación del ruido producido por aeronaves están dirigido a tener sistemas capaces no solo de presentar información relacionada con los indicadores de ruido sino sistemas de monitoreo con la habilidad de reconocer la clase de aeronave que realiza el evento de ruido según Marquéz (2013)

La primera etapa en sus investigaciones fue hacer un análisis de las señales del ruido producido por las aeronaves durante el despegue (Sánchez F. et al., 2007), y que les permitiera la creación de un método de reconocimiento que hiciera posible identificar tipos o clases de aeronaves por medio de sus patrones de ruido. Siendo estos de hélice, turboreactor y reacción. Este modelo combina un decimado espectral utilizando el método de Barlett-Welch (Oppenheim et al., 1989), un filtro medio móvil y un decimado promedio del espectro para la extracción de rasgos característicos (ver Fig. 5), Según Márquez(2013) estos fueron utilizados para el entrenamiento de un modelo de reconocimiento neural artificial.

Posteriormente se presentó un trabajo de investigación basado en la extracción de rasgos característicos mediante LPC (Linear Predictive Coding) la cual es una técnica de procesamiento de voz que realiza su análisis en el dominio del tiempo, su objetivo principal es obtener una cantidad reducida de coeficientes y que representan de una manera suavizada la envolvente del espectro de densidad espectral de la señal en análisis (ver Fig. 6),

adicionalmente se le agrego un análisis de 1/12 octava, el cual basa su análisis mediante un banco de filtros, estos bancos están definidos por una frecuencia inferior y otra superior y se eligen de forma que la superior sea el doble que la inferior.

Para el modelo de reconocimiento se utilizaron dos redes neuronales artificiales MLP (Multi-Layer Perceptron) en paralelo, este modelo alcanzo una eficiencia del 80% de reconocimiento trabajando con 13 clases (Rojo R. et al., 2008).

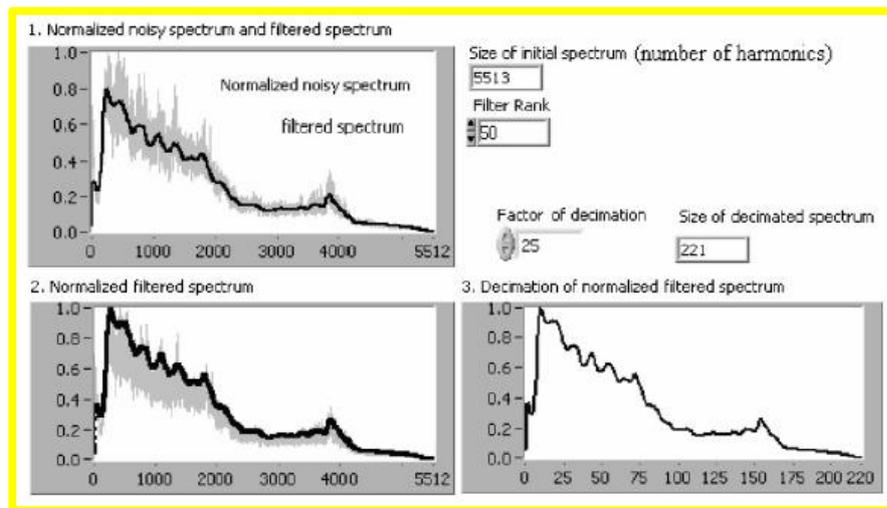


Figura 5 Ejemplo de los rasgos (línea negra) del ruido de los aviones Falcon (turborreactor)

Fuente: Marquéz.M (2013)

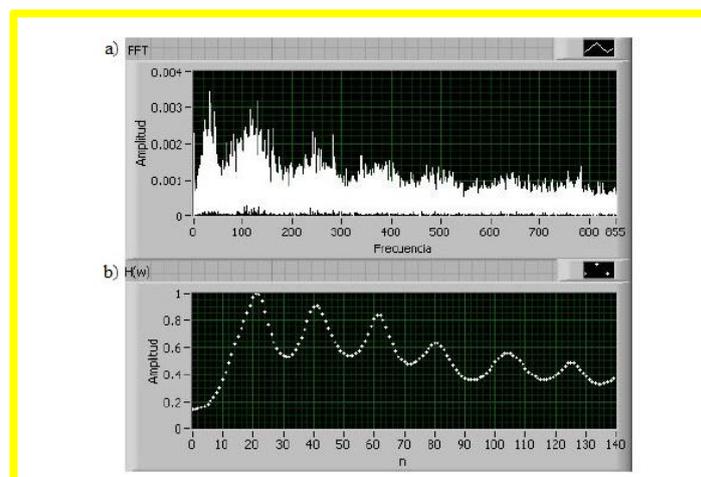


Figura 6 Ejemplos de rasgos utilizando LPC para aeronave MD87. a) FFT (Fast Fourier Transfer), b) coeficientes

Fuente: Marquéz.M (2013)

Recientemente fue presentado un modelo computacional para identificar las clases de aeronaves el cual propone una segmentación en el tiempo de la señal del ruido generado durante el despegue. Se creó un método para segmentar la señal en cuatro fragmentos y se extrajeron rasgos característicos utilizando LPC (ver Fig.7). Para el reconocimiento se combinaron las salidas de cuatro redes neuronales artificiales MLP, una para cada segmento según Marquéz (2013). El desempeño de cada red se optimizó con un algoritmo de selección de características para mejorar la eficiencia y reducir el costo computacional. Este modelo alcanzó un nivel de reconocimiento del 85% trabajando con 13 clases (Sánchez - Pérez et al., 2013)

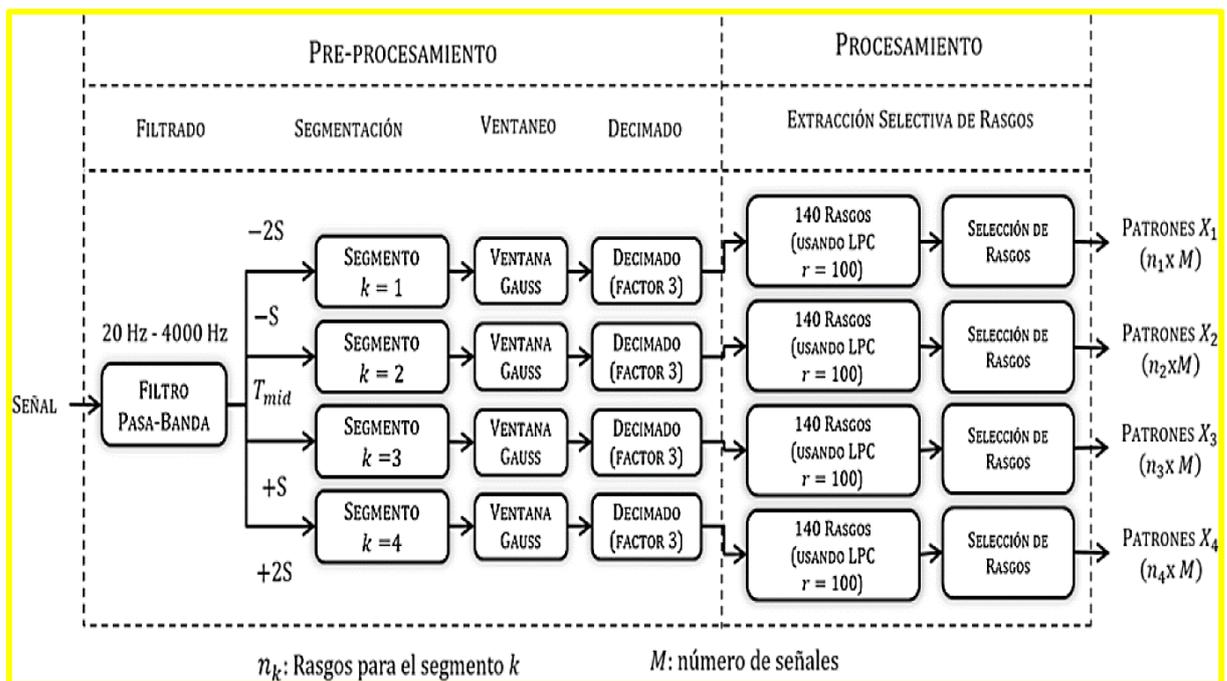


Figura 7 Procedimiento para extracción y selección de rasgos con segmentación en el tiempo

Fuente: Marquéz.M (2013)

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes:

- **Internacionales**

Sánchez, L. (2016) “RECONOCIMIENTO DE CLASES DE AERONAVES CON BASE EN PATRONES DEL RUIDO EN EL DESPEGUE” Tesis de doctorado en el Centro de Investigación en Computación (CIC) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en México concluye que “a lo largo de esta tesis se ha pretendido desarrollar un reconocimiento de la clase de aeronaves a partir de patrones del ruido en el despegue. Se analiza la segmentación de la señal en tiempo y el uso de una red neuronal MLP por cada segmento. Asimismo, se examinan varios algoritmos de decisión por comité para la agregación de las múltiples salidas de los clasificadores paralelos, así como la extracción y selección de características con base en el análisis del espectro del ruido de aeronaves. Por otro lado, se explora un método para estimar la trayectoria georreferenciada durante el despegue únicamente a partir de la señal. La metodología y los resultados están sustentados en la literatura actual. Podemos ver que se han definido varios métodos para calcular las curvas de ruido alrededor de los aeropuertos. Una curva de ruido es una línea de valor constante que representa el promedio durante largos períodos de tiempo calculado con base en un día común en el año. Por otra parte, el monitoreo permanente del ruido y las operaciones de aeronaves en las proximidades de los aeropuertos se ha convertido en una práctica común. En estos casos, las

señales registradas en cada evento se utilizan solamente para el cálculo de algunos indicadores estadísticos, tales como el nivel sonoro continuo equivalente.

La investigación concluyo que mediante la segmentación de la señal en el tiempo se logra identificar una disimilitud apreciable entre los espectros de cada segmento, confirmando que el ruido de las aeronaves en el despegue es un proceso no estacionario, que varía tanto en amplitud como en frecuencia. Además, se demuestra que la identificación de la clase de aeronave a partir de un modelo que combine los patrones extraídos por cada segmento es superior al uso de los patrones extraídos de la señal completa

Pollmann, M (2014): “GESTION Y PROTECCION DEL RUIDO EN AEROPUERTOS” concluye que la contaminación sonora es uno de los problemas ambientales más graves y menos reconocidos por el público, ya que no tenemos en cuenta la importancia que tenemos que darle a este tema. Un estudio de la OMS nos arroja como resultado a una evaluación a la ciudadanía que se pierden anualmente más de un millón años-vida por contaminación sonora causada solamente por el tráfico. El ruido no solo provoca fastidio ante cualquier situación, sino que tiene como consecuencias enfermedades muy graves para la salud como el incremento de riesgo de enfermedades del oído, de enfermedades cardiovasculares y de infartos mio-cardiáticos. La OMS aconseja que sus lineamientos para el ruido comunitario (1999), que el promedio del nivel sonoro en la recamara no rebase a los 30 decibeles y que el nivel máximo no rebase los 45decibeles esto relacionado a los trastornos del sueño. Ahora, veremos que el impacto ambiental del ruido de los aviones en Alemania en una encuesta señala que el 37% de la población se siente afectada por ruido de aviones como es el caso de las mujeres, que se comprobó que sufren un riesgo mayor de padecer cáncer de mama y leucemia en regiones producido por el ruido

de las aeronaves. En este caso podemos ver que el ruido de las aeronaves no deja que las personas tengan una buena calidad de vida, causando esto enfermedades patológicas.

Merchan, C. (2014): PLANIFICACION ACÚSTICA Y PAISAJES SONOROS: conceptos técnicos y bases científicas para su gestión en espacios naturales y protegidos y en medios urbanos” Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) en Madrid concluye que los sonidos forman parte y son un componente más de los ecosistemas, de hecho, todos los paisajes están caracterizados por una colección de sonidos como si fuera su propia huella acústica, que se define como 'paisaje sonoro'. Físicamente no existe distinción entre sonido y ruido, sin embargo, el concepto de 'ruido ambiental' se refiere al sonido exterior no deseado o nocivo generado por las actividades humanas. La Directiva Europea 2002/49/CE, sobre ruido ambiental, refleja la preocupación de las autoridades sobre la evaluación y gestión de la contaminación acústica en relación al territorio. Ahora también se centra la atención en el beneficio que reporta la existencia de las denominadas zonas tranquilas, tanto en espacios urbanos como en campo abierto. Pese a ello, la expansión continua del ruido ambiental reduce drásticamente los espacios libres de ruido antropogénico a nivel global. Por lo que surge la necesidad de llevar a cabo una planificación acústica para el control del ruido mediante medidas planificadas. Además, en la actualidad, el estudio ecológico del medio sonoro se refiere comúnmente por la expresión anglosajona 'soundscape ecology' (ecología de los paisajes sonoros), una disciplina emergente que estudia los paisajes sonoros y también evalúa sus posibles amenazas desde múltiples enfoques. De tal modo que desde el ámbito normativo y del científico, en la actualidad, se está desarrollando una serie de términos y conceptos que en ocasiones son parecidos pero sus significados diferentes, lo que es más relevante aún por sus posibles implicaciones a nivel de gestión y evaluación ambiental. Por otro lado, la Organización de las Naciones

Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), consideran una prioridad el desarrollo de una terminología o un léxico específico como parte del proceso de búsqueda de soluciones reales a los problemas ambientales. Por tanto, esta comunicación recoge y establece las bases técnicas y científicas de los principales conceptos y definiciones relacionados con la gestión y evaluación del ruido ambiental, de los paisajes sonoros y de sus componentes. Así como su equivalencia legal respecto a la Directiva Europea 2002/49/CE y las normas de trasposición al ordenamiento jurídico español.

Bonopera, Mariano E, Chapela, Matías (2013): “DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN EL ENTORNO DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE EZEIZA” A través del presente trabajo se buscó obtener una noción preliminar de la situación actual del aeropuerto en lo referente a contaminación acústica. Este estudio se enfocó en el marco de los Green airports (aeropuertos verdes), iniciativa llevada a cabo por las principales autoridades del ámbito aeronáutico para el desarrollo de aeropuertos ecológicamente sustentables. Dichos análisis fueron realizados mediante software especializado, tales como el INM 7.0 (Integrated Noise Model de la FAA) y el Custic 3.2. La Metodología consistió en plantear distintos escenarios operativos del aeropuerto, para luego simularlos. Con esta información se pudieron construir las respectivas huellas de ruido. Este documento se centra sobre tres pilares fundamentales que hacen a la actividad de los aeropuertos; las operaciones de los vehículos de asistencia a las aeronaves o GSE (Ground Support Equipment) que circulan por la plataforma comercial, las operaciones de rodaje de las aeronaves (Taxing) y las operaciones de aproximación y despegue. Dentro de los contaminantes que la actividad aérea genera el ruido es, sin duda, el más significativo de ellos en virtud de la alta percepción negativa que este genera. Por

otra parte, la exposición a altas intensidades durante períodos prolongados trae consecuencias negativas en la salud de la población y es por ello que se busca reducir estos aspectos negativos desde la misma fuente.

En este contexto la industria aeronáutica ha realizado importantes esfuerzos reduciendo en los últimos 40 años cerca de 40 decibeles (algo por cierto significativo considerando que se trata de escalas logarítmicas). Asimismo, se ha comprometido a reducir 7 decibeles más en los próximos años a través de innovaciones tecnológicas en aeronaves y plantas poder.

Por otra parte las Naciones Unidas (ONU), a través de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), establece normas y métodos recomendados para el desarrollo seguro, ordenado y eficiente de la aviación civil internacional y ha establecido dentro de sus Objetivos Estratégicos uno relacionado con la “Protección del medio ambiente y desarrollo sostenible del transporte aéreo” con el fin de “Promover el desarrollo armonizado y económicamente viable de la aviación civil internacional sin dañar indebidamente el medio ambiente”.

Escobar, J.(2017): “ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN POR RUIDO GENERADA POR AEROPUERTOS Y SU EFECTO EN LA SALUD” tesis de posgrado en la Universidad Militar Nueva Granada en Colombia concluye que El ruido es uno de los principales impactos ambientales generados por la industria aeronáutica, por ende, los niveles en número de decibeles que se manejan en ese entorno, sobrepasan los límites permisibles a los que se puede estar expuesto, lo que puede generar a las personas, según área, tiempo y número de decibeles producidos, afectaciones fisiológicas como lesiones auditivas o psicológicas como el estrés. Mediante una revisión documental en bases de datos, repositorios de universidades, y a partir de los siguientes descriptores: ruido, salud-ruido, ruido-industria y aeropuerto-ruido, se busca analizar los niveles producidos en los

aeropuertos y cómo estos pueden afectar la salud de las personas que se encuentran expuestas, identificando las principales fuentes y las posibles medidas de prevención y mitigación, para minimizar el efecto negativo que el sector aeronáutico genera a la población estudio. Entre los efectos físico-psicológicos en las personas expuestas a la contaminación por ruido generado por las industrias, en especial por la industria aeronáutica, se encuentra el rompimiento temporal o permanente del umbral auditivo, problemas de tensión arterial, isquemias cardíacas, náuseas, sordera profesional, fatiga auditiva, dificultad para conciliar el sueño, trastornos de comportamiento, pérdida de productividad, desórdenes mentales y la dificultad de conllevar una conversación. La normativa expedida por diferentes entes de control, las medidas para controlar y mitigar los niveles de presión sonora generados por los aeropuertos, parecen ineficientes dado que hoy en día la contaminación por ruido es una problemática que aun afecta a las poblaciones aledañas a este sector industrial.

• **Nacionales:**

Barreto, C. (2007) “CONTAMINACIÓN POR RUIDO DE AERONAVES EN BELLAVISTA-CALLAO” Tesis Para optar el Grado Académico de Magister en Ciencias Ambientales. Mención de control de la contaminación y ordenamiento ambiental en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en Perú , concluye que a la luz de los resultados obtenidos, la Contaminación Sonora de Bellavista, debido al ruido de las aeronaves que pasan por esta zona urbana, son evidentes, dado que los Niveles del Ruido Equivalente Continuo, exceden a los valores establecidos en el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruidos aprobado por el D.S. N.º 085-2003-PCM, en su anexo 1. Los Niveles de Exposición Sonora (SEL) medidos en cada estación de monitoreo oscilan entre 52 a 113 decibeles, valores tomados como datos para el cálculo de los niveles de ruido equivalente continuo, cuyos resultados son valores por encima de los Límites Máximos

Establecidos para Zona Residenciales, en ca 6 En la estación de monitoreo R-1, ubicado en Ciudad del Pescador (Sector III), se midió el paso de 46 aeronaves, donde se calculó un nivel de ruido igual a 69,7 decibeles, valor que supera en 9,7 y 19,7 decibeles, a los establecidos para horarios diurno y nocturno, que son 60 y 50 decibeles, respectivamente. En la estación de monitoreo R-2, ubicado en la urbanización “El Imperio” el nivel de ruido equivalente continuo alcanzó el valor más elevado de toda la red de monitoreo con 75,2 decibeles, luego de haberse registrado el paso de 147 aeronaves, durante todo el período de monitoreo. Dicho valor calculado excede en 15,2 y 25,2 decibeles, respectivamente para los horarios diurno y nocturno. En la estación R-3, ubicada en Ciudad del Pescador (Sector II) se registraron el paso de 128 aeronaves, durante todo el período de monitoreo, calculándose un nivel de ruido igual a 63,0 decibeles, valor ligeramente mayor al establecido en 3 y 13 decibeles, respectivamente, para cada horario. En la estación R-4, ubicada en la urbanización “Confecciones Militares” se registraron el paso de 149 aeronaves, calculándose un nivel de ruido igual a 63,1 decibeles, que excede en 3,1 y 13,1 decibeles a los valores establecidos. En la estación R-5, ubicada en la Universidad Nacional del Callao (Av. Juan Pablo II), hicieron su paso 131 aeronaves durante el monitoreo, calculándose 60,8 decibeles de nivel de ruido, ligeramente mayor al permisible en 0,8 y 10,8 decibeles, respectivamente. Este valor es el nivel más bajo de toda la red de monitoreo, y por ende la zona menos contaminada de Bellavista. De estos resultados se colige que las Urb. El Imperio, José Gálvez, Jardines Virú, Proción, El Águila, Ciudad del Pescador (Sector I y II), que rodean a la Estación R-2, son las zonas más críticas de Bellavista, por estar expuesto al mayor nivel de ruido, respecto a las demás zonas residenciales del ámbito de estudio. Mientras tanto parte de la Urb. Ciudad del Pescador (Sector IV), Urb. Stella Maris, las viviendas y entidades públicas (colegios, hospitales, estadio, universidad, etc.) que se encuentran entre las Avenida Juan Pablo II, Guardia Chalaca y alrededores, son zonas residenciales menos críticas. Durante el

período de monitoreo las condiciones meteorológicas fueron propios de un clima invernal, con ligeras variaciones entre los meses de julio, agosto y septiembre, período en el cual se realizó el Estudio. Siendo 7 la temperatura ambiental de 16,4 a 21,4 °C; con una Humedad Relativa de 72 a 92 %; con vientos de 4 a 5 Nudos y con direcciones entre 160 y 320 grados, es decir de Sur a Norte como dirección predominante. Las mediciones de ruido generalmente abarcaron las 24 horas de operaciones aeronáuticas que se realizan en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, registrándose todos los despegues de las aeronaves por la pista 15, según el itinerario de salidas de cada explotador aéreo. El mayor número de aeronaves que pasan por Bellavista fueron registrados en el Horario Diurno (07:01 a 22:00 horas) a diferencia del Horario Nocturno, debido a que las aeronaves despegan por la Pista 33, es decir hacia el Norte, cumpliendo la Directiva de la Dirección General de Aeronáutica Civil, acerca de la atenuación de ruidos, dependiendo de la cola de vientos, parámetro que se usa en la navegación aeronáutica. Finalmente cabe mencionar que el presente estudio fue posible gracias al aporte y apoyo incondicional de una serie de Instituciones tanto públicas como privadas, tales como la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC), Laboratorio de Seguridad e Higiene Industrial de la Universidad Nacional de Ingeniería, Centro Educativo Ocupacional Nuestra Señora de las Mercedes, Instituto Superior Tecnológico Público Simón Bolívar, Dirección Regional de Educación del Callao, Universidad Nacional del Callao, Empresa HIG SEG EIRL, Municipalidad Distrital de Bellavista.

Moy, J. (2002) “RUIDO DE AEROPUERTOS. ESTUDIO DEL PROBLEMA DE RUIDO EN EL AEROPUERTO JORGE CHÁVEZ, SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN. Tesis Para optar el Grado de Magister en Física Aplicada en la Pontificia Universidad Católica Del Perú concluye que: En la presente tesis se realiza

una investigación de los aspectos teóricos del problema de ruido aéreo, desde el estudio de las fuentes de ruido, como son: el ruido aerodinámico, ruido de los diferentes tipos de motores, así como su propagación en la atmósfera. Se tratan las diferentes métricas de sonido, así como los efectos del ruido fisiológicos y psicológicos de ruido aéreo sobre las personas afectadas. Se describen además las diferentes técnicas desarrolladas para la atenuación del ruido de aeronaves tanto a nivel de tecnología de motores como de procedimientos operacionales de despegue y aterrizaje de los aviones. Se presenta además a modo de anexo una serie de temas que hacen de la tesis una obra auto contenida y accesible a un amplio rango de personas. Dada la escasez de material bibliográfico sobre este tema en nuestro idioma, la tesis constituye una fuente de información valiosa para todo aquel interesado en el tema.

La segunda parte de la tesis es el trabajo de investigación el cuál exigió desarrollar una metodología original y propia, dada la falta de referentes anteriores sobre el tema. Esta metodología fue contrastada posteriormente con trabajos similares realizados en Canadá por el asesor de la Tesis, encontrándose similitudes tanto en procedimientos como en las mediciones. Los resultados y propuestas esta investigación fueron usadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones para dar una legislación sobre la modernización de la flota aérea nacional.

Cárdenas, J. (2013) “DISMINUCIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL PRODUCIDO POR LOS RUIDOS MEDIANTE ESTREATEGIAS DE ACTUACIÓN EN LOS POBLADORES DE LA PROVINCIA DE HUANCAYO” para optar el Grado académico de Maestro en seguridad y medio ambiente en minería en la universidad nacional Del Centro Del Perú, concluye que, la presente investigación forma parte de un conjunto de trabajos similares que contienen los resultados de una extensa campaña de medición de ruido, la misma que fue propuesta como tema de tesis en la Unidad

de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de Minas de la UNCP, para optar el Grado académico de Maestro en seguridad y medio ambiente en minería. Esta campaña consistió en el monitoreo de 38 puntos dentro del distrito Metropolitano de El Tambo, Huancayo y Chilca, con el objetivo de desarrollar estrategias de actuación en los pobladores de la provincia de Huancayo, El Tambo y Chilca, de la misma, a fin de determinar los puntos más críticos indicados para ubicar, a futuro, una red de monitoreo constante de ruido ambiental. Para llevar a cabo el estudio, por motivos de logística, se dividió en tres zonas consideradas dentro de la ciudad Metropolitana con los distritos correspondientes. Todas las mediciones se llevaron a cabo en diferentes días de la semana entre los meses febrero y junio del 2013. De esta forma cada punto (estación) cuenta con 3 muestras (mañana, tarde y noche) por cada uno de los cinco meses que duró el monitoreo. Cada muestra consta de mediciones de 1 minuto de duración cada una, realizadas en 16 puntos alrededor del “punto cero” de cada estación. Los 38 puntos corresponden a los cuartiles 25 m, 50 m, 75 m y 100 m desde el punto cero en cada una de las direcciones cardinales. La investigación analiza los resultados de monitoreo obtenidos en las tres zonas de la provincia de Huancayo con sus distritos correspondientes El Tambo, Huancayo y Chilca. Los valores finales corresponden al promedio de 5 meses, por cuartil y para cada uno de los tres horarios. Dichos valores fueron utilizados para elaborar, estrategias de actuación a los pobladores de los distritos en estudio, los mapas de ruido necesarios para demostrar el comportamiento espacial del contaminante. Al finalizar el estudio, se encontró que el ruido ambiental es causado principalmente por los vehículos de diferentes tipos que circulan en el distrito. Las fuentes minoritarias de ruido corresponden a industrias y comercios. Luego del respectivo análisis, los tres lugares que preferencialmente deberían tener estaciones para la red de monitoreo de ruido en la ciudad de Huancayo son: Av. Mariscal Castilla y Av. Mariátegui que corresponde el distrito metropolitano de El Tambo; Av. Real N° 1043 (Megacentro) - Huancayo y la intersección

Av. Real y Av. Manco Cápac (Chilca), debido a sus características especiales en cuanto a sus altos niveles de ruido y densidad poblacional, importantes actividades comerciales, ubicación estratégica respecto a nuevos polos de desarrollo comercial y cercanía con vías de elevada circulación vehicular.

3.2 Conceptos de acústica

La acústica es una rama de la física encargada de estudiar la producción, transmisión, almacenamiento percepción y reproducción del sonido, es decir este estudia de manera detallada las ondas sonoras que se propagan a través de una materia, estas pueden ser en estado gaseoso, líquido o sólido, debido a que el sonido no se propaga en el vacío. El sonido es el elemento más importante dentro de la acústica y consiste en ondas sonoras que se producen cuando las oscilaciones de la presión del aire, son convertidas en ondas mecánicas; en la propagación del sonido constituye un transporte de energía sin transporte de materia, en forma de onda mecánica que se propaga en forma líquida, gaseosa o sólida. En el aire, el sonido propaga una velocidad de 340 m/s aproximadamente. (Bruel & Kjaer, 2000; Recuero, 1994).

Físicamente en este proceso, ocurren pequeñas variaciones de la presión en el aire (u otro gas o fluido). A estas pequeñas variaciones de presión, que se combinan con la presión estática p_0 , se les denomina presión sonora p . Esta magnitud, dependiente del tiempo y del espacio, es la magnitud acústica más importante, dada por la ecuación (3.1). La radiación

de la fuente produce un campo sonoro con una determinada distribución espacial, al que en cada instante de tiempo le corresponde una nueva presión instantánea (Móser. 2009).

$$L_p = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (3.1)$$

Donde L es el nivel de presión sonora, p la presión sonora medida y $p_o = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ presión sonora de referencia.

Según Márquez (2013) indica que se puede ver en la tabla 3.1. mediante la asociación de niveles a distintos valores de presión incluidos en el intervalo de presión sonora, se obtiene una escala que va desde los 0 a los 140 dB. En la tabla se incluyen algunos ejemplos del orden de magnitud de los niveles de presión sonora para situaciones de ruido habituales.

Tabla 2

. Correspondencia entre la presión sonora y niveles de presión sonora

Presión efectiva N/m^2	Nivel de presión dB	Situación
2×10^{-5}	0	Mínimo perceptible
2×10^{-4}	20	Bosque con poco viento
2×10^{-3}	40	Biblioteca
2×10^{-2}	60	Oficina
2×10^{-1}	80	Calle con tránsito
2×10^0	100	Sirena, martillo neumático
2×10^1	120	Motor a reacción
2×10^2	140	Umbral del dolor

Fuente: Márquez .M (2013)

El número de variaciones de presión por segundo se llama frecuencia de sonido y se mide en hercios (Hz). La percepción auditiva normal de una persona joven saludable varía aproximadamente desde 20 Hz hasta 20000 Hz (20 KHz).

3.2.1 Tipos de ruido

Todo ruido se puede considerar como una señal deseada cuando se va a medir, aunque esto solo sea momentáneamente (Recuero, 1994) además Márquez (2013) indica que para

que las medidas sean significativas, el nivel de ruido de fondo deberá ser al menos 10 dB inferior al nivel de la señal. Algunos tipos de ruido son. (INERCO, 2012)

- *Ruido continuo constante*: se produce por maquinaria que opera del mismo modo sin interrupción, por ejemplo, ventiladores, bombas y equipos de proceso.
- *Ruido continuo intermitente*: cuando la maquinaria opera en ciclos, o cuando pasan vehículos aislados o aviones, el nivel de ruido aumenta y disminuye rápidamente
- *Ruido impulsivo repetitivo*: es el caso del ruido de impactos o explosiones, por ejemplo, de un martinete, troqueladora o pistola. Es breve y abrupto, y su efecto sorprendente causa mayor molestia que la esperada a partir de una simple medida del nivel de presión sonora
- *Ruido tonal*: frecuentemente en máquinas rotativas, como motores, cajas de cambios, ventiladores y bombas, se producen desequilibrios o impactos repetidos causando vibraciones que, transmitidas al aire, pueden ser oídas como tonos
- *Ruido Blanco*: contiene todas las frecuencias con la misma amplitud. Es un ruido patrón que se caracteriza por un aumento de 3dB en la presión sonora cada vez que aumenta la banda de octava
- *Ruido rosa*: es un ruido cuyo nivel sonoro es constante en todas las bandas de octava. Es el que se usa en medidas de aislamiento y en laboratorio

3.2.2 Propagación del ruido

Los factores más importantes que afectan a la propagación del ruido son (Bruel & Kjaer, 2000)

Tipo de fuente:

- **Puntual:** Si las dimensiones de una fuente de ruido son pequeñas comparadas con la distancia al oyente, entonces se llama fuente puntual, por ejemplo, ventiladores y chimeneas. La energía sonora se propaga de forma esférica, por lo que el nivel de presión del sonido es el mismo en todos los puntos que se encuentran a la misma distancia de la fuente.
- **Lineal:** Si una fuente de ruido es estrecha en una dirección y larga en la otra comparada con la distancia al oyente, ésta es llamada fuente lineal. El nivel de sonido se propaga cilíndricamente, por lo que el nivel de presión sonora es el mismo en todos los puntos a la misma distancia de la línea, por ejemplo, una sucesión de vehículos en una carretera concurrida.
- **Estática:** La fuente se mantiene estática a lo largo del tiempo. Por ejemplo, una fábrica.
- **Móvil:** La fuente cambia de posición a lo largo del tiempo, por ejemplo, aeronaves, automóviles, etc.
- **Atenuación atmosférica:** La reducción de ruido al pasar a través del aire depende de muchos factores incluyendo, distancia desde la fuente, contenido frecuencial del ruido, temperatura ambiental, humedad relativa y presión ambiental.
- **Viento:** La velocidad del viento aumenta con la altitud, la cual desviará la trayectoria del sonido para "hacerla converger" en el lado situado a favor del viento y crear una "sombra" en el lado de la fuente que se encuentra en contra del viento.
- **Temperatura:** Los gradientes de temperatura crean efectos similares a los de los gradientes de viento, excepto en que los primeros son uniformes en todas las direcciones a partir de la fuente.

- **Efecto Doppler:** Este efecto se produce cuando la fuente de ondas y el observador están en movimiento relativo con respecto al medio material en el cual la onda se propaga, la frecuencia de las ondas observadas es diferente de la frecuencia de las ondas emitidas por la fuente (Alt et al., 2004).

Se ha determinado que en el Aeropuerto Jorge Chávez la presión atmosférica no afecta la propagación del ruido generado por los motores de las aeronaves en el momento del despegue.

3.2.3 Fuentes de ruido

Según Marquéz (2013) indica que el grado de contaminación ambiental en las grandes ciudades debido al ruido tiene cada día más trascendencia por lo que se trata de estudiar y conocer con profundidad las fuentes sonoras y sus características físicas para disminuir los niveles de ruido que generan. A continuación, se enumeran algunas de las principales fuentes de ruido.

- **Ruido debido al tráfico rodado:** Es producido por vehículos en movimiento por medio de su motor, transmisión, neumático, (ver figura 8) etc. Las legislaciones que existen en varios países marcan niveles máximos que no deben superarse, que van desde los 80 dB a los 90 dB para automóviles y de 70 dB a 80 dB para motocicletas.



Figura 8 Fuente de ruido por tráfico de vehículos

Fuente: Marquéz.M (2013)

- **Ruido por tráfico aéreo:** Las aeronaves son una fuente de potencia acústica muy importante, y las condiciones de propagación del ruido son muy favorables en espacios sin obstáculos, ver Fig. 9. En la fase de despegue es cuando los aviones producen más ruido, ya que la potencia requerida en este proceso es máxima.



Figura 9. Fuente de ruido por tráfico aéreo

Fuente: Marquéz M (2013)

- **Ruido debido a obras públicas:** Estas fuentes de ruido existen en la construcción. debido principalmente a la maquinaria pesada que se emplea, que produce diferentes tipos de ruido (ver Fig. 10).



Figura 10. Ruido producido por maquinaria en obras publicas

Fuente: Marquéz. M (2013)

- **Ruido debido a actividades industriales:** Son los producido» por la industria en general, cuyo nivel y espectro sonoro puede ser muy variado, ya que depende del proceso industrial en sí. un ejemplo se puede observar en la Fig. 11



Figura 11. Ruido generado por actividades industriales

Fuente: Marquéz. M (2013)

- **Ruido debido a actividades urbanas comunitarias:** Estos ruidos se deben a que en algunas zonas de una ciudad existen en determinados intervalos de tiempo concentraciones de personas que producen ruidos de tipo intermitente con variación de niveles. La Fig. 12 muestra el ruido generado por aglomeraciones de personas.



Figura 12. Ruido producido por actividades urbanas

Fuente: Márquez. M (2013)

3.2.4 Instrumentos de medición

Las normas técnicas peruanas ISO 1996-1:1982: Acústica - Descripción y mediciones de ruido ambiental, Parte I: Magnitudes básicas y procedimientos e ISO 1996-2:1987: Acústica - Descripción y mediciones de ruido ambiental, Parte II: Recolección de datos pertinentes al uso de suelo brindan las pautas para realizar mediciones de ruido.

Las mediciones de ruido requieren del uso de varios equipos. Entre ellos, el más importante es el sonómetro digital, instrumento que tiene la capacidad de medir la presión sonora con la precisión determinada por el Reglamento ECA Ruido. Los ECA Ruido sirven para el diseño de normas legales y políticas públicas destinadas a la prevención y control del ruido ambiental, así como para el diseño y aplicación de instrumentos de gestión ambiental. (OEFA, PRIMERA EDICION, 2016)



Figura 13. Sonómetro Digital

Fuente: Dirección de Evaluación – OEFA

Un sistema de medición de sonido se compone de un sensor de presión acústica (micrófono), unidad de acondicionamiento, unidad de procesamiento y unidad de presentación. El micrófono o sensor de presión acústica se encarga de transformar las ondas sonoras en impulsos eléctricos que son ingresados al sistema. En la unidad de acondicionamiento se realiza la conversión analógica / digital, se hace la conversión a

unidades de presión sonora (Pascuales, N/m²) y se realiza un filtrado de los datos con los llamados filtros de ponderación (Sexto, 2007) ver Fig. 14, a continuación, se presenta una breve descripción:

- **Filtro de ponderación A:** Fue creado para modelar la respuesta del oído humano para niveles bajos (del orden de los 40 fonos). Actualmente casi todas las leyes y reglamentos lo utilizan para delimitar los niveles aceptables de ruido. Los niveles de sonido ponderados con el filtro A se denominan decibelio A dB(A), (ecuación 3.2).

$$A(f) = 2.0 + 20 \log_{10} \left[\frac{12200^2 * f^4}{(f^2 + 20.6^2) * \sqrt{(f^2 + 107.7^2)} * (f^2 + 737.9^2) * (f^2 + 12200^2)} \right] \quad (3.2)$$

- **Filtro de ponderación B:** Fue creado para modelar la respuesta del oído humano a intensidades medias aproximadamente para niveles del orden de los 70 fonos. (ecuación 3.3).

$$B(f) = 0.17 + 20 \log_{10} \left[\frac{12200^2 * f^3}{(f^2 + 20.6^2) * \sqrt{(f^2 + 158.5^2)} * (f^2 + 12200^2)} \right] \quad (3.3)$$

- **Filtro de ponderación C:** Fue creado para modelar la respuesta del oído humano ante sonidos de gran intensidad aproximadamente del orden de los 100 fonos. Se utiliza para

evaluar sonidos ambientales, así como, sonidos de baja frecuencia en la banda de frecuencias audibles, (ecuación 3.4).

$$C(f) = 0.06 + 20 \log_{10} \left[\frac{12200^2 * f^2}{(f^2 + 20.6^2) * (f^2 + 12200^2)} \right] \quad (3.4)$$

- **Filtro de ponderación D:** Surgió a partir de las curvas de ruidosidad percibidas y fue concebido para evaluar un evento único de ruido aeronáutico, (ecuación 3.5).

$$D(f) = 20 + \log_{10} \left[\frac{f}{6.8966888496475 \times 10^{-5}} * \sqrt{\frac{h(f)}{(f^2 + 79919.29) * (f^2 + 1345600)}} \right] \quad (3.5)$$

Donde

$$h(f) = \frac{(1037918.48 - f^2)^2 + (1080768.16 * f^2)}{(9837328 - f^2)^2 + (11723776 * f^2)} \quad (3.6)$$

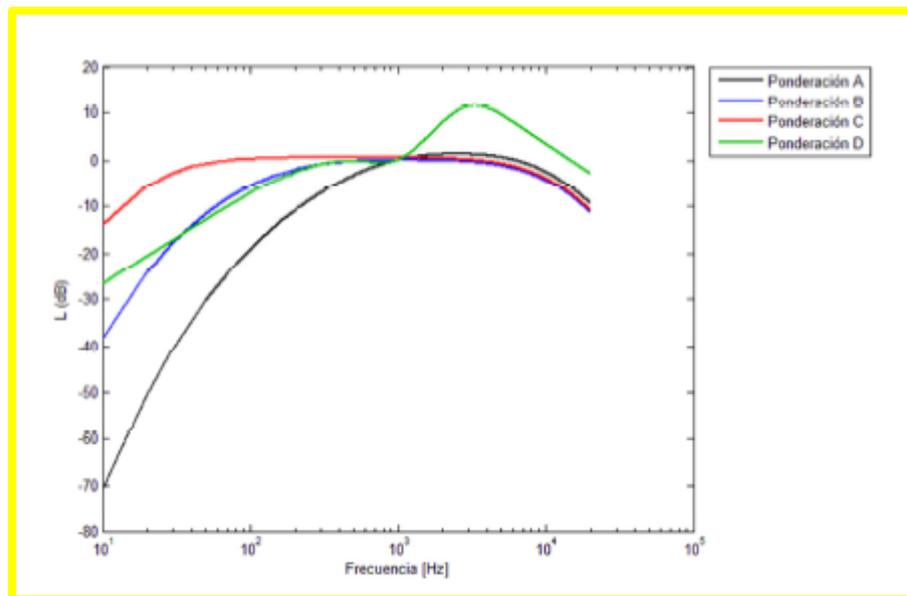


Figura 14. Curvas de ponderación estandarizadas internacionalmente

Fuente: Marquéz. M (2013)

3.2.5 Indicadores de valoración del sonido

Los seres humanos se encuentran rodeados por el ruido en todas sus actividades, por lo que, si desea conocer y valorar la reacción de una persona o de un colectivo ante el ruido, es necesario crear una escala que relacione la respuesta subjetiva de las personas con alguna propiedad física medible de la fuente sonora (potencia emitida, intensidad en un punto situado a una distancia m de la fuente), los indicadores de valoración del sonido nos ayudan a crear criterios que nos darán valores del índice de ruido que no debe superar (Berglund et al., 1999; Crocket, 1998; Kinsler et al., 1999). Estos son los más utilizados :

- **Nivel Instantáneo (L_p):** Nivel de presión sonora que se registra en un instante de medición. También se denomina SPL (Sound Pressure Level), ver ecuación (3.1).
- **Nivel Sonoro Continuo Equivalente (L_{eq}):** Es el nivel de energía sonora que tendría un ruido constante en el mismo periodo de tiempo que el ruido medido. El L_{eq} representa la energía sonora que contiene el ruido en un determinado tiempo.
- **Nivel Maximo (L_{max}):** Es el nivel sonoro más alto que se registra durante un periodo de tiempo.
- **Nivel Mínimo (L_{min}):** Es el menor nivel sonoro que se registra durante un intervalo de tiempo.
- **Percentiles (L_{10} , L_{50} , L_{90} , etc.):** Es el nivel sonoro que es superado determinado porcentaje de tiempo. En el caso del L_{10} , es el nivel sonoro que superó el 10% del tiempo de la medición.
- **SEL (Sound Exposure Level):** Es el nivel sonoro que, si se mantiene constante durante 1 segundo, tendría la misma energía que el evento sonoro medido. Se usa para medir eventos aislados, como el paso de aviones, etc. También es conocido como (Single Event Level).

Según Marquez (2013) Existen otros indicadores importantes tales como: PNL (Perceived Noise Level). EPNL (Effective Perceived Noise Level). DNL (Day/Night Level). CNEL (Community Noise Equivalent Level).

3.3 Técnicas de procesamiento de voz

Según Marquéz.M (2013) La extracción y la selección de la mejor representación paramétrica de las señales es una tarea importante en el reconocimiento de patrones. A continuación, se describen algunos de las técnicas utilizadas en el procesamiento de voz. utilizadas para la extracción de características.

3.3.1. Codificación Predictiva Lineal (LPC)

Según Marquéz (2013) indica que el modelo de filtro “todo polos” es el más utilizado y el análisis de auto recursividad de la señal es la herramienta para hallar los coeficientes del filtro en cuestión. La funcionalidad matemática que da como resultado los coeficientes del filtro, es una relación matricial que se obtiene al realizar la predicción lineal e las muestras de las señales, con lo cual se obtienen los coeficientes de predicción lineal (Lineal Predictive Coding), también llamados parámetros LPC, que no son otra cosa que los coeficientes de un filtro “todo polos”. El cálculo de parámetros LPC es un procedimiento que se realiza en el dominio del tiempo, y está basado en la consideración de que el termino enésimo $s(n)$ de una secuencia de valores en el tiempo, puede ser estimado mediante una combinación lineal a partir de los p términos anteriores, como se describe en la ecuación (3.7) (Atal et al., 1971; Makhoul, 1975).

$$\hat{s}(n) = a_1s(n - 1) + a_2s(n - 2) + \dots + a_p s(n - p) \quad (3.7)$$

Donde $\hat{s}(n)$ es el termino estimado de la secuencia. Entonces consideramos la combinación lineal de las muestras anteriores definida como:

$$\hat{s}(n) = \sum_{k=1}^p a_k s(n-k) \quad (3.8)$$

El cálculo del error de predicción $e(n)$ (señal real $s(n)$ menos la señal predica $\hat{s}(n)$) se define como:

$$e(n) = s(n) - \hat{s}(n) = s(n) - \sum_{k=1}^p a_k s(n-k) \quad (3.9)$$

Para obtener las ecuaciones que deben ser resueltas para determinar los coeficientes de predicción LPC, definimos los segmentos de voz y de error en un segmento de datos, y los tiempos en función de n , buscamos minimizar la señal de error mínimo cuadrado en el intervalo, ya que el error es mayor según sea menor k y disminuye al aumentar el numero de datos considerados para la predicción. A partir del error cuadrático medio M tenemos:

$$M = \sum_n e^2(n) = \sum_n [s(n) - \sum_{k=1}^p a_k s(n-k)]^2 \quad (3.10)$$

Para obtener el valor mínimo de M , se deriva respecto a cada una de las variables a_j , como se muestra en las ecuaciones (3.11) a (3.14):

$$\frac{dM}{da_j} = 0, \text{ para } 1 \leq j \leq p \quad (3.11)$$

$$\frac{dM}{da_j} = \frac{d}{da_j} \sum_n [s(n) - \sum_{k=1}^p a_k s(n-k)]^2 = 0 \quad (3.12)$$

$$\frac{dM}{da_j} = -2s(n-j)[s(n) - \sum_{k=1}^p a_k s(n-k)] = 0 \quad (3.13)$$

$$\sum_{k=1}^p a_k \sum_n s(n-j).s(n-k) = \sum_n s(n).s(n-j) \quad (3.14)$$

El método de autocorrelación sugiere una manera simple y eficiente de definir los límites de las sumatorias al asumir que los segmentos de voz $s(n)$ son nulos fuera del intervalo de $0 \leq n \leq N-1$. La función de autocorrelación permite medir matemáticamente el parecido existente entre una señal y una versión retrasada en el tiempo de la misma señal. El pico mayor de la función de autocorrelación está localizado en la posición cero de

desplazamiento. La localización del pico siguiente, máximo global de la función tras el primer cruce por cero, da una estimación del periodo, y la altura una indicación de la periodicidad de la señal. La autocorrelación está dada por la ecuación (3.15).

$$\varphi(k) = R(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot s(n+k) \quad (3.15)$$

Si ponemos los términos de la sumatoria de productos en función de la autocorrelación, tenemos:

$$\varphi(j, k) = \sum_n s(n-j) \cdot s(n-k) \quad (3.16)$$

$$\varphi(j, k) = R_n(|j-k|), \quad j = 1, 2, \dots, p \text{ y } k = 0, 1, \dots, p \quad (3.17)$$

Sustituyendo (3.17) en (3.14) tenemos

$$\sum_{n=1}^p a_n R_n(|j-k|) = R_n(j), \text{ con } 1 \leq j \leq p \quad (3.18)$$

Como la función de autocorrelación es simétrica $R_n(j) = R_n(-j)$ las ecuaciones que deben cumplir los parámetros LPC en la ecuación (3.18) se pueden expresar como:

$$\begin{bmatrix} R_n(0) & R_n(1) & R_n(2) & \cdots & R_n(p-1) \\ R_n(1) & R_n(0) & R_n(1) & \cdots & R_n(p-2) \\ R_n(2) & R_n(1) & R_n(0) & \cdots & R_n(p-3) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R_n(p-1) & R_n(p-2) & R_n(p-3) & \cdots & R_n(0) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \vdots \\ a_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_n(0) \\ R_n(1) \\ R_n(2) \\ \vdots \\ R_n(p-1) \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Esta matriz de $p \times p$ valores de autocorrelación es una matriz tipo Toeplitz, donde p es el número de coeficientes o parámetros LPC que se quieren calcular, este sistema (expresión 3.19) puede resolverse mediante el algoritmo Levinson-Durbin (Durbin, 1960; Levinson, 1947), este método solo requiere un número de operaciones del orden de η^2 , mientras que el método de eliminación de Gauss requiere del orden de η^3 operaciones. Estos coeficientes permiten aproximar la señal original minimizando el error cuadrático medio. Marquéz (2013)

3.3.2 Predicción perceptual lineal (PLP)

La técnica de codificación predictiva lineal (LPC) ha sido utilizada en el reconocimiento del habla por mucho tiempo. LPC modela el tracto vocal como un modelo todo-polos y aproxima de buena manera la forma de la señal del habla en todas las frecuencias de análisis. esta característica es incompatible con la audición humana, que tiene una sensibilidad que varía con la frecuencia. El análisis PLP (Hermansky. 1990) fue desarrollado como un intento de corregir esta inconsistencia. Modela la percepción auditiva haciendo uso de la curva de banda crítica, la curva de igualdad de sonoridad y la ley de potencia de intensidad-sonoridad.

Para calcular los coeficientes PLP, se simulan varias propiedades de la audición mediante aproximaciones prácticas de ingeniería, y el espectro resultante del habla basado en la audición, es aproximado por un modelo auto regresivo (AR) todo-polos. La Fig. 15 muestra las diferentes etapas de análisis PLP. Cada etapa es descrita a detalle a continuación.

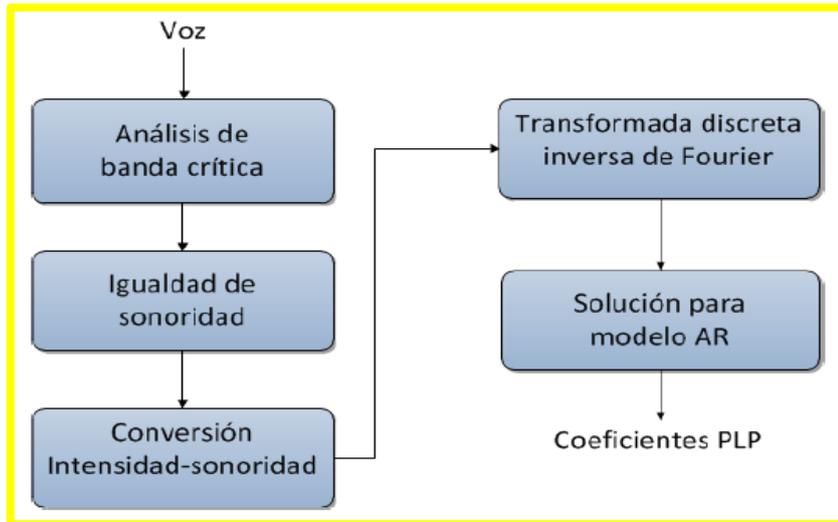


Figura 15. Diagrama de bloques para el análisis PLP

Fuente: Márquez. M (2013)

- Análisis Espectral

Se aplica la transformada discreta de Fourier (DFT) a la señal de voz para llevarla al dominio de la frecuencia. Se utiliza una ventana de Hamming, dada por la siguiente ecuación:

$$W(n) = 0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \quad (3.20)$$

donde N es el largo de la ventana en muestras.

Para obtener el espectro de potencia $P(\omega)$, se suman los cuadrados de la parte real e imaginaria de la transformada de Fourier $S(\omega)$, tenemos:

$$P(\omega) = Re[S(\omega)]^2 + Im [S(\omega)]^2 \quad (3.21)$$

- Resolución espectral de banda crítica:

El espectro $P(\omega)$ es desplazado a lo largo del eje de frecuencia ω hacia la escala de frecuencia de Bark Ω .

$$\Omega(\omega) = 6 \ln \left[\frac{\omega}{1200\pi} + \sqrt{\left(\frac{\omega}{1200\pi}\right)^2 + 1} \right] \quad (3.22)$$

Donde w es la frecuencia angular en rad / s

El espectro de potencia resultante se convoluciona con el espectro de potencia de la curva de enmascaramiento simulada de banda crítica $\Psi(\Omega)$. En el análisis PLP, la curva de banda crítica está dada por:

$$\Psi(\omega) = \begin{cases} 0 & \text{para } \Omega < -1.3 \\ 10^{2.5(\Omega+0.5)} & \text{para } -1.3 \leq \Omega \leq -0.5 \\ 1 & \text{para } -0.5 < \Omega < 0.5 \\ 10^{-1.0(\Omega-0.5)} & \text{para } 0.5 \leq \Omega \leq 2.5 \\ 0 & \text{para } \Omega > 2.5 \end{cases} \quad (3.23)$$

La curva entrecortada es una aproximación a la curva asimétrica de enmascaramiento de Schroeder (Schroeder, 1977). Obtenemos muestras del espectro de potencia de banda crítica llevando a cabo la convolución de $\Psi(\Omega)$ con $P(w)$, como se muestra en la ecuación siguiente:

$$\Theta(\Omega_i) = \sum_{\Omega=-1.3}^{2.5} P(\Omega - \Omega_i)\Psi(\Omega) \quad (3.24)$$

La convolución reduce la resolución espectral de $\Theta(\Omega)$ en comparación con $P(w)$, permitiendo así una reducción de resolución. Así, $\Theta(\Omega)$ es muestreada aproximadamente en intervalos de 1 - Bark en este análisis. El valor exacto de los intervalos de muestreo se elige de manera que cubra toda la banda de análisis. Típicamente, son usados 18 intervalos de

$\Theta[\Omega(w)]$ para cubrir la banda de análisis de 0 a 16.9 Bark (0 a 5 KHz) según Marquéz (2013).

- Igualdad de sonoridad:

La muestra $\Theta[\Omega(w)]$ es pre-enfatizada mediante la curva de igualdad de sonoridad (ver Fig,16), dada por:

$$\Xi[\Omega(\omega)] = E(\omega) \Theta[\Omega(\omega)] \quad (3.25)$$

Donde $E(w)$ aproxima las distintas sensibilidades del oído humano para cada una de las diferentes frecuencias (Robinson et al., 1956) y simula la sensibilidad de la audición a un nivel de 40 dB. Esta aproximación es tomada de (Makhoul et al., 1976) y está dada por:

$$E(\omega) = \frac{(\omega^2 + 56.8 \times 10^6) \omega^4}{(\omega^2 + 6.3 \times 10^6)^2 (\omega^2 + 0.38 \times 10^9)} \quad (3.26)$$

La expresión anterior es la función de transferencia de un filtro con asíntota de 12 dB/oct de 0 a 400 Hz, 0 dB/oct de 400 Hz a 1200 Hz, 6 dB/oct de 1200 a 3100 Hz y 0 dB/oct de 3100 Hz a la frecuencia de Nyquist.

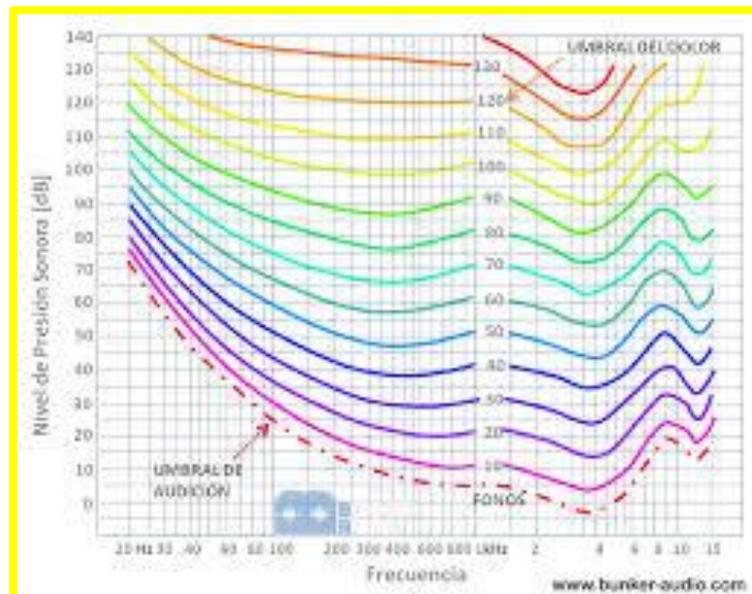


Figura 16. Umbrales y contornos de igual nivel de sonoridad

- Ley de potencia de intensidad-sonoridad:

Antes del modelo de todo-polos. se lleva a cabo una compresión de amplitud de raíz cúbica como una aproximación a la ley de potencia de la audición (Stevens, 1957). mediante:

$$\Phi(\Omega) = \sqrt[3]{E(\Omega)} \quad (3.27)$$

Esta operación simula la relación de no linealidad entre la intensidad del sonido y la sonoridad percibida.

- Modelo auto regresivo

Como última operación en el análisis PLP. $\Phi(\Omega)$ es aproximado como el espectro de un modelo todo-polos usando el método de autocorrelación, obteniendo así los coeficientes del modelo auto regresivo de orden M seleccionado.

3.3.3 Coeficientes cepstrales en las frecuencias de Mel (MFCC).

Marquéz (2013) afirma que La extracción y la selección de la mejor representación paramétrica de las señales acústicas es una importante tarea en el diseño de cualquier sistema de reconocimiento de voz, ya que son una representación compacta mediante un conjunto de características y han demostrado ser muy eficaces (Davis et al., 1980). Los coeficientes MFCC se utilizan ampliamente en el reconocimiento automático de voz. se derivan de la magnitud del espectro de la transformada de Fourier mediante la aplicación de un banco de filtros espaciados en la escala de frecuencia de Mel. Se calcula el logaritmo de la energía en cada filtro y se suma esta energía antes de aplicar la transformada discreta de coseno (DCT) para obtener el vector de características MFCC (Shannon et al., 2003).

La escala de frecuencia utilizada para la separación de los filtros es la escala Mel. La escala de Mel es una escala perceptual que fue propuesta por (Stevens et al., 1937). La escala se diseñó a través de experimentos de la percepción humana, donde se pedía a los sujetos

ajustar un tono de estímulo perceptualmente a la mitad de separación de un tono de referencia. La escala resultante fue una en la que 1 Mel representa una milésima parte del tono de 1 KHz (Huang et al., 2001) y una duplicación de Mels produce una duplicación de percepción del tono (Zheng et al., 2001). El cálculo de la MFCC incluye los siguientes pasos:

- Se aplica la transformada discreta de Fourier al segmento de la señal ventaneada para obtener su respuesta en el dominio de la frecuencia, obteniendo el espectro de potencia $P(f)$.

$$P_k(f) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi k/n} \quad (3.28)$$

- El espectro $P(f)$ es mapeado a lo largo del eje de frecuencia f (en Hz) hacia el eje de frecuencia de Mel $P(B)$ donde B es la frecuencia de Mel, usando la ecuación (3.29) (Picone, 1993; Schroeder. 1977) (ver fig. 17). Esto es aproximadamente el reflejo de la percepción del oído humano:

$$B(f) = 1125 \log_{10} \left(1 + \frac{f}{700} \right) \quad (3.29)$$

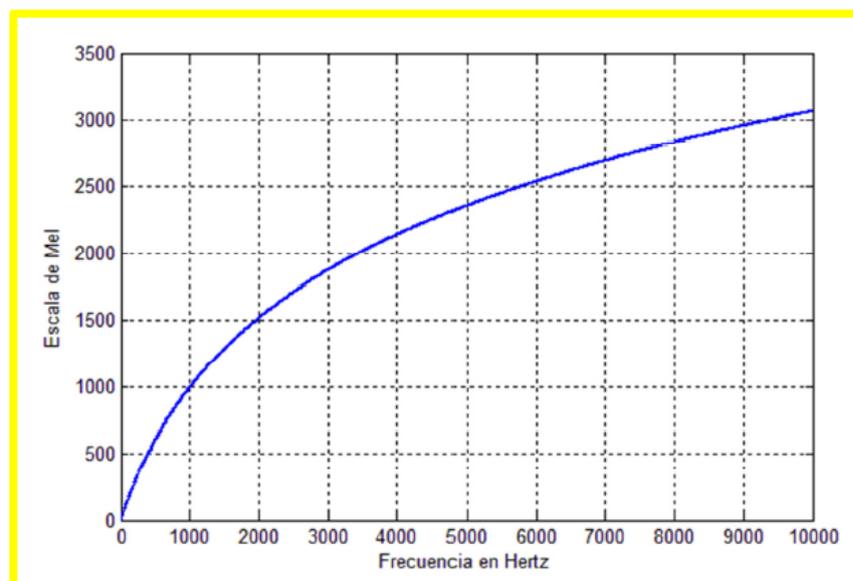


Figura 17. Relación entre la escala de frecuencia y la escala de Mel

Fuente: Marquéz. M. (2013)

- El espectro de potencia resultante se convoluciona con un filtro triangular pasa banda ya que el ancho de banda de la señal del dominio del tiempo que de ser filtrada en el dominio de la frecuencia es de banda angosta $P(B)$ en $\mathcal{O}(B)$. La convolución con las curvas de enmascaramiento de banda crítica $\Psi(B)$, ecuación (3.30). reduce significativamente la resolución espectral de $\mathcal{O}(B)$ en comparación con la original $P(B)$, que permite la disminución de resolución de $\mathcal{O}(B)$. La fig.18 muestra un ejemplo del banco de filtros triangulares espaciados logarítmicamente.

$$\psi_k(B) = \begin{cases} 0 & k < f[m-1] \\ \frac{2(k - f[m-1])}{(f[m+1] - f[m-1])(f[m] - f[m-1])} & f[m-1] \leq k \leq f[m] \\ \frac{2(f[m+1] - k)}{(f[m+1] - f[m-1])(f[m+1] - f[m])} & f[m] \leq k \leq f[m+1] \\ 0 & k > f[m+1] \end{cases} \quad (3.30)$$

Donde

$$1 \leq k \leq f_s/2 \text{ y } 1 \leq m \leq M.$$

La cantidad de filtros es representada por M.

- Mediante la convolución discreta de $\Psi(B)$, con $\mathcal{O}(B)$ se obtienen muestras del espectro de potencia para cada banda crítica, y posteriormente se obtiene una salida logarítmica de energía, dada por la siguiente ecuación:

$$X_i(f) = \log_{10} \left(\sum_{k=0}^{N-1} |\theta(f)|^2 \psi_i(f) \right) \quad , i = 1, 2, \dots, M \quad (3.31)$$

- Los coeficientes MFCC son obtenidos mediante la ecuación (3.32) la transformada coseno de Fourier es utilizada para su cálculo.

$$C_i = \sum_{j=1}^M X_i \cos \left(j \left(i - 1/2 \right) \frac{\pi}{M} \right) \quad , j = 1, 2, \dots, J \quad (3.32)$$

Donde M es el número de filtros y J es el número de coeficientes que se desean calcular.

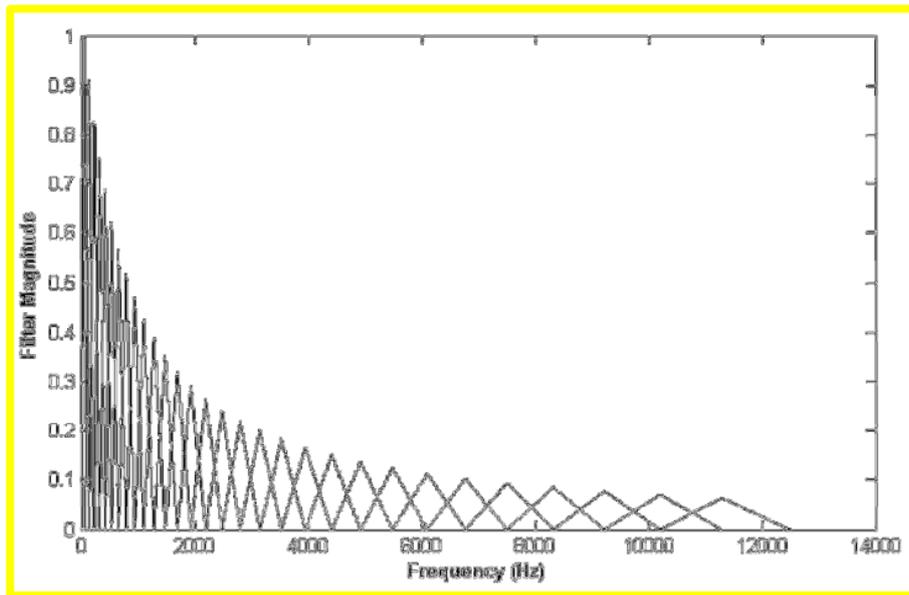


Figura 18. Banco de filtros espaciados logarítmicamente

Fuente: Marquéz. M (2013)

3.3.4 Análisis de octava

Según Marquéz (2013) afirma que, en algunos casos, una alta resolución espectral no es ni deseable ni necesaria. Si, por ejemplo, se necesita una estimación de la composición espectral del ruido de un vehículo o una aeronave, es conveniente subdividir el rango de frecuencia en un pequeño número de intervalos secundarios, En el análisis de octava la señal a ser analizada se divide en señales parciales empleando un banco de filtros que permite la medición de las componentes espectrales. Una octava es el intervalo entre dos frecuencias que tienen una proporción de 2:1. ver la Fig. 19.

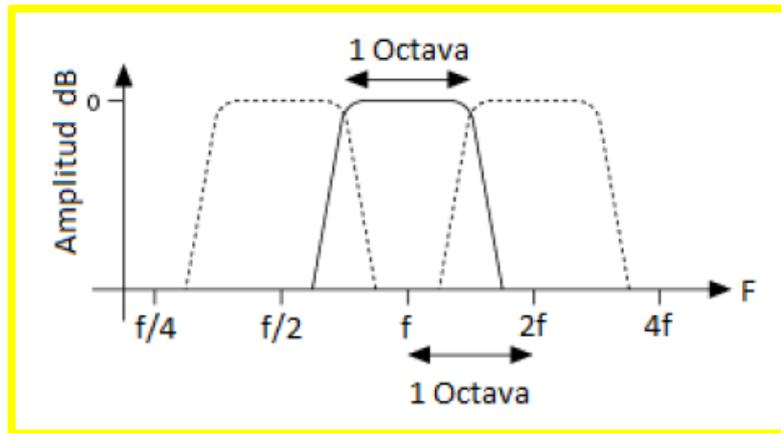


Figura 19. Filtro de octava, un filtro pasa banda que cubre una octava

Fuente: Marquéz. M (2013)

Cada filtro se caracteriza por su ancho de banda Δf , frecuencia de corte inferior f_l y superior f_u , la frecuencia central f_c . El ancho de banda se determina con la diferencia de f_u y f_l : $\Delta f = f_u - f_l$. La frecuencia central de una octava, que se extiende de f_l a f_u , es la frecuencia central determinada por la siguiente ecuación:

$$f_c = \sqrt{f_l f_u} \quad (3.33)$$

Dado que se conocen las características del filtro, $f_u = 2f_l$ entonces $f_c = \sqrt{2}f_l$ y el ancho de banda del filtro de una octava es:

$$\Delta f = f_u - f_l \quad (3.34)$$

Sustituyendo f_u en la ecuación (3.34), tenemos:

$$\Delta f = 2f_l - f_l \quad (3.35)$$

$$\Delta f = f_l = \frac{f_c}{\sqrt{2}} \quad (3.36)$$

Para un tercio de octava (1/3 octava) la frecuencia de corte superior del filtro pasa banda es $f_u = \sqrt[3]{2}f_l$ la frecuencia central quedaría de cómo $f_c = \sqrt[6]{2}f_l = 1.12f_l$, de esta manera el ancho de banda del filtro es $\Delta f = 0.26 f_l$

Cuando se necesita información mucho más detallada del espectro del ruido que la obtenida con las octavas, se emplean las bandas de 1/n octavas, que tienen un ancho de banda más pequeño, con lo que las medidas realizadas son más exactas. Las frecuencias de corte inferior y superior de los filtros están estandarizadas por normas internacionales como ANSI S1.11-2004 e IEC 1260: 1995 (ANSI, 2004; IEC, 1995).

3.3.5 Análisis cepstrum

El cepstrum es definido como la transformada inversa de Fourier del logaritmo de la magnitud del espectro de la transformada de Fourier (Bogert et al., 1963). dado por:

$$c(\tau) = \mathcal{F}^{-1}\{\log|\mathcal{F}\{x(n)\}|\} \quad (3.37)$$

donde F denota la transformada de Fourier y F^{-1} la transformada inversa de Fourier.

La palabra cepstrum es un anagrama de la palabra *spectrum* (espectro), el eje de las abscisas (τ) es llamado *quefrequency*, un anagrama de *frequency* (*frecuencia*) Es método común de detección de tono en el dominio la de frecuencia en investigaciones relacionadas con el habla, siendo utilizado por primera vez en el análisis de voz por (Noll, 1967; Schafer et al., 1970). Una forma sencilla de describir el Cepstrum es decir que tiende a separar una componente de tono fuerte del resto del espectro. La Fig. 20 muestra un breve esquema para el cálculo del cepstrum de una secuencia de muestras

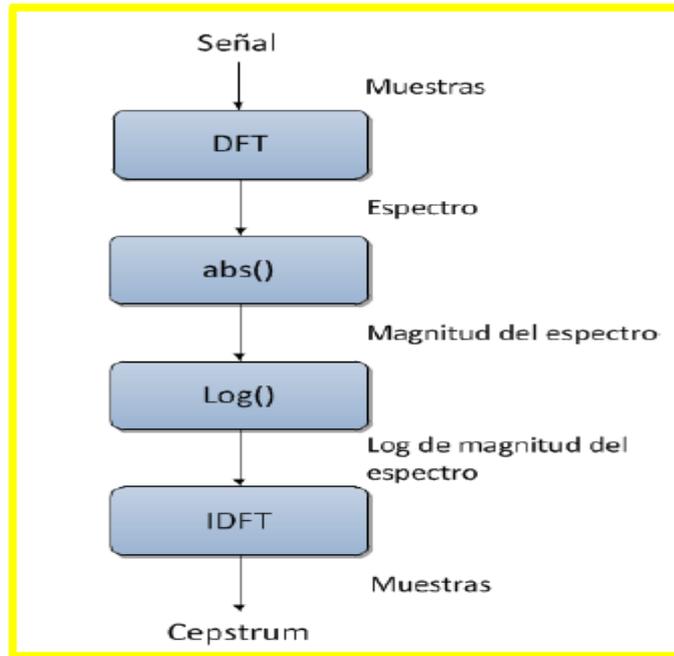


Figura 20. Diagrama de bloques para el cálculo del cepstrum

Fuente: Marquéz. M (2013)

Formalmente se define el cepstrum complejo de una secuencia de muestras, por la siguiente ecuación:

$$c_c(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \left[\log|X(e^{j\omega})| + j \varphi(X(e^{j\omega})) \right] e^{j\omega\tau} d\omega \quad (3.38)$$

Y el cepstrum real para una secuencia de muestras, está dado por:

$$c_c(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \log|X(e^{j\omega})| e^{j\omega\tau} d\omega \quad (3.39)$$

3.3.6 Redes Neuronales Artificiales

Marquéz. (2013) afirma que las redes neuronales artificiales (RNA) exhiben propiedades interesantes ya que intentan reflejar las capacidades de procesamiento de información de los sistemas nerviosos. Estas redes no operan secuencialmente y tienen una estructura multicapa jerárquica que permite transmitir la información desde una unidad a sus

vecinos más distantes e inmediatos calculando los parámetros de la red neuronal por medio de la adaptación de valores y usando canales de entrada, un cuerpo celular y un canal de salida. Las sinapsis biológicas se simulan con puntos de contacto entre el cuerpo celular y las conexiones de salida o entrada asociando un "peso" a tales puntos (Rojas. 1996; Vázquez S. 2007).

3.3.7 Perceptrón Multicapa (MPL)

En 1958 Frank Rosenblatt propuso el modelo del perceptrón definiendo pesos numéricos y un patrón espacial de interconexión donde el aprendizaje toma lugar adaptando los pesos de la red mediante un algoritmo numérico. La red MLP (del inglés Multi-Layer Perceptrón) consiste en un conjunto de neuronas organizadas por capas: capa de entrada, una o más capas ocultas y la capa de salida (ver Fig.21). A partir de múltiples entradas, el perceptrón calcula una salida única formando una combinación lineal con sus pesos de entrada y estableciendo la salida con cierta función de activación como se expresa en la siguiente ecuación (Haykin. 1998) afirma Marquéz. M (2013):

$$y = f \left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i + b \right) \quad (3.40)$$

Antes de usar una red MLP, se debe entrenar para que una entrada en particular conduzca a un objetivo de salida específico. Para esto, se aplica un algoritmo de entrenamiento que tiene como objetivo adaptar los valores de los pesos y bias. dado un vector de entrada y el error asociado. El proceso para hallar nuevos pesos y nuevos bias se repite hasta que el error se reduce al mínimo deseado. Las redes MLP se pueden entrenar usando el algoritmo de retro-propagación (Rumelhart et al., 1986).

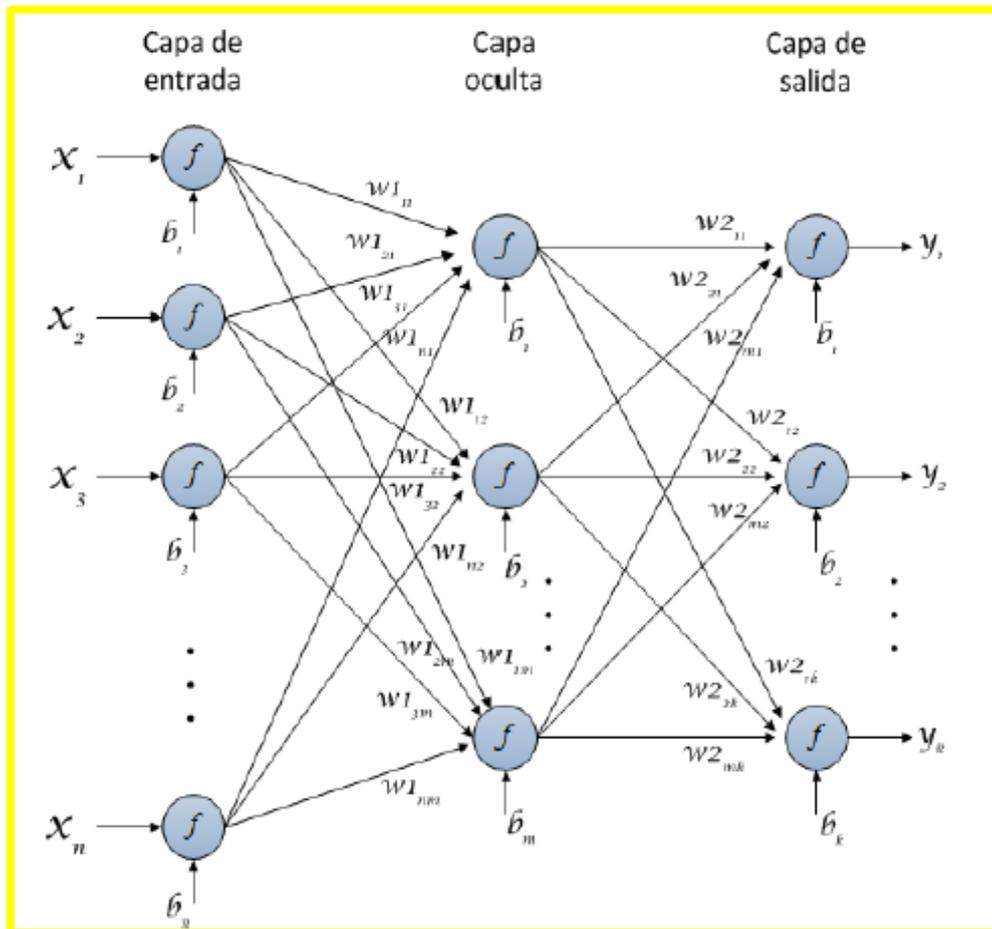


Figura 21. Red Perceptrón multicapa con una capa oculta

Fuente: Marquéz. M (2013)

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES DEL RUIDO GENERADO DURANTE EL DESPEGUE.

4.1 Sistema de medición

Las señales de ruido de aviones durante el despegue fueran adquiridas mediante el sistema de medición:

- Un laptop configurado también para su funcionamiento con micrófono que cumple con la norma IEC 61672 clase 1.
 - Donde la norma detalla las especificaciones de rendimiento electroacústico , mide el nivel acústico exponencial en tiempo ponderado, nivel acustico en tiempo normal y el nivel de exposición al ruido.
 - Detalla los ensayos o pruebas necesarias para verificar la conformidad con todas las especificaciones obligatorias. El objetivo es asegurar que todos los laboratorios usan métodos consistentes para llevar a cabo pruebas de evaluación de modelo.
 - Se uso un micrófono de una laptop MacBook 2018 con un procesador Intel Core i7 de seis núcleos a 2,2 GHz (Turbo Boost de hasta 4,1 Ghz) , altavoces estereo con alto rango dinamico , tres micrófonos.

- Un programa informático como interfaz gráfica de usuario.

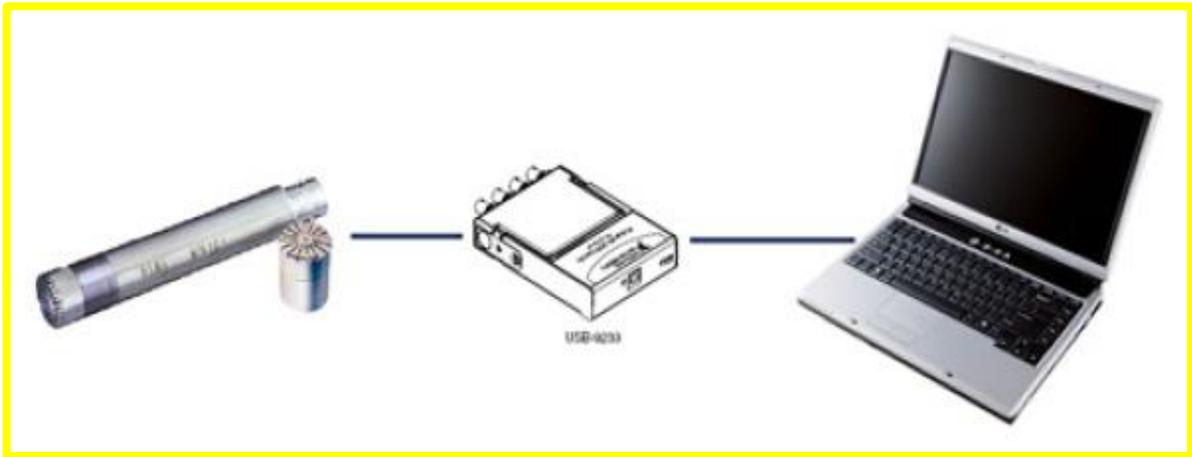


Figura 22. Arquitectura del sistema de medición

Fuente: (Rojo R. 2008)

4.2 Punto de Medición

Para el reconocimiento de clases de aeronaves del presente trabajo se basa en el ruido generado por las aeronaves durante el despegue, debido a esto la elección del punto de medición es de gran importancia. La medición para la evaluación del ruido se menciona los puntos de referencia que se deben tener en cuenta para la medición del ruido, los cuales son: un punto de referencia de medición de ruido lateral a plena potencia, un punto de referencia de medición de ruido de sobrevuelo y un punto de referencia de medición de ruido de aproximación.

El punto de medición seleccionado se encuentra aproximadamente a 130 metros de manera perpendicular al eje de la pista y se encuentra en el límite del terreno del GRUP8. Además, permite realizar las mediciones de los despegues a campo abierto sin construcciones o estructuras que reflejen u obstruyan el ruido. La Fig.23 muestra el punto

de medición y la dirección de despegue en condiciones normales de viento para realizar las mediciones.



Figura 23. Pista de despegue y aterrizaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (GRUP8)

4.3 Señal de ruido de una aeronave durante el despegue

Las señales de ruido durante el despegue son capturadas mediante el sistema de monitoreo y medición descrito en la sección 4.1, el cual realiza la medición durante 20 segundos. La muestra la señal típica en el tiempo y las componentes de frecuencia del ruido durante el despegue de un avión. Se puede observar que el ruido de fondo es más notorio al final de la señal en la parte central el ruido está enmascarado por la alta intensidad del ruido generado.

En la tabla se muestra la toma de datos de las aeronaves en el momento del descolaje a una distancia de 150 metros de la zona de contacto de la pista del Aeropuerto Jorge Chávez colindante con el GRUP8 el día lunes 22 de octubre de 2018

El motor del Airbus 320-214 CFM56-5B4 puede variar en CFM56-5B4 o CFM56-5B4/P o CFM56-5B4/2P ya cada uno es una mejora del modelo anterior. También en los Airbus 319-112 tiene motor CFM56-5B6 o CFM56-5B6/P o CFM56-5B6/2P cada uno es

una mejora del modelo anterior. La palabra ER Rango Extendido significa que el avión viene con una mejora en la estructura y con motores nuevos que brindan más empuje al avión y menos consumo de combustible.

IEA* = International Engine Aero (V).

Tabla 3.

Toma de datos de las aeronaves en el momento del despegue

ITEM	AERONAVE	MOTOR	EMPRESA
1	Airbus 320-214 (HC-CVJ)	CFM56-5B4	AVIANCA
2	Airbus 320-233 (N490TA)	IEA*(V)2527E-A5	AVIANCA
3	Airbus 319-112 (HC-CKN)	CFM56-5B6	AVIANCA
4	Airbus 319-132 (N521TA)	IEA*(V)2524-A5	AVIANCA
5	Airbus 320-214 (CC-BFT)	CFM56-5B4	LAN
6	Airbus 320-214 (CC-BFM)	CFM56-5B4	LAN
7	Airbus 319-132 (CC-CQL)	IEA*(V)2524-A5	LAN
8	Airbus 320-233 (N496TA)	IEA*(V)2527E-A5	AVIANCA
9	Airbus 320-214 (CC-BFN)	CFM56-5B4	LAN
10	Airbus 320-214 (HK-5164)	CFM56-5B4	VIVA AIR
11	Airbus 320-214 (N446AV)	CFM56-5B4	AVIANCA
12	Airbus 319-132 (N479TA)	IEA*(V)2524-A5	AVIANCA
13	Airbus 320-251Neo (N776AV)	CFM LEAP-1A	AVIANCA
14	Airbus 320-214 (CC-BFP)	CFM56-5B4	LAN
15	Boeing 737-3Q8 (OB-2089-P)	CFM56-3	PERUVIAN AIRLINES
16	Boeing 767-316ER (CC-CXG)	CF6-80A	LAN
17	Airbus 320-214 (CC-BFO)	CFM56-5B4	LAN
18	Airbus 321-211 (CC-BEJ)	CFM56-5B1	LAN
19	Airbus 320-214 (CC-BEF)	CFM56-5B4	LAN
20	Boeing 767-316ER (CC-CWF)	CF6-80A	LAN

21	Airbus 320-214 (HK-5164)	CFM56-5B4	VIVA AIR
22	Boeing 787-8 DREAMLINER (CC-BBJ)	Roll-Royce Trent-1000	LATAM
23	Airbus 319-112 (CC-BCE)	CFM56-5B6	LAN
24	Boeing 767-316ER (CC-CXG)	CF6-80A	LAN
25	Airbus 320-214 (CC-BFQ)	CFM56-5B4	LAN
26	Boeing 737-330 (OB-2139P)	CFM56-3	PERUVIAN AIRLINES
27	Boeing 777-32W (PT-MUE)	GE90-115B	TAM

4.4 Base de datos de ruido generado durante el despegue

Después de realizar mediciones se obtuvo un conjunto de archivos los cuales contenían la información capturada del ruido generado por las aeronaves durante el despegue. Con base en el tipo de motor instalado se realizó la organización de los archivos de ruido en clases de aeronaves y así formar la base de datos a ser analizada.

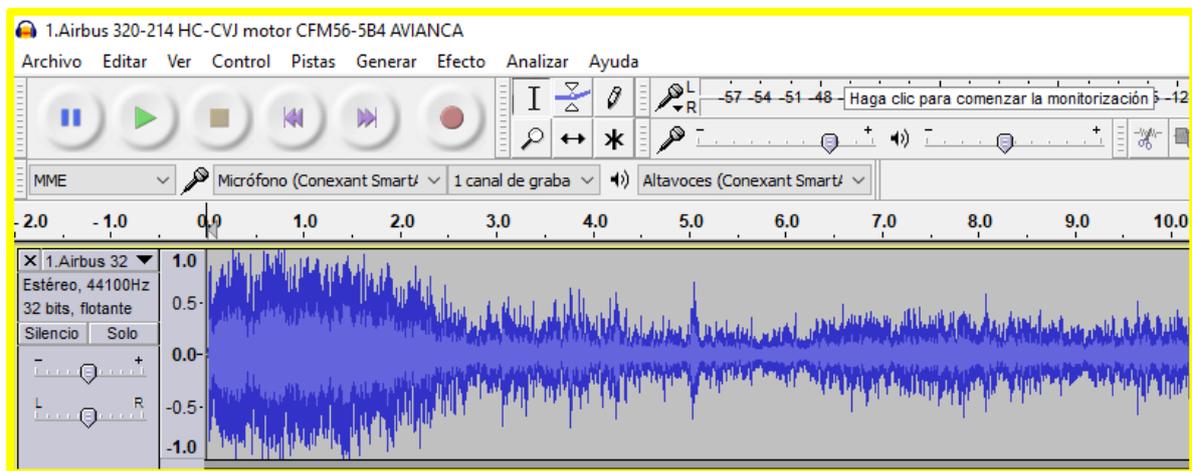


Figura 24. Huella acústica de despegaje del Airbus 320-214 (HC-CVJ)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

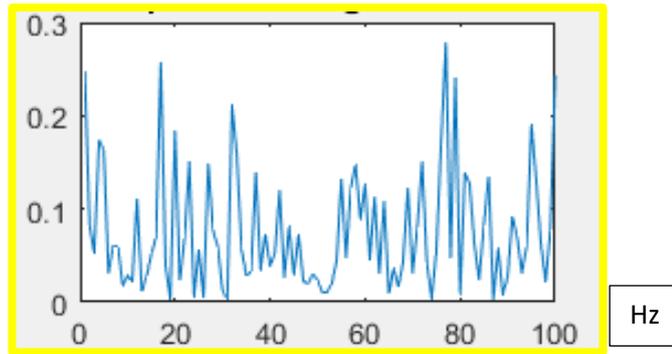


Figura 25. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 320-214 (HC-CVJ)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

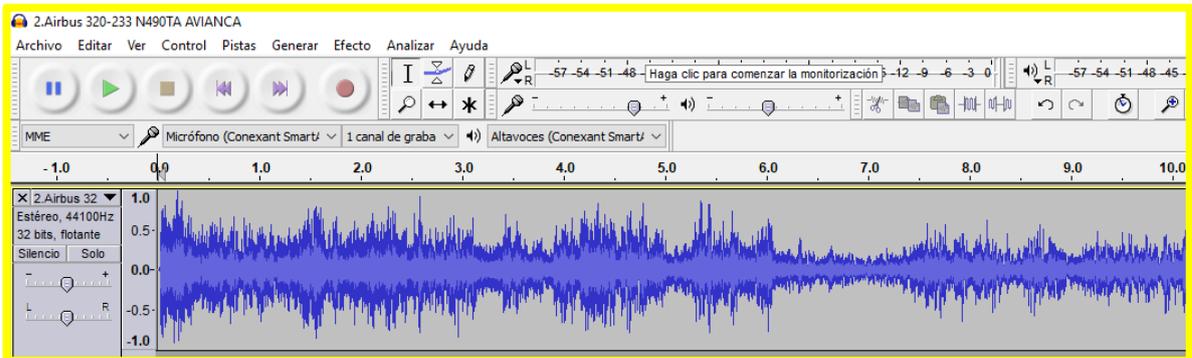


Figura 26. Huella acústica de despegue del Airbus 320-233 (N490TA)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

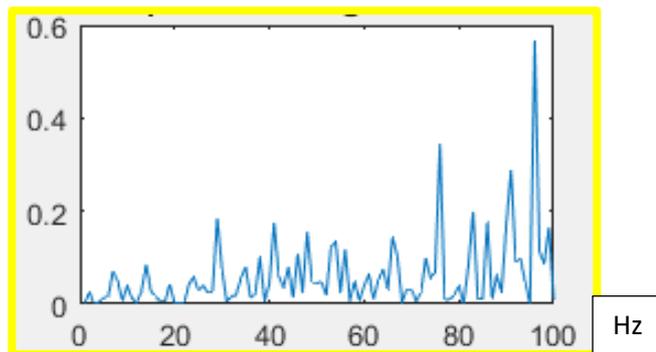


Figura 27. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 320-233 (N490TA)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

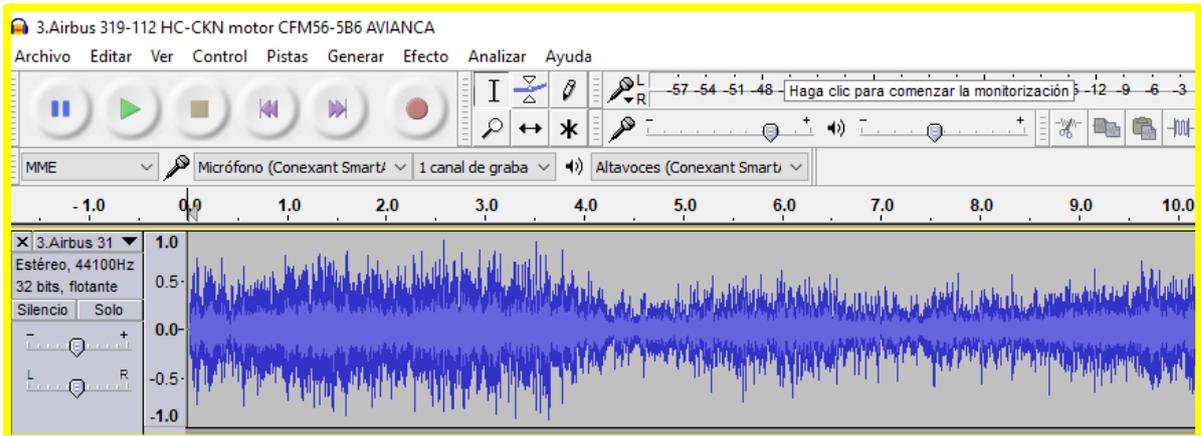


Figura 28. Huella acústica de despegue del Airbus 319-112 (HC-CKN)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

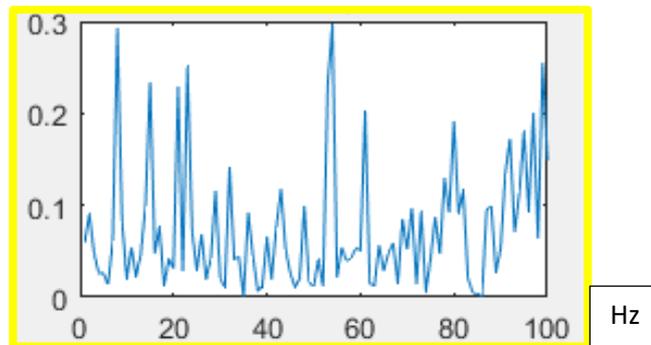


Figura 29. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 319-112 (HC-CKN)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

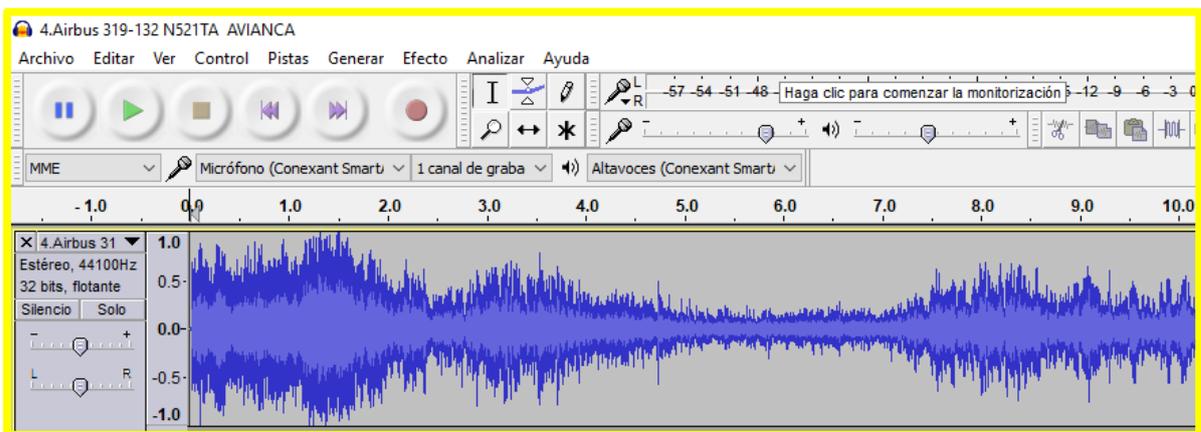


Figura 30. Huella acústica de despegue del Airbus 319-132 (N521TA)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

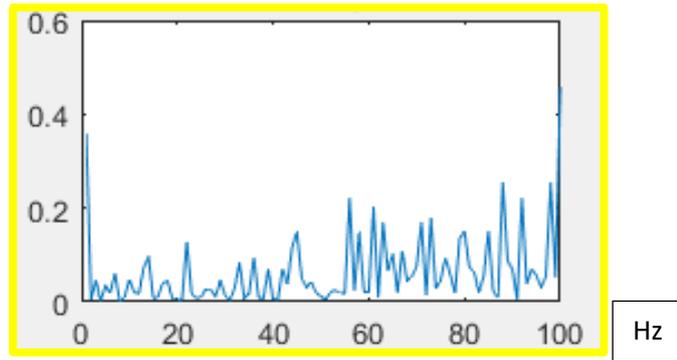


Figura 31. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 319-132 (N521TA)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

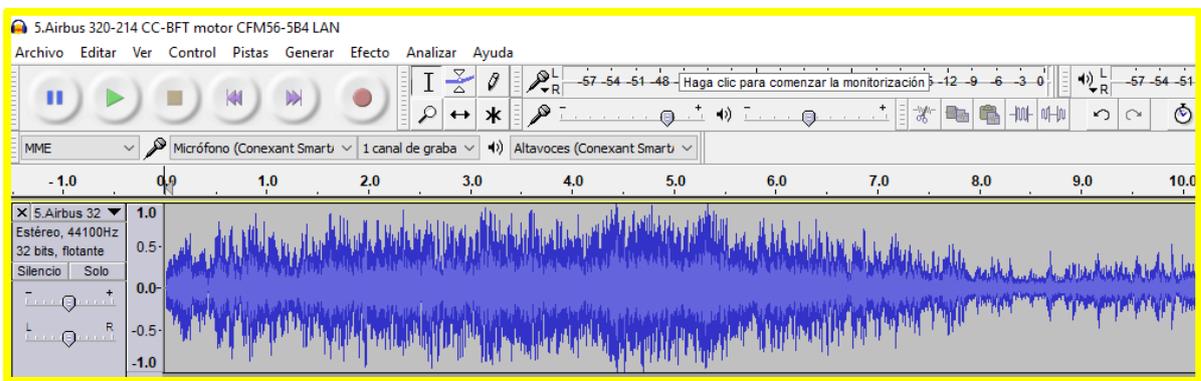


Figura 32. Huella acústica de despegue del Airbus 320-214 (CC-BFT)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

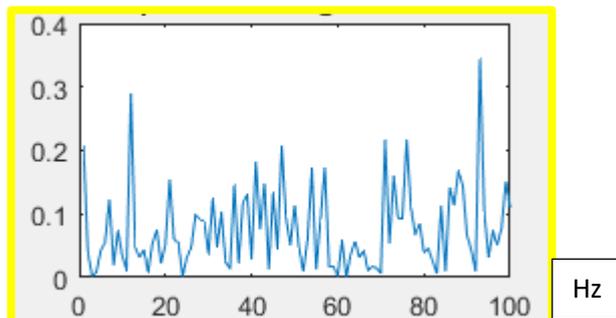


Figura 33. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 320-214 (CC-BFT)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

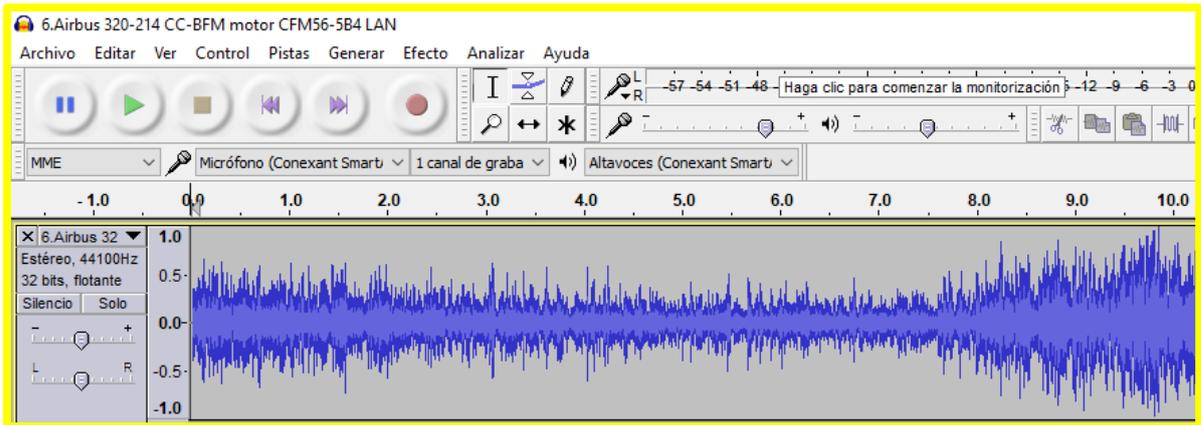


Figura 34. Huella acústica de decolaje del Airbus 320-214 (CC-BFM)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

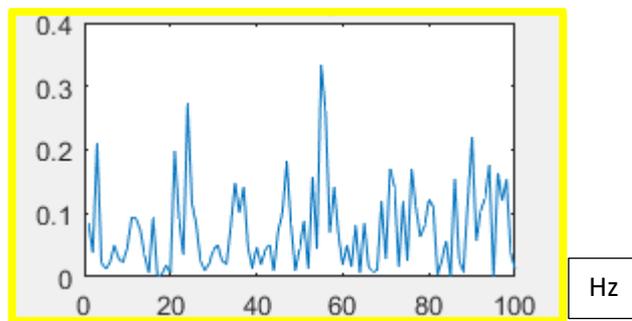


Figura 35. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 320-214 (CC-BFM)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

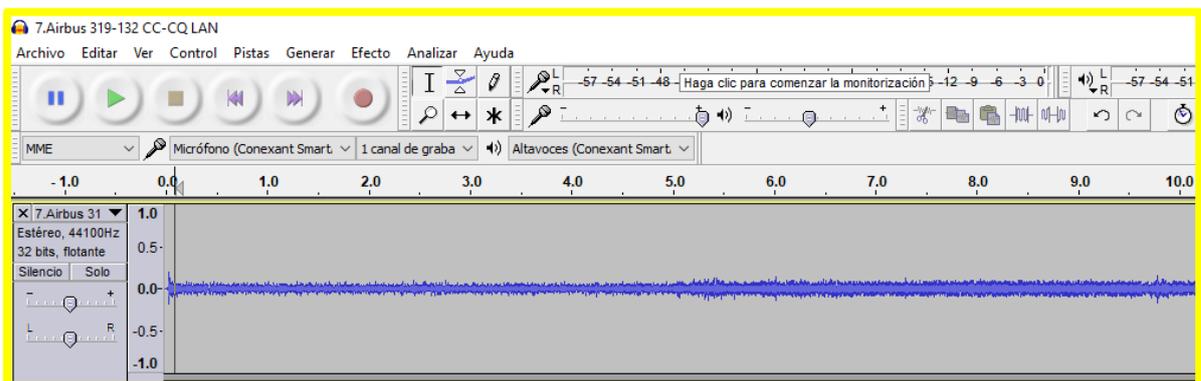


Figura 36. Huella acústica de decolaje del Airbus del Airbus 319-132 (CC-CQL)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

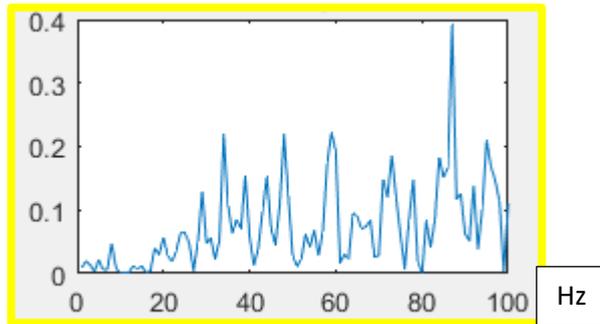


Figura 37. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 319-132 (CC-CQL)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

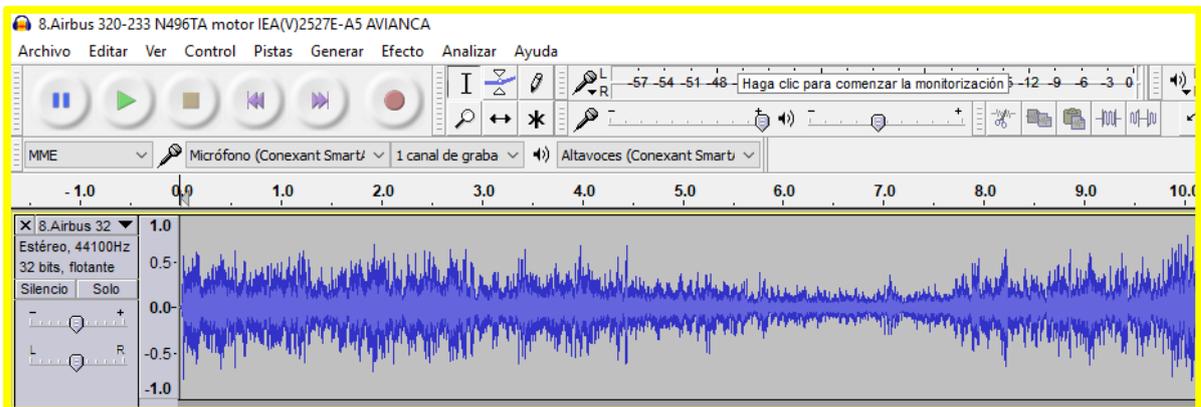


Figura 38. Huella acústica de despegue del Airbus 320-233 (N496TA)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

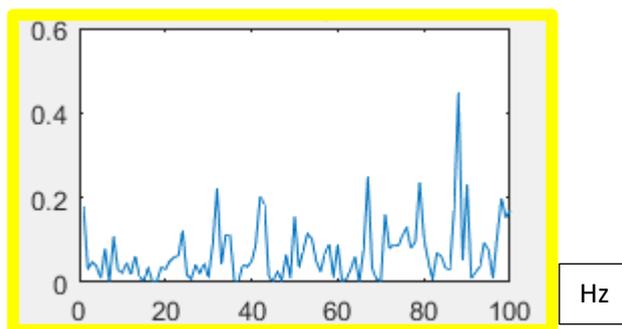


Figura 39. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 320-233 (N496TA)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

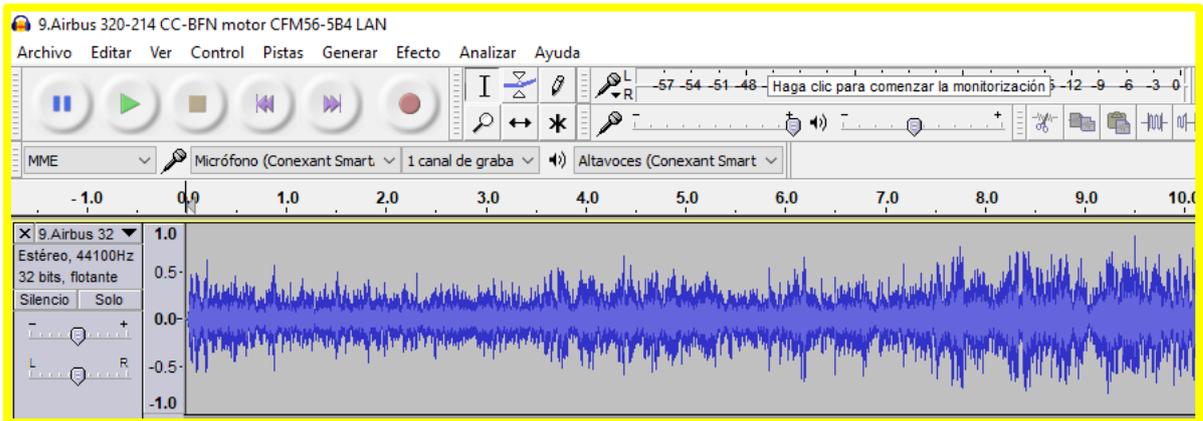


Figura 40. Huella acústica de despegue del Airbus 320-214 (CC-BFN)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

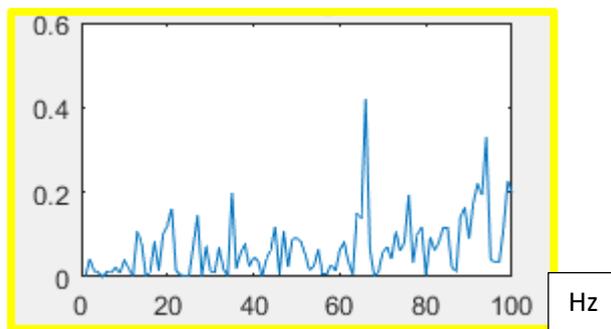


Figura 41. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 320-214 (CC-BFN)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

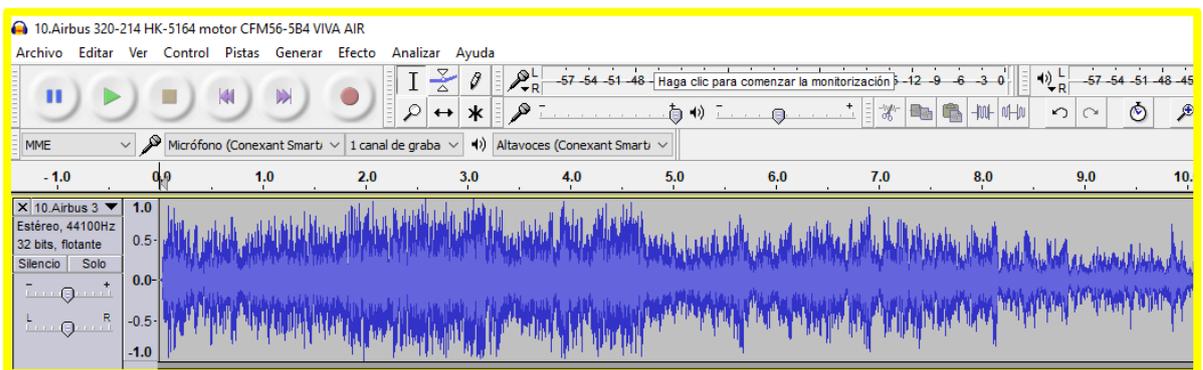


Figura 42. Huella acústica de despegue del Airbus 320-214 (HK-5164)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

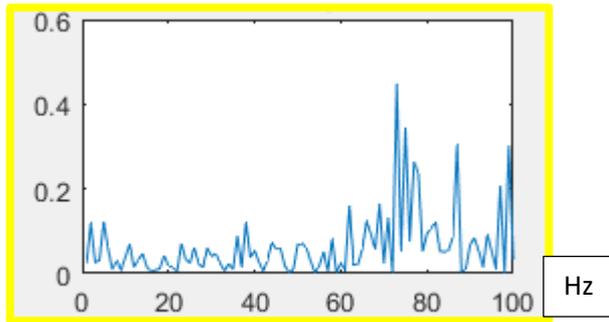


Figura 43. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 320-214 (HK-5164)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

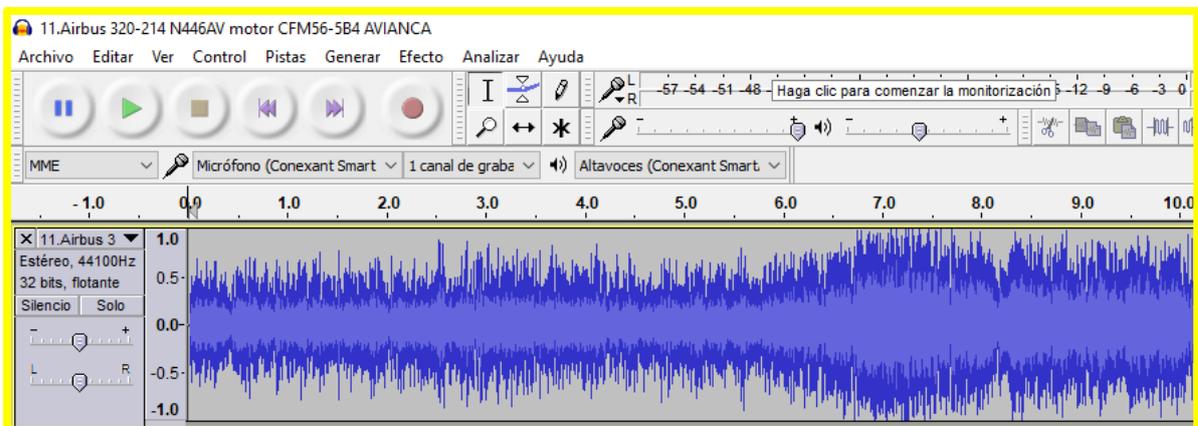


Figura 44. Huella acústica de despegue del Airbus 320-214 (N446AV)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

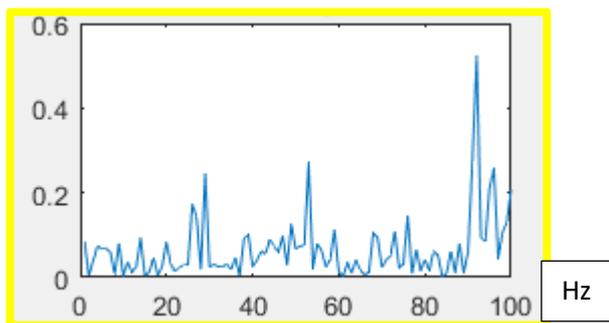


Figura 45. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 320-214 (N446AV)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

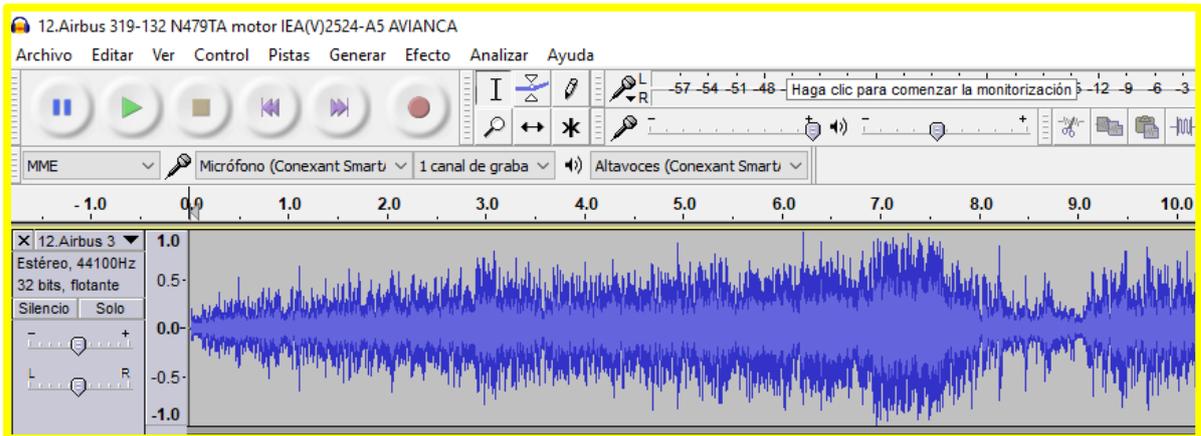


Figura 46. Huella acústica de despegue del Airbus 319-132 (N479TA)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

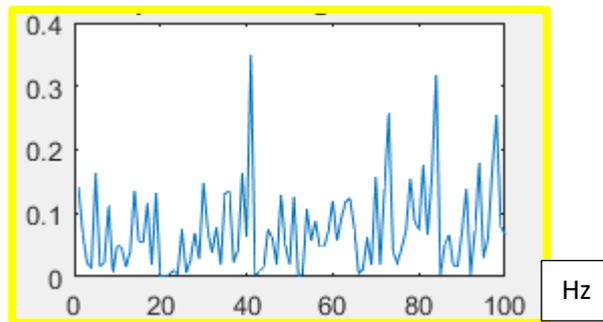


Figura 47. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 319-132 (N479TA)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

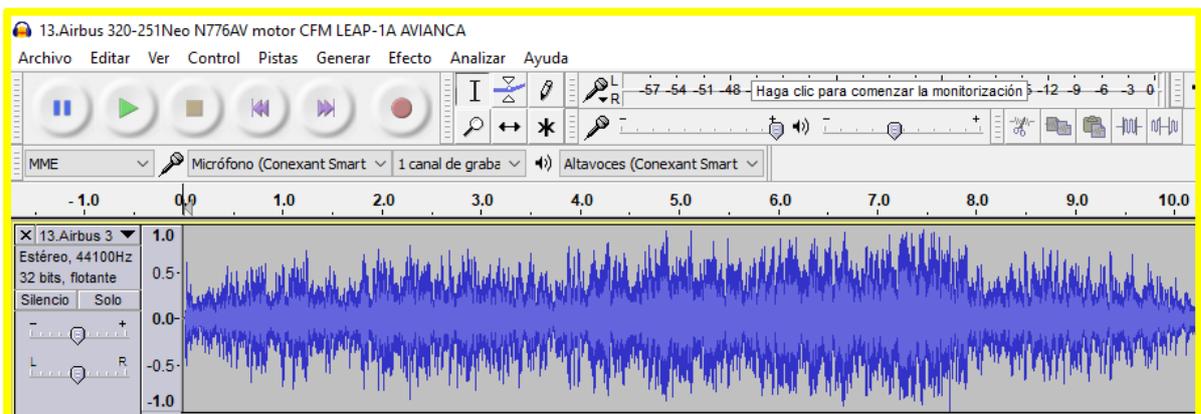


Figura 48. Huella acústica de despegue del Airbus 320-251Neo (N776AV)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

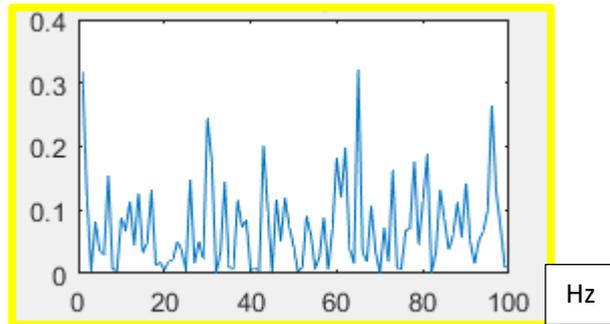


Figura 49. Espectro de frecuencia de decolaje del Airbus 320-251Neo (N776AV)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

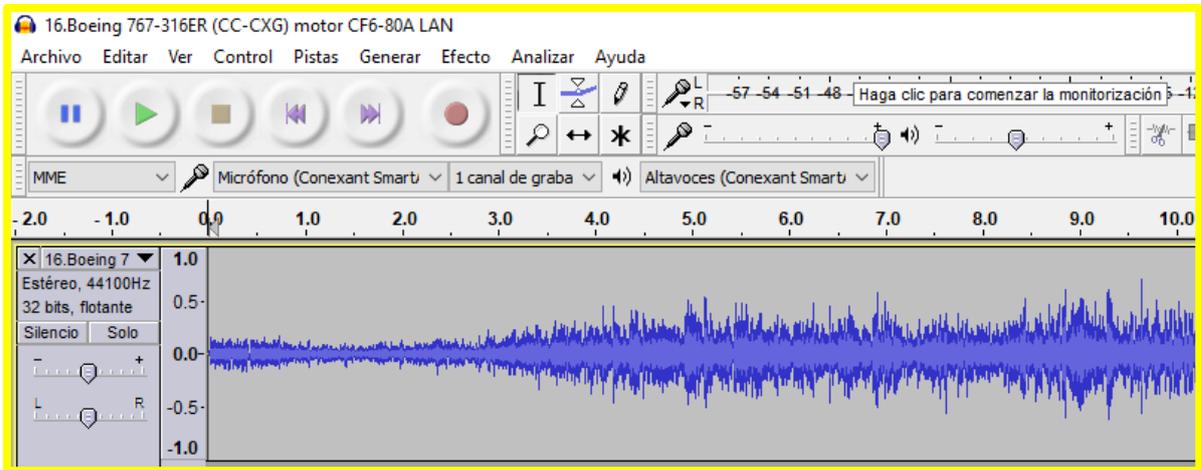


Figura 50. Huella acústica de decolaje del Boeing 767-316ER (CC-CXG)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

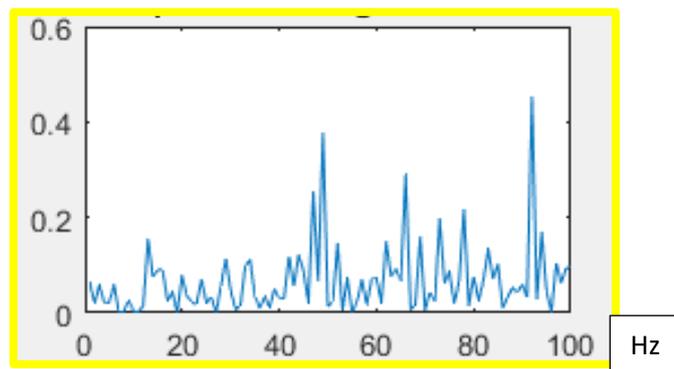


Figura 51. Espectro de frecuencia de decolaje del Boeing 767-316ER (CC-CXG)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

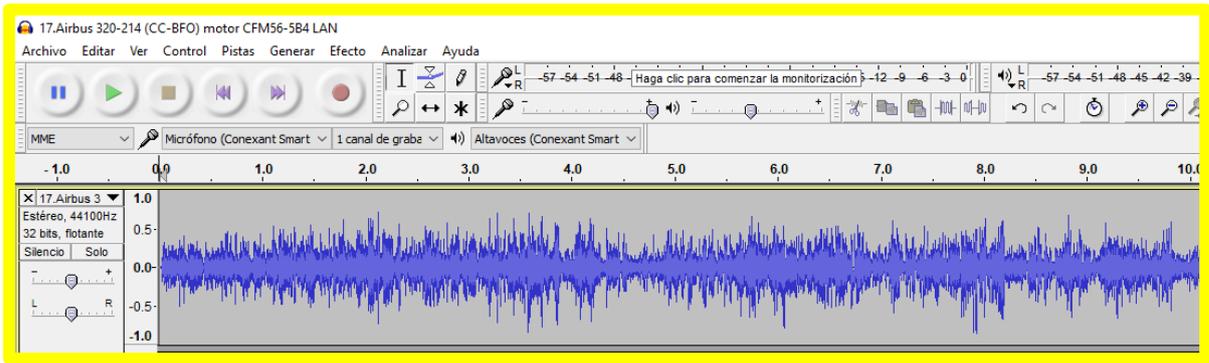


Figura 52. Huella acústica de despegue del Airbus 320-214 (CC-BFO)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

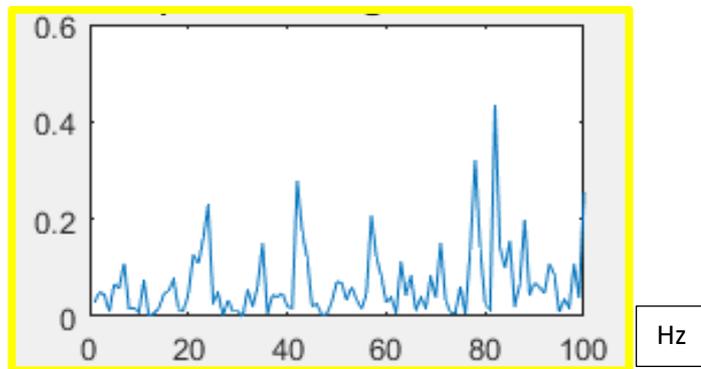


Figura 53. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 320-214 (CC-BFO)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

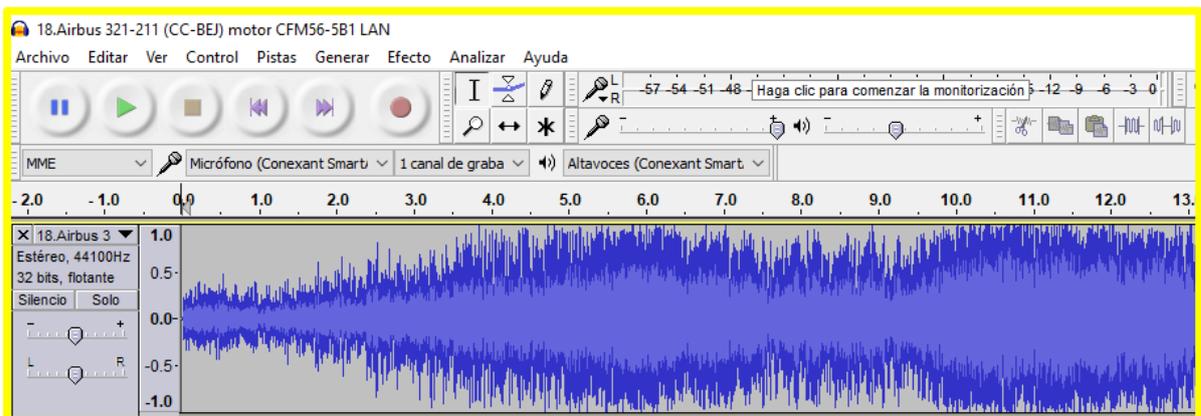


Figura 54. Huella acústica de despegue del Airbus 321-211 (CC-BEJ)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

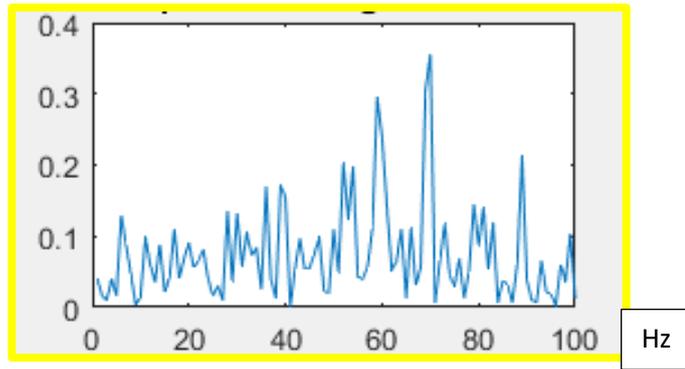


Figura 55. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 321-211 (CC-BEJ)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

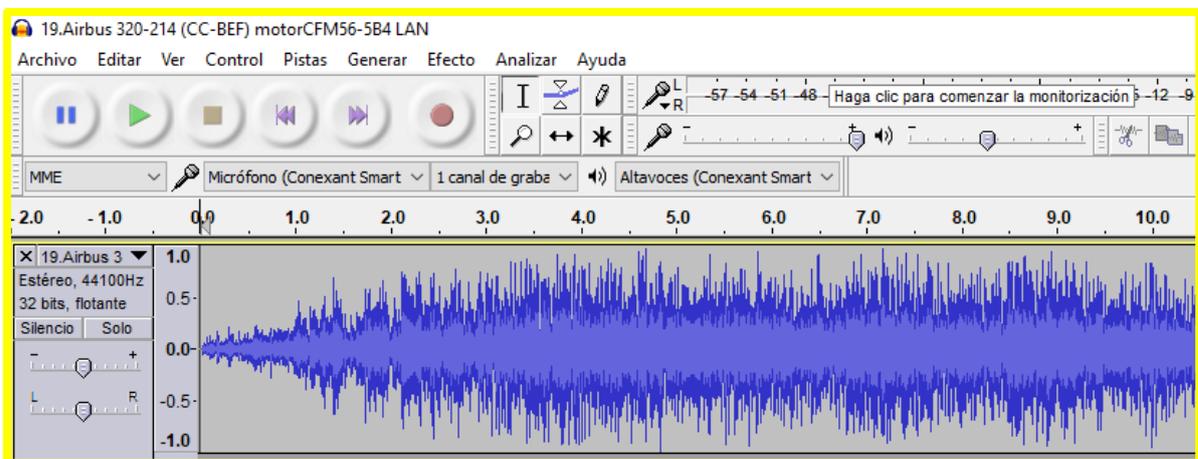


Figura 56. Huella acústica de despegue del Airbus 320-214 (CC-BEF)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

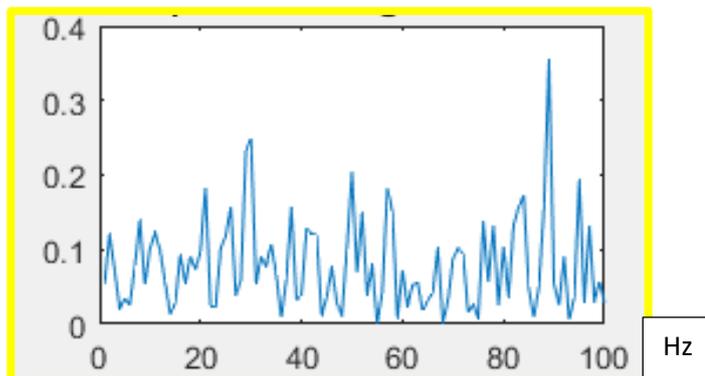


Figura 57. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 320-214 (CC-BEF)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

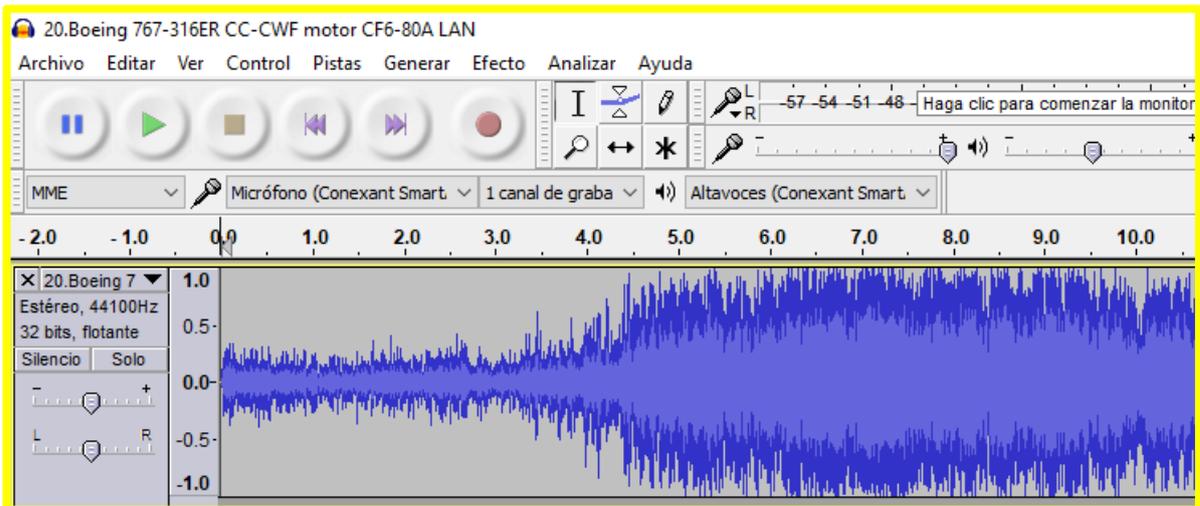


Figura 58. Huella acústica de despegue del Boeing 767-316ER (CC-CWF)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

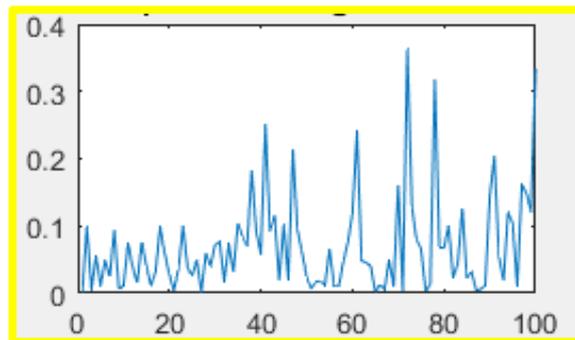


Figura 59. Espectro de frecuencia de despegue del Boeing 767-316ER (CC-CWF)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

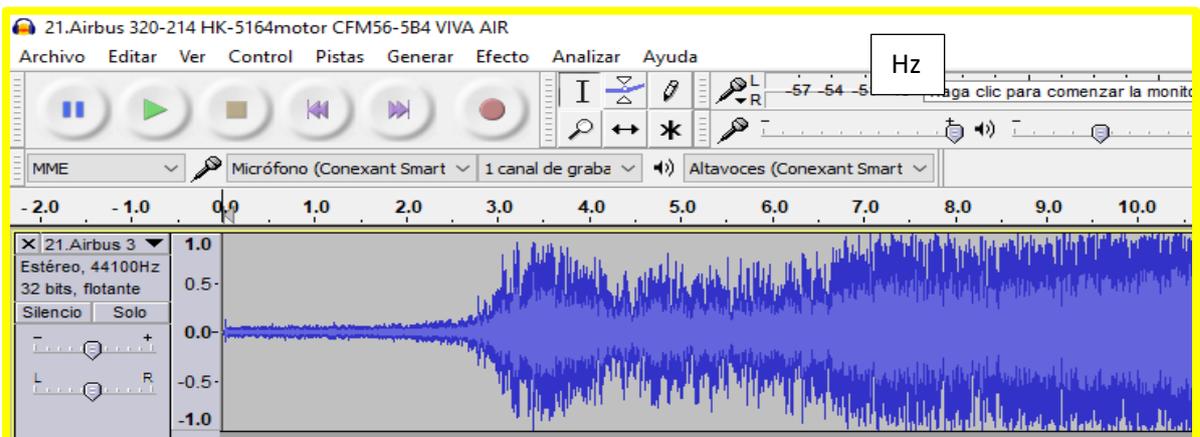


Figura 60. Huella acústica de despegue del Airbus 320-214 (HK-5164)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

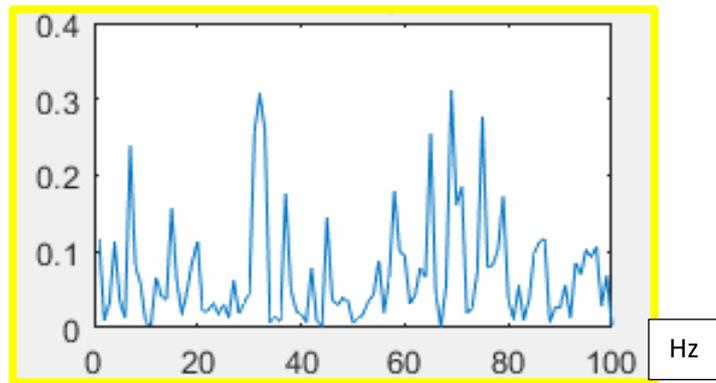


Figura 61. Espectro de frecuencia de descolaje del Airbus 320-214 (HK-5164)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

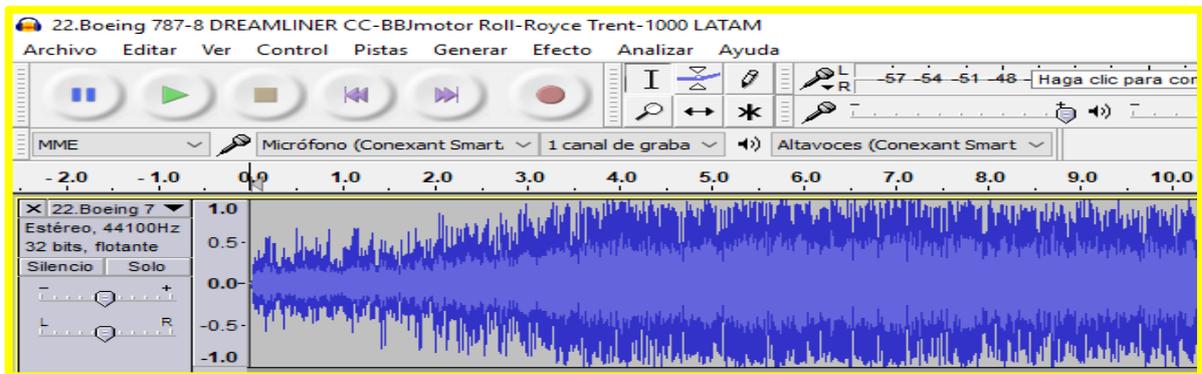


Figura 62. Huella acústica de descolaje del Boeing 787-8 DREAMLINER (CC-BBJ)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

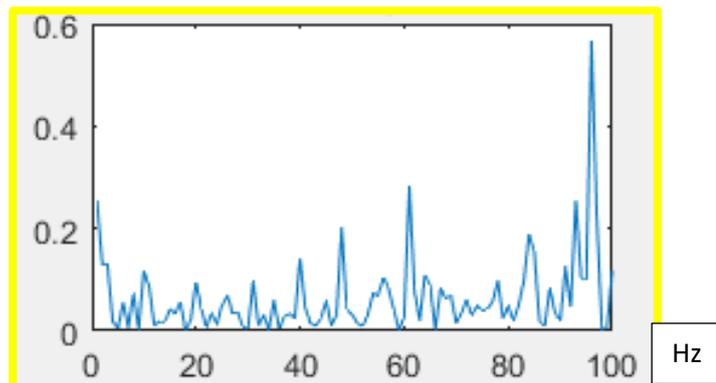


Figura 63. Espectro de frecuencia de descolaje del Boeing 787-8 DREAMLINER (CC-BBJ)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

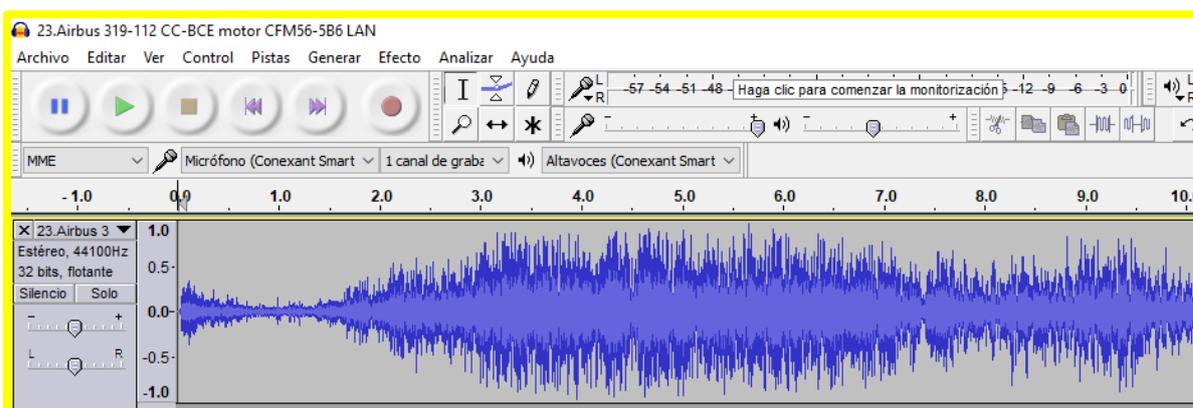


Figura 64. Huella acústica de despegue del Airbus 319-112 (CC-BCE)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

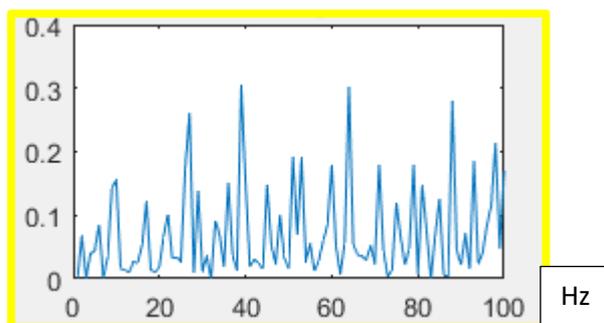


Figura 65. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 319-112 (CC-BCE)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

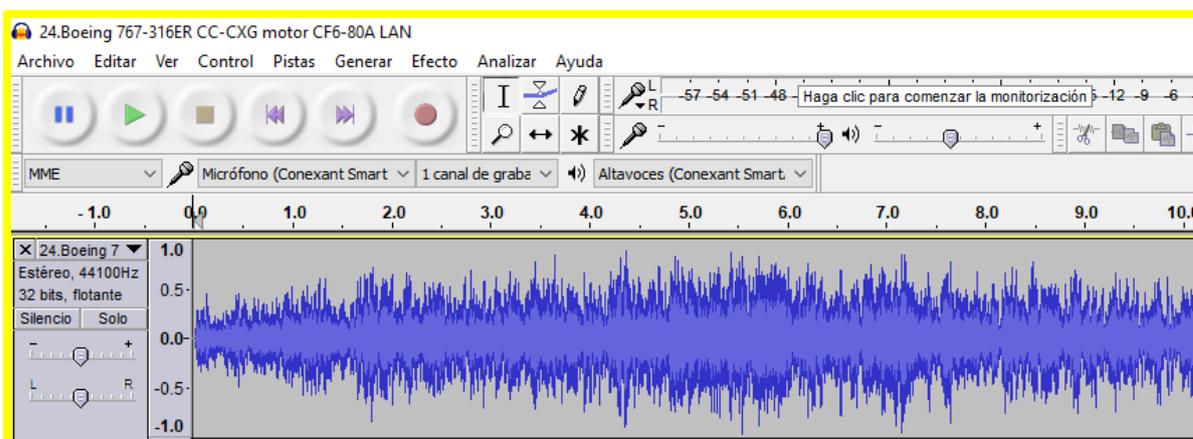


Figura 66. Huella acústica de despegue del Boeing 767-316ER (CC-CXG)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

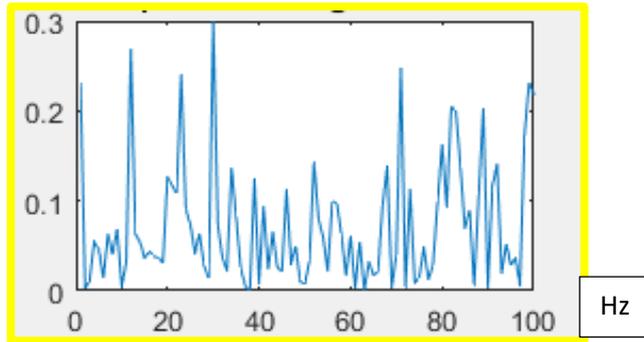


Figura 67. Espectro de frecuencia de despegue del Boeing 767-316ER (CC-CXG)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

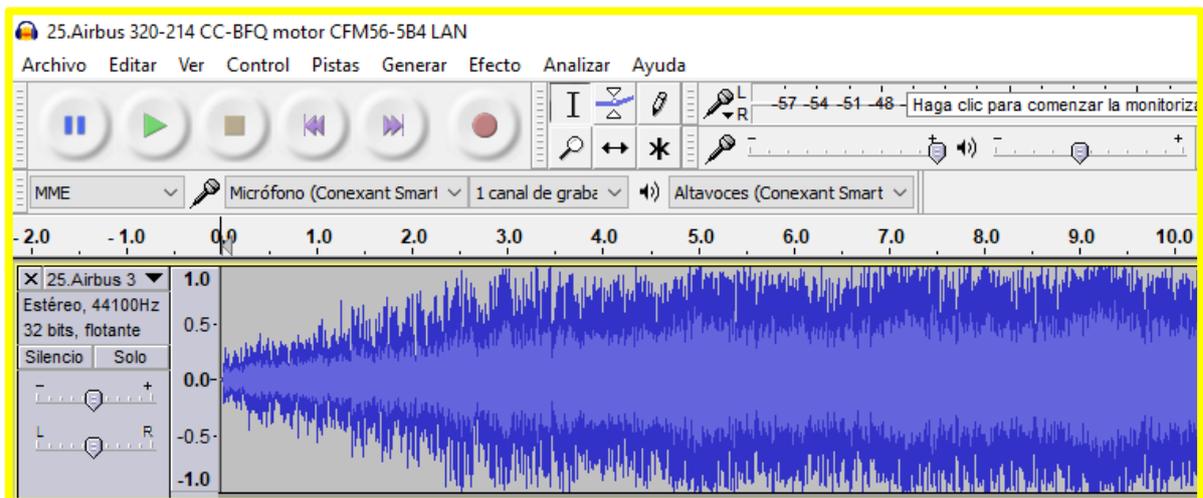


Figura 68. Huella acústica de despegue del Airbus 320-214 (CC-BFQ)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

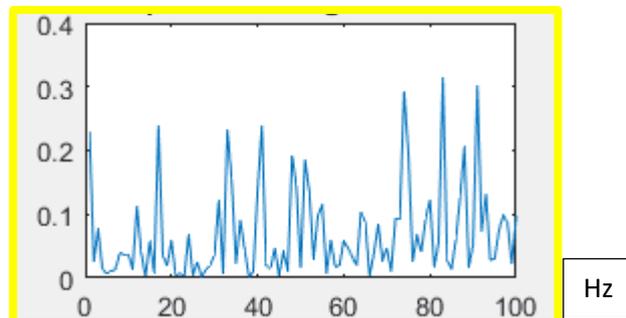


Figura 69. Espectro de frecuencia de despegue del Airbus 320-214 (CC-BFQ)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

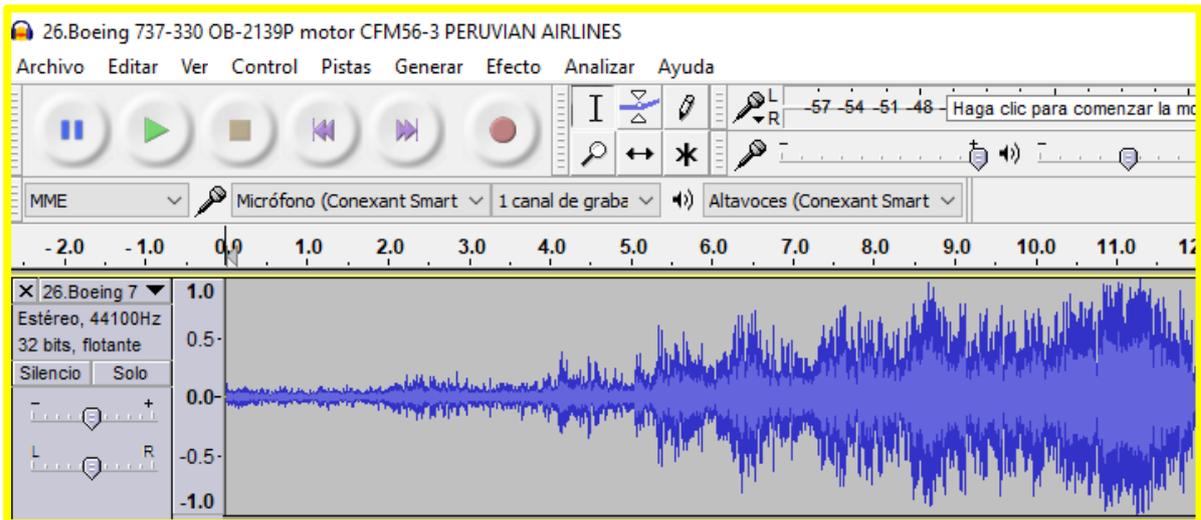


Figura 70. Huella acústica de despegue del Boeing 737-330 (OB-2139P)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

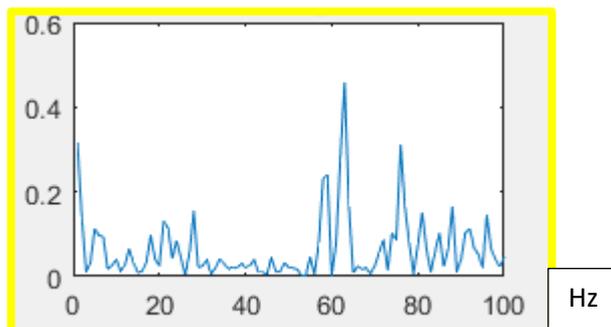


Figura 71. Espectro de frecuencia de despegue del Boeing 737-330 (OB-2139P)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

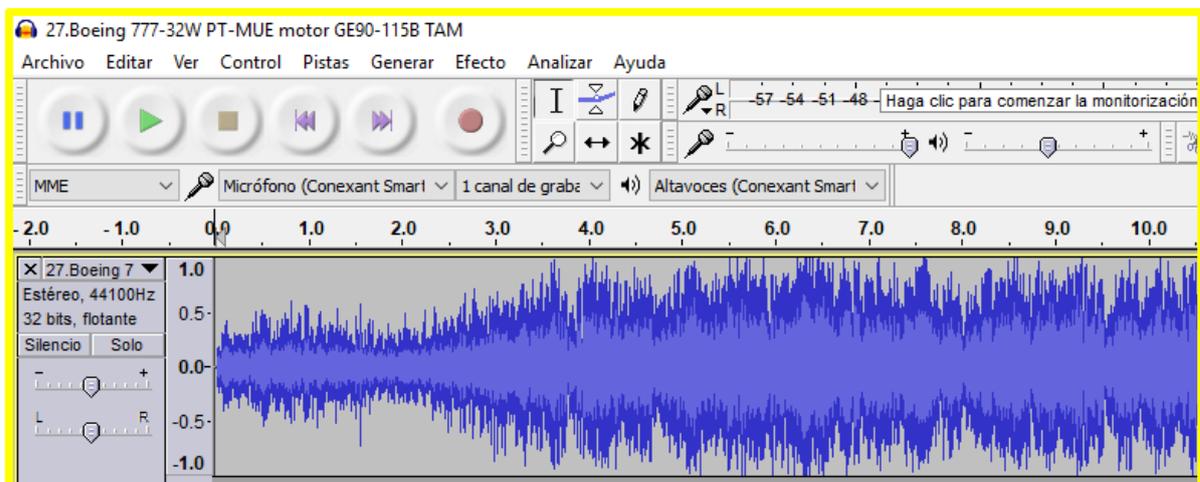


Figura 72. Huella acústica de despegue del Boeing 777-32W (PT-MUE)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

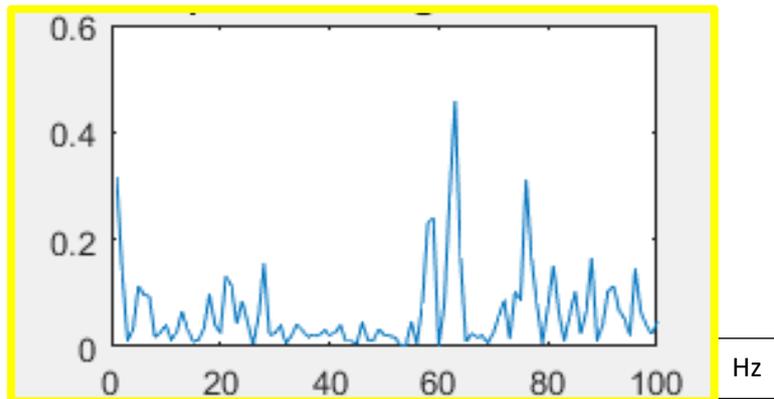


Figura 73. Espectro de frecuencia de despegue del Boeing 777-32W (PT-MUE)

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

Se observan cada una de las clases de aeronaves y los modelos que componen cada una de estas. Por ejemplo, la clase A.320 I se compone de los aviones Airbus 318, 319 y 320 (ver Fig. 74). La cantidad de señales registradas no es la misma para todas las clases debido a la frecuencia de despegue de las aeronaves.



Figura 74. Modelos de aeronaves que pertenecen a la clase A320, (a) A318, (b) A319 y (c) A320

Fuente: Márquez .M (2013)

CAPÍTULO 5. MÉTODO DE RECONOCIMIENTO

5.1 Etapa de reconocimiento

En este trabajo de tesis se utilizó el software Matlab 2017. En un principio estaba asociada a un Matlab 2014 pero la tecnología va desarrollándose pasando los años donde tuvimos que adaptarlo a la última versión del 2017. A continuación, se muestra el script de la programación

Prueba.m

```
% Grabar Audio Matlab
% close all;
% clear all;%borra las variables del archivo%
% clc;
%
% t = input ('Cuantos segundos quieres grabar '); %variable de tiempo en
segundos%
% Fs= input ('Con que Frecuencia quieres grabarlo ');%variable de la
frecuencia de la se-al%
% t = 2;
% Fs = 44100;
% v = audiorecorder(Fs, 24, 1);
% v.StartFcn = 'disp(''   iniciando grabación'')';
% v.StopFcn = 'disp(''   terminando grabación'')';
%
% input ('Presione enter para grabar la primera senal'); %impresion de
pantalla
% recordblocking(v, t)
% y = v.getaudiodata()
% wavwrite (y,Fs,'grabacion1'); %guarda el sonido en formato wav%
% which 'grabacion1.wav'
% input ('Señal capturada');
%
% input ('Presione enter para grabar la señal');%impresion de pantalla%
% recordblocking(v, t);
% x = v.getaudiodata();
% wavwrite(x,Fs,'grabacion2');%guarda el sonido en formato wav%
% which 'grabacion2.wav'
% input ('Señal capturada');
%
% input ('Presione enter para escuchar la primera grabacion');%impresion
de pantalla%
```

```

% sound(y,Fs);%reproduce sonido%
%
% input('Presione enter para escuchar la segunda grabacion'); %impresion
de pantalla%
% sound(x,Fs);%reproduce sonido%
%%
% close all;clear all;clc;
%
% t = 2;
% Fs = 44100;
% recObj = audiorecorder(Fs, 24, 1);
% recObj.StartFcn = 'disp(''  iniciando grabación'')';
% recObj.StopFcn = 'disp(''  terminando grabación'')';
%
% input ('Presione enter para grabar la primera senal'); %impresion de
pantalla
% recordblocking(recObj, t);
% y = getaudiodata(recObj);
% audiowrite('grabacion1.wav',y,Fs); %guarda el sonido en formato wav%
% which 'grabacion1.wav'
% input ('Señal capturada');
%
% input ('Presione enter para grabar la señal');%impresion de pantalla%
% recordblocking(recObj, t);
% x = getaudiodata(recObj);
% audiowrite('grabacion2.wav',x,Fs);%guarda el sonido en formato wav%
% which 'grabacion2.wav'
% input ('Señal capturada');
%
% input ('Presione enter para escuchar la primera grabacion');%impresion
de pantalla%
% sound(y,Fs);%reproduce sonido%
%
% input('Presione enter para escuchar la segunda grabacion'); %impresion
de pantalla%
% sound(x,Fs);%reproduce sonido%
%%
close all;
clear all;%borra las variables del archivo%

s = audioread('Prueba.wav');
g = audioread('Prueba.wav');
s = normalizar(s([1:551040],1));
voz1 = abs(fft (s)); % se obtiene la transformada de fourier de la
primera grabacion %
voz1 = voz1.*conj (voz1); % se obtiene el conjugado%
voz1f = voz1 (1:100); % Solo acepta las Frecuencias arriba de 100 HZ %
voz1fn = voz1f/sqrt(sum (abs (voz1f).^2)); % se normaliza el vector %

g = normalizar(g([1:551040],1));
voz2 = abs(fft(g)); % se obtiene la transformada de fourier de la segunda
grabacion %
voz2 = voz2.*conj (voz2); % se obtiene el conjugado%
voz2f = voz2 (1:100); % Solo acepta las Frecuencias arriba de 100 HZ %
voz2fn = voz2f/sqrt(sum (abs (voz2f).^2)); % se normaliza el vector %

%%
c = audioread('avion 1.wav');
p = audioread('avion 2.wav');
l = audioread('avion 3.wav');
a = audioread('avion10.wav');

```

```

n = audioread('avion11.wav');

%%%%%%%%%%%%%%
m = audioread('avion14 hercules.wav');
j = audioread('avion18.wav');
k = audioread('avion19.wav');
%%%%%%%%%%%%%%
ABC = min([length(s) length(g) length(c) length(p) length(l) length(a)
length(n) length(m) length(j) length(k)]);
c = normalizar(c([1:ABC],1));
vozc = abs(fft (c)); % se obtiene la transformada de fourier de la
primera grabacion %
vozc = vozc.*conj (vozc); % se obtiene el conjugado%
vozcf = vozc (1:100); % Solo acepta las Frecuencias arriba de 600 HZ %
vozcfn = vozcf/sqrt(sum (abs (vozcf).^2)); % se normaliza el vector %

p = normalizar(p([1:ABC],1));
vozp = abs(fft (p)); % se obtiene la transformada de fourier de la
primera grabacion %
vozp = vozp.*conj (vozp); % se obtiene el conjugado%
vozpf = vozp (1:100); % Solo acepta las Frecuencias arriba de 600 HZ %
vozpfn = vozpf/sqrt(sum (abs (vozpf).^2)); % se normaliza el vector %

l = normalizar(l([1:ABC],1));
vozl = abs(fft (l)); % se obtiene la transformada de fourier de la
primera grabacion %
vozl = vozl.*conj (vozl); % se obtiene el conjugado%
vozlf = vozl (1:100); % Solo acepta las Frecuencias arriba de 600 HZ %
vozlfn = vozlf/sqrt(sum (abs (vozlf).^2)); % se normaliza el vector %

a = normalizar(a([1:ABC],1));
voza = abs(fft (a)); % se obtiene la transformada de fourier de la
primera grabacion %
voza = voza.*conj (voza); % se obtiene el conjugado%
vozaf = voza (1:100); % Solo acepta las Frecuencias arriba de 600 HZ %
vozafn = vozaf/sqrt(sum (abs (vozaf).^2)); % se normaliza el vector %

n = normalizar(n([1:ABC],1));
vozn = abs(fft (n)); % se obtiene la transformada de fourier de la
primera grabacion %
vozn = vozn.*conj (vozn); % se obtiene el conjugado%
voznf = vozn (1:100); % Solo acepta las Frecuencias arriba de 600 HZ %
voznfn = voznf/sqrt(sum (abs (voznf).^2)); % se normaliza el vector %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

m = normalizar(m([1:ABC],1));
vozm = abs(fft (m)); % se obtiene la transformada de fourier de la
primera grabacion %
vozm = vozm.*conj (vozm); % se obtiene el conjugado%
vozmf = vozm(1:100); % Solo acepta las Frecuencias arriba de 600 HZ %
vozmf = vozmf/sqrt(sum (abs (vozmf).^2)); % se normaliza el vector %

j = normalizar(j([1:ABC],1));

```

```

vozj = abs(fft (j)); % se obtiene la transformada de fourier de la
primera grabacion %
vozj = vozj.*conj (vozj); % se obtiene el conjugado%
vozjf = vozj (1:100); % Solo acepta las Frecuencias arriba de 600 HZ %
vozjfn = vozjf/sqrt(sum (abs (vozjf).^2)); % se normaliza el vector %

k = normalizar(k([1:ABC],1));
vozk = abs(fft (k)); % se obtiene la transformada de fourier de la
primera grabacion %
vozj = vozk.*conj (vozj); % se obtiene el conjugado%
vozkf = vozk (1:100); % Solo acepta las Frecuencias arriba de 600 HZ %
vozkfn = vozkf/sqrt(sum (abs (vozkf).^2)); % se normaliza el vector %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%%

disp('Diferencias fft')
disp(mean(abs(voz1-voz2)))
disp('Correlacion de Pearson')
disp(corr(voz1,voz2))
disp('Coeficiente de Error Avion 1:')
error(1) = mean(abs(voz2-vozc));
disp(error(1))
disp('Correlacion de Error Avion 2:')
error(2) = mean(abs(voz2-vozp));
disp(error(2))
disp('Correlacion de Error Avion 3:')
error(3) = mean(abs(voz2-vozl));
disp(error(3))
disp('Correlacion de Error Avion 10:')
error(4) = mean(abs(voz2-voza));
disp(error(4))
disp('Correlacion de Error Avion 11:')
error(5) = mean(abs(voz2-vozn));
disp(error(5))
disp('Correlacion de Error Avion 14 hercules:')
error(6) = mean(abs(voz2-vozm));
disp(error(6))
disp('Correlacion de Error Avion 18:')
error(7) = mean(abs(voz2-vozj));
disp(error(7))
disp('Correlacion de Error Avion 19:')
error(8) = mean(abs(voz2-vozk));
disp(error(8))

min_error = min(error);

switch min_error
case error(1)
disp('Avion: 1')
case error(2)
disp('Avion: 2')
case error(3)
disp('Avion: 3')

```

```

    case error(4)
        disp('Avion: 10')
    case error(5)
        disp('Avion: 11')
    case error(6)
        disp('Avion: 14 hercules')
    case error(7)
        disp('Avion: 18')
    case error(8)
        disp('Avion: 19')
end

subplot(3,4,1),plot(s); %relacion de posicion de la grafica%
title ('Grabacion 1')
subplot(3,4,2),plot(voz1fn); % Espectro de la grabacion 1
title ('Espectro de la grabacion 1')

subplot(3,4,3),plot(g); %relacion de posicion de la grafica%
title ('Grabacion 2')
subplot(3,4,4),plot(voz2fn); % espectro de la grabacion 2
title ('Espectro de la grabacion 2')

subplot(3,4,5),plot(vozcfm); % espectro de la grabacion c
title ('Grabacion Avion 1')
subplot(3,4,6),plot(vozpfm); % espectro de la grabacion p
title ('Grabacion Avion 2')
subplot(3,4,7),plot(vozlfn); % espectro de la grabacion l
title ('Grabacion Avion 3')
subplot(3,4,8),plot(vozafn); % espectro de la grabacion a
title ('Grabacion Avion 4')
subplot(3,4,9),plot(voznfn); % espectro de la grabacion n
title ('Grabacion Avion 5')
subplot(3,4,10),plot(voz1fn); % espectro de la grabacion l
title ('Grabacion Avion 6')
subplot(3,4,11),plot(vozafn); % espectro de la grabacion a
title ('Grabacion Avion 7')
subplot(3,4,12),plot(voznfn); % espectro de la grabacion n
title ('Grabacion Avion 8')

```

normalizar.m

```

function [snd_norm] = normalizar(sonido)
maximo = max(abs(sonido));
n = length(sonido);
snd_norm = zeros(n,1);
for i = 1:1:n
    snd_norm(i) = sonido(i)/maximo;
end
end

```

grabar.m

```

clc;clear;close all;
Fs = 44100;
recObj = audiorecorder(Fs,24,1);
disp('Grabando Perro.')
recordblocking(recObj, 2);
disp('Fin de la grabación.');
```

y = getaudiodata(recObj);

```

audiowrite('grabacion_perro.wav',y,Fs);
clear y;
pause(1);
disp('Grabando Azul.')
recordblocking(recObj, 2);
disp('Fin de la grabación.');
```

```

y = getaudiodata(recObj);
audiowrite('grabacion_azul.wav',y,Fs);
pause(1);
disp('Grabando Navidad.')
recordblocking(recObj, 2);
disp('Fin de la grabación.');
```

```

y = getaudiodata(recObj);
audiowrite('grabacion_navidad.wav',y,Fs);
pause(1);
disp('Grabando lunes.')
recordblocking(recObj, 2);
disp('Fin de la grabación.');
```

```

y = getaudiodata(recObj);
audiowrite('grabacion_lunes.wav',y,Fs);
pause(1);
disp('Grabando casa.')
recordblocking(recObj, 2);
disp('Fin de la grabación.');
```

```

y = getaudiodata(recObj);
audiowrite('grabacion_casa.wav',y,Fs);
```

CAPÍTULO 6. PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1 Modelo computacional para el reconocimiento de aeronaves

A continuación se observa el interfaz del software de Matlab donde se utilizara para el presentar el proyecto de investigación, aquí se guardara la base de datos recolectada de la huella acústica de las aeronaves en el Grupo Aéreo N°8, donde se podrá comparar con una nueva base de datos de los tipos de aeronaves , y este podrá reconocer que tipo de aeronave será.

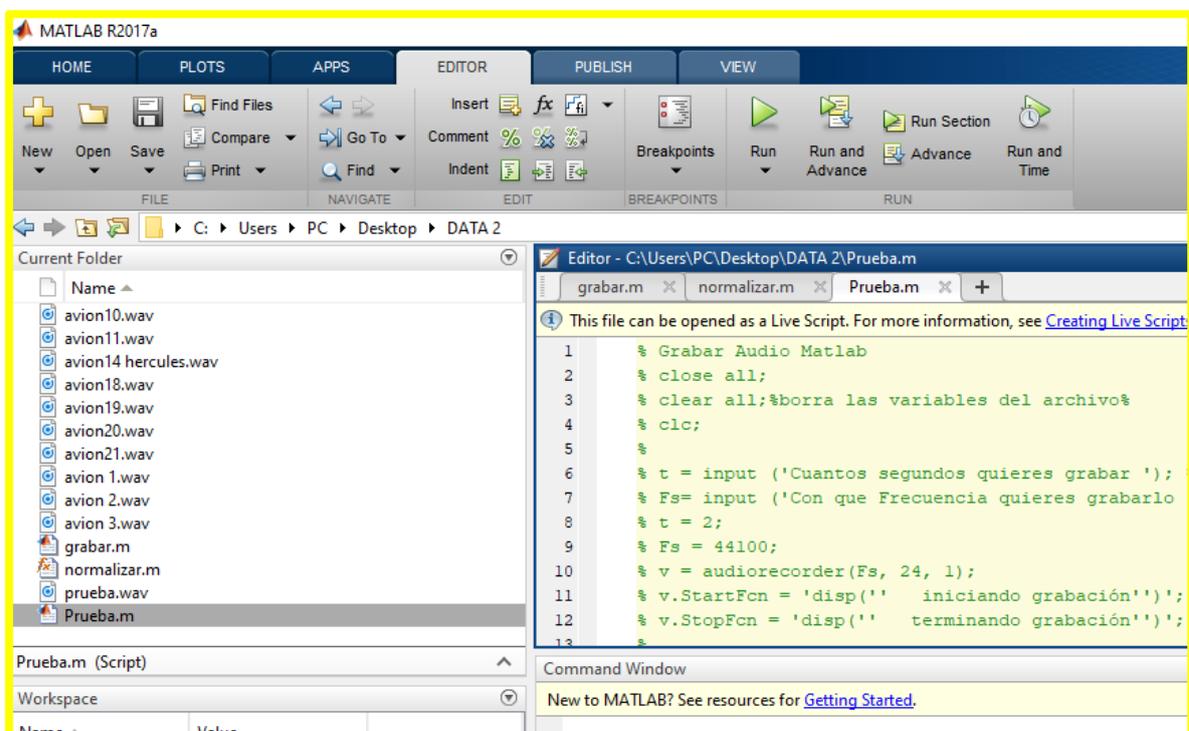


Figura 75. Interfaz del software matlab .

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

>> Prueba

Diferencias fft

0

Correlacion de Pearson

1

Coeficiente de Error Avion 1:

3.4737e+04

Correlacion de Error Avion 2:

3.3255e+04

Correlacion de Error Avion 3:

4.1384e+04

Correlacion de Error Avion 10:

4.5989e+04

Correlacion de Error Avion 11:

5.7521e+04

Correlacion de Error Avion 14 hercules:

0

Correlacion de Error Avion 18:

8.9191e+04

Correlacion de Error Avion 19:

4.9745e+04

Avion: 14 hercules

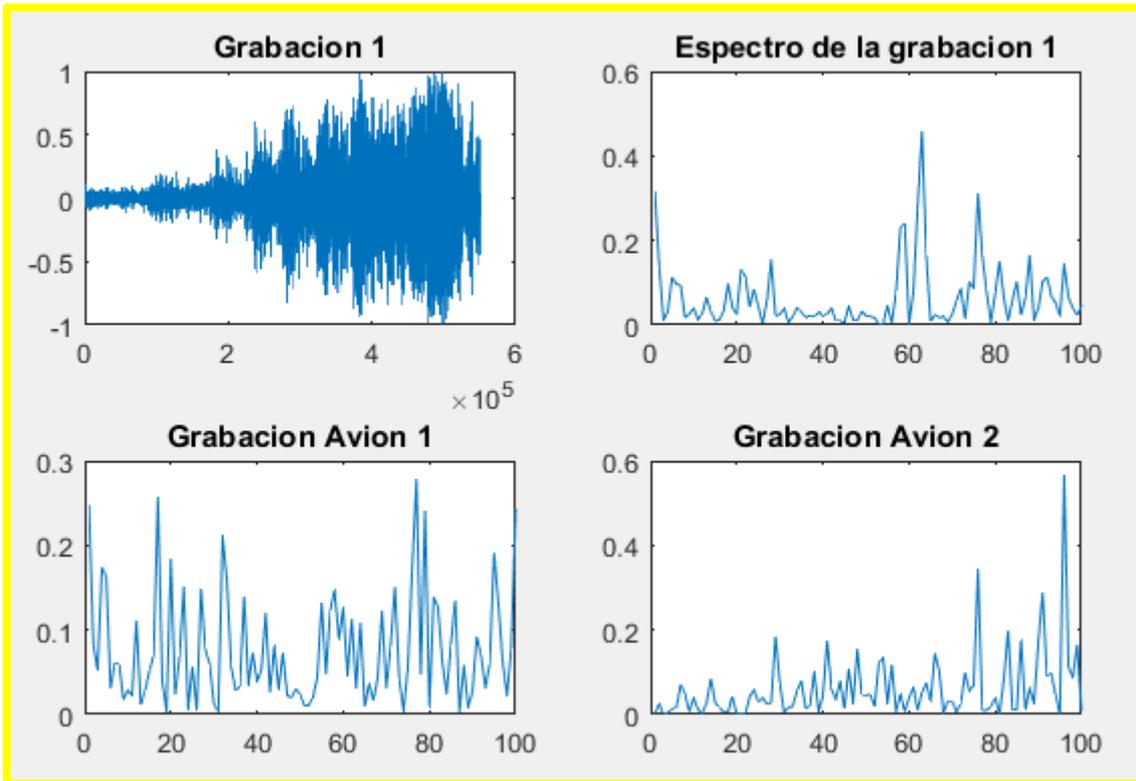


Figura 76. Espectro de la grabacion Avión: 14 hércules

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

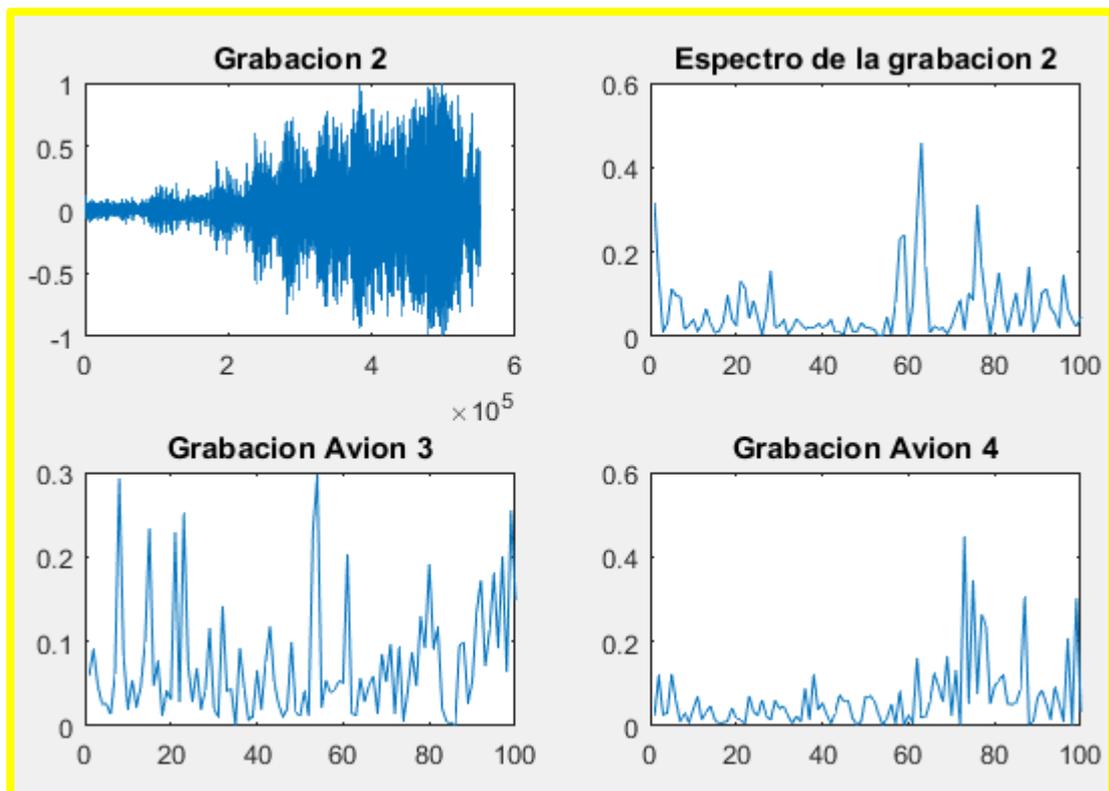


Figura 77. Espectro de la grabación Avión: 14 hércules

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

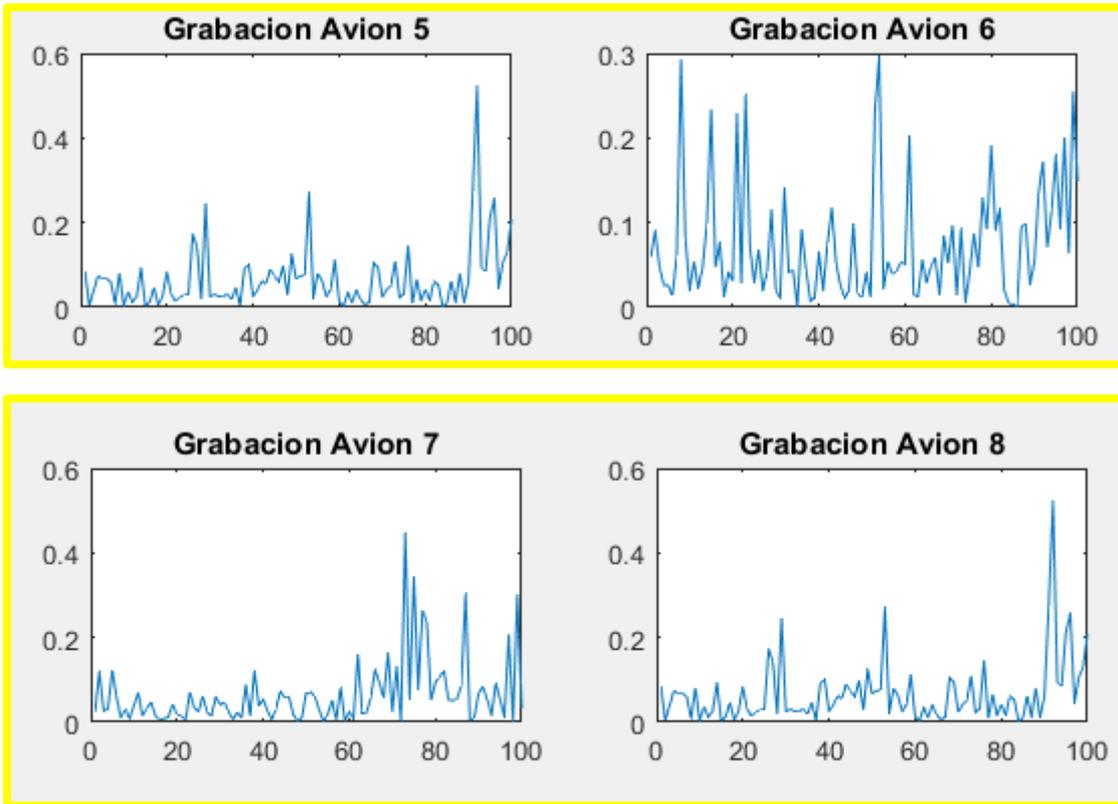


Figura 78. Espectro de la grabación Avión: 14 hércules

Fuente Propia: Rivas. A (2018)

La Fig. 79 muestra la programación gráfica del modelo de reconocimiento neuronal,

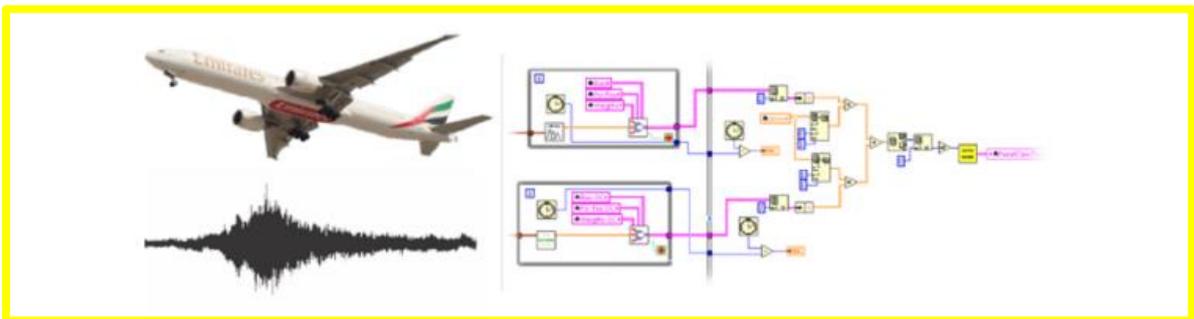


Figura 79. Modelo de reconocimiento neuronal empleando programación grafica con LabVIEW

Fuente: Marquéz.M (2014)

CONCLUSIONES

Debido que los diferentes aeropuertos están deseando saber los ruidos que hace cada aeronave , se puede aplicar una solución a este problema teniendo un modelo computacional desarrollado con el software Audacity y el software Matlab donde podremos tomar las señales de ruido de las aeronaves producidas durante su despegue , que fueron posible para la grabación de las muestras de la huella acústica y tenerla como base de datos , para así poder reconocer los tipos de aeronaves que existen en el Aeropuerto Jorge Chávez ya que los sistemas que se encuentran en operación no cuentan con la capacidad de reconocer la clase de aeronave asociada a los niveles de ruido que producen durante el despegue.

En el presente trabajo, se ha realizado la implementación de modelo computacional para el reconocimiento de aeronaves basado en la programación de procesamiento de las señales de huella acústica utilizando la transformada de Fourier, que hace uso del patrón acústico de las aeronaves producido durante el despegue en el Aeropuerto Jorge Chávez en el año 2018.

Por otro lado, en relación al tema que he desarrollado en mi tesis sería interesante el estudio de reconocimiento de las aeronaves mediante una huella acústica durante su despegue y el impacto que causa en el medio ambiente y en la salud de la población ya que como todos sabemos el ruido de las aeronaves tiene mucha contaminación acústica en la población del distrito del Callao-Bellavista.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIC. (2008). *Policy and recommended practices handbook* (6th ed ed.). Geneva, Switzerland: Airports Council International (AIC).

Airbus. (2007). *Flying by nature. Global market forecast 2007-2026*. Toulouse, France: Airbus SAS.

Alt, R., & Wiley, S. (2004). A Generalized Wave Diagram for Moving Sources. *The Physics Teacher*, 42(9), 526-527.

Alves-Pereira, M., & Gástelo Branco, N. (2004). *Vibroacoustic disease* (Vol. 6).

ANSÍ. (2004). Standard S1.11-2004: Specification for octave band and fractional octave band analog and digital filters: American National Standards Institute.

Asensio, C., Ruiz, M., & Recuero, M. (2010). Real-time aircraft noise likeness detector. *Appl. Acoust.*, 71(6), 539-545. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/i.apacoust.2009.12.005>

Atal, B. S., & Hanauer, S. (1971). Speech Analysis and Synthesis by Linear Prediction of the Speech Wave. / *Acoust. Soc. Am.*, 50(2B), 637-655.

Barbo, B., Rosin, C., & Machet, J. M. (2009). A pattern recognition approach for aircraft noise detection.

Bekebrede, G., & Hagenberg, T. (1984). Design of a flight track and aircraft noise monitoring system. 14th International council of the aeronautics/ sciences, 2,1096-1105.

Berglund, B., Lindvall, T., & Schwela, D. H. (1995). *Community noise: World Health Organization (WHO)*.

Berglund, B., Lindvall, T., & Schwela, D. H. (1999). *Guidelines for Community Noise: World Health Organization (WHO)*.

Bogert, B., Healy, M., & Tukey, J. (1963). The frequency analysis of time series forecasts: Cepstrum, pseudo autocovariance, cross Cepstrum and spectral cracking. Paper presented at the Proc. Symp. on Time Series Analysis.

Brüel & Kjaer. (2000). *Environmental noise: Brüel & Kjaer sound & vibration measurement A/S*.

Brüel & Kjaer. (2012). *ANOMS: Airport noise and operations monitoring system (Brochure)*. Denmark: Brüel & Kjaer.

Couvreux, L., & Laniray, M. (2004). Automatic noise recognition in urban environments based on artificial neural networks and hidden Markov models. *Inter noise 2004 proceedings*,

Crocker, M. J. (1998). *Handbook of acoustics: John Wiley & Sons Inc.*

Chambers, J. (2005). Noise Pollution. In L Wang, N. Pereira & Y.-T. Hung (Eds.), *Advanced Air and Noise Pollution Control* (Vol. 2, pp. 441-452): Humana Press.

Davis, S., & Mermelstein, P. (1980). Comparison of parametric representations for monosyllabic word recognition in continuously spoken sentences. *Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on*, 28(4), 357-366.

Durbín, J. (1960). The fitting of time series models. *Rev. Inst. Int. Stat.*, 28(3), 233-244.
Eurocontrol. (2008). *Eurocontrol long-term forecast: IFR flight movements 2008-2030*. Brussels,

Belgium: Doc No DAS/DIA/STATFOR 302. European Parliament. (2002). Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. FAA. (2009), *Aerospace forecast: Fiscal years 2009-2025: Federal aviation administration*.

OEFA, primer volumen (2016) Decreto Supremo N° 085-2003-PCM, Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido “Artículo 3.- De las Definiciones Para los efectos de la presente norma se considera: (...) c) Contaminación Sonora: Presencia en el ambiente exterior o en el interior de las edificaciones, de niveles de ruido que generen riesgos a la salud y al bienestar humano”.

OEFA, primer volumen (2016) Según los autores Jimena Martínez Llorente y Jens Peters la contaminación sonora o acústica “(...) se define como la presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente.” En: Martínez Llorente, Jimena y Jens Peters. *Contaminación acústica y ruido*. Ecologistas en Acción, Madrid, 2013, p.13.

OEFA, primer volumen (2016) Decreto Supremo N° 04-2015-PRODUCE, Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Nacional de Calidad “Artículo 40°.- Funciones de la Dirección de Metrología Son funciones de la Dirección de Metrología, las siguientes: (...) h) Reconocer a instituciones públicas o privadas acreditadas como unidades de verificación metrológicas (...)