

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Metodología para Detectar Inestabilidad en el Mecanizado de Polietileno de
Ultra Alto Peso Molecular.

Proyecto Integrador

INGE-2801

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Yicet Carolina Jimbo Quisirumbay

Erick Isaac Villafuerte Carrera

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

El presente proyecto final de carrera se lo dedico a mis padres, Jimmy Jimbo J. y Gissela Quisirumbay Mala, quienes confiaron en mí durante todo este trayecto, y me han dado todo su apoyo en los momentos más difíciles.

Yicet C. Jimbo Q.

Dedico este proyecto a todos aquellos que han sido parte de esta segunda oportunidad a la que llamo vida. A mis padres, por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía. A mi compañera de tesis, por su constancia y por nunca dudar ni desfallecer en este proyecto, del cual una pequeña parte hace este trabajo de titulación. A mis hermanos, por su apoyo incondicional, a mis amigos, quienes me acompañaron en cada paso de este camino. 'El hombre sabio se basta a sí mismo, pero se alegra de tener compañía'.

Erick I. Villafuerte C.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por ayudarnos a salir adelante y guiarnos en este arduo camino de ingenieros. Infinito agradecimientos a nuestros tutores por su tiempo y paciencia a lo largo de este proyecto, y a los profesores que se convirtieron en nuestros guías durante la carrera.

Yicet C. Jimbo Q.

A todos aquellos que contribuyeron y alumbraron el camino en este desafiante proyecto, desde profesores como los Ingenieros Diaz y Andrade que nos prepararon con bases sólidas, hasta mentores que han estado en cada etapa como los profesores Cuenca, Helguero y en especial al profesor Amaya que han sabido ofrecer su guía en todo momento, Finalmente a nuestros tutores, profesores Maldonado y Durazno, que nos dieron la oportunidad a desafiarnos a nosotros mismos.

Erick I. Villafuerte C.

Declaración Expresa

Nosotros Yicet Carolina Jimbo Quisirumbay y Erick Isaac Villafuerte Carrera acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 18 de octubre del 2024.



Yicet Carolina Jimbo

Quisirumbay



Erick Isaac Villafuerte

Carrera

Evaluadores

José Alberto Macias Zambrano, Msc.

Profesor de Materia

Galo Andrés Durazno Palacios, Msc.

Tutor de proyecto

Fausto Andrés Maldonado Galarza, Msc.

Tutor de proyecto

Resumen

El mecanizado de polímeros, en especial el Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMW), enfrenta desafíos relacionados con la estabilidad del proceso debido a la generación de vibraciones autogeneradas (chatter) provocando un mayor desgaste de la herramienta y altos costos de producción. Este estudio propone una metodología basada en análisis acústico para detectar inestabilidad en el fresado del UHMW, optimizando así la tasa de remoción de material. Se diseñó un experimento en el que se midieron los niveles de presión sonora en distintas condiciones de corte, utilizando sonómetros y micrófonos especializados para registrar y analizar los datos acústicos. Los resultados permitieron determinar los rangos de generación de sonido propios del mecanizado, el límite de estabilidad del mecanizado y definir parámetros óptimos de corte, asegurando mayor eficiencia y menor desgaste de la herramienta. Se identificó que la generación de sonido en ciertas frecuencias está correlacionada con la inestabilidad del proceso, proporcionando un método no invasivo para su detección. Esta metodología ofrece una herramienta útil para la optimización de parámetros en la industria del mecanizado de plásticos.

Palabras Clave: mecanizado, vibraciones autogeneradas, análisis acústico, estabilidad, UHMW

Abstract

The machining of polymers, especially Ultra-High Molecular Weight Polyethylene (UHMW), faces challenges related to process stability due to the generation of self-excited vibrations (chatter), leading to increased tool wear and high production costs. This study proposes an acoustic analysis-based methodology to detect instability in UHMW milling, thereby optimizing the material removal rate. An experiment was designed to measure sound pressure levels under various cutting conditions, using specialized sound level meters and microphones to record and analyze acoustic data. The results allowed for the determination of the characteristic sound generation ranges in machining, the machining stability limit, and the definition of optimal cutting parameters, ensuring greater efficiency and reduced tool wear. It was identified that sound generation at certain frequencies correlates with process instability, providing a non-invasive method for its detection. This methodology offers a valuable tool for optimizing parameters in the plastic machining industry.

Keywords: *machining, self-excited vibrations, acoustic analysis, stability, UHMW.*

Índice general

Resumen.....	I
Abstract	II
Índice general.....	III
Abreviaturas	VII
Simbología	VIII
Índice de figuras.....	IX
Índice de tablas	X
1. Capítulo I	1
1.1 Introducción.	2
1.2 Descripción del problema.....	2
1.3 Justificación del problema.....	3
1.4 Objetivos.	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos.	3
1.5 Marco teórico.	4
1.5.1 Tasa máxima de remoción de material.	4
1.5.2 Estabilidad en procesos de remoción de Material	5
1.5.3 Métodos para predecir la generación de vibraciones autogeneradas.....	5
1.5.4 Diagrama de lóbulos de estabilidad.....	6
1.5.5 Métodos para detectar la existencia de vibraciones autogeneradas.....	7
1.5.6 Mediciones acústicas para detectar chatter.....	7
1.5.7 Caracterización de sonidos.	7
1.5.8 Mecanismos de generación de sonido en los procesos de corte.	9
1.5.9 Polietileno de ultra alto peso molecular.	9
1.5.10 Mecanizado de polímeros termoplásticos y parámetros de corte para el UHMW.....	10
2. Capítulo II	12
2.1 Planteamiento de la metodología	13

2.1.1 Definición de las variables de experimentación.....	13
2.1.2 Criterios de selección para eventos en el desarrollo de la metodología.....	13
2.1.3 Tipos de eventos	14
2.2 Desarrollo de la metodología	15
2.2.1 Etapa 1: Determinación de factores que influyen en la experimentación	15
2.2.2 Etapa 2: Diseño de experimento.....	18
Paso 1:.....	18
Paso 2:.....	20
Paso 3:.....	22
2.2.3 Etapa 3: Recopilación de datos.....	24
2.2.4 Etapa 4: Análisis y postproceso.....	25
3. Capítulo III.....	27
3.1 Metodología para detectar inestabilidad en el mecanizado del UHMW	28
3.2 Rangos de frecuencia de generación de sonido.....	31
3.3 Niveles de energía	32
3.4 Curvas características de estabilidad e inestabilidad.....	34
3.5 Curva de la tasa máxima de remoción del material	36
4. Capítulo IV.....	38
4.1 Conclusiones y recomendaciones.....	39
4.1.1 Conclusiones.....	39
4.1.2 Recomendaciones	40
Referencias.....	42
5. Apéndice A: Set Up del Experimento	46
Apéndice A.1	47
Apéndice A.2.....	47
Apéndice A.3.....	48
Apéndice A.4.....	49
Apéndice A.5.....	50
6. Apéndice B: Niveles de Presión Sonora	51

6.1 Apéndice B.1:	52
6.2 Apéndice B.2:	53
6.3 Apéndice B.3:	54
6.4 Apéndice B.4:	55
6.5 Apéndice B.5:	56
6.6 Apéndice B.6:	57
6.7 Apéndice B.7:	58
6.8 Apéndice B.8:	59
6.9 Apéndice B.9:	60
6.10 Apéndice B.10:	61
6.11 Apéndice B.11:	62
6.12 Apéndice B.12:	63
7. Apéndice C: Rangos de generación de sonido	64
7.1 Apéndice C.1:	65
7.2 Apéndice C.2:	66
7.3 Apéndice C.3:	67
7.4 Apéndice C.4:	68
7.5 Apéndice C.5:	69
7.6 Apéndice C.6:	70
7.7 Apéndice C.7:	71
7.8 Apéndice C.8:	72
7.9 Apéndice C.9:	73
7.10 Apéndice C.10:	74
7.11 Apéndice C.11:	75
7.12 Apéndice C.12:	76
8. Apéndice D: Niveles de energía acústica	77
8.1 Apéndice D.1:	78
8.2 Apéndice D.2:	79
8.3 Apéndice D.3:	81
8.4 Apéndice D.4:	83
8.5 Apéndice D.5:	85
8.6 Apéndice D.6:	88

8.7 Apéndice D.7:.....	90
8.8 Apéndice D8:.....	93
8.9 Apéndice D9:.....	96
8.10 Apéndice D10:.....	98
8.11 Apéndice D11:.....	102
8.12 Apéndice D12:.....	105

Abreviaturas

CFC	Coeficientes de las Fuerzas de Corte
CSD	Características Dinámicas del Sistema
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
MMRR	Tasa Máxima de Remoción del Material
SLD	Diagrama de Lóbulo de Estabilidad
UHMW	Polietileno de Ultra Peso Molecular
M1	Condiciones mecánicas #1
M2	Condiciones mecánicas #2
M3	Condiciones mecánicas #3
M4	Condiciones mecánicas #4
M5	Condiciones mecánicas #5
M6	Condiciones mecánicas #6
A1	Condiciones acústicas #1
A2	Condiciones acústicas #2
A3	Condiciones acústicas #3
A4	Condiciones acústicas #4
C1	Estrategia de corte #1
C2	Estrategia de corte #2
C3	Estrategia de corte #3
A	Filtro de Ponderación A
C	Filtro de Ponderación C
Z	Filtro de Ponderación Z

Simbología

dB	Decibeles
dB (A)	Decibeles ponderados A
Hz	Hercio
kHz	Kilohercio
min	Minutos
mm	Milímetro
RPM	Revoluciones por minutos
s	Segundos

Índice de figuras

Figura 1.1	6
Figura 1.2	9
Figura 1.3	11
Figura 2.1	17
Figura 2.2	23
Figura 2.3	25
Figura 2.4	26
Figura 3.1	29
Figura 3.2	30
Figura 3.3	32
Figura 3.4	33
Figura 3.5	34
Figura 3.6	35
Figura 3.7	36

Índice de tablas

Tabla 1.1.....	8
Tabla 1.2.....	10
Tabla 2.1.....	14
Tabla 2.2.....	16
Tabla 2.3.....	16
Tabla 2.4.....	17
Tabla 2.5.....	18
Tabla 2.6.....	19
Tabla 2.7.....	20
Tabla 2.8.....	21
Tabla 2.9.....	25
Tabla 3.1.....	37

1. Capítulo I

1.1 Introducción.

La manufactura por remoción de material es un sector industrial que depende de gran manera de su capacidad de producción, esto se refiere a distintos factores entre los cuales se encuentran tiempos de producción, calidad de los productos, costos de fabricación. Mientras que, en la industria ecuatoriana, la tecnificación de estos procesos lleva un gran avance en la capacidad de maniobra de las maquinas herramientas, la formalización del conocimiento técnico e ingenieril detrás de estos procesos mantiene una brecha negativa con su par empírico, por el cual aún se recurren a técnicas tradicionales para estimar malos procedimientos de producción, como lo pueden ser condiciones de corte obtenidas por prueba y error, utilización de los sonidos generados por el proceso de corte para predecir el desgaste en las herramientas de corte, inspección visual y al tacto del acabado superficial.

Como alternativa que permita la formalización de estos conocimientos, se propone el desarrollo de una metodología que permite extrapolar los principios mecánicos e ingenieriles detrás de los conocimientos empíricos de forma en la cual se optimicen los procesos de remoción de material, sirviendo de bases para su aplicación en mejoras a nivel de automatización de procesos.

1.2 Descripción del problema.

La optimización de la tasa de remoción de material en un proceso de corte depende de tres variables fundamentales: el avance de la herramienta, la profundidad de corte y la velocidad de corte. Sin embargo, encontrar la máxima tasa de remoción de material (MMRR) enfrenta problemas como la inestabilidad del proceso causada por vibraciones autogeneradas (chatter). De forma empírica, se ha observado una correlación entre el análisis del sonido y la estabilidad en estos procesos, lo que subraya la necesidad de desarrollar una metodología que, mediante un análisis acústico, permita caracterizar curvas de presión sonora en zonas de estabilidad durante el mecanizado.

1.3 Justificación del problema.

El desarrollo de una metodología para detectar la inestabilidad en procesos de mecanizado mediante análisis acústico es crucial, ya que muchas empresas no trabajan con los parámetros óptimos debido al miedo a generar vibraciones indeseadas ("chatter") o por desconocimiento de las condiciones que causan la inestabilidad. Este enfoque conservador, aunque minimiza los riesgos de daños a herramientas y piezas, también limita significativamente la productividad y la eficiencia del proceso de corte. Actualmente, las empresas suelen operar dentro de un rango de seguridad amplio y subóptimo, lo que resulta en una baja tasa de remoción de material y un desperdicio de recursos. La metodología propuesta ofrecerá una solución que permita identificar la existencia de chatter, indicando cuando el proceso de mecanizado está en la frontera entre la estabilidad y la inestabilidad, proporcionando datos precisos para ajustar los parámetros de corte de manera segura. Esta tecnología dará a las empresas una mayor confianza para operar cerca de los límites óptimos, optimizando el rendimiento sin comprometer la calidad del proceso ni el estado de las herramientas, lo que resulta en mayor eficiencia y menores costos operativos.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Desarrollar una metodología basada en análisis acústico que identifique los niveles de presión sonora característicos de los límites de estabilidad en el fresado del polietileno de ultra alto peso molecular, optimizando la tasa de remoción de material.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Definir la estabilidad en el proceso de corte, mediante el estudio de las técnicas de predicción de generación de vibraciones autogeneradas, estableciendo así el método de aproximación a diagramas de lóbulos de estabilidad.

- Diseñar el procedimiento de experimentación para la obtención de datos de presión sonora en todos los puntos de interés evaluando las estrategias de corte en función de las condiciones de trabajo y los factores de influencia en la generación de vibraciones autogeneradas.
- Analizar los datos obtenidos durante la experimentación para la comparación de curvas diferenciales de niveles de energía en zonas estables e inestables a través del análisis acústico del mecanizado.
- Comparar la tasa de remoción del material en los puntos máximos de profundidad de corte dentro de los rangos estables evaluando factores como el tiempo de mecanizado y la estabilidad del proceso.

1.5 Marco teórico.

1.5.1 Tasa máxima de remoción de material.

La tasa máxima de remoción de material es un parámetro que mide la capacidad de producción de las máquina-herramientas, el cual se podría considerar como un parámetro ideal al cual para un proceso específico una máquina herramienta puede llegar. Sin embargo, este parámetro ideal se ve afectado por varios factores, entre los cuales se encuentran las limitaciones de estabilidad dinámica del sistema material-máquina-herramienta (Dohner, Lauffer, Hinnerichs, Shankar, & Regelbrugge, 2001).

Sin embargo, la forma de cuantificar este parámetro es mediante el análisis de la tasa de remoción de material, la cual se define como la velocidad a la que se retira material en el proceso (Groover, 2007). Como se describe en la ecuación 1, el cual es el resultado del producto entre la profundidad de corte “ a_p ”, el avance “ f_n ” y la velocidad de corte “ v_c ”.

$$\text{MMR} = a_p f_n V_c \quad (1)$$

O su homologo utilizando las condiciones de corte específicas del fresado en la ecuación 2, siendo “ a_p ” la profundidad de corte axial, “ a_r ” profundidad de corte radial y “ f_v ” velocidad de avance.

$$MMR = a_p a_r V_c \quad (2)$$

1.5.2 Estabilidad en procesos de remoción de Material

El término estabilidad dentro de los procesos de corte utilizando máquinas herramientas, se refiere al uso de parámetros de corte que mantengan condiciones de trabajo libres de vibraciones autogeneradas (también conocidas como chatter) entre el material de trabajo y la herramienta de corte al cortar. Cuando el sistema cerrado “material de trabajo-máquina-herramienta” se vuelve inestable, las vibraciones autogeneradas afectan de manera negativa la calidad superficial de la pieza de trabajo, vida útil de la herramienta de corte y disminuye de forma general la productividad, afectando directamente la tasa de remoción de material (Altintas & Budak, 1998).

1.5.3 Métodos para predecir la generación de vibraciones autogeneradas.

Grandes campos se han generado para el estudio del fenómeno conocido como Chatter, de entre ellos, la generación de métodos y modelos de predicción de las vibraciones autogeneradas, los cuales siguen tres grandes tendencias analizando distintas variables de los procesos del maquinado, estos son: Análisis de los coeficientes de las fuerzas de corte (CFC), características dinámicas del proceso de corte (CSD), y graficar los diagramas de lóbulos de estabilidad (SLD). Cada uno de estos tiene sus bondades y dificultades para llevarse a cabo, el método más común es el diagrama de lóbulos de estabilidad, el cual permite identificar parámetros de corte estable para el proceso analizado, este requiere de análisis modales para el sistema máquina-herramienta, determinación de ecuaciones diferenciales y funciones de transferencia de n-grados. Asimismo, el análisis de los coeficientes de las fuerzas de corte parte de los modelos de corte oblicuos, análisis de elementos finitos y uso de dinamómetros

especializados para determinar los principales estadísticos del estudio. Por otra parte, el estudio de las características dinámicas del sistema necesita de: pruebas de martillo de impacto y acelerómetros para determinar las vibraciones en todas las direcciones de interés de los estudios respectivos (Bo, Chang, Xinli, Yang, & Daohai, 2022).

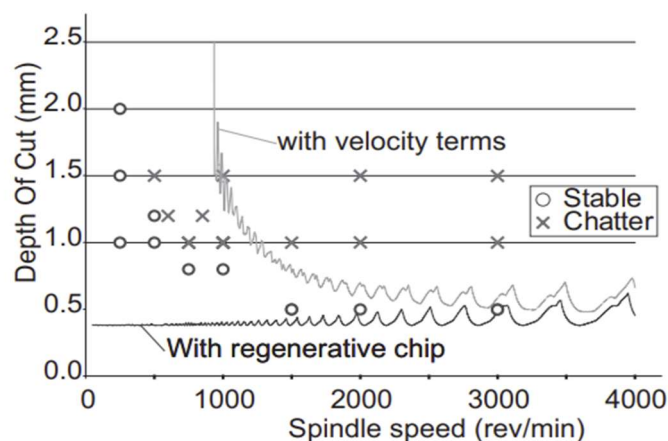
1.5.4 Diagrama de lóbulos de estabilidad.

El campo de estudio de los diagramas de lóbulos de estabilidad ven sus principios con Thusty, el cual define que existe una profundidad de corte crítica para un proceso de corte determinado, previo a la ocurrencia del chatter (Thusty & Polacek, 1957), simultáneamente, Tobias entregaba un método para el cual se desarrollaban ecuaciones de un modelo preliminar de los diagramas de lóbulos de estabilidad, el cual era nombrado como leyes de estabilidad para cada velocidad de rotación del husillo de la máquina herramienta. (Tobias & Fishwick, 1958)

Sin embargo, se conoce a los métodos analíticos y numéricos como diagrama de lóbulo de estabilidad (SLD) a la combinación de ambos, descrito como la profundidad de corte crítica para cada velocidad de rotación del husillo previo a la ocurrencia del chatter (Altintas & Budak, 1995). Diagrama que se puede observar en la figura 1.1.

Figura 1.1

Diagrama de lobulo de estabilidad. Para el fresado de acero AISI1045



Nota. Fresado frontal con fresa de con fresa de 35mm (Altintas Y. , 2012).

1.5.5 Métodos para detectar la existencia de vibraciones autogeneradas.

Dentro de los campos de estudio relacionados al fenómeno Chatter existe una gran cantidad de métodos que utilizan sensores para detectar las principales características identificables del fenómeno como lo son: detección de vibraciones con acelerómetros (Qiu & Ge, 2018), detección de variaciones y excesivas fuerzas de corte con dinamómetros (Lamraoui, Thomas, El Badaoui, & Girandin, 2014), cambios en la potencia requerida con medidor de consumidores de potencia (Bhuiyam & Choudhury, 2014), uso de rugosímetros para detectar la presencia de marcas de chatter (Bai, Cheng, Yang, & Xu, 2023), los cuales esencialmente tratan de hallar y encasillar características predominantes en parámetros de corte estables e inestables.

1.5.6 Mediciones acústicas para detectar chatter.

Empíricamente es bien conocido que los sonidos propios del proceso de corte son una forma de identificar cuando un procedimiento no está siendo efectuado de forma correcta, estos pueden ser señal de varias cosas: Estimación del desgaste de la herramienta de corte, consunción de la vida útil de la herramienta de corte, malos acabados superficiales. (Groover, 2007).

Sin embargo, estudios han demostrado que una de las características que se pueden medir para la detección del chatter, es el uso de micrófonos especializados que permitan detectar cambios en las señales acústicas durante el proceso de corte del material, en el cual se analiza los niveles de energía en el dominio del tiempo por rangos de frecuencia, para detectar inferencias del chatter en el proceso de corte. (Gao, Song, & Liu, 2018)

1.5.7 Caracterización de sonidos.

Para obtener las características de las señales acústicas captadas con los instrumentos de medición se debe comprender ciertos conceptos que influyen dentro de las mediciones acústicas.

Entre ellas, las dos principales, rangos de frecuencia y la inferencia de los niveles de sonido en las grabaciones tomadas, siendo que las interferencias más relevantes existen cuando los cambios subjetivos del sistema son menores a 6 dB cuando los cambios en el sistema son imperceptibles, de forma en que no pueden realizarse mediciones fiables de los datos tomados.

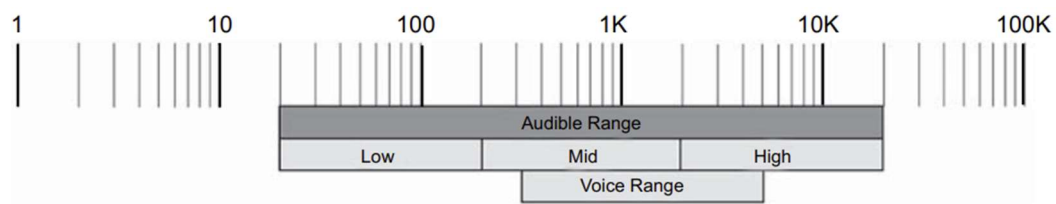
Tabla 1.1

Cambios de decibeles importantes y su relación en escala logarítmica.

Cambios subjetivos	10log	dB Change
Apenas perceptible	1.26:1	1 dB
Notable	1.58:1	2 dB
	2:1	3dB
	2.51:1	4 dB
	3.16	5 dB
Cambios en el sistema	4:1	6 dB
	5:1	7 dB
	6.3:1	8 dB
	8:1	9 dB
Doble de alto/bajo	10:1	10 dB
	100:1	20 dB
	1000:1	30 dB
Limites audibles	10000:1	40 dB
	100000:1	50 dB
	1000000:1	60 dB

Nota. Adaptada de Ballou (2008)

Otra característica importante para tomar en cuenta son los rangos de frecuencia de las señales de sonido, se consideran bajos aquellas entre 20 Hz hasta los 200 Hz, a los altos entre 2000 Hz y 20000 Hz, dentro del rango audible, las frecuencias intermedias conocidas como medios (Ballou, 2008).

Figura 1.2*Espectro audible en décadas (10:1)**Nota.* Tomado de Ballou (2008)**1.5.8 Mecanismos de generación de sonido en los procesos de corte.**

Existen 3 principales mecanismos por el cual se generan sonido durante los procesos de corte, estos son: las vibraciones del portaherramientas y los movimientos de la maquina moviéndose (bancada, cabezal, motores, etc.); provocando sonidos en rangos de baja frecuencia, mientras que la fricción generada entre el filo de la herramienta de corte y el material genera un sonido de alta y muy alta frecuencia, por otra parte, la deformación del material por las fuerzas cortantes generan un sonido de media a alta frecuencia (Nourizadeh, Mehdi, Zareinejad, & Adibi, 2022).

Si bien el Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular es un polímero termoplástico, cuyas propiedades son distintas a los de un metal, es esperable que la tendencia de rangos de generación de sonido de los metales se pueda extrapolar a distinto tipos de materiales.

1.5.9 Polietileno de ultra alto peso molecular.

El Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMW) o comúnmente conocido como duralón es un tipo de polietileno termoplástico creado de múltiples largas cadenas moleculares entrelazadas creado en los años 1960, en la cual las principales aplicaciones eran dentro del campo de la medicina ortopédica como prótesis por su biocompatibilidad (Slouf, et al., 2021).

Además de las aplicaciones en la medicina, el duralón, también cuenta con múltiples aplicaciones industriales, como revestimientos, ruedas, piñones, partes de máquinas en industria alimentaria (Santos, 2021).

Estas aplicaciones son posibles gracias a las bondades del material:
Biocompatibilidad, Resistencia a impactos, buena tenacidad, de fácil fabricación (SUYSOLIND, 2023).

Las propiedades más importantes para la caracterización del material aplicable al experimento se encuentran tabuladas en la tabla 1.2

Tabla 1.2

Propiedades del UHMW, información de “HERRAQUIM S.A”

Propiedad	Norma	Valor	Unidad
Resistencia a la tracción	ASTM – D638	2500-3500	PSI
Dureza Rockwell	ASTM – D785	D60-D70 SHORE	-
Módulo de tracción	ASTM – D638	0.20-1.10 x10E5	PSI

Nota. Información de “HERRAQUIM S.A”

1.5.10 Mecanizado de polímeros termoplásticos y parámetros de corte para el UHMW.

Debido a sus múltiples aplicaciones existen diversas formas de manufactura para la fabricación de estas aplicaciones, entre ellas los procesos de remoción de material para cumplir con piezas en las cuales es necesaria la precisión geométrica, para componentes como piñones, rodamientos, y múltiples partes mecánicas (Studený, Dobrocký, Vilis, & Adam, 2022).

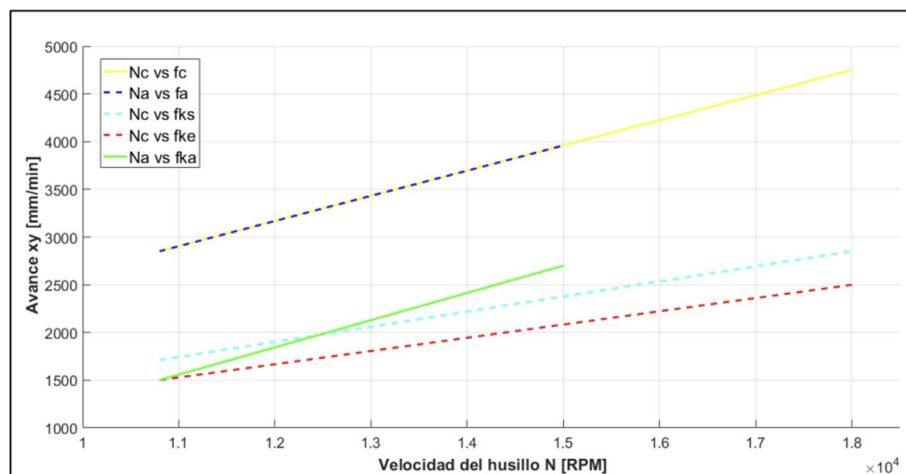
Para ello es fundamental definir parámetros de corte con los cuales se cumplan con las especificaciones geométricas de fabricación especificadas para su producción, sin afectar la capacidad productiva de la máquina herramienta, diversos autores presentan parámetros de corte generales para el mecanizado de plásticos como tabula Kalpakjian en Manufacturing Engineering and Technology (2023) una de Velocidad de corte entre 270 a 460 metros por

minuto, para el avance sugiere mantener un rango entre 0,13 y 0,23 milímetros por diente y en velocidad de avance entre 90 a 1370 metros por minuto.

Sin embargo, estudios especializados en el maquinado del duralón, proponen estrategias de corte óptimas para una de las operaciones básicas en todo tipo de fabricación, como lo es el fresado de cavidades, establecen parámetros de corte óptimos utilizando métricas de interés como son rugosidad superficial, consumo energético, tiempo de maquinado, para los cuales se tabularon parámetros de corte óptimos en términos de velocidad de husillo 14403 revoluciones por minuto y una velocidad de avance 2100 milímetros por minuto (Santos, 2021) como la combinación más óptima estudiada.

Figura 1.3

Comparación entre parametros de corte para el fresado de cavidades en UHMW



Nota. Tomada de Santos (2021)

2. Capitulo II

En el presente capítulo se desarrollarán los criterios de selección, diseño de experimentación, instrumentación, estrategias de corte y demás procesos a utilizar para el desarrollo de la metodología, los cuales se pueden definir en distintas etapas: etapa 1; Determinación de factores que influyen en la experimentación, etapa 2; Diseño de experimento, etapa 3; Recopilación de los datos, etapa 4; Análisis y Postproceso.

2.1 Planteamiento de la metodología

2.1.1 Definición de las variables de experimentación.

Variables dependientes: Niveles de presión sonora (dB (A)), frecuencias de sonido (Hz).

Variables independientes: Velocidad de giro del husillo (RPM), Profundidad de corte axial (mm), profundidad de corte radial (mm), velocidad de avance (mm/min).

2.1.2 Criterios de selección para eventos en el desarrollo de la metodología.

Estos criterios se utilizarán en todos los procesos de las distintas etapas para determinar la mejor elección al desarrollar la metodología para detectar inestabilidad en el mecanizado en las etapas I y II.

- Criterio 1 – Influencia en la optimización de la tasa de remoción de material.
- Criterio 2 – Garantizar la autonomía de las variables por experimento.
- Criterio 3 – Permitir la replicabilidad de los experimentos.
- Criterio 4 – Simetría y homogeneidad de las condiciones experimentales.
- Criterio 5 – Factibilidad práctica.

Estos criterios tienen cada uno un distinto peso para las distintas elecciones y varían en una escala de 0 a 1, siendo 0 un nulo peso de importancia para el evento analizado y 1 siendo que la implicación de este criterio es de máxima relevancia para los eventos. La ejecución de estos criterios se realizará en una matriz en la cual se van sumando los pesos y se obtendrá su

promedio entre todos los criterios, volviendo así a la escala inicial de 0 a 1, tal como se demuestra en la tabla 2.1.

2.1.3 Tipos de eventos

Eventos de una sola alternativa resultante: aquellos eventos y procesos en los cuales, por la propia naturaleza del evento solo puede existir una alternativa seleccionada, en dicho caso se seleccionará la mejor alternativa posible, en función de los criterios anteriormente mencionados, en caso de la matriz de ejemplo, si el evento fuera de una sola alternativa, se seleccionaría la alternativa 3.

Eventos de múltiples alternativas resultantes: Aquellos eventos y procesos en los cuales por la propia naturaleza del evento más de una alternativa tiene un peso relevante para la ejecución de este, para estos eventos se seleccionarán las alternativas en las cuales superen el promedio del total máximo posible, que de la matriz de ejemplo las alternativas 2 y 3 serían las seleccionadas para eventos de múltiples alternativas.

Tabla 2.1

Matriz de selección de ejemplo

Matriz Selección	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Criterio 1	0.00	1.00	1.00
Criterio 2	1.00	1.00	1.00
Criterio 3	0.00	0.00	1.00
Criterio 4	1.00	0.00	1.00
Criterio 5	0.00	1.00	1.00
TOTAL:	2.00/5.00	3.50/5.00	5.00/5.00

2.2 Desarrollo de la metodología

2.2.1 Etapa 1: *Determinación de factores que influyen en la experimentación*

De esta se deben considerar dos principales condiciones de trabajo y los métodos para predecir la generación de chatter:

- Condiciones de trabajo: estas condiciones de trabajo se dividen en 2 principales agrupaciones, condiciones mecánicas que afectan la experimentación, y condiciones acústicas que afectan las mediciones.
 - Las condiciones mecánicas son: (M1) Fuerzas de corte, (M2) Agarre de las probetas, (M3) Uso de refrigerante, (M4) Longitud de la herramienta de corte, (M5) Anclaje de la máquina herramienta, (M6) Temperaturas de operación.
 - Las condiciones acústicas son: (A1) Sonido ambiental del laboratorio, (A2) Emisiones sonoras de la máquina herramienta, (A3) Dimensiones del espacio de trabajo, (A4) Interferencias sonoras.
- Los Métodos para predecir generación de chatter, incluyen estudio de los coeficientes de las fuerzas de corte (CFC), estudio de las características dinámicas del sistema (CSD) y el dibujo de los diagramas de lóbulos de estabilidad (SLD).

La determinación de los factores que influyen en la experimentación se desarrolla en las siguientes matrices de selección de acuerdo con los criterios planteados anteriormente.

Tabla 2.2*Matriz de selección de condiciones mecánicas.*

Mecánicas	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Criterio 1	0.50	1.00	1.00	0.50	0.00	0.00
Criterio 2	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Criterio 3	1.00	0.50	0.00	1.00	1.00	0.00
Criterio 4	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00
Criterio 5	0.25	1.00	0.00	0.50	0.00	1.00
TOTAL:	2.25/5.00	4.50/5.00	1.50/5.00	3.00/5.00	2.00/5.00	2.00/5.00

Las condiciones mecánicas es un evento de múltiples alternativas, por lo tanto, se deben escoger la M2 y M4, las cuales corresponden a: Agarre de las probetas, y Longitud de la herramienta de corte respectivamente, puesto que están por encima del promedio del total máximo cuantitativo de las opciones.

Tabla 2.3*Matriz de selección de condiciones acústicas.*

Acústicas	A1	A2	A3	A4
Criterio 1	0.00	0.00	0.00	0.00
Criterio 2	0.00	1.00	1.00	0.00
Criterio 3	1.00	1.00	1.00	0.00
Criterio 4	1.00	1.00	1.00	1.00
Criterio 5	0.25	1.00	0.50	0.50
TOTAL:	2.25/5.00	4.00/5.00	3.50/5.00	1.50/5.00

Las condiciones acústicas, al igual que las condiciones mecánicas, son de múltiples alternativas resultantes, por lo cual, las condiciones seleccionadas fueron la A2 y A3, las cuales corresponden a las Emisiones sonoras de la máquina herramienta, y las Dimensiones del espacio de trabajo respectivamente.

Tabla 2.4

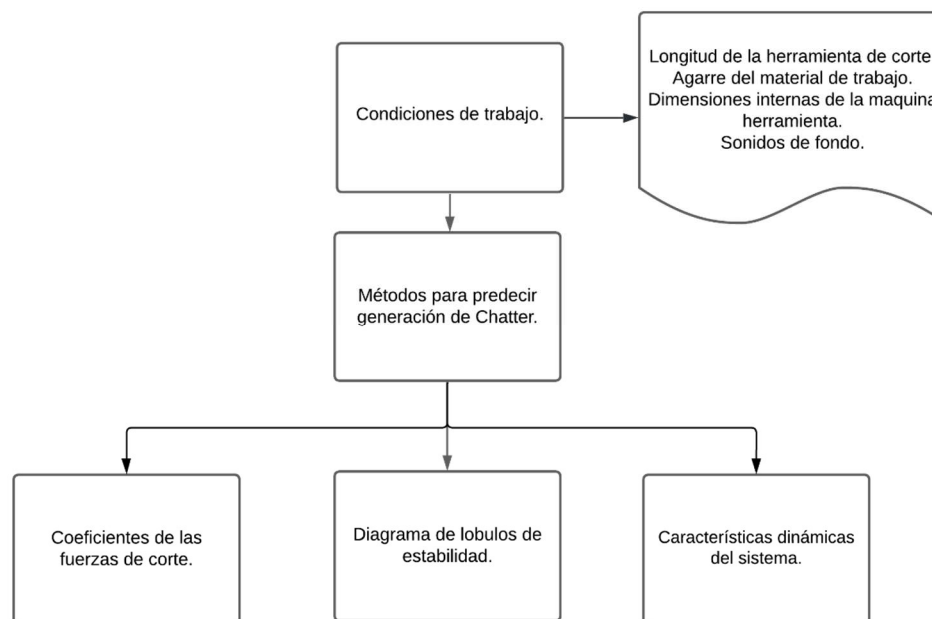
Matriz de selección de métodos para predecir la generación de Chatter.

Chatter	CFC	CSD	SLD
Criterio 1	0.00	0.00	1.00
Criterio 2	0.50	1.00	1.00
Criterio 3	0.00	0.00	1.00
Criterio 4	0.50	0.50	1.00
Criterio 5	0.50	1.00	1.00
TOTAL:	1.50/5.00	2.50/5.00	5.00/5.00

El método de predicción de chatter al ser un evento de una sola alternativa se escogió la alternativa SLD, es decir, el diagrama de lóbulos de estabilidad como el método predilecto para cumplir con todos nuestros criterios esenciales en el desarrollo de la metodología.

Figura 2.1

Etapas 1: Determinación de factores que influyen en la experimentación.



Elaboración propia

2.2.2 Etapa 2: Diseño de experimento

En esta etapa se desarrollaron una serie de pasos sistemáticos de las variables que nos permitan controlar los factores que previamente se analizaron.

Paso 1: Selección del método de aproximación experimental al DLS, instrumentación, procesos y estrategia de corte.

En este paso se delinean los caminos por el cual la experimentación va a ser realizada, iniciando por la selección del proceso de corte para la experimentación de las cuales se tiene los 3 procesos: Taladrado, Torneado, Fresado.

Estos procesos tendrían lugar en las siguientes maquinas herramientas:

- Taladro de pedestal Harvey
- Torno CNC marca DMTG CKE61367
- Centro de mecanizado ROLAND MDX40A.

Tabla 2.5

Matriz de selección de proceso de corte.

Procesos	Fresado	Torneado	Taladrado
Criterio 1	1.00	1.00	1.00
Criterio 2	1.00	1.00	0.50
Criterio 3	1.00	1.00	1.00
Criterio 4	1.00	1.00	1.00
Criterio 5	1.00	0.00	0.00
TOTAL:	5.00/5.00	4.00/5.00	3.50/5.00

Una vez seleccionado el proceso; el Fresado, se debe seleccionar el método de aproximación al lóbulo de estabilidad de forma experimental, para ello existen 3 tipos de iteraciones que realizar en cuanto a los parámetros de corte si consideramos la velocidad de avance de forma constante:

- Velocidad de avance constante, Velocidad de giro del husillo constante, Profundidad radial constante, Profundidad axial variable. (C1)
- Velocidad de avance constante, Velocidad de giro del husillo variable, Profundidad radial constante, Profundidad axial constante. (C2)
- Velocidad de avance constante, Velocidad de giro del husillo variable, Profundidad radial constante, Profundidad axial variable. (C3)

Tabla 2.6

Matriz de selección de método de aproximación al DLS.

Métodos	C1	C2	C3
Criterio 1	1.00	1.00	1.00
Criterio 2	0.00	0.00	1.00
Criterio 3	1.00	1.00	1.00
Criterio 4	0.00	0.00	1.00
Criterio 5	1.00	1.00	1.00
TOTAL:	3.00/5.00	3.00/5.00	5.00/5.00

Con esto tenemos que el proceso sería un fresado periférico en el cual se deberán mantener fijo tanto la velocidad de avance, como la profundidad de corte radial, y se itero las profundidades de corte en cada una de las velocidades de giro de husillo, consecuentemente se continuo con el diseño de la estrategia de corte, esta es fundamental para determinar la geometría de la probeta, considerando el proceso de corte y el método de aproximación surgieron dos modelos básicos:

- Maquinado lineal en una probeta cuya superficie tiene un grado de inclinación en forma de rampa que permite un aumento continuo de la profundidad de corte, esta estrategia sería conocida como: Continua.

- Maquinado lineal en una probeta cuya superficie es plana, pero los aumentos de profundidades de corte se deberán realizar de forma discreta pasada por pasada, esta estrategia sería de forma: Discreta.

Tabla 2.7

Matriz de selección de estrategia de corte.

Estrategias	Continua	Discreta
Criterio 1	1.00	1.00
Criterio 2	0.00	1.00
Criterio 3	1.00	1.00
Criterio 4	0.00	1.00
Criterio 5	1.00	1.00
TOTAL:	3.00/5.00	5.00/5.00

Paso 2: Caracterización del material, selección de la herramienta de corte, y cálculos de los parámetros de corte iniciales.

El material de trabajo para la experimentación debe cumplir con criterios que permitan explotar todas las capacidades de la máquina herramienta como lo son las fuerzas de corte, velocidades de avance y giro de husillo. Particularmente, el centro de mecanizado Roland MDX40A al ser un equipo de trabajo de propósitos didácticos, los materiales los materiales admisibles de trabajo son limitados, restringiéndose a maderas maquinables, y diversos polímeros como Nylon, Duralón, Celeron.

Todos estos materiales influyen directamente sobre el resultado y no sobre el proceso, de ahí que el material deba cumplir con las siguientes características y se utilizara el factor de factibilidad practica para seleccionar como último caso de selección.

- Maquinabilidad.
- Isotrópico.
- Baja resistencia al corte.

- Factibilidad práctica.

Las maderas, no son materiales homogéneos en su estructura ni son isotrópicos, por lo cual, aunque cumplan con una alta factibilidad practica y la baja resistencia al corte no sirven para la experimentación.

De esta forma, el material se debe seleccionar entre distintos materiales como Nylon, Duralón y el Celeron, los cuales cumplen con todas las características físicas y mecánicas para el experimento, de esta forma la maquinabilidad y la factibilidad práctica son los factores decisivos.

Tabla 2.8

Matriz de selección del material de trabajo.

Estrategias	Nylon	Celeron	Duralón
Maquinabilidad	0.70	1.00	1.00
Criterio 5	0.70	0.70	1.00
TOTAL:	1.40/2.00	1.70/2.00	2.00/2.00

La literatura indica que los parámetros de corte para maquinar Nylon sugieren utilizar fresas cortadoras tipo mosca, además, sugieren que los ángulos de corte de la herramienta deben ser con ángulos de corte positivos y altamente afilados para evitar su deformación (CAST NYLONS LIMITED, 2021). Por otra parte, el Celeron si bien mantiene una alta maquinabilidad su costo es mayor que el duralón, mientras que el UHMW cumple con todos los criterios de selección y las características mecánicas requeridas por el centro de mecanizado.

La literatura al rededor del maquinado de los materiales UHMW se encuentran compartidas con el maquinado de termoplásticos y diversos polímeros, los cuales fueron explicados en la sección 1.5.10 Mecanizado de polímeros termoplásticos y parámetros de

corte para el UHMW, en donde definimos los parámetros de corte iniciales que mantenían estabilidad.

- Velocidad de husillo = 14403 RPM
- Velocidad de avance= 2100 mm/min
- Profundidad de corte= 0.1 mm

Paso 3: Cálculo del número, forma y dimensiones de la probeta.

En este paso se procedió con el cálculo del número de probetas con la siguiente ecuación, obteniendo 600 pruebas esperadas.

$$N = N_{ap} N_{RPM} \quad (3)$$

Donde:

N: Es el número de probetas que se necesitaron

Nap: Es el número de profundidades de corte

NRPM: Es el número de velocidad del husillo

El cálculo de la forma de la probeta con sus dimensiones se procedió de la siguiente manera con el fin de garantizar el proceso seleccionado en el paso 1.

$$w = t_{mec} \times f_c \quad (4)$$

Donde:

w: Es el ancho de la muestra.

t_{mec}: Es el tiempo mínimo de mecanización.

f_c: Es el avance del mecanizado.

Esta ecuación garantiza un ancho suficiente en la probeta para mecanizar y poder ser grabado con el avance correspondiente para cada operación.

$$h = N_{ap} \times \Delta a_p \quad (5)$$

Donde:

h : Es la altura de la probeta

N_{ap} : Es el número de profundidad de corte

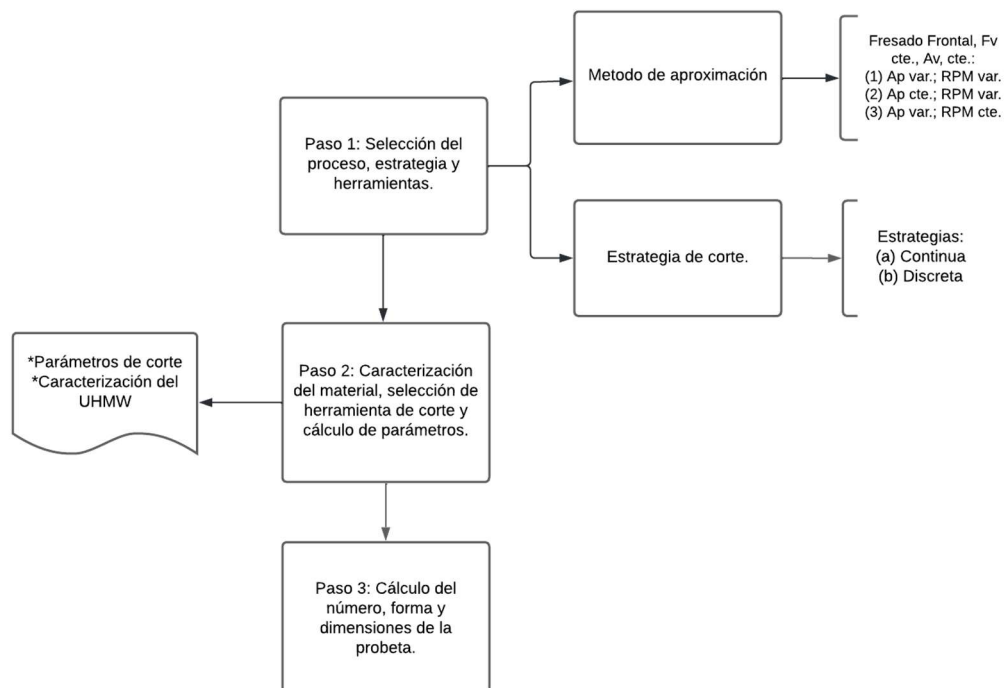
ap : Es la profundidad de corte

Esta ecuación garantiza una altura adecuada para la probeta de acuerdo con el número de profundidades de corte y la sumatoria total de la profundidad de corte.

Todos estos pasos sistemáticos aseguran que nuestros criterios de selección se cumplan para obtener una metodología de detección de inestabilidad en el mecanizado. En la figura 2.2 se puede observar el diseño de experimento más simplificado.

Figura 2.2

Etapas 2: Diseño de experimento



2.2.3 Etapa 3: Recopilación de datos

En esta etapa se llevó a cabo el experimento de acuerdo con el diseño de experimento previamente realizada: Aproximación al diagrama de lóbulo de estabilidad de manera experimental (M3) con una estrategia de corte discreta, que garantizo cada uno de los criterios de selección.

Dos tipos de datos experimentales fueron necesarios de ser captados en la experimentación, estos eran los niveles de presión acústica y las grabaciones de sonido, con el objetivo de tener la mayor cantidad de información disponible para analizar posteriormente.

Sin embargo, asegurar la resolución, calidad, estabilidad y fidelidad de las señales fue una de las tareas más importantes para el proceso experimental, tal como se observa en la figura 2.3, por ello fue necesario realizar varias pruebas en las siguientes condiciones de trabajo: Estables, Inestables y fallo del proceso de corte, los instrumentos de medición de las variables a ser estudiadas:

- Sonómetro: Piccolo-II
- Micrófono de grabación neutra: ECM8000

Asegurar la confiabilidad de la ejecución experimental requería el cumplimiento de normas especializadas en la toma de datos y mediciones acústicas.

- ISO 3746:2010 – Determinación de los niveles de potencia acústica y los niveles de energía acústica de las fuentes de ruido utilizando la presión acústica. (International Organization for Standardization., 2021)

De las características del piccolo que se describen en la tabla 2.9, se determinó que el modo de medición del Piccolo para evitar la saturación debía ser análisis con un ancho de banda de 1/3 de octava, en configuración de rangos de “Bajas” y ponderación de dB (A).

Tabla 2.9

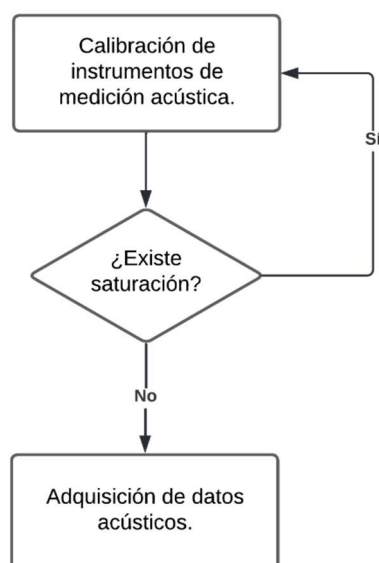
Características sonómetro Piccolo -II

Característica	Valores	Unidades
Ancho de banda 1/1 de octava	0.00315 - 8	kHz
Ancho de banda 1/3 de octava	0.0020 - 16	kHz
Configuración de rangos de “Altas”	40 - 130	dB (A) - dBZ
Configuración de rangos de “Bajas”	30 - 110	dB (A) – dBZ
Ponderaciones de frecuencia	A, C, Z	-

Nota. tomado de (SoftdB, 2023)

Figura 2.3

Etapas 3: Recopilación de datos.



Nota. Elaboración propia.

2.2.4 Etapa 4: Análisis y postproceso

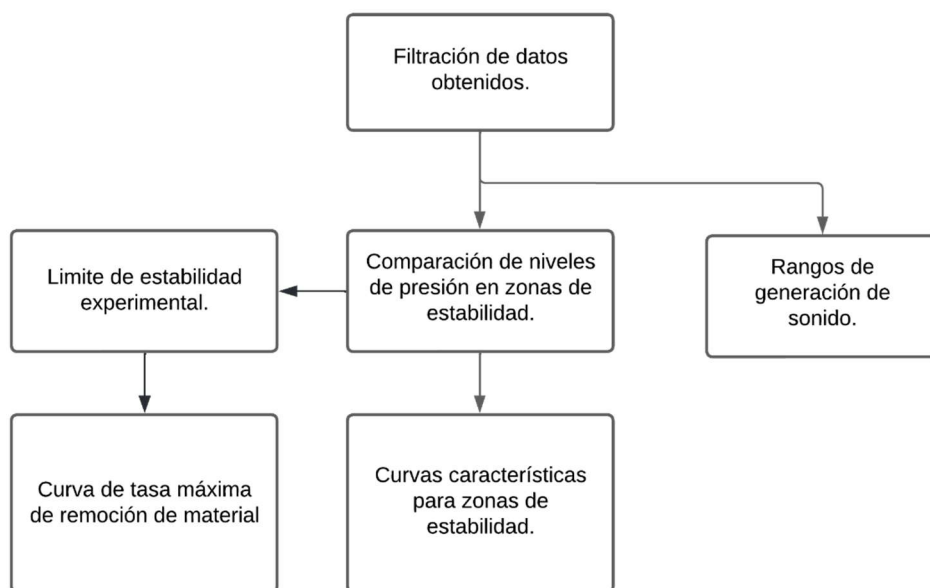
Las señales grabadas por parte de los instrumentos de medición y la tabulación de parámetros de corte fueron utilizados para el cálculo de la tasa máxima de remoción de material, utilizando las ecuaciones 1 y 2. Posteriormente se utilizó el software Audacity 3.7

para realizar el análisis de niveles de energía del proceso de corte y determinación de la profundidad de corte crítica para determinar las zonas de corte estable, con el cual se delimito el rango para la tasa máxima de remoción de material obteniendo así el MMRR, además, se realizó una diferencia en los niveles de presión sonora para la filtración de los datos y establecer así los rangos de frecuencia de generación de sonido del fresado del UHMW, Finalmente, utilizando únicamente los rangos de frecuencia en el cual los niveles de presión sonora del mecanizado son predominantes se establecen curvas característica de la diferencia de presión sonora para procesos de corte estables e inestables.

Teniendo así los outputs de la metodología, los cuales se observan al final de la cadena de flujo que se muestra en la figura 2.4

Figura 2.4

Etapas 4: Análisis y Postproceso.



Nota. Elaboración propia

3. Capitulo III

Esta sección presenta la metodología obtenida de la discusión de las cuatro etapas del capítulo 2, junto al análisis de los outputs de esta metodología ya aplicada para el proceso de fresado del UHMW en el centro del mecanizado Roland MDX40A.

Durante la experimentación, se aseguraron condiciones que cumplieran con normativas internacionales relacionadas con la medición acústica. Pues se cumplió con los requisitos de la ISO 3746:2010, la cual define los procedimientos para la medición del nivel de presión sonora en máquinas. Para garantizar datos representativos, se empleó un sonómetro con sensibilidad mínima de 30 dB(A) y un margen de medición de 30 a 130 dB(A), siguiendo la recomendación de la norma. Asimismo, las mediciones se realizaron a una distancia inferior a 1 metro de la fuente de sonido, asegurando la captación precisa de las emisiones acústicas generadas durante el mecanizado del UHMW. Además, se utilizó la ponderación dB(A) para evaluar el ruido perceptible por el oído humano, permitiendo identificar los niveles de energía sonora característicos de las zonas de estabilidad e inestabilidad.

El cumplimiento de estas normativas aseguró la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados obtenidos, proporcionando una base sólida para la determinación del límite de estabilidad del mecanizado del UHMW.

3.1 Metodología para detectar inestabilidad en el mecanizado del UHMW

La figura 3.1 y 3.2 muestran la metodología que se desarrolló para la detección de vibraciones autogeneradas y obtener curvas características de estabilidad e inestabilidad junto a las de la tasa de remoción de material, cumpliendo con los 5 criterios descritos en el capítulo anterior. Esta metodología fue llevada a cabo en la máquina herramienta seleccionada previamente, Roland MDX 40A.

Figura 3.1

Metodología para detectar inestabilidades en el fresado del UHMW. Parte 1.

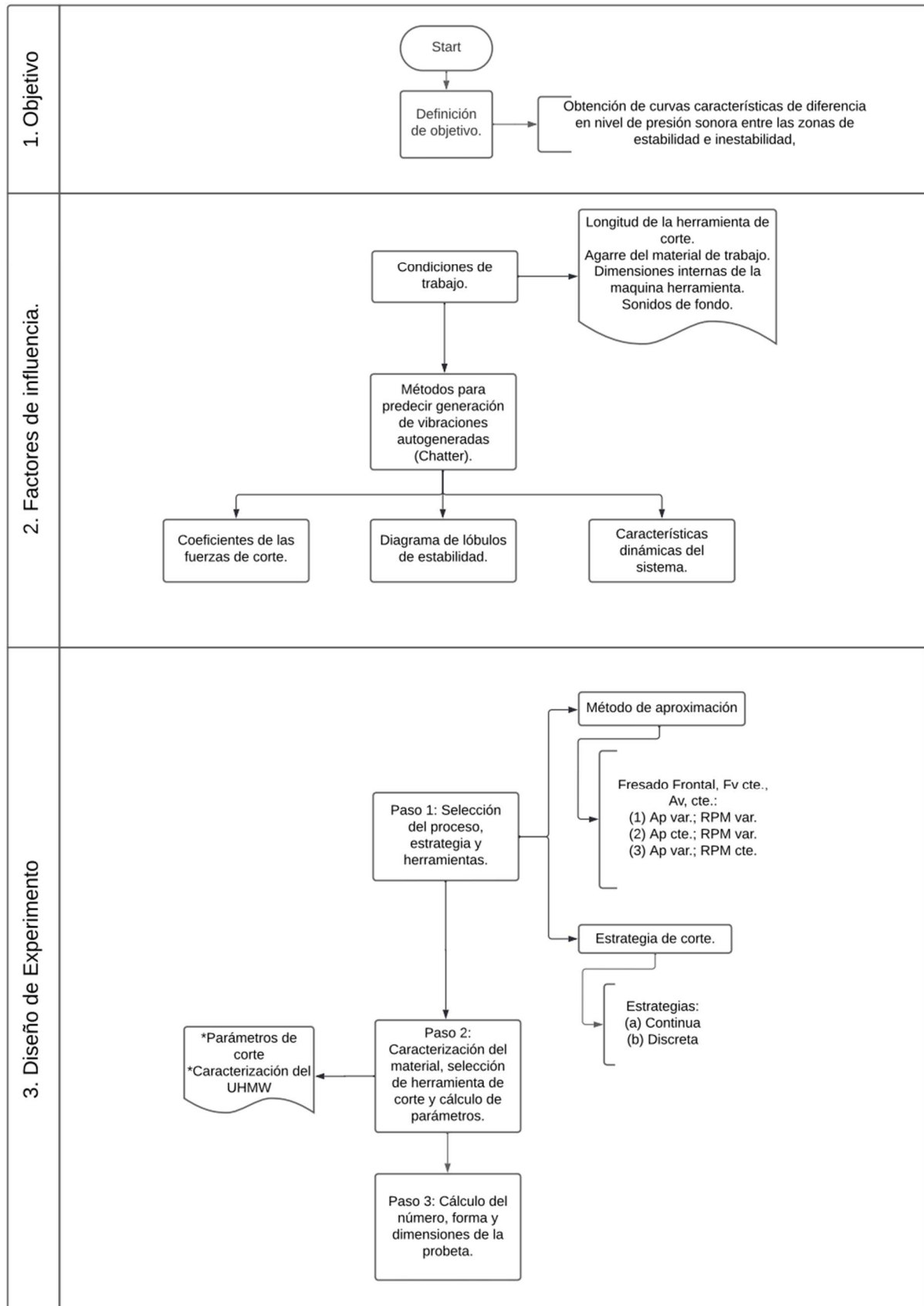
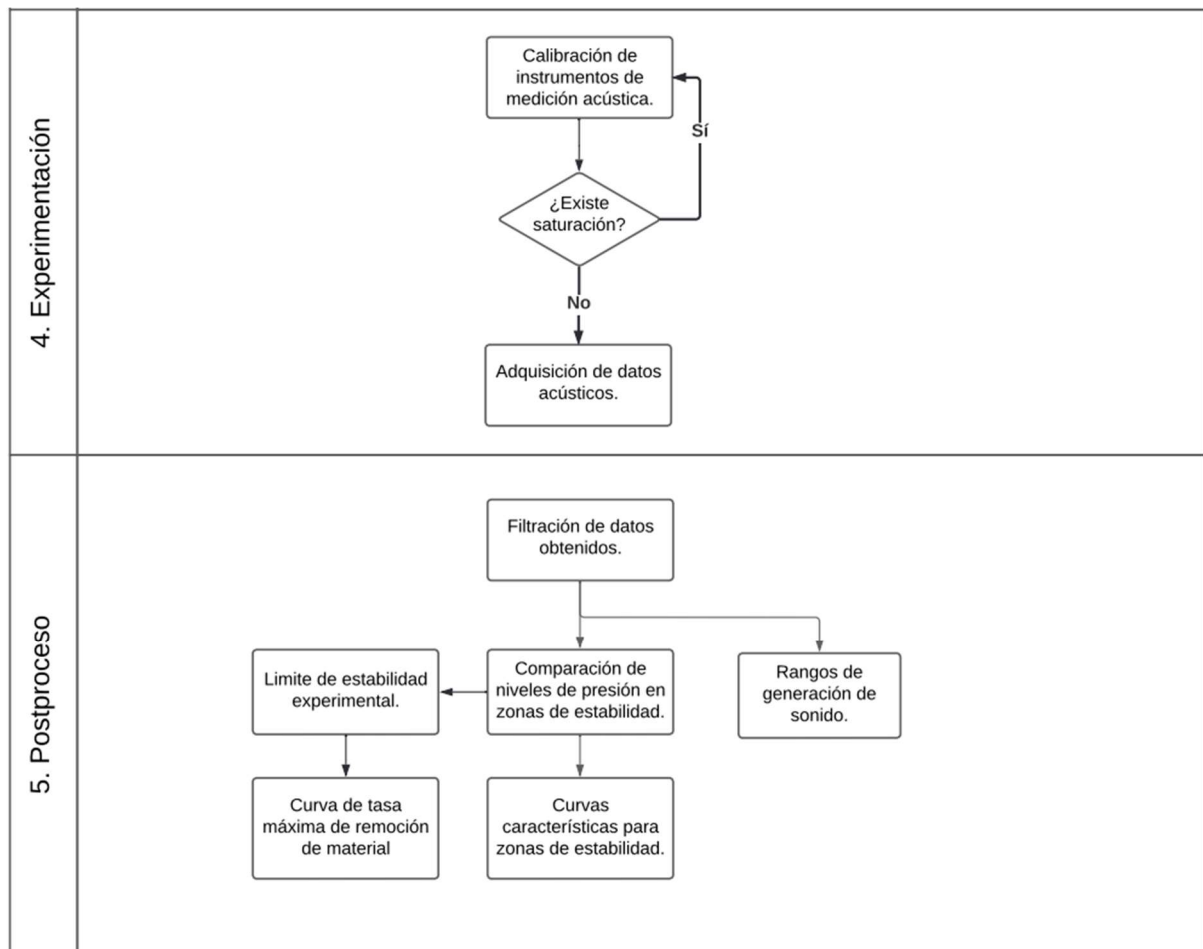


Figura 3.2

Metodología para detectar inestabilidades en el fresado del UHMW. Parte 2.



La metodología propuesta comienza definiendo el objetivo a cumplir, y continua con el análisis de los factores que podrían afectar directamente las variables de interés y el proceso esperado, en forma de que se puedan considerar para todas las siguientes etapas. Posteriormente, el diseño del experimento facilita la obtención y aislamiento de los datos acústicos que nos permiten conseguir el objetivo inicial, en la experimentación o recopilación de datos, es necesario que los instrumentos de medición estén correctamente calibrados y dentro de parámetros fiables y normados. Finalmente, se realiza un postproceso de los datos experimentales, mediciones acústicas realizadas y parámetros de los procesos de maquinado, con los cuales se puede obtener las curvas características para zonas estables e inestables, así como la curva de tasa máxima de remoción de material.

3.2 Rangos de frecuencia de generación de sonido

Los datos necesarios para la detección de zonas estables e inestables durante el mecanizado son la generación de niveles de presión sonora detectados con el sonómetro descrito en la metodología. En la sección de los apéndices de la parte B se pueden observar estos datos que se encuentran en dB (A) para cada profundidad de corte de acuerdo con cada velocidad de husillo. Estos valores permitieron obtener los rangos de generación de sonido al quitar el ruido de fondo del mecanizado en vacío, esta diferencia comprobó que el sonido del espectro audible del mecanizado cumpla con lo establecido en la tabla 1.1.

En el mapa de colores de la figura 3.3 existen 3 colores que indican si la diferencia de dB (A) se encuentra en alguna zona de interés. El color verde indica que existe un sonido audible al realizar la diferencia entre el sonido mecanizado con el ruido de fondo, en otras palabras, el ruido de fondo no afecta al sonido del mecanizado, mientras que en el color amarillo es indicio que no se puede identificar con claridad cuál es el sonido del mecanizado y el ruido de fondo por lo que habría que aplicar alguna ecuación que lleve los niveles de presión sonora a valores lineales para proceder con la diferencia entre ambos, lo cual no es factible para el estudio. El color naranja indica que el ruido de fondo se asemeja al del mecanizado, incluso puede llegar a ser superior. Comparando con la teoría de mecanismos de generación de sonido para el maquinado de metales, se puede aseverar que solo existe la generación de sonido por el proceso de deformación del material por esfuerzos cortantes en las frecuencias en las bandas desde 400 Hz hasta 6300 Hz

Figura 3.3

Mapa de colores para rangos de generación de sonido en el maquinado del UHMW.



Nota. Rangos de generación de sonido para el fresado a 14403 RPM.

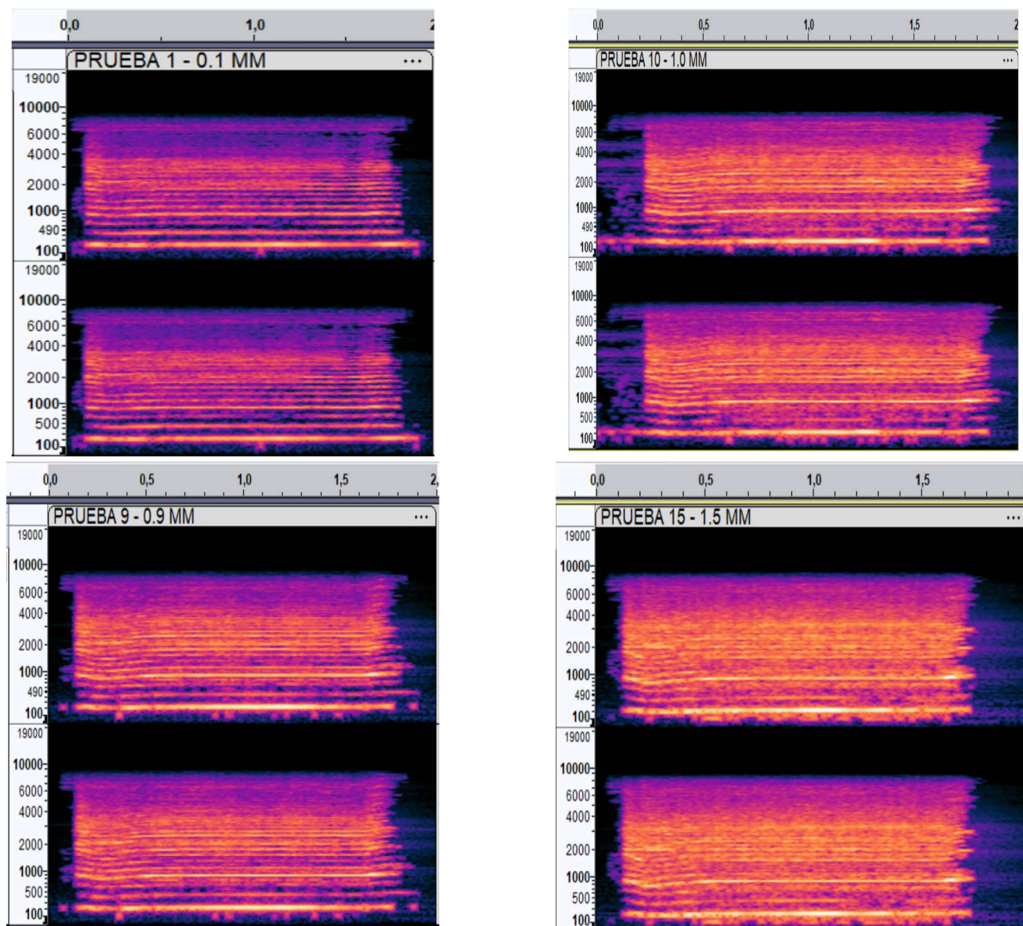
3.3 Niveles de energía

El análisis de niveles de energía por rangos de frecuencia en el dominio del tiempo para el mecanizado del UHMW permite identificar el límite entre las zonas estables e inestables, estableciendo dicho umbral en una profundidad de corte de 0.9 mm. En la figura 3.4, el eje vertical representa la frecuencia en Hz, abarcando un rango de 100 Hz a 19,000 Hz, mientras que el eje horizontal corresponde al tiempo de muestreo transcurrido durante la prueba. La escala de colores indica la intensidad del sonido, donde los tonos más oscuros representan vacíos, es decir, no existe liberación de energía y los tonos más brillantes representan emisión de niveles de energía altos.

En la prueba de 0.1 mm, se observa una baja intensidad sonora con espacios vacíos entre 200 Hz y 1000 Hz, lo que indica un mecanizado estable sin presencia de vibraciones autogeneradas. A medida que la profundidad de corte aumenta hasta los 0.9 mm, la intensidad sonora crece y aparecen niveles de energía en frecuencias donde en sonidos estables no existían, señalando el punto de transición hacia la inestabilidad. En las pruebas de 1.0 mm y 1.5 mm, la intensidad del sonido continúa incrementándose abarcando todos los rangos de frecuencia, lo que confirma un régimen completamente inestable caracterizado por vibraciones excesivas, emisión de energía acústica y potencial desgaste de la herramienta. Por lo tanto, se recomienda mantener la profundidad de corte en un máximo de 0.9 mm para garantizar un mecanizado eficiente y evitar defectos en la pieza.

Figura 3.4

Niveles de energía acústica para 14403 RPM.



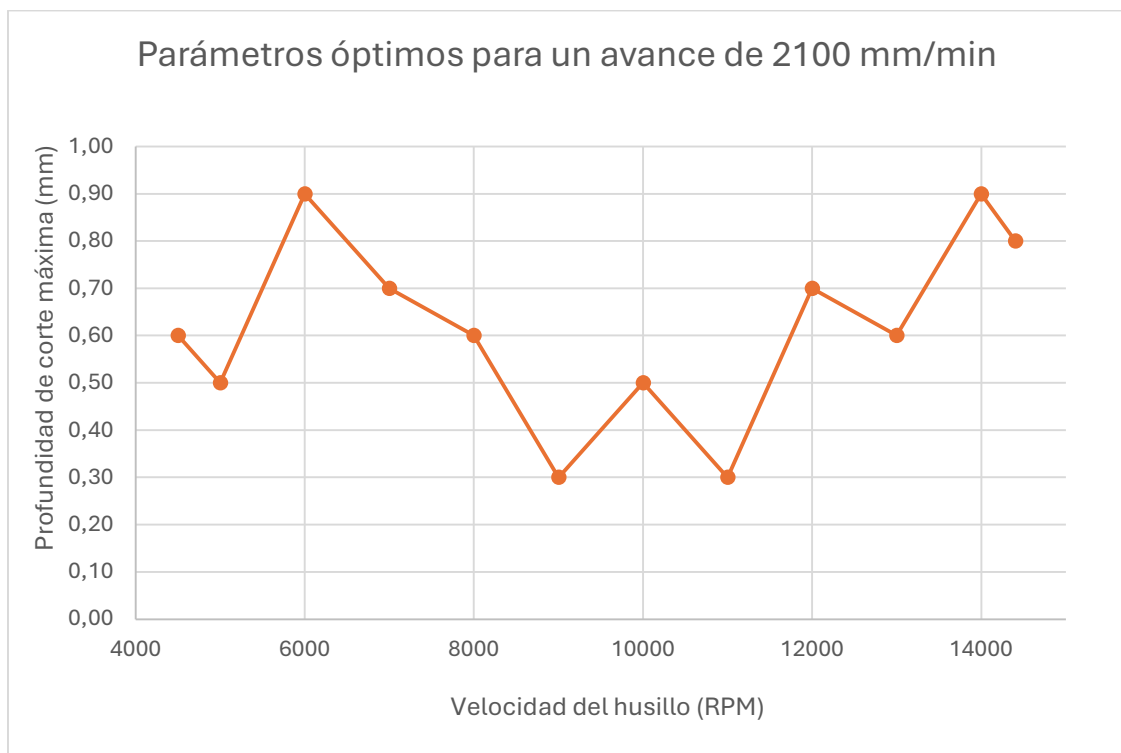
Nota. Profundidad de corte crítica a 0.9 mm a 2100 mm/min de velocidad de avance.

3.4 Curvas características de estabilidad e inestabilidad

Al conocer el límite de estabilidad para cada velocidad de husillo, se tabularon los datos obtenidos de los experimentos y se obtuvo un rango de parámetros óptimos para el fresado del UHMW con un avance de 2100 milímetros por minuto, rangos que se pueden observar en la figura 3.5.

Figura 3.5

Parámetros óptimos para el fresado frontal del UHMW a 2100 mm/min.



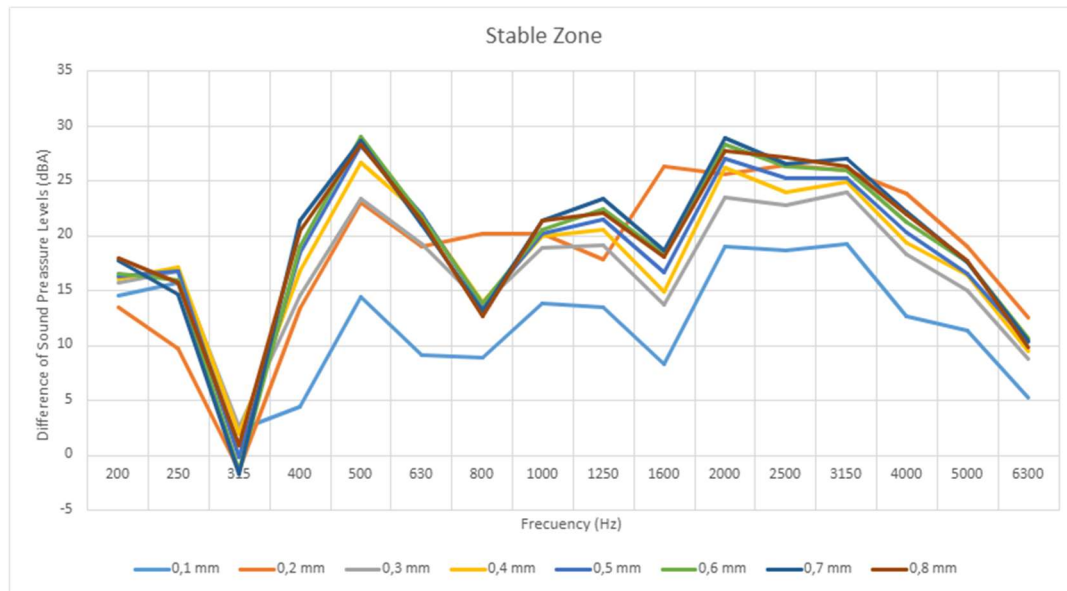
Nota. Elaboración propia.

Con estos rangos se procedió a separar los niveles de presión de sonora para ambas zonas, lo cual produjo que estas tomaran distintas tendencias entre ellas. En la figura 3.6 sección a) se observan las curvas de generación de sonido de la zona estable a diferentes profundidades de corte, eje de las abscisas, y niveles de presión sonora, eje de las ordenadas. Estas curvas siguen una tendencia, pero se encuentran dispersas entre ellas, contrario a lo que se esperaba, a diferencia de la sección b) para la zona inestable estas no solo siguen una

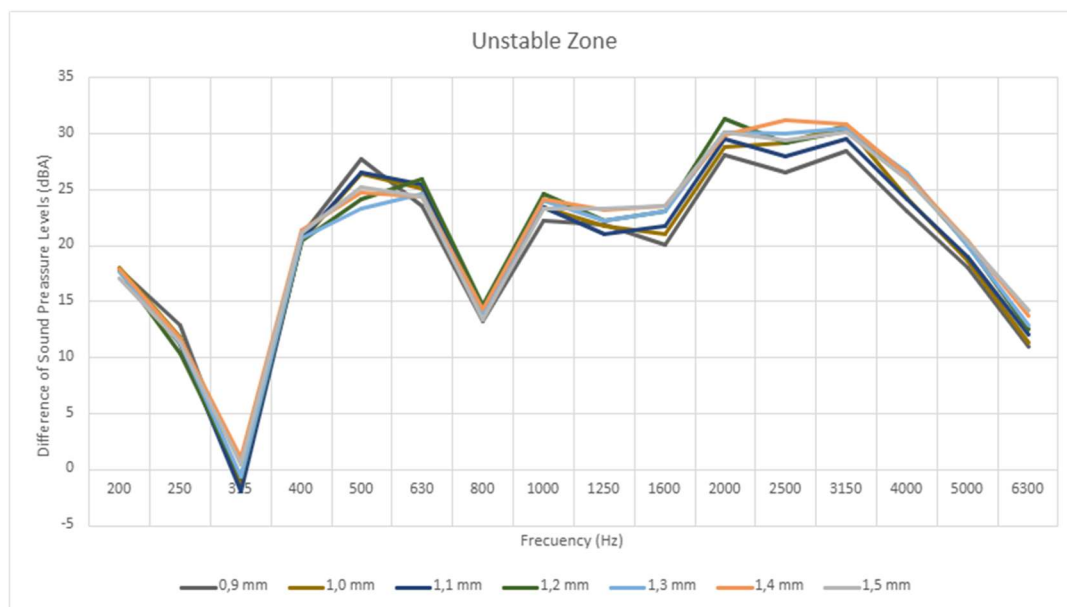
tendencia, sino que en algunos puntos la generación de sonido entre una profundidad de corte y otra son imperceptibles a las diferencias.

Figura 3.6

a) Curvas características para zontas estables.



b) Curvas características para zonas inestables.



Nota. Curvas características para zonas de estabilidad a 14403 RPM

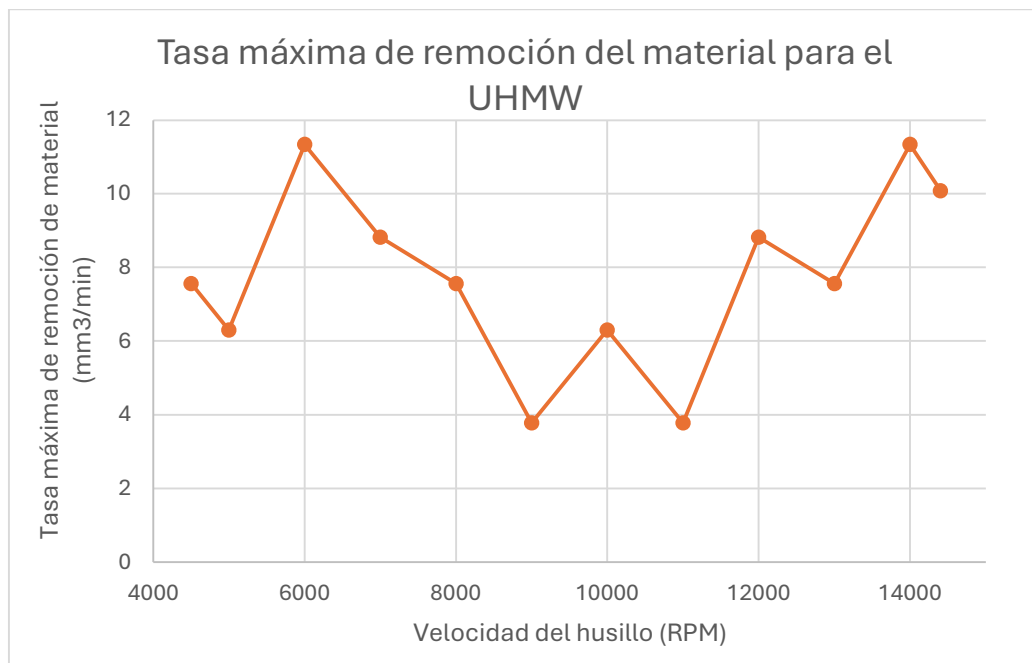
3.5 Curva de la tasa máxima de remoción del material

La curva de la tasa máxima de remoción del material se pudo determinar al conocer la profundidad de corte límite para un mecanizado estable, dado que la tasa depende de los parámetros de corte de la ecuación 3, cuando se conoce la profundidad límite y se establece la velocidad del husillo para un avance de 2100 mm/min se tiene diferentes valores de acuerdo con la profundidad de corte crítica.

Por otra parte, a pesar de tener diferentes valores de la tasa de remoción de material para cada velocidad de husillo y profundidad de corte, existen dos profundidades de corte que maximizan esta tasa, por consiguiente, optimizan el proceso de remoción de material, como se muestra en la figura 3.7 la tasa máxima de remoción del material para las velocidades de husillo que se puede realizar para la máquina herramienta seleccionada en el capítulo 2.

Figura 3.7

Tasa máxima de remoción de material para el UHMW.



Nota. Elaboración propia

La tasa máxima de remoción de material ocurre en 2 puntos, a 6000 RPM y a 14000 RPM, por lo que, si observamos la tabla 3.1, muestra los valores del MMRR de forma cuantificada para cada velocidad de husillo junto con la profundidad límite del proceso para el UHMW, lo que facilita al operador conocer cuánta profundidad puede tener sin comprometer al acabado o perder estabilidad en el proceso. En este caso la profundidad de corte máxima a la que se puede llegar es 0,9 mm con un avance fijo de 2100 m/min.

Tabla 3.1

Tasa máxima de remoción de material para el fresado del UHMW.

Velocidad del husillo [RPM]	Profundidad de corte [mm]	MMRR [mm ³ /min]
14403	0,80	10,08
14000	0,90	11,34
13000	0,60	7,56
12000	0,70	8,82
11000	0,30	3,78
10000	0,50	6,30
9000	0,30	3,78
8000	0,60	7,56
7000	0,70	8,82
6000	0,90	11,34
5000	0,50	6,30
4500	0,60	7,56

4. Capitulo IV

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

- La estabilidad en el proceso de corte es esencial para optimizar la tasa de remoción de material, reducir costos y mejorar la calidad del mecanizado. En este estudio, se identificó que los diagramas de lóbulos de estabilidad son el método más adecuado para predecir inestabilidad, ya que permiten correlacionar directamente los parámetros de corte con la generación de vibraciones autogeneradas.
- Se diseñó y validó un procedimiento experimental basado en análisis acústico, logrando medir y caracterizar los niveles de presión sonora generados en el mecanizado del UHMW. Esto permitió establecer una base de datos de emisiones acústicas para futuras optimizaciones de los procesos corte y monitoreo de las máquinas herramientas.
- Se determinaron los rangos de generación de sonido característicos del mecanizado del UHMW, encontrando que las vibraciones autogeneradas se detectan con mayor precisión en las frecuencias bajas, donde son más perceptibles al oído humano y más fáciles de aislar del ruido de fondo.
- Mediante el análisis de niveles de energía en el dominio del tiempo, se estableció que el aumento de la profundidad de corte a una velocidad de husillo constante incrementa la intensidad sonora. Además, se observó la aparición de frecuencias adicionales al alcanzar una profundidad de corte crítica, lo que permitió definir un límite de estabilidad específico para cada velocidad de giro del husillo.
- Las curvas características para las zonas de estabilidad e inestabilidad mostró que, en zonas estables, los niveles de presión sonora varían significativamente entre profundidades de corte, mientras que, en zonas inestables, las diferencias son imperceptibles, indicando que los mecanismos de generación de vibraciones

autogeneradas opacan los mecanismos de generación de sonido por el proceso de corte.

- Se obtuvo la curva de la tasa máxima de remoción de material (MMRR), la cual permitió identificar los parámetros óptimos de corte para el UHMW. Se determinó que la máxima tasa de remoción de material alcanzable es de 11,34 mm³/min, mientras que la mínima es de 3,78 mm³/min, proporcionando una guía para operadores sobre la eficiencia de sus procesos.
- Finalmente, se identificaron dos velocidades óptimas de husillo para maximizar la tasa de remoción sin comprometer la estabilidad del mecanizado: 14000 y 6000 RPM, con una profundidad máxima de 0,90 mm. Estos parámetros aseguran un equilibrio entre productividad y calidad del acabado superficial.

4.1.2 Recomendaciones

- Si bien, realizar un proceso de análisis de lóbulos de estabilidad requiere muchos recursos de instrumentación, matemáticos y computacionales, obtener el modelo matemático para el proceso enriquecería el desarrollo de la metodología, pues permitiría un análisis transversal entre el modelo analítico y la identificación del aumento de energía acústica a partir de la profundidad de corte crítica.
- Mejorar la caracterización dinámica de la estabilidad de la herramienta de corte mediante un análisis de la función de respuesta rápida permitiría correlacionar con mayor precisión las emisiones acústicas con las condiciones de corte y mejorar la predicción de las profundidades de corte críticas para la inestabilidad.
- Explorar variaciones en la configuración del sistema y la instrumentación de medición, como el tipo y posición del micrófono o la sensibilidad del sonómetro, para

corroborar la replicabilidad del experimento y minimizar la influencia de factores externos.

- Investigar el impacto de diferentes tipos de sujeción en la generación de vibraciones y su efecto en las emisiones acústicas. Aunque en este estudio se mantuvo constante la fijación, modificarla podría ofrecer información adicional sobre su influencia en la estabilidad del proceso.
- Ampliar el estudio a otros materiales con buena maquinabilidad, como otros polímeros termoplásticos, metales blandos o compuestos, con el fin de construir una base de datos robusta para futuras aplicaciones en la automatización del diagnóstico de inestabilidad en procesos de mecanizado.
- Desarrollar un sistema automatizado de detección de inestabilidad, integrando software de análisis de audio en tiempo real para que los operadores puedan monitorear la estabilidad del mecanizado y ajustar parámetros de corte de forma dinámica.

Referencias

- Altintas, Y. (2012). *Manufacturing Automation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Altintas, Y., & Budak, E. (1995). Analytical Prediction of Stability Lobes in Milling,. *CIRP Annals* (págs. 357-362). CIRP.
- Altintas, Y., & Budak, E. (1998). Analytical Prediction of Chatter Stability in Milling - Part 1: General Formulation. *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control*.
doi:10.1115/1.2801317
- Bach, P. (2003). Milling machine tool stability and performance. *Transactions on Engineering Sciences*, 44, 1743-1753.
- Bai, L., Cheng, X., Yang, Q., & Xu, J. (2023). Predictive model of surface roughness in milling of 7075Al Based on Chatter stability analysis and back propagation neural network. *The international Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1347-1361.
- Ballou, G. (2008). *Handbook for Sound Engineers*. Oxford: Elsevier Inc.
- Bhuiyam, M., & Choudhury, I. (2014). 13.22 - Review of Sensor Applications in Tool Condition Monitoring in Machining. *Comprehensive Materials Processing*, 539-569.
- Bo, L., Chang, L., Xinli, Y., Yang, Z., & Daohai, W. (2022). Prediction, detection, and suppression of regenerative chatter in milling. *Advances in Mechanical Engineering*, 14, 1-26. doi:16878132221129746
- Brecher, C., Chavan, P., & Epple, A. (2018). Efficient determination of stability lobe diagrams by in-process varying of spindle speed and cutting depth. *Advances in manufacturing*, 6(3). doi:s40436-018-0225-x
- CAST NYLONS LIMITED. (2021). Guía de maquinado. Willoughby, Ohio, USA.

- Denkena, B., Bergmann, B., & Reimer, S. (2019). Analysis of different machine learning algorithms to learn stability lobe diagrams. *13th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering*. Gulf of Naples.
- Dohner, J., Lauffer, J., Hinnerichs, T., Shankar, N., & Regelbrugge, M. (2001). *Mitigation of Chatter Instabilities in Milling by Active Structural Control*. Albuquerque: Sandia National Laboratories.
- Gao, J., Song, Q., & Liu, Z. (2018). Chatter detection and stability region acquisition in thin-walled workpiece milling based on CMWT. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 98, 699-713.
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. México, D.F: McGraw-Hill Interamericana.
- International Organization for Standardization. (2021). SO 3746:2010 - Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure — Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane. 3. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/52053.html>
- Kalpakjian, S., Schmid, S., & Vijay, K. (2023). *Manufacturing Engineering and Technology*. Pearson.
- Lamraoui, M., Thomas, M., El Badaoui, M., & Girandin, F. (2014). Indicators for monitoring chatter in milling based on instantaneous angular speeds. . *Mechanical Systems and Signal Processing*, 72-85.
- Li, J., Li, B., Shen, N., Qian, H., & Guo, Z. (2016). Effect of the cutter path and the workpiece clamping position on the stability of the robotic milling system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89, 2019-2033.
- Maldonado, F., de Albuquerque, M., Antonialli, A., Pederiva, R., & Diniz, A. (2020). Design and experimental evaluation of an impact damper to be used in a slender end mill tool

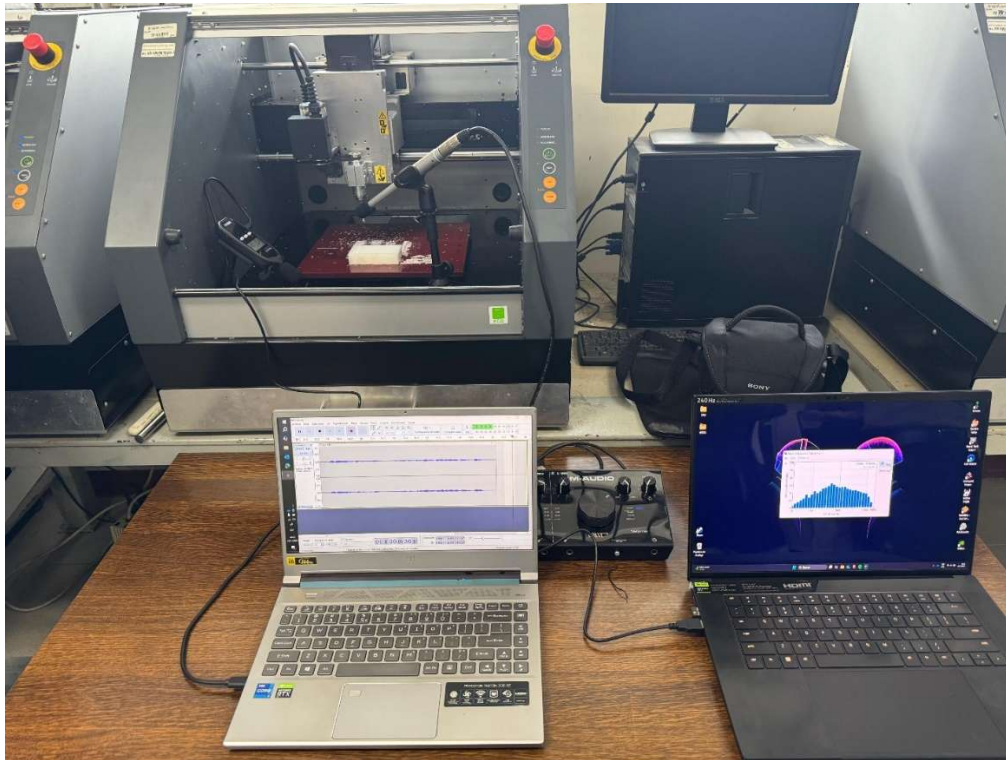
- in the machining of hardened steel. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106(5-6), 2553-2567.
- Nourizadeh, R., Mehdi, S., Zareinejad, M., & Adibi, H. (2022). Comprehensive investigation on sound generation mechanisms during machining for monitoring purpose. *The international Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 121, 1589-1610.
doi:s00170-022-09333-7
- Qiu, J., & Ge, R. (2018). An improved stability lobe and turning chatter characteristic investigation. *International Journal of Mechanical Sciences*, 338-348.
- Santos, R. (2021). Estudio de estrategias de mecanizado para fresado CNC de vaciados en Duralón. *Tesis de grado*. Guayaquil: Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, ESPOL .
- Slouf, M., Arevalo, S., Vlkova, H., Gajdosova, V., Kralik, V., & Pruitt, L. (2021). Comparison of macro-, micro- and nanomechanical properties of clinically-relevant UHMWPE formulations. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 120, 104205. Obtenido de
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751616120307475>
- SoftdB. (Mayo de 2023). Piccolo II: Integrating Averaging Sound Level Meter. . Quebec, Canada: SoftdB.
- Studený, Z., Dobrocký, D., Vilis, J., & Adam, J. (2022). Overview of tribological properties of UHMW polyethylene under rotation. *Journal of Physics: Conference Series*. Brno, Czechia: PURPOSE-LED PUBLISHING.
- SUYSOLIND. (31 de Octubre de 2023). *Polietileno - HDPE y UHMW*. Recuperado el 19 de Enero de 2025, de Suministros y Soluciones Industriales:
<https://suysolind.com/polietileno-hdpe-y-uhmw/>

- Thusty, J., & G.C, A. (1983). A Critical Review of Sensors for Unmanned Machining,. *CIRP Annals*, 32(2), 563-572.
- Thusty, J., & Polacek, M. (1957). Beispiele der behandlung der selbsterregten Schwingung der Werkzeugmaschinen. *Hanser Verlag*, 47.
- Tobias, S., & Fishwick, W. (1958). Theory of regenerative machine tool chatter. *The engineer*, 205(7), 199-203.

5. Apéndice A: Set Up del Experimento

Apéndice A.1

Configuración para toma de datos experimentales.



Apéndice A.2:

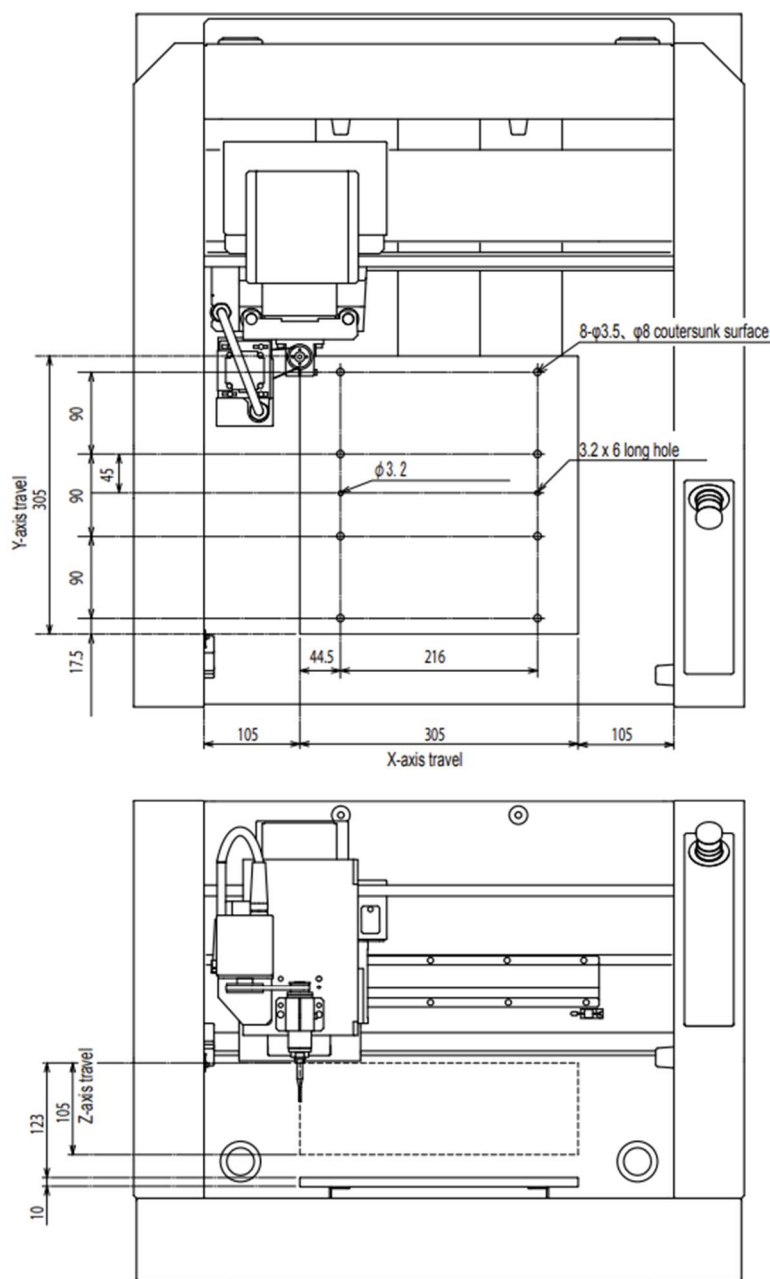
Características de interés Roland MDX40A.

Característica	Medida	Unidades	Notas
Velocidad de giro del husillo	4500-15000	RPM	
Ruido de operación	56	dB (A)	Trabajando
	42	dB (A)	Encendida.
Principales dimensiones.	669 x 760 x 554	mm	Ancho x profundidad x altura

Apéndice A.3:

Dimensiones del centro de mecanizado Roland MDX40A

Unit: mm



Apéndice A.4:

Características sonómetro Piccolo.



Característica	Medida	Unidades	Notas
Resolución	0.1	dB	
Sensibilidad Nominal del Micrófono	-35 ± 3	dB	Ref 1 V/Pa
Total Noise Level	30-40	dB (A)	
1/3 de octava espectro.	20 - 160000	Hz	

Apéndice A.5:

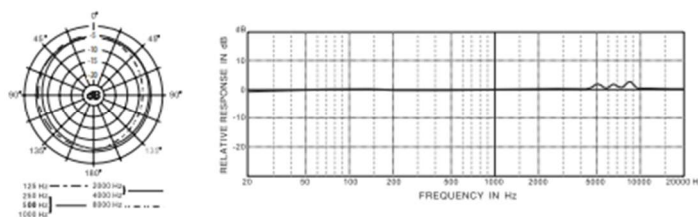
Características micrófono:

Ultra-Linear Measurement Condenser Microphone



FEATURES

- Ultra-linear condenser microphone for measurement and recording application
- Perfectly suited for room equalization application plus high-resolution studio recording and live applications
- Exceptionally flat frequency response and ultra-high sound resolution
- Evenly weighted, true omnidirectional pattern
- Works with phantom power from +15 to +48 V
- Perfect for use with the BEHRINGER ULTRACURVE or any other analyzer
- Ultra-low noise transformerless FET input eliminates low-frequency distortion
- Gold-plated 3-pin XLR connector for highest signal integrity
- Swivel stand mount and transport case included
- High-quality components and exceptionally rugged construction ensure long life
- Conceived and designed by BEHRINGER Germany



SPECIFICATIONS

Type	electr. condenser
Polar Pattern	omnidirectional
Impedance	200 Ohms
Sensitivity	70 dB
Freq. Response	20-20000 Hz
Connector	gold-plated XLR
Phantom Power	+15 to +48 V
Weight	136 g

BEHRINGER is constantly striving to maintain the highest professional standards. As a result of these efforts, modifications may be made from time to time to existing products without prior notice. Specifications and appearance may differ from those listed or illustrated.

6. Apéndice B: Niveles de Presión Sonora

6.1 Apéndice B.1:

Niveles de presión sonora a 4500 RPM.

Hz\mm	RF	1	2	3	4	5	6	7	8
dBA/mm	Ruido de Fondo	0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm
Global	70,8	85	86,2	85,2	85,3	85	85,1	85,5	80
20	-6,8	-4,8	-2,7	-0,4	-3	-3,7	-4,8	-2,4	-9,4
25	2,2	11,1	14,5	12,3	8	6,3	8,5	12,2	12,8
31,5	9,3	23,5	23,7	23,3	15,6	16,2	17,2	17,4	28,8
40	17	21	22,8	21,7	18,3	12,9	20,5	21,5	16,7
50	13,4	27,2	23,9	29,8	31,3	24,6	31,3	34,5	20,1
63	36,4	49,6	49,2	49,6	47,9	48,6	48,9	47,6	34,8
80	45	61	62,6	62,4	61	59,6	58,8	60,7	53,7
100	32	49,9	51,6	53,6	56,9	59	52,7	63,8	56,9
125	30,9	45,5	48,3	48,3	50,2	51,8	52,4	54,7	51,2
160	33,8	52,7	55,9	53,3	57,9	58,9	59,6	59,2	44,1
200	32,9	52,6	54,7	57,3	58,1	60,3	59,9	59,2	51,7
250	42,7	60,1	60,4	61,3	63,7	64,3	65,6	67,5	63,5
315	46,7	64	64,7	66,2	64,9	65,4	67,5	68,8	61,7
400	49,1	64,3	67,1	69,1	67,5	66,5	68,9	70,9	65
500	54,7	64,6	67,6	67,9	68,5	68,6	70	72,9	69,1
630	42,7	59,5	59,5	60,6	61,9	62,2	64,9	66,6	63,1
800	54,7	65	65,1	65,5	65,2	65,8	67,6	68,6	66,4
1000	55,2	71,6	73,5	72,8	73,5	73,9	75,4	76,6	69,5
1250	54,9	72,6	73,7	73,2	73,3	74	75,1	75,4	70,1
1600	58,3	70,6	71,7	71	69,8	70,6	74,3	75	74,7
2000	57,7	78,4	79,5	79	79,5	79,3	79	79	70,6
2500	52,3	77,1	78	77,7	76,2	76,2	76,2	76,2	68,3
3150	51	80	81,5	79,3	79,8	78,6	76,8	75,6	66,1
4000	51,3	72,3	73,3	71,7	72,2	72	71,4	71	63
5000	53,1	66,6	66,4	65,8	65,3	65	64,9	64,8	56,4
6300	57,7	65,2	65,9	65,8	65,3	64,8	65	64,8	58,9
8000	67,3	70,2	72,3	70,6	71,7	69,6	68,4	69,2	61,7
10000	64,5	66,2	68	66,7	67,5	66,5	66,8	66,8	62,6
12500	55,6	57,2	57,6	57,6	57,5	57	57,2	57,6	55
16000	44,4	44,7	43,4	43,8	43,1	43,8	42,4	43,4	43,4

6.2 Apéndice B.2:

Niveles de presión sonora a 5000 RPM.

Hz\mm	RF	1	2	3	4	5	6	7	8
dBA/mm	Ruido de Fondo	0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm
Global	70,8	85	86,2	85,2	85,3	85	85,1	85,5	80
20	-6,8	-4,8	-2,7	-0,4	-3	-3,7	-4,8	-2,4	-9,4
25	2,2	11,1	14,5	12,3	8	6,3	8,5	12,2	12,8
31,5	9,3	23,5	23,7	23,3	15,6	16,2	17,2	17,4	28,8
40	17	21	22,8	21,7	18,3	12,9	20,5	21,5	16,7
50	13,4	27,2	23,9	29,8	31,3	24,6	31,3	34,5	20,1
63	36,4	49,6	49,2	49,6	47,9	48,6	48,9	47,6	34,8
80	45	61	62,6	62,4	61	59,6	58,8	60,7	53,7
100	32	49,9	51,6	53,6	56,9	59	52,7	63,8	56,9
125	30,9	45,5	48,3	48,3	50,2	51,8	52,4	54,7	51,2
160	33,8	52,7	55,9	53,3	57,9	58,9	59,6	59,2	44,1
200	32,9	52,6	54,7	57,3	58,1	60,3	59,9	59,2	51,7
250	42,7	60,1	60,4	61,3	63,7	64,3	65,6	67,5	63,5
315	46,7	64	64,7	66,2	64,9	65,4	67,5	68,8	61,7
400	49,1	64,3	67,1	69,1	67,5	66,5	68,9	70,9	65
500	54,7	64,6	67,6	67,9	68,5	68,6	70	72,9	69,1
630	42,7	59,5	59,5	60,6	61,9	62,2	64,9	66,6	63,1
800	54,7	65	65,1	65,5	65,2	65,8	67,6	68,6	66,4
1000	55,2	71,6	73,5	72,8	73,5	73,9	75,4	76,6	69,5
1250	54,9	72,6	73,7	73,2	73,3	74	75,1	75,4	70,1
1600	58,3	70,6	71,7	71	69,8	70,6	74,3	75	74,7
2000	57,7	78,4	79,5	79	79,5	79,3	79	79	70,6
2500	52,3	77,1	78	77,7	76,2	76,2	76,2	76,2	68,3
3150	51	80	81,5	79,3	79,8	78,6	76,8	75,6	66,1
4000	51,3	72,3	73,3	71,7	72,2	72	71,4	71	63
5000	53,1	66,6	66,4	65,8	65,3	65	64,9	64,8	56,4
6300	57,7	65,2	65,9	65,8	65,3	64,8	65	64,8	58,9
8000	67,3	70,2	72,3	70,6	71,7	69,6	68,4	69,2	61,7
10000	64,5	66,2	68	66,7	67,5	66,5	66,8	66,8	62,6
12500	55,6	57,2	57,6	57,6	57,5	57	57,2	57,6	55
16000	44,4	44,7	43,4	43,8	43,1	43,8	42,4	43,4	43,4

6.3 Apéndice B.3:

Niveles de presión sonora a 6000 RPM.

Hz\mm	RF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
dBA/mm	Ruido de For	0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm
Global	69	79,4	78,9	80,9	86,3	81,1	82,1	81,7	83,1	83,6	84,8	85,2	84,9	85,9	81,7
20	-6,7	0,7	-1,6	-2,4	-2,8	-0,9	-1,6	-1	-1,2	-0,5	-0,7	-0,6	1,2	0,2	3,5
25	7	6	3,3	3,8	2,5	6,5	5,4	6,2	6,4	7,2	7,3	7,5	7,8	7,8	17,4
31,5	6,4	16	10,8	8,1	13,6	13,2	10,7	10,2	11,2	14,2	12,5	12,8	12,1	13,9	21,2
40	8,1	13,7	9,6	9	10,3	9,5	8,7	8,2	8,7	11,1	10,8	11,2	9,3	14,2	17,1
50	16,9	20,6	16,6	16,1	21,1	17,6	16,2	16,6	16,3	19	17,4	17,2	19	18,8	24,3
63	29,8	31,9	37,9	35,2	36,8	36,2	37,2	36,5	36,6	36,5	35,7	36,4	36,5	35,9	38,1
80	37,8	45,7	34,2	35	38,8	35,1	32,7	33,5	34	36,5	37,8	36,5	39,1	40,6	49,5
100	47,3	63,7	42,8	42,9	46,2	44,4	43,5	46,5	48,5	54,6	56,6	56,9	57,2	57,8	65,2
125	29,8	43,3	55,1	56,7	60,3	55,8	55,2	54,9	54,6	54,5	55,5	55,2	55,5	55,5	54,7
160	32,6	40,4	41,5	43,3	46,2	41,7	43,5	41,1	40,5	41,8	43,1	43,6	44,7	49,5	48,4
200	32,5	48,2	39,5	39,7	38,8	42,2	43,4	44,2	46,1	46,6	45,7	45,1	46	46,6	46,2
250	42,2	53,5	55,2	56,3	60,1	56,9	59,9	58,9	59,4	59,2	59,1	58,4	57,3	60,1	56,2
315	46,9	58,4	50,6	51,2	54,5	52,4	56,6	54,4	53,1	53,4	55,1	55,4	56,7	58,3	58,9
400	48,2	65,1	61,4	63,9	68,6	64,7	65,4	63,4	64	64,9	65	64,3	63,8	65,4	67,6
500	47	65,6	61,2	63,6	64,3	65,1	67,4	68,6	67,8	69,6	71,3	70,9	70,9	72,2	71,4
630	46	58,6	53,7	55,3	60,5	56,8	60	60,4	60,9	61,7	62,7	62,5	64,1	66	62,8
800	54	61,5	57,8	59,5	61,9	60,4	62,2	63	62,8	63,3	64	63,8	64,8	65,5	65,3
1000	55,3	71,5	71,9	74,1	80,4	75,9	75,2	74,9	75,2	76,8	80	80,9	79,4	81	74,9
1250	55,6	68,7	66,9	68,1	75,2	69,7	72	69,3	70,8	73,1	74,3	73,8	74,1	75,7	71,8
1600	57,8	68	67,7	69,6	74,6	68,5	70,2	69,2	72	71	71,5	73,4	72,8	73	70,2
2000	57,6	71,9	72,6	74,9	80,1	74,3	74,7	74,7	76,4	76,5	76,5	76,3	77,5	77,5	72,3
2500	54,6	70,1	70,5	73,1	78,2	72,5	74,6	74,5	76,7	76,7	76,3	77,2	77,2	78,3	73,4
3150	54,3	70,4	70	71,2	77,5	71,1	72,9	72,7	74,3	74,3	75,1	75,2	74,5	75,2	70,2
4000	52,2	63	63,2	64,8	69,7	64,7	66,7	65,6	68,4	67,4	68,7	68,9	69,3	69,7	66
5000	54,4	62,3	60	60,5	64,5	60,5	62,4	61,6	63,8	63,8	65,3	65,1	65,6	65,9	62,7
6300	59,9	63,1	59,9	60,2	62,4	60,2	61,5	61	62,3	62	62,9	62,3	62,7	62,9	62,4
8000	63,1	66,2	64,7	65,3	64,6	64,6	65	65	65,8	65,6	66,3	65,7	65,7	65,8	66,2
10000	61,5	63,9	62,9	63,2	63,9	62,6	63,3	63,2	63,7	63,7	64,7	64	64,1	64,7	64,1
12500	55,2	57,4	57,6	57,8	57	57,3	58,1	57,9	58,2	58,3	59,1	58,4	58,5	59,2	58,2
16000	43,2	42,7	42,8	42,5	43,6	42,4	42,5	42,8	42,6	42,8	43	42,8	42,9	43,2	42,8

6.4 Apéndice B.4:

Niveles de presión sonora a 7000 RPM.

Hz\mm	RF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
dBA/mm	Ruido de F	0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm
Global	68,6	78,3	78,6	79,9	83,1	80,9	80,9	81,4	81,9	82,5	82,9	83,6	83,9	83,8	80,2
20	-6,9	-1,2	2,4	-0,6	-0,5	-0,5	-1,5	-0,9	-1,1	-0,9	-1	-0,3	0,2	0,9	2,7
25	5,2	8,4	8,4	7,7	8	9,1	5,7	6,4	11,5	8,4	6,5	8,8	10,7	9,5	13,5
31,5	6	14,7	15,7	11,6	14,7	14,6	11,4	10,4	12,9	13,2	8	11,4	11,7	12,5	19,2
40	6,6	11,2	11,1	9,1	11,6	8,3	8,6	9,7	19,7	10,5	9,6	15,9	14,9	10,7	16,8
50	24,7	27,6	28	28,3	28,6	28	27,1	27,3	26,7	27,5	27,9	27,4	27,1	27,6	28,6
63	35,8	39,2	39,4	39,8	40,3	39,4	38,5	38,4	37,9	38,9	39	38,6	38,1	38,7	39,5
80	36,1	38,2	35,6	34,2	37,4	37,2	36,4	37,3	38,3	40,9	39,5	41,9	43,7	41,9	47,1
100	46,5	58,5	53,4	57,5	60,3	59	58,9	57,6	57,4	57,9	57,1	56,5	55,8	56,3	55,3
125	44	54,6	56,3	56,3	58,4	56,8	57,6	56,9	56,6	58,1	56,5	56,6	56,2	57,1	51,6
160	31,9	37,6	38,4	37,4	37,7	37,9	36,5	36,9	37	39,7	39,7	44,2	47,7	49,3	52,2
200	31,7	51,8	51,2	53,6	53,3	51,3	51,5	50,9	51,6	53,5	53	52,7	53,7	56,2	47,9
250	41,3	60,4	56,3	59,9	59,1	57,5	58,8	58,5	59	60,9	60,2	60,2	61,3	63,5	56,7
315	50,2	55,9	54,3	54,1	55,7	56,7	57	58,7	56,5	57	56,4	56,6	58,9	60,3	60,2
400	50,9	59,9	58,1	58,8	60,6	60,4	60,6	60,7	61,1	62,2	61,9	62,9	63,3	63,2	68,1
500	46,7	59,7	59,2	62	64,3	63,7	63,3	64	64,7	65,8	66,3	66,6	66,3	65,3	64,5
630	45,5	55,2	54,5	56,2	57,3	56,2	57,8	58,9	61,2	64	60,8	60,1	60,9	63,4	64
800	53,1	61,2	61,7	62,2	65,6	63,6	64	63,9	63,1	64,8	64,6	66,3	66,1	67,4	66,8
1000	55	69,4	70,2	71,8	75,5	73,9	72,8	72,9	75,6	75,4	76,1	77,7	78,6	75,6	72,7
1250	55	67,9	67,1	69,3	73,4	70,6	70	69,7	71,3	72,3	72,9	74,2	74,8	73,8	69,6
1600	57,3	66,6	66,5	69,1	72,8	68,5	68,6	69,3	69,1	70,8	71,2	71,6	72	73,7	71
2000	57	71	71,3	73,2	77,5	73,6	73,8	75,8	74,4	75,8	76,6	76,6	76,5	77,3	71
2500	54,3	70,6	70,6	71,2	74,6	73,7	74,7	74,7	75,4	75	75,2	75,7	75,3	76,9	70,9
3150	53,6	69,7	71	71,4	73	71,7	71,3	71,8	71,9	72,3	72,7	73,1	72,8	73,8	68,7
4000	52,6	63,8	63,3	64,6	67,3	65,4	65,6	66,1	65,8	67	67,4	68	67,9	68,7	66,6
5000	54,6	60,5	60,6	60,4	63	61,5	61,5	61,6	62,3	62,9	64	64,5	64,1	64,7	63
6300	59,1	60,2	60,1	60,6	61,6	60,7	61	60,9	61,2	61,8	62,2	62,2	62	62,7	63,6
8000	62,5	66	66,3	66,5	66,4	65,8	65,9	65,3	65,1	66,1	65,7	65,7	65,5	65,8	66,2
10000	61,2	63,1	63,5	63,7	64	63,1	63,1	62,8	62,7	63,4	63,5	63,5	63,6	63,3	63,2
12500	54,9	57	56,9	57,2	57	57	57	57,1	56,8	57,6	57,5	57,5	57,5	57,5	57,4
16000	42,9	44,5	43	42,7	42,9	42,9	43,4	42,9	42,8	43	43,1	43,3	43,2	42,8	42,5

6.5 Apéndice B.5:

Niveles de presión sonora a 8000 RPM.

Hz\mm	RF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
dB(A)/mm	Ruido de F	0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm
Global	69,2	82,3	78,9	80,9	86,3	81,1	82,1	81,7	83,1	83,6	84,8	85,2	84,9	85,9	81,7
20	-4,3	0,7	-1,6	-2,4	-2,8	-0,9	-1,6	-1	-1,2	-0,5	-0,7	-0,6	1,2	0,2	3,5
25	6,2	6,9	3,3	3,8	2,5	6,5	5,4	6,2	6,4	7,2	7,3	7,5	7,8	7,8	17,4
31,5	4,4	16,7	10,8	8,1	13,6	13,2	10,7	10,2	11,2	14,2	12,5	12,8	12,1	13,9	21,2
40	8,7	12,6	9,6	9	10,3	9,5	8,7	8,2	8,7	11,1	10,8	11,2	9,3	14,2	17,1
50	19,8	19,6	16,6	16,1	21,1	17,6	16,2	16,6	16,3	19	17,4	17,2	19	18,8	24,3
63	39,3	36,3	37,9	35,2	36,8	36,2	37,2	36,5	36,6	36,5	35,7	36,4	36,5	35,9	38,1
80	35,4	36,3	34,2	35	38,8	35,1	32,7	33,5	34	36,5	37,8	36,5	39,1	40,6	49,5
100	43	45,8	42,8	42,9	46,2	44,4	43,5	46,5	48,5	54,6	56,6	56,9	57,2	57,8	65,2
125	48,3	61,2	55,1	56,7	60,3	55,8	55,2	54,9	54,6	54,5	55,5	55,2	55,5	55,5	54,7
160	34,7	46,8	41,5	43,3	46,2	41,7	43,5	41,1	40,5	41,8	43,1	43,6	44,7	49,5	48,4
200	32,3	45,1	39,5	39,7	38,8	42,2	43,4	44,2	46,1	46,6	45,7	45,1	46	46,6	46,2
250	41,4	61,6	55,2	56,3	60,1	56,9	59,9	58,9	59,4	59,2	59,1	58,4	57,3	60,1	56,2
315	46,8	53,1	50,6	51,2	54,5	52,4	56,6	54,4	53,1	53,4	55,1	55,4	56,7	58,3	58,9
400	52,4	66,8	61,4	63,9	68,6	64,7	65,4	63,4	64	64,9	65	64,3	63,8	65,4	67,6
500	47,1	68,2	61,2	63,6	64,3	65,1	67,4	68,6	67,8	69,6	71,3	70,9	70,9	72,2	71,4
630	45,8	59	53,7	55,3	60,5	56,8	60	60,4	60,9	61,7	62,7	62,5	64,1	66	62,8
800	53,7	63,4	57,8	59,5	61,9	60,4	62,2	63	62,8	63,3	64	63,8	64,8	65,5	65,3
1000	55,5	74,6	71,9	74,1	80,4	75,9	75,2	74,9	75,2	76,8	80	80,9	79,4	81	74,9
1250	55,9	69,5	66,9	68,1	75,2	69,7	72	69,3	70,8	73,1	74,3	73,8	74,1	75,7	71,8
1600	57,9	72,7	67,7	69,6	74,6	68,5	70,2	69,2	72	71	71,5	73,4	72,8	73	70,2
2000	57,6	76	72,6	74,9	80,1	74,3	74,7	74,7	76,4	76,5	76,5	76,3	77,5	77,5	72,3
2500	55,2	74,2	70,5	73,1	78,2	72,5	74,6	74,5	76,7	76,7	76,3	77,2	77,2	78,3	73,4
3150	54,4	73,1	70	71,2	77,5	71,1	72,9	72,7	74,3	74,3	75,1	75,2	74,5	75,2	70,2
4000	53,6	66,1	63,2	64,8	69,7	64,7	66,7	65,6	68,4	67,4	68,7	68,9	69,3	69,7	66
5000	55,8	62,3	60	60,5	64,5	60,5	62,4	61,6	63,8	63,8	65,3	65,1	65,6	65,9	62,7
6300	59,6	61,7	59,9	60,2	62,4	60,2	61,5	61	62,3	62	62,9	62,3	62,7	62,9	62,4
8000	63	65,3	64,7	65,3	64,6	64,6	65	65	65,8	65,6	66,3	65,7	65,7	65,8	66,2
10000	61,6	64,2	62,9	63,2	63,9	62,6	63,3	63,2	63,7	63,7	64,7	64	64,1	64,7	64,1
12500	55,3	57,4	57,6	57,8	57	57,3	58,1	57,9	58,2	58,3	59,1	58,4	58,5	59,2	58,2
16000	42,9	43,3	42,8	42,5	43,6	42,4	42,5	42,8	42,6	42,8	43	42,8	42,9	43,2	42,8

6.6 Apéndice B.6:

Niveles de presión sonora a 9000 RPM.

Hz\mm	RF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
dB(A)/mm	Ruido de For	0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm	1,5 mm
Global	71,9	82,8	83,4	85,4	85,7	86,7	88,3	89,8	90,7	91	91,3	90,9	92,1	93,3	94,2	91,9
20	-12,5	-10,2	-4,6	-1,6	-6,3	-8,2	-5,1	-7,4	-5,3	-4,4	-2,4	-4,3	-7,8	-1,4	-2	NaN
25	-0,3	3,4	12,6	13	10,1	6,4	6,6	3,4	4,3	9,4	13,2	12,1	-2,2	7,9	12,7	32,2
31,5	-0,5	3,6	17,4	15	15,2	8,5	14,3	8,1	6,1	13,6	12	16,1	7,5	6,5	15,6	33,4
40	1,5	6,9	7,2	11,9	10,8	7,9	7,5	7,9	9,4	13,3	12,5	5,9	8,1	4,2	14	31,5
50	5,2	9,7	13,2	15,6	16	11,7	13,4	14,8	12,5	14,9	16,2	14	9,9	14,1	17,3	32
63	31,6	28,9	30,5	31	31,3	28,6	33,1	31,2	30,5	32,8	34,5	31	29,2	30	30,7	46,6
80	47,6	43,9	43,2	42,8	43,4	44,3	44,1	43,5	42,9	43,2	43,8	42,2	40,9	39,5	41,1	54,6
100	30,2	35,8	42,1	44,1	44	42,6	42,8	43,3	42,1	43,2	47	43,4	44	49,1	49,7	68,7
125	34,2	51,6	54,5	54,9	52,6	51,1	51,2	49,7	50,4	50,9	53,2	53,1	52	58	61,8	63,6
160	41	58,4	61,2	61,7	60,6	59,9	60,1	58,7	59,6	58,8	61,5	61	58	64,2	64,9	56,4
200	32,7	38,7	41,3	42,6	41,7	40,9	42	39,7	41,2	45,4	45,6	48,2	48,4	50,2	52,3	58,5
250	41,5	54,3	57,3	59,8	60	61,6	61,3	62,2	63,7	64,3	65,2	65,1	66	67	67,5	65,2
315	45,7	61,3	60,3	60,5	60,7	63,3	61,2	63,7	65,3	69,2	71,7	71,4	72,7	72,5	70,7	67,2
400	52	59,8	62,9	64,1	65,1	65,8	66,5	68,8	68,1	69,5	73,5	74,2	76,6	85,8	85,3	75,5
500	56,1	58,6	61,2	62,9	63,3	65,5	67,3	70,1	73,6	73,3	75,5	75	77,4	81,7	81,3	73,8
630	44,5	56,5	59,7	61,9	62,4	63,4	68,5	69,5	71,3	68,3	69,5	70,5	70,7	76,8	76,1	70,7
800	55,4	60,1	60,7	62,9	63	64,3	65,2	67,9	69,4	72,5	73,9	74	75,4	75,1	76,4	69,5
1000	55,1	72,6	70,9	72	72,5	72	72,8	74,5	75,2	77,3	77,9	79	80,5	80,9	82,5	79,2
1250	55,1	77,1	69,8	71,9	72	72,4	72,7	73,3	74,8	78,8	81,8	81,9	79,6	83,6	83,2	78,5
1600	57,3	67,9	69,3	71,6	72,3	72,6	74,2	76,8	78,2	78,5	78,6	78,4	80,5	82	82,4	84,6
2000	59	75,7	79,2	81,4	82,2	83,8	85,7	87,2	87,6	87,5	87	84,9	87,6	85,7	86,3	85,6
2500	55,2	72,6	74,8	76,8	77,2	78,5	79,9	81,3	83,1	82,4	82,9	83,2	83,5	83,3	84,8	82,2
3150	51,3	76,1	76,9	78,6	78,3	78,6	80,4	81,2	82,3	83,1	83,2	83,7	84,1	84,6	87,5	84,9
4000	52,7	67,1	69,8	71,9	71,7	71,3	72,5	74,3	75,4	76,9	76,7	76,6	77,9	79,4	81,3	81,3
5000	53,7	64,4	65,4	67	67,8	69	69,4	70,7	71,6	72,4	73,3	73,7	72,7	74,1	75,7	75,4
6300	57,1	64	63,4	65,9	65,3	65,9	65,2	66	66,5	67,6	68,3	68,2	69,2	69,6	70,5	70,7
8000	68,5	66,6	66,7	68,1	67,1	66,9	67	66,2	67,3	67	68,9	68,6	67,5	69,1	68,1	67,3
10000	66,4	65,4	64,9	66,3	65,3	65,3	65,3	65,2	65,8	66,4	66,3	66,3	68,7	68	68,4	66,7
12500	55,4	57,5	57	58,5	58	57,3	57,3	57,4	57,9	58,2	59,4	59,2	60,2	60,1	60,4	60,2
16000	40,6	43,7	43,6	44	43,3	42,9	43,2	43,9	43,2	43,9	44,2	43,8	43,7	44,4	45,5	44,1

6.7 Apéndice B.7:

Niveles de presión sonora a 10000 RPM.

Hz\mm	RF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
dBA/mm	Ruido de F	0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm	1,5 mm
Global	71,7	83,2	84,4	85,8	86,6	88,4	89,1	89,8	90,9	90,6	91,9	91,7	92,4	93,6	94,3	95,7
20	-8,3	-7,2	-3,6	-2,1	-1,6	-6,6	-1,9	-5,2	-8,3	-3,5	-7,4	-4,5	-7,1	-6,2	-2,7	-8,8
25	5,3	9,2	11,5	9,6	10,9	7,8	3,4	6,4	1,3	4,7	3,1	3,3	1,3	4,8	1,5	2
31,5	1,5	1,4	13,4	8,2	10,4	8,8	4,4	9,9	5,7	7,7	7,6	8,7	6,8	10,6	6,7	10,6
40	2,7	3,3	10,2	8,2	7,3	8,9	5,9	8,7	7,5	11,6	7,4	5,9	7	10,6	14,1	12
50	4,8	6,9	13,3	15,3	14,2	13,4	9,8	13,5	13,1	13,2	11,4	12,5	12,3	12,3	13	16,1
63	21,7	22,9	27,9	28,3	26,9	25,6	25,3	29,6	28,3	27,1	25,2	23,1	25,4	26,2	28,8	29,2
80	46,7	47,4	42,5	40,6	44	42,3	44	44	43,8	44,5	44,6	44,8	45	41,9	45,5	45,8
100	36,2	37,1	43,5	45,2	41,3	41,6	39,5	44,1	42,9	44,3	43,9	44,9	43,9	44,8	45,5	45,8
125	31,4	33,8	36,5	37,1	36,6	38,4	39	41,5	40,4	44,5	46,9	48,7	50,2	52,3	51,8	52,7
160	48,1	54,2	59,8	62,2	62,6	63,4	63,2	63,4	62,7	63,4	62,5	63,6	63,2	64,2	62,7	62,5
200	33,9	39,6	44,3	46,1	45,9	46,8	47	47,6	47,4	48,6	47	47,8	47,6	49	48,3	48,8
250	40	48,6	49,7	49,4	48	49,1	49,5	51,9	52,7	57,6	60,5	63,7	64,4	64,4	61,6	62
315	44,6	60,5	61,3	61,9	60,3	63,3	64,1	65,2	65,5	66,6	68,4	68,7	69,3	69,4	67,8	68,1
400	49,2	53,6	59,2	59,4	59,9	62,4	62,2	64,5	65,8	66,3	70,4	72,9	74,4	73,1	71,6	72,1
500	53,2	68,6	76,9	76	77,2	80,8	79,8	82,8	85,1	84	85,4	83,1	82	81,2	79,7	77,5
630	45,2	64,2	63,5	65,2	65,4	66,2	67,3	68,6	70,1	71,2	73,9	72,7	71,7	71,3	70,8	72,9
800	55,8	63,7	71,9	74,1	73,2	75	73,8	74,8	75,7	75,5	76,2	76,6	78	77,9	77,2	77,7
1000	55,1	69,7	70,2	71,2	71,5	71,8	73,8	74,6	75	74,2	74,2	76,7	77,6	79,5	81,1	82,5
1250	55,6	74,2	72	75,2	75,8	76,2	76,3	76,6	76,8	76,4	76,4	78,5	79,7	81,3	81,7	83,5
1600	58	68,3	69	71,6	72,4	74,9	77,6	77,6	78,6	80,8	82	83,4	85	86,9	86	87,4
2000	59	76,8	78,5	80,8	82,1	83,8	84,6	84,5	85,4	84,8	86,3	85,3	85,7	86,5	86,1	88,6
2500	54,4	74,6	75,4	76,6	77,5	79,7	81,7	81,6	82,6	82,2	83,8	83,8	84	84,8	84,7	85,6
3150	52,1	76,9	76,8	77,2	77,7	78,8	79,6	80,6	81,3	81,6	82,7	82,8	83,9	85,7	89,3	90,6
4000	52,8	67,9	69,4	71,5	71,2	73,3	73,3	75	76,2	76,3	77,2	78,8	79,4	82,2	83,6	84,8
5000	53,5	65,9	65,3	66,1	67,5	70	70,4	71,2	71,8	72,1	72,1	73,3	74,9	77,2	78,2	78,9
6300	57	65,4	64,2	65,4	65,3	66	64,9	66,4	66,6	66,4	67,6	68,6	69,4	72,4	73,6	74,8
8000	68,1	70,1	68,6	70,2	68,3	67,3	68,2	67,9	67,8	68,5	69,9	68,2	67,9	69,7	69,7	70,5
10000	66,4	68,3	67,3	67	66,1	65,7	66,1	66,5	66,8	66,7	67,2	66,4	66,8	68,2	68,1	68,7
12500	55	58,3	57,8	57,2	57,3	57,4	57,4	57,3	57,7	57,5	58,2	58,2	59,5	59,8	59,7	60,4
16000	40,3	44,5	43,5	43,4	44	43	43,9	43,6	44,1	43,4	43	44	44,2	44,5	44,3	45,1

6.8 Apéndice B.8:

Niveles de presión sonora a 11000 RPM.

Hz\mm	RF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
dBA/mm	Ruido de F	0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm	1,5 mm
Global	72,2	81,6	83,5	86	85,5	86,7	87,2	87,5	89	89,3	89,9	89,8	91,3	101,8	104,1	105,2
20	-10,1	-11	-8,1	-1,5	-4,5	-3,8	-8,3	-8,9	-8,6	-9,5	-3,7	-10,4	-5,7	-9	-11,5	-8
25	3,7	5,2	-1,3	7,6	6,8	3,6	-1	0,4	3,3	-1	11,8	1,1	5	7,2	7,3	7,7
31,5	0,5	5,5	7,1	17,3	14,3	10,4	6,2	8	4,2	8	17,4	7,2	13,5	11,6	11,3	13,2
40	4,3	3,8	4,7	11,6	9,1	8,1	6,4	6	7,5	8,9	14,8	6,5	6,6	7,4	9,5	13,7
50	8,1	10,4	10,7	18	15,8	15,6	13,9	11,5	10,8	9,3	13,6	12,4	13,3	12,9	14,6	16,8
63	15,3	19,5	24,6	29,3	27,9	29,1	26,7	21,5	23,6	20,7	29,7	23,9	26,3	25,3	25,8	26,3
80	41	41,6	40,7	41,4	40,3	42,3	40,9	40,1	40,5	40	41,6	41,6	42,6	44,5	44,2	45,2
100	50,7	50	49,4	48,8	47,7	48,7	48,6	48,5	48,9	49,4	49,6	51	51,4	52,5	53,2	53,1
125	34,2	32,6	33,9	34,4	33,3	33,8	33	32,6	34,1	33,8	36,4	34,3	37	38,9	37,9	43
160	44	52,7	54,5	55,5	55,7	56,3	56,4	57,3	57,4	56,5	56,9	56,4	57,2	57,3	56,2	58,1
200	46,7	53	55,3	56,4	56,4	56,9	57,2	59,2	59,7	58,4	59,5	59,1	60	59,5	58,8	59,2
250	40,1	44,2	45,9	46,7	45,4	46,1	45,5	45,6	47,3	46,6	52,9	46,6	47,9	49,8	49,7	51,7
315	50,1	63,1	67,5	67,1	65,3	64,5	62,7	60,5	59,4	61,8	63,7	65	66,3	64,6	62,7	65
400	56,7	66,5	70,9	70,7	69	68,4	66,7	64,5	63,1	65,4	67,2	67,9	69,2	67,4	67	70
500	54	56	59,7	64	63,8	67,5	72,5	74,4	73,8	75	75,6	73,1	72,5	71,3	71,3	72,3
630	46,2	60,4	60,1	63,4	62,8	63,9	63,6	64	65,2	66,4	67,1	66,8	68,7	69	68,2	70,7
800	56,7	63,8	63,8	67,9	68,1	69,5	70,1	70,8	71,9	72,8	74	74,4	75,2	74,7	73	75,6
1000	56	71,5	75,5	76,4	75,8	75,2	75,1	74,9	75,4	75,5	78,2	78,9	79,6	77,8	76,4	79,1
1250	56,3	72,3	72,5	73,6	72,2	71,7	72,3	72,5	73,5	73,5	74,8	75,4	76,8	77,1	77	79,8
1600	58,3	69,7	69,6	71,3	71,5	72,4	72,5	74,4	75,6	76,1	77,2	77,8	80,3	82,3	81,6	82,9
2000	60	75,6	78	80,8	80,8	82,4	83,1	83,2	84,9	85	84,6	84,5	84,7	85,8	84,8	86,9
2500	56,6	71,2	73,4	77,3	76,5	78,4	78,4	77,8	79,7	81,4	82,5	82,5	84,6	87,6	92,8	90,5
3150	54	73,4	75,6	79,1	78,4	79,8	80	80,8	82,4	82,2	83	82,6	85,1	100,4	103	103
4000	57,3	67,5	69,3	72,5	72,3	73,6	74,7	75,4	76,9	77,1	78	78	79,8	94,3	94,5	99,4
5000	56,3	64,3	65,5	68,1	68,3	70	71,1	71,8	72,7	72,9	73,1	73,5	74,9	81,7	82,1	83,8
6300	57,7	62,1	63,1	65,4	64,9	66,1	66,6	66	67,5	67,8	67,7	67,7	69,2	84,7	88,9	92,2
8000	68,5	70,3	67,4	66,9	67,8	68,1	68,7	67,4	68	67,8	68,8	69,5	69,1	77,6	80,7	84,1
10000	65,4	67,5	66	66,2	65,1	66	66,5	65,6	66,3	66,1	66,5	66,5	67,2	78,3	82,7	87,3
12500	56,1	57,5	57,1	58,1	57,3	57,8	57,6	57,6	57,9	58,3	58,6	58,5	59,6	67,5	72	74,7
16000	42,2	45,6	44,5	45,1	44,9	44,3	43,2	44,4	44,3	44,6	43,8	44,1	44,5	50,7	54	56,5

6.9 Apéndice B.9:

Niveles de presión sonora a 12000 RPM.

Hz\mm	RF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
dBA/mm	Ruido de F	0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm	1,5 mm
Global	71,9	81,2	83,3	85,2	86,9	87,2	88,6	90	91,1	91,4	94,5	98,2	99,7	100,6	102,2	102,4
20	-8,5	-5,6	-3	-2,3	0,9	-7,1	-10,4	-7,6	-8,4	-7,9	-9,9	-6,3	-9,4	-5,4	-10,1	-2,5
25	3,1	6,7	7,6	9,8	14,3	5,3	4,2	2,2	1	4,4	3,2	5,1	7	9,7	6,2	10,8
31,5	5,5	13,5	10,2	14	12,5	13,3	4,6	4,9	4,7	6,5	7,5	9	10	14,2	7,1	9,2
40	3,9	6,4	16,6	9,3	12,2	6,6	7,2	5,3	6,6	9,1	6,3	10,3	10	8	8,5	10,8
50	9	11,4	13,5	18,1	16,7	14,1	11,9	13,2	12,7	12	13,9	13,8	12,9	11,8	12,6	14
63	16,7	24,6	26,6	31,7	30,5	25,9	24	23,7	22,4	22,9	23,3	26,3	23	25,9	24,2	24,7
80	36,9	33,4	36,1	38,7	40,8	39,1	37,6	35,4	36,4	36,4	36,7	39,9	40,7	40,6	42,7	42
100	42,9	45,1	51,4	55,5	58,6	58,2	57,9	57	56,9	56,1	55,5	55,7	55,4	55,8	55,1	56
125	32,8	35,4	36,4	37,3	39,6	39,2	39,5	39,3	39,4	40,5	41,5	42,4	42,8	42,9	42,7	43,8
160	35,8	41	42,9	44,7	46,6	47,3	48,8	49,5	50,2	50,3	51,1	52,2	53,7	54,2	54,9	54,1
200	51,8	60,6	63	64,2	65,4	65,6	66,8	66,8	67,3	67	67,7	67,5	68,1	68,6	69	68,1
250	41,4	44,5	46,1	46,9	47,4	47	47,2	47,1	47,1	47,7	49,2	50,4	49,5	50,3	51,8	51,5
315	46,4	49,9	53,7	55,4	54,8	54,3	54,8	54,2	54,4	54,8	56	57,1	58,7	59,5	60,4	61,1
400	48,5	67,6	72,2	72,5	73,3	73,3	73,4	71,7	72,2	72	73,1	74	75,6	76,4	78,3	79,9
500	55,2	59	60	63,5	67,5	66	68,6	69,9	68,8	67,8	68,4	68,9	69,4	69,2	70,5	69,2
630	48,2	58,1	59,5	63,7	67,1	68,3	70,7	72,5	74,1	74,7	75,8	77,5	77,3	77,7	79,1	77
800	55,7	68,7	67,1	68,9	70,3	70,8	70,8	70,6	71,6	73,1	73,3	74,1	74,7	75,1	76,1	76,3
1000	56	66,3	70,3	72,2	73,3	73,2	74,1	74,3	74,6	74,3	75,5	75,5	75,9	76,4	77,6	76,5
1250	56,8	67,5	70,6	70,6	71	70,5	71,6	72,5	72,9	73,7	73,8	73,5	74,1	74,9	75,8	76,6
1600	58,8	69,3	72,2	74,3	75	75,3	74,6	74,6	74,8	75,5	76,8	78,8	80,7	81,4	83,9	83,6
2000	60,4	73,9	76,9	80,2	82,3	83	85	87	87,8	86,6	89,7	87,6	86,8	83,4	85,1	85,6
2500	59	72,9	75,1	76,6	78,5	78,9	81	83,1	84,8	86,7	90,6	88,6	88,4	88	91,5	92,6
3150	54,8	75,7	76,9	78,7	80,1	80	81,1	81,8	83	83,9	86,6	95,4	97	96,5	98,3	99,1
4000	54,7	67,6	69,4	71,3	72,6	73	72,8	73,2	74,8	77	80,5	91,9	94,2	97,1	98,4	97,6
5000	55,7	63,1	64,3	66	67,7	68,3	69,4	70,5	71,4	71,5	74,1	82,4	84,9	84,5	85,4	84,8
6300	57,5	61,8	62,8	63,9	65,6	65,3	65,9	64,9	66,5	66,7	68,1	77,5	82,2	86	86	87
8000	67,8	68,4	67,5	66,7	68,6	69,4	67,9	69,4	68,4	67,5	67,7	72,3	76,2	79,6	80,4	80,6
10000	65,4	66	65,8	66,2	66,3	66,3	66,3	67	66,7	66,2	66,6	71,2	76,7	78,3	81,1	80,2
12500	55,9	57,4	57,3	57,3	57,8	57,9	58,1	57,6	57,8	58,4	58,7	62,7	67,4	69,1	71,1	70,8
16000	41,5	43,3	43,7	43,2	42,5	42,8	42,6	43,3	42,9	43,3	42,5	45,4	48,8	51	53,1	52,5

6.10 Apéndice B.10:

Niveles de presión sonora a 13000 RPM.

Hz\mm	RF	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	D1
dBA/mm	Ruido de F	0,1 mm	0,2 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm	1,5 mm	0,1 mm
Global	73,6	85,4	82,8	87,5	90,2	90,7	91,8	92,4	94,5	95,3	96,9	97,4	96,8	96,8	97,1	11,8
20	-12,8	-6,4	-4,4	-1,6	-3,8	-6,7	-5,9	-7,3	-3,9	-1,1	-10,1	-5,1	-8,4	-6,7	-1,5	6,4
25	3,9	7,6	4,9	11,9	3,9	7,8	1,7	5,9	4,1	7,4	6,8	7,4	2,4	6,8	11,2	3,7
31,5	0,1	10,8	7,2	16,5	10,2	8	6,7	7,9	10,2	8,6	8,6	6,2	5,4	8,2	11,6	10,7
40	4,4	7,6	2,6	10,4	10,3	9,3	5,1	10,7	10,7	6,7	13,6	4,7	8,2	8,2	9,8	3,2
50	7,9	9,3	8,7	15,9	14,9	12,1	10,7	9,7	10,9	10,4	12,2	11,6	11,2	12,5	16,5	1,4
63	22,3	23,2	24,9	29,7	28	26,1	23,6	22,4	22,2	20,4	23,4	25,2	24,2	24,8	25,3	0,9
80	33,2	34	32,2	36,7	35,9	36,2	34,5	33,9	34,4	35,7	34,7	37	35,5	35,9	37,5	0,8
100	57,5	60,4	58	58,3	58,9	58,9	59,4	59,5	59,4	59	59,2	58,7	59,3	59	59,4	2,9
125	49,3	51,1	50,5	50,4	50,5	51	51,1	51,5	51,2	51	51,3	51,2	51,3	51,1	51	1,8
160	35,7	38,5	37,4	39,5	40,8	39,8	41,1	40,6	41	41,3	41,3	41,7	42,9	44,3	44,9	2,8
200	59,3	68	68,6	71,7	72,4	72,2	73,3	72,7	72,3	72,2	72,8	72,7	74,2	74,6	74,4	8,7
250	47,9	55,8	57,1	59,4	60,2	60	61,1	60,5	60,4	60,3	60,5	60,7	62	62,5	62,2	7,9
315	47,8	49,1	48	49,8	51,6	51,2	52,5	52,7	53,7	54,3	54,7	54,3	53,6	53,7	54,4	1,3
400	56,4	75	76,8	78,7	82	82,2	83,8	84,1	84,9	85,6	86,2	84,9	83,7	81,4	82,3	18,6
500	54,2	63,7	65,7	66,7	70	70,1	71,7	71,8	72,5	73,2	73,8	72,7	71,8	69,4	70,2	9,5
630	55,7	61	63,2	67,2	73,6	74,7	76,2	77	78,4	79,6	79,7	79,5	80,4	80,1	77,2	5,3
800	56,3	73,1	61,8	72,9	75	72,5	72,8	72,7	72,7	73,2	74,6	74	75,3	75,9	77,2	16,8
1000	57,8	75,4	73,1	76,6	78,3	76,7	77,1	76,2	77,1	76,8	77,1	77,8	77,6	78,7	79,5	17,6
1250	57,6	69	66,5	70,3	71,4	71,4	72,1	71,8	71,2	72,8	74,3	74,8	76,7	77,1	76,4	11,4
1600	59,8	72,1	68,4	72,8	74,5	75,4	78,1	79,4	80,1	81,2	82,5	83,4	83,8	84,9	85,6	12,3
2000	62,5	76,5	73,7	82,2	84,9	86,1	87,5	86,8	86,4	86	87,2	88,2	87,6	86,6	87,3	14
2500	58,6	79,4	75,3	80,8	83,5	84,4	84,4	86,9	91,5	92,6	94,3	94,1	91,6	89,6	88,5	20,8
3150	57,9	77,6	72	77,9	80,2	80	81,3	82,8	84,8	85	87,3	89,2	90,5	91,8	92,6	19,7
4000	58,5	71,8	66,1	71,8	73,9	75	76,4	78,3	79,8	80,2	84,1	88,2	88,4	90	90,3	13,3
5000	55,3	65,3	61,5	67	70	70,8	71,8	73,1	73,9	73,3	76,3	77,5	79,3	79,5	79,9	10
6300	59,5	64,6	62,9	65,3	67,1	66,6	67,3	67	68,6	69,4	73,1	76	78,5	79,5	80,5	5,1
8000	69,7	70,8	69,8	67,8	68,1	68,2	69,3	67,8	68,5	70	70,3	71,8	74,2	75,1	76	1,1
10000	65,9	67	66,7	66,1	67,6	66,6	67,2	66,8	67,2	68,1	69,2	71,3	73,3	74,6	76,9	1,1
12500	56,3	57,6	56,4	57,6	58,7	57,9	58,4	58,6	59	59,8	61,1	63,3	64,4	65,6	66,9	1,3
16000	43,2	43,5	42,6	44,1	43,7	43,3	43,4	44,2	43,7	44,1	44,2	46,1	46,8	47,8	48,7	0,3

6.11 Apéndice B.11:

Niveles de presión sonora a 14000 RPM.

Hz\mm	RF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
dBA/mm	Ruido de F	0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm	1,5 mm
Global	74	88,2	88,6	91,1	91,4	92,4	93,5	93,9	94	94,6	95	95,5	96,3	96,2	96,4	105,2
20	-6,1	-9,5	-1,3	-4,2	-5,2	-6,9	-5,5	-7,1	-4,8	-7,5	-5,4	-9,2	-6,3	-3,9	-5,1	-0,1
25	-0,9	2,1	3,5	5,6	2,5	-0,9	0,5	5	1,2	3,7	4,1	0,8	7	6,9	7,3	7,2
31,5	1,8	7,4	16,5	10,2	5,6	9	4,5	10,3	5,6	10	10,1	8,8	11	8,7	9	9,8
40	11,4	8,9	12,1	12,4	6,8	8	8,6	7,3	7,2	8,1	13,4	8,1	7,1	8,2	9	12,9
50	12,2	11	14,8	16,9	15,2	13,1	13,3	13,1	11	10	15,5	12,1	9	12,1	14,2	16,1
63	19,3	22,6	28,9	26,5	27,4	23,4	25,5	23,6	21,3	23,1	29,8	22	23,1	23,9	25,4	23,2
80	32	33,2	38	38,1	31,8	34,5	32,9	33,6	32,8	31,8	34	33,7	32,6	35,7	34,2	34,5
100	33,6	44,2	47,7	44,1	47	47,6	48,9	51	51,3	50,3	51	51,6	51,8	51,6	52,9	52,4
125	38,2	51,3	50,8	49,4	51,4	52,2	52,3	52,7	53	52,9	53,7	53,7	53,8	53,4	52,9	53,3
160	35,6	43,2	39,9	41,3	37,9	38,7	41,7	37,4	36,8	36,9	40,7	37	37,7	36,7	37,2	38,2
200	62,5	60,1	63,5	65,7	64,4	66,4	67	67,1	66,8	67	67	67	67,5	67,1	65,8	67,2
250	69	66,9	69,4	72,8	69,2	70,3	70,4	69,5	69,1	69,8	70,3	70,9	71,3	71,1	69,1	70,7
315	51,4	58,6	56,2	56,3	53,4	52,7	55,4	53,4	52,3	53,6	55,8	54,3	54	54	53,6	54,8
400	50,9	67,3	69	72	74,5	77,1	78,6	80,4	79,3	79,5	79,7	79,4	78,8	79,2	79,2	81
500	56,6	72	73,5	77,9	79,1	81,3	82,5	85	83,3	83,5	83,9	83,5	82,9	82,9	83,3	85,3
630	47,6	65,3	67,5	68,2	69,8	71,1	72,9	73,6	74,4	74,3	75,1	75,9	76,9	76,9	76,8	79,9
800	57,5	65,7	68,2	68,7	68,7	68,6	69,4	69,2	70,8	72,3	74,1	75,1	76,1	76,9	77,4	79,4
1000	56,4	79,6	77,6	80,6	81,4	81,9	82	81,6	81,1	81,9	82,4	83,1	83,3	83,6	83	84,2
1250	57,7	81,5	79,6	83,1	82	83,4	84,1	83,2	82,2	82,7	83,6	84,2	84,4	84,4	83,9	84,4
1600	59,2	73,2	74,2	76,4	78	79,1	81,3	82,1	82	83,7	84,5	85,4	86,1	85,7	85,5	85,9
2000	61,5	81,8	83	86,5	85,7	86,5	88,5	88,7	89,6	90,6	90,8	91,1	92	91,4	90,6	90,2
2500	58,9	79,7	81,6	81,3	84,1	84,9	85,3	85	86	85,7	85,9	86,7	87,8	87,2	86,3	89,6
3150	58,4	79,8	80,3	82,5	82,7	84,2	84,4	85,1	84,6	85,3	85,4	86,8	87,4	88,3	90,3	104,2
4000	56,4	73,9	74,1	75,6	76,3	77,2	78,3	79,2	79,4	79,7	79,4	80,2	82,9	85,1	86,6	94,4
5000	57,3	69,2	70,8	73,5	73,8	74,3	75,3	75	75,9	76	76,3	77,4	79,5	78,8	78,6	84,5
6300	59,5	65,5	66,4	67	67,9	69,8	70,6	69,3	69,7	70,4	70,7	71,7	72	72,6	75	85,8
8000	67,5	68,7	70	69,3	68,8	68,6	68,5	68,9	68,7	68,7	69,5	70,4	70,3	71,2	71,9	82,1
10000	64,6	66,1	67,1	67,2	66,9	67	67,6	68,7	68,5	69,1	68,9	69,9	69,4	70,6	71,4	84,5
12500	56	58,4	59,1	59,5	59,1	60,2	60,2	60,6	60,5	60,9	61,3	62,5	62,6	63,1	63,6	75,4
16000	43,3	44,2	44,1	45	44,5	44,5	43,9	44,9	44,8	45,6	45,7	46,7	46,1	45,7	45,1	54,2

6.12 Apéndice B.12:

Niveles de presión sonora a 14403 RPM.

Hz\mm	RF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
dBA/mm	Ruido de F	0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm	1,5 mm
Global	73,1	84,2	92	88,7	90,6	91,4	92,5	93	92,4	92,9	94,1	93,8	95,1	94,7	95,2	94,6
20	-3	-1,8	8,6	-2,7	-7,3	-9,1	2,6	-13,4	-5,8	-9,8	-7,9	-10,4	-9,4	-11	-5,7	-1,3
25	4,1	11,3	20	8,3	5,9	4,3	5,3	2,1	7,6	6,5	4,3	1,7	-0,9	5,9	11	15,9
31,5	4,6	10,9	19,9	16	7	8,9	7,2	7,2	10,9	12,4	6,7	8,1	5,6	11	15,2	19,3
40	5,2	8,4	19,5	11,3	5,8	4,3	6	6,2	8,7	5,9	6,6	8,8	8,4	15	14,7	15
50	8,5	12,1	19,8	15,9	9,4	10,1	9,6	9,8	13,4	9,8	10,9	8,3	8,6	9,7	13,6	14,8
63	15,8	27,8	36,4	29,7	22,8	28,6	23,2	21,7	25,9	23,8	25,9	25,2	19,2	27,3	26,8	27,5
80	32,4	39,2	41,6	40,2	36,4	34,6	36	32,8	37,1	33,8	34,2	32,4	33,3	32,5	33,4	37,7
100	42	41,8	51,6	44,5	42,3	42,4	43	44,7	44,6	47,1	48,4	48,1	46,3	48,8	46,1	46,6
125	56,3	52,8	50,3	51,7	51,7	51,4	50,6	50,3	50,6	50	49,6	49,9	50,3	50,7	50,6	51,1
160	35	44,9	40,5	42,8	40,6	44,8	36,8	38,3	41,7	36,7	38,4	36,3	37,3	38,9	39,5	43,1
200	48	62,6	61,5	63,7	64,1	64,3	64,6	65,8	66	65,9	66	65,8	65,8	65,7	65,9	65,1
250	58,4	74,2	68,1	75,2	75,5	75,2	74,4	73,1	74,2	71,3	70,2	69,6	68,8	69,7	70,1	69,8
315	55,7	58	54,4	58,3	57,7	55,6	54,2	54	56,6	54,2	54,5	53,8	55	55,1	56,7	56,2
400	55,6	60,1	69	70,2	72,4	74	74,6	77	76	76,5	76	76,2	76	76,3	77	76,8
500	55,5	70	78,5	78,9	82,2	83,7	84,6	84,2	83,9	83,2	81,9	82,1	79,7	78,8	80,3	80,7
630	45,8	54,9	64,8	65,1	67,7	67,8	67,6	66,9	67,2	69,4	70,9	71,3	71,7	70,4	70,2	70,2
800	55,8	64,7	76	69,5	69,8	69,4	69,7	69	68,5	69,1	70,1	70,1	70,5	69,8	70,2	69,2
1000	55,9	69,8	76,1	74,8	75,9	76,1	76,5	77,3	77,3	78,2	79,3	79,3	80,5	79,9	80	79,2
1250	57,3	70,8	75,2	76,5	77,9	78,8	79,8	80,7	79,4	79,2	79,1	78,4	79,5	79,5	80,5	80,6
1600	59,3	67,6	85,6	73	74,2	76	77,6	78	77,4	79,4	80,3	81,1	82,4	82,4	82,8	82,8
2000	60	79,1	85,6	83,5	86,2	87	88,4	88,9	87,7	88,1	88,8	89,6	91,4	90,1	89,9	90,1
2500	57,7	76,4	84,2	80,5	81,7	83	84,1	84,3	84,9	84,3	86,9	85,7	86,9	87,7	88,9	87,1
3150	57,3	76,6	83,3	81,3	82,2	82,6	83,3	84,4	83,7	85,8	88,1	86,8	87,6	87,8	88,2	87,4
4000	57	69,7	80,9	75,3	76,4	77,3	78,3	79,2	79	80,1	81,3	81,2	83,2	83,6	83,3	83
5000	57,3	68,7	76,4	72,3	73,8	73,9	74,9	74,9	75	75,4	76	76,3	77,4	77,3	77,8	77,6
6300	59	64,3	71,6	67,8	68,5	69,3	69,7	69,4	68,9	70	70,3	71,1	71,5	71,9	72,7	73,2
8000	69,3	67,8	72,5	69,3	68,6	68,3	69,4	71,2	70,9	70,2	69,8	71,1	71,2	71,1	71	70,5
10000	66,2	66,7	70,8	67,4	66,9	67	67,7	68,7	69,1	69	69,1	69,3	69,5	69,5	69,9	69,2
12500	56,3	57,6	64,5	59,6	59,3	59,3	59,4	60,1	59,4	59,8	60,6	60,4	61,4	60,7	60,8	60,7
16000	43	42,3	49,5	44,2	45,7	43,5	44,3	43,9	44,4	44,5	44,6	44,5	45,5	44,8	45,6	44,6

7. Apéndice C: Rangos de generación de sonido

7.1 Apéndice C.1:

Rangos de generación de sonido a 4500 RPM.

D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm
14,2	15,4	14,4	14,5	14,2	14,3	14,7	9,2
2	4,1	6,4	3,8	3,1	2	4,4	-2,6
8,9	12,3	10,1	5,8	4,1	6,3	10	10,6
14,2	14,4	14	6,3	6,9	7,9	8,1	19,5
4	5,8	4,7	1,3	-4,1	3,5	4,5	-0,3
13,8	10,5	16,4	17,9	11,2	17,9	21,1	6,7
13,2	12,8	13,2	11,5	12,2	12,5	11,2	-1,6
16	17,6	17,4	16	14,6	13,8	15,7	8,7
17,9	19,6	21,6	24,9	27	20,7	31,8	24,9
14,6	17,4	17,4	19,3	20,9	21,5	23,8	20,3
18,9	22,1	19,5	24,1	25,1	25,8	25,4	10,3
19,7	21,8	24,4	25,2	27,4	27	26,3	18,8
17,4	17,7	18,6	21	21,6	22,9	24,8	20,8
17,3	18	19,5	18,2	18,7	20,8	22,1	15
15,2	18	20	18,4	17,4	19,8	21,8	15,9
9,9	12,9	13,2	13,8	13,9	15,3	18,2	14,4
16,8	16,8	17,9	19,2	19,5	22,2	23,9	20,4
10,3	10,4	10,8	10,5	11,1	12,9	13,9	11,7
16,4	18,3	17,6	18,3	18,7	20,2	21,4	14,3
17,7	18,8	18,3	18,4	19,1	20,2	20,5	15,2
12,3	13,4	12,7	11,5	12,3	16	16,7	16,4
20,7	21,8	21,3	21,8	21,6	21,3	21,3	12,9
24,8	25,7	25,4	23,9	23,9	23,9	23,9	16
29	30,5	28,3	28,8	27,6	25,8	24,6	15,1
21	22	20,4	20,9	20,7	20,1	19,7	11,7
13,5	13,3	12,7	12,2	11,9	11,8	11,7	3,3
7,5	8,2	8,1	7,6	7,1	7,3	7,1	1,2
2,9	5	3,3	4,4	2,3	1,1	1,9	-5,6
1,7	3,5	2,2	3	2	2,3	2,3	-1,9
1,6	2	2	1,9	1,4	1,6	2	-0,6
0,3	-1	-0,6	-1,3	-0,6	-2	-1	-1

7.2 Apéndice C.2:

Rangos de generación de sonido a 5000 RPM.

D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm
14,2	15,4	14,4	14,5	14,2	14,3	14,7	9,2
2	4,1	6,4	3,8	3,1	2	4,4	-2,6
8,9	12,3	10,1	5,8	4,1	6,3	10	10,6
14,2	14,4	14	6,3	6,9	7,9	8,1	19,5
4	5,8	4,7	1,3	-4,1	3,5	4,5	-0,3
13,8	10,5	16,4	17,9	11,2	17,9	21,1	6,7
13,2	12,8	13,2	11,5	12,2	12,5	11,2	-1,6
16	17,6	17,4	16	14,6	13,8	15,7	8,7
17,9	19,6	21,6	24,9	27	20,7	31,8	24,9
14,6	17,4	17,4	19,3	20,9	21,5	23,8	20,3
18,9	22,1	19,5	24,1	25,1	25,8	25,4	10,3
19,7	21,8	24,4	25,2	27,4	27	26,3	18,8
17,4	17,7	18,6	21	21,6	22,9	24,8	20,8
17,3	18	19,5	18,2	18,7	20,8	22,1	15
15,2	18	20	18,4	17,4	19,8	21,8	15,9
9,9	12,9	13,2	13,8	13,9	15,3	18,2	14,4
16,8	16,8	17,9	19,2	19,5	22,2	23,9	20,4
10,3	10,4	10,8	10,5	11,1	12,9	13,9	11,7
16,4	18,3	17,6	18,3	18,7	20,2	21,4	14,3
17,7	18,8	18,3	18,4	19,1	20,2	20,5	15,2
12,3	13,4	12,7	11,5	12,3	16	16,7	16,4
20,7	21,8	21,3	21,8	21,6	21,3	21,3	12,9
24,8	25,7	25,4	23,9	23,9	23,9	23,9	16
29	30,5	28,3	28,8	27,6	25,8	24,6	15,1
21	22	20,4	20,9	20,7	20,1	19,7	11,7
13,5	13,3	12,7	12,2	11,9	11,8	11,7	3,3
7,5	8,2	8,1	7,6	7,1	7,3	7,1	1,2
2,9	5	3,3	4,4	2,3	1,1	1,9	-5,6
1,7	3,5	2,2	3	2	2,3	2,3	-1,9
1,6	2	2	1,9	1,4	1,6	2	-0,6
0,3	-1	-0,6	-1,3	-0,6	-2	-1	-1

7.3 Apéndice C.3:

Rangos de generación de sonido a 6000 RPM.

D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm
9,9	11,9	17,3	12,1	13,1	12,7	14,1	14,6	15,8	16,2	15,9	16,9	12,7
5,1	4,3	3,9	5,8	5,1	5,7	5,5	6,2	6	6,1	7,9	6,9	10,2
-3,7	-3,2	-4,5	-0,5	-1,6	-0,8	-0,6	0,2	0,3	0,5	0,8	0,8	10,4
4,4	1,7	7,2	6,8	4,3	3,8	4,8	7,8	6,1	6,4	5,7	7,5	14,8
1,5	0,9	2,2	1,4	0,6	0,1	0,6	3	2,7	3,1	1,2	6,1	9
-0,3	-0,8	4,2	0,7	-0,7	-0,3	-0,6	2,1	0,5	0,3	2,1	1,9	7,4
8,1	5,4	7	6,4	7,4	6,7	6,8	6,7	5,9	6,6	6,7	6,1	8,3
-3,6	-2,8	1	-2,7	-5,1	-4,3	-3,8	-1,3	0	-1,3	1,3	2,8	11,7
-4,5	-4,4	-1,1	-2,9	-3,8	-0,8	1,2	7,3	9,3	9,6	9,9	10,5	17,9
25,3	26,9	30,5	26	25,4	25,1	24,8	24,7	25,7	25,4	25,7	25,7	24,9
8,9	10,7	13,6	9,1	10,9	8,5	7,9	9,2	10,5	11	12,1	16,9	15,8
7	7,2	6,3	9,7	10,9	11,7	13,6	14,1	13,2	12,6	13,5	14,1	13,7
13	14,1	17,9	14,7	17,7	16,7	17,2	17	16,9	16,2	15,1	17,9	14
3,7	4,3	7,6	5,5	9,7	7,5	6,2	6,5	8,2	8,5	9,8	11,4	12
13,2	15,7	20,4	16,5	17,2	15,2	15,8	16,7	16,8	16,1	15,6	17,2	19,4
14,2	16,6	17,3	18,1	20,4	21,6	20,8	22,6	24,3	23,9	23,9	25,2	24,4
7,7	9,3	14,5	10,8	14	14,4	14,9	15,7	16,7	16,5	18,1	20	16,8
3,8	5,5	7,9	6,4	8,2	9	8,8	9,3	10	9,8	10,8	11,5	11,3
16,6	18,8	25,1	20,6	19,9	19,6	19,9	21,5	24,7	25,6	24,1	25,7	19,6
11,3	12,5	19,6	14,1	16,4	13,7	15,2	17,5	18,7	18,2	18,5	20,1	16,2
9,9	11,8	16,8	10,7	12,4	11,4	14,2	13,2	13,7	15,6	15	15,2	12,4
15	17,3	22,5	16,7	17,1	17,1	18,8	18,9	18,9	18,7	19,9	19,9	14,7
15,9	18,5	23,6	17,9	20	19,9	22,1	22,1	21,7	22,6	22,6	23,7	18,8
15,7	16,9	23,2	16,8	18,6	18,4	20	20	20,8	20,9	20,2	20,9	15,9
11	12,6	17,5	12,5	14,5	13,4	16,2	15,2	16,5	16,7	17,1	17,5	13,8
5,6	6,1	10,1	6,1	8	7,2	9,4	9,4	10,9	10,7	11,2	11,5	8,3
0	0,3	2,5	0,3	1,6	1,1	2,4	2,1	3	2,4	2,8	3	2,5
1,6	2,2	1,5	1,5	1,9	1,9	2,7	2,5	3,2	2,6	2,6	2,7	3,1
1,4	1,7	2,4	1,1	1,8	1,7	2,2	2,2	3,2	2,5	2,6	3,2	2,6
2,4	2,6	1,8	2,1	2,9	2,7	3	3,1	3,9	3,2	3,3	4	3
-0,4	-0,7	0,4	-0,8	-0,7	-0,4	-0,6	-0,4	-0,2	-0,4	-0,3	0	-0,4

7.4 Apéndice C.4:

Rangos de generación de sonido a 7000 RPM.

D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm
9,7	10	11,3	14,5	12,3	12,3	12,8	13,3	13,9	14,3	15	15,3	15,2	11,6
5,7	9,3	6,3	6,4	6,4	5,4	6	5,8	6	5,9	6,6	7,1	7,8	9,6
3,2	3,2	2,5	2,8	3,9	0,5	1,2	6,3	3,2	1,3	3,6	5,5	4,3	8,3
8,7	9,7	5,6	8,7	8,6	5,4	4,4	6,9	7,2	2	5,4	5,7	6,5	13,2
4,6	4,5	2,5	5	1,7	2	3,1	13,1	3,9	3	9,3	8,3	4,1	10,2
2,9	3,3	3,6	3,9	3,3	2,4	2,6	2	2,8	3,2	2,7	2,4	2,9	3,9
3,4	3,6	4	4,5	3,6	2,7	2,6	2,1	3,1	3,2	2,8	2,3	2,9	3,7
2,1	-0,5	-1,9	1,3	1,1	0,3	1,2	2,2	4,8	3,4	5,8	7,6	5,8	11
12	6,9	11	13,8	12,5	12,4	11,1	10,9	11,4	10,6	10	9,3	9,8	8,8
10,6	12,3	12,3	14,4	12,8	13,6	12,9	12,6	14,1	12,5	12,6	12,2	13,1	7,6
5,7	6,5	5,5	5,8	6	4,6	5	5,1	7,8	7,8	12,3	15,8	17,4	20,3
20,1	19,5	21,9	21,6	19,6	19,8	19,2	19,9	21,8	21,3	21	22	24,5	16,2
19,1	15	18,6	17,8	16,2	17,5	17,2	17,7	19,6	18,9	18,9	20	22,2	15,4
5,7	4,1	3,9	5,5	6,5	6,8	8,5	6,3	6,8	6,2	6,4	8,7	10,1	10
9	7,2	7,9	9,7	9,5	9,7	9,8	10,2	11,3	11	12	12,4	12,3	17,2
13	12,5	15,3	17,6	17	16,6	17,3	18	19,1	19,6	19,9	19,6	18,6	17,8
9,7	9	10,7	11,8	10,7	12,3	13,4	15,7	18,5	15,3	14,6	15,4	17,9	18,5
8,1	8,6	9,1	12,5	10,5	10,9	10,8	10	11,7	11,5	13,2	13	14,3	13,7
14,4	15,2	16,8	20,5	18,9	17,8	17,9	20,6	20,4	21,1	22,7	23,6	20,6	17,7
12,9	12,1	14,3	18,4	15,6	15	14,7	16,3	17,3	17,9	19,2	19,8	18,8	14,6
9,3	9,2	11,8	15,5	11,2	11,3	12	11,8	13,5	13,9	14,3	14,7	16,4	13,7
14	14,3	16,2	20,5	16,6	16,8	18,8	17,4	18,8	19,6	19,6	19,5	20,3	14
16,3	16,3	16,9	20,3	19,4	20,4	20,4	21,1	20,7	20,9	21,4	21	22,6	16,6
16,1	17,4	17,8	19,4	18,1	17,7	18,2	18,3	18,7	19,1	19,5	19,2	20,2	15,1
11,2	10,7	12	14,7	12,8	13	13,5	13,2	14,4	14,8	15,4	15,3	16,1	14
5,9	6	5,8	8,4	6,9	6,9	7	7,7	8,3	9,4	9,9	9,5	10,1	8,4
1,1	1	1,5	2,5	1,6	1,9	1,8	2,1	2,7	3,1	3,1	2,9	3,6	4,5
3,5	3,8	4	3,9	3,3	3,4	2,8	2,6	3,6	3,2	3,2	3	3,3	3,7
1,9	2,3	2,5	2,8	1,9	1,9	1,6	1,5	2,2	2,3	2,3	2,4	2,1	2
2,1	2	2,3	2,1	2,1	2,1	2,2	1,9	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,5
1,6	0,1	-0,2	0	0	0,5	0	-0,1	0,1	0,2	0,4	0,3	-0,1	-0,4

7.5 Apéndice C.5:

Rangos de generación de sonido a 8000 RPM.

D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm
13,1	9,7	11,7	17,1	11,9	12,9	12,5	13,9	14,4	15,6	16	15,7	16,7	12,5
5	2,7	1,9	1,5	3,4	2,7	3,3	3,1	3,8	3,6	3,7	5,5	4,5	7,8
0,7	-2,9	-2,4	-3,7	0,3	-0,8	0	0,2	1	1,1	1,3	1,6	1,6	11,2
12,3	6,4	3,7	9,2	8,8	6,3	5,8	6,8	9,8	8,1	8,4	7,7	9,5	16,8
3,9	0,9	0,3	1,6	0,8	0	-0,5	0	2,4	2,1	2,5	0,6	5,5	8,4
-0,2	-3,2	-3,7	1,3	-2,2	-3,6	-3,2	-3,5	-0,8	-2,4	-2,6	-0,8	-1	4,5
-3	-1,4	-4,1	-2,5	-3,1	-2,1	-2,8	-2,7	-2,8	-3,6	-2,9	-2,8	-3,4	-1,2
0,9	-1,2	-0,4	3,4	-0,3	-2,7	-1,9	-1,4	1,1	2,4	1,1	3,7	5,2	14,1
2,8	-0,2	-0,1	3,2	1,4	0,5	3,5	5,5	11,6	13,6	13,9	14,2	14,8	22,2
12,9	6,8	8,4	12	7,5	6,9	6,6	6,3	6,2	7,2	6,9	7,2	7,2	6,4
12,1	6,8	8,6	11,5	7	8,8	6,4	5,8	7,1	8,4	8,9	10	14,8	13,7
12,8	7,2	7,4	6,5	9,9	11,1	11,9	13,8	14,3	13,4	12,8	13,7	14,3	13,9
20,2	13,8	14,9	18,7	15,5	18,5	17,5	18	17,8	17,7	17	15,9	18,7	14,8
6,3	3,8	4,4	7,7	5,6	9,8	7,6	6,3	6,6	8,3	8,6	9,9	11,5	12,1
14,4	9	11,5	16,2	12,3	13	11	11,6	12,5	12,6	11,9	11,4	13	15,2
21,1	14,1	16,5	17,2	18	20,3	21,5	20,7	22,5	24,2	23,8	23,8	25,1	24,3
13,2	7,9	9,5	14,7	11	14,2	14,6	15,1	15,9	16,9	16,7	18,3	20,2	17
9,7	4,1	5,8	8,2	6,7	8,5	9,3	9,1	9,6	10,3	10,1	11,1	11,8	11,6
19,1	16,4	18,6	24,9	20,4	19,7	19,4	19,7	21,3	24,5	25,4	23,9	25,5	19,4
13,6	11	12,2	19,3	13,8	16,1	13,4	14,9	17,2	18,4	17,9	18,2	19,8	15,9
14,8	9,8	11,7	16,7	10,6	12,3	11,3	14,1	13,1	13,6	15,5	14,9	15,1	12,3
18,4	15	17,3	22,5	16,7	17,1	17,1	18,8	18,9	18,9	18,7	19,9	19,9	14,7
19	15,3	17,9	23	17,3	19,4	19,3	21,5	21,5	21,1	22	22	23,1	18,2
18,7	15,6	16,8	23,1	16,7	18,5	18,3	19,9	19,9	20,7	20,8	20,1	20,8	15,8
12,5	9,6	11,2	16,1	11,1	13,1	12	14,8	13,8	15,1	15,3	15,7	16,1	12,4
6,5	4,2	4,7	8,7	4,7	6,6	5,8	8	8	9,5	9,3	9,8	10,1	6,9
2,1	0,3	0,6	2,8	0,6	1,9	1,4	2,7	2,4	3,3	2,7	3,1	3,3	2,8
2,3	1,7	2,3	1,6	1,6	2	2	2,8	2,6	3,3	2,7	2,7	2,8	3,2
2,6	1,3	1,6	2,3	1	1,7	1,6	2,1	2,1	3,1	2,4	2,5	3,1	2,5
2,1	2,3	2,5	1,7	2	2,8	2,6	2,9	3	3,8	3,1	3,2	3,9	2,9
0,4	-0,1	-0,4	0,7	-0,5	-0,4	-0,1	-0,3	-0,1	0,1	-0,1	0	0,3	-0,1

7.6 Apéndice C.6:

Rangos de generación de sonido a 9000 RPM.

D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm	1,5 mm
10,9	11,5	13,5	13,8	14,8	16,4	17,9	18,8	19,1	19,4	19	20,2	21,4	22,3	20
2,3	7,9	10,9	6,2	4,3	7,4	5,1	7,2	8,1	10,1	8,2	4,7	11,1	10,5	-
3,7	12,9	13,3	10,4	6,7	6,9	3,7	4,6	9,7	13,5	12,4	-1,9	8,2	13	32,5
4,1	17,9	15,5	15,7	9	14,8	8,6	6,6	14,1	12,5	16,6	8	7	16,1	33,9
5,4	5,7	10,4	9,3	6,4	6	6,4	7,9	11,8	11	4,4	6,6	2,7	12,5	30
4,5	8	10,4	10,8	6,5	8,2	9,6	7,3	9,7	11	8,8	4,7	8,9	12,1	26,8
-2,7	-1,1	-0,6	-0,3	-3	1,5	-0,4	-1,1	1,2	2,9	-0,6	-2,4	-1,6	-0,9	15
-3,7	-4,4	-4,8	-4,2	-3,3	-3,5	-4,1	-4,7	-4,4	-3,8	-5,4	-6,7	-8,1	-6,5	7
5,6	11,9	13,9	13,8	12,4	12,6	13,1	11,9	13	16,8	13,2	13,8	18,9	19,5	38,5
17,4	20,3	20,7	18,4	16,9	17	15,5	16,2	16,7	19	18,9	17,8	23,8	27,6	29,4
17,4	20,2	20,7	19,6	18,9	19,1	17,7	18,6	17,8	20,5	20	17	23,2	23,9	15,4
6	8,6	9,9	9	8,2	9,3	7	8,5	12,7	12,9	15,5	15,7	17,5	19,6	25,8
12,8	15,8	18,3	18,5	20,1	19,8	20,7	22,2	22,8	23,7	23,6	24,5	25,5	26	23,7
15,6	14,6	14,8	15	17,6	15,5	18	19,6	23,5	26	25,7	27	26,8	25	21,5
7,8	10,9	12,1	13,1	13,8	14,5	16,8	16,1	17,5	21,5	22,2	24,6	33,8	33,3	23,5
2,5	5,1	6,8	7,2	9,4	11,2	14	17,5	17,2	19,4	18,9	21,3	25,6	25,2	17,7
12	15,2	17,4	17,9	18,9	24	25	26,8	23,8	25	26	26,2	32,3	31,6	26,2
4,7	5,3	7,5	7,6	8,9	9,8	12,5	14	17,1	18,5	18,6	20	19,7	21	14,1
17,5	15,8	16,9	17,4	16,9	17,7	19,4	20,1	22,2	22,8	23,9	25,4	25,8	27,4	24,1
22	14,7	16,8	16,9	17,3	17,6	18,2	19,7	23,7	26,7	26,8	24,5	28,5	28,1	23,4
10,6	12	14,3	15	15,3	16,9	19,5	20,9	21,2	21,3	21,1	23,2	24,7	25,1	27,3
16,7	20,2	22,4	23,2	24,8	26,7	28,2	28,6	28,5	28	25,9	28,6	26,7	27,3	26,6
17,4	19,6	21,6	22	23,3	24,7	26,1	27,9	27,2	27,7	28	28,3	28,1	29,6	27
24,8	25,6	27,3	27	27,3	29,1	29,9	31	31,8	31,9	32,4	32,8	33,3	36,2	33,6
14,4	17,1	19,2	19	18,6	19,8	21,6	22,7	24,2	24	23,9	25,2	26,7	28,6	28,6
10,7	11,7	13,3	14,1	15,3	15,7	17	17,9	18,7	19,6	20	19	20,4	22	21,7
6,9	6,3	8,8	8,2	8,8	8,1	8,9	9,4	10,5	11,2	11,1	12,1	12,5	13,4	13,6
-1,9	-1,8	-0,4	-1,4	-1,6	-1,5	-2,3	-1,2	-1,5	0,4	0,1	-1	0,6	-0,4	-1,2
-1	-1,5	-0,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,2	-0,6	-0,6	0	-0,1	2,3	1,6	2	0,3
2,1	1,6	3,1	2,6	1,9	1,9	2	2,5	2,8	4	3,8	4,8	4,7	5	4,8
3,1	3	3,4	2,7	2,3	2,6	3,3	2,6	3,3	3,6	3,2	3,1	3,8	4,9	3,5

7.7 Apéndice C.7:

Rangos de generación de sonido a 10000 RPM.

D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm	1,5 mm
11,5	12,7	14,1	14,9	16,7	17,4	18,1	19,2	18,9	20,2	20	20,7	21,9	22,6	24
1,1	4,7	6,2	6,7	1,7	6,4	3,1	0	4,8	0,9	3,8	1,2	2,1	5,6	-0,5
3,9	6,2	4,3	5,6	2,5	-1,9	1,1	-4	-0,6	-2,2	-2	-4	-0,5	-3,8	-3,3
-0,1	11,9	6,7	8,9	7,3	2,9	8,4	4,2	6,2	6,1	7,2	5,3	9,1	5,2	9,1
0,6	7,5	5,5	4,6	6,2	3,2	6	4,8	8,9	4,7	3,2	4,3	7,9	11,4	9,3
2,1	8,5	10,5	9,4	8,6	5	8,7	8,3	8,4	6,6	7,7	7,5	7,5	8,2	11,3
1,2	6,2	6,6	5,2	3,9	3,6	7,9	6,6	5,4	3,5	1,4	3,7	4,5	7,1	7,5
0,7	-4,2	-6,1	-2,7	-4,4	-2,7	-2,7	-2,9	-2,2	-2,1	-1,9	-1,7	-4,8	-1,2	-0,9
0,9	7,3	9	5,1	5,4	3,3	7,9	6,7	8,1	7,7	8,7	7,7	8,6	9,3	9,6
2,4	5,1	5,7	5,2	7	7,6	10,1	9	13,1	15,5	17,3	18,8	20,9	20,4	21,3
6,1	11,7	14,1	14,5	15,3	15,1	15,3	14,6	15,3	14,4	15,5	15,1	16,1	14,6	14,4
5,7	10,4	12,2	12	12,9	13,1	13,7	13,5	14,7	13,1	13,9	13,7	15,1	14,4	14,9
8,6	9,7	9,4	8	9,1	9,5	11,9	12,7	17,6	20,5	23,7	24,4	24,4	21,6	22
15,9	16,7	17,3	15,7	18,7	19,5	20,6	20,9	22	23,8	24,1	24,7	24,8	23,2	23,5
4,4	10	10,2	10,7	13,2	13	15,3	16,6	17,1	21,2	23,7	25,2	23,9	22,4	22,9
15,4	23,7	22,8	24	27,6	26,6	29,6	31,9	30,8	32,2	29,9	28,8	28	26,5	24,3
19	18,3	20	20,2	21	22,1	23,4	24,9	26	28,7	27,5	26,5	26,1	25,6	27,7
7,9	16,1	18,3	17,4	19,2	18	19	19,9	19,7	20,4	20,8	22,2	22,1	21,4	21,9
14,6	15,1	16,1	16,4	16,7	18,7	19,5	19,9	19,1	19,1	21,6	22,5	24,4	26	27,4
18,6	16,4	19,6	20,2	20,6	20,7	21	21,2	20,8	20,8	22,9	24,1	25,7	26,1	27,9
10,3	11	13,6	14,4	16,9	19,6	19,6	20,6	22,8	24	25,4	27	28,9	28	29,4
17,8	19,5	21,8	23,1	24,8	25,6	25,5	26,4	25,8	27,3	26,3	26,7	27,5	27,1	29,6
20,2	21	22,2	23,1	25,3	27,3	27,2	28,2	27,8	29,4	29,4	29,6	30,4	30,3	31,2
24,8	24,7	25,1	25,6	26,7	27,5	28,5	29,2	29,5	30,6	30,7	31,8	33,6	37,2	38,5
15,1	16,6	18,7	18,4	20,5	20,5	22,2	23,4	23,5	24,4	26	26,6	29,4	30,8	32
12,4	11,8	12,6	14	16,5	16,9	17,7	18,3	18,6	18,6	19,8	21,4	23,7	24,7	25,4
8,4	7,2	8,4	8,3	9	7,9	9,4	9,6	9,4	10,6	11,6	12,4	15,4	16,6	17,8
2	0,5	2,1	0,2	-0,8	0,1	-0,2	-0,3	0,4	1,8	0,1	-0,2	1,6	1,6	2,4
1,9	0,9	0,6	-0,3	-0,7	-0,3	0,1	0,4	0,3	0,8	0	0,4	1,8	1,7	2,3
3,3	2,8	2,2	2,3	2,4	2,4	2,3	2,7	2,5	3,2	3,2	4,5	4,8	4,7	5,4
4,2	3,2	3,1	3,7	2,7	3,6	3,3	3,8	3,1	2,7	3,7	3,9	4,2	4	4,8

7.8 Apéndice C.8:

Rangos de generación de sonido a 11000 RPM.

D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm	1,5 mm
9,4	11,3	13,8	13,3	14,5	15	15,3	16,8	17,1	17,7	17,6	19,1	29,6	31,9	33
-0,9	2	8,6	5,6	6,3	1,8	1,2	1,5	0,6	6,4	-0,3	4,4	1,1	-1,4	2,1
1,5	-5	3,9	3,1	-0,1	-4,7	-3,3	-0,4	-4,7	8,1	-2,6	1,3	3,5	3,6	4
5	6,6	16,8	13,8	9,9	5,7	7,5	3,7	7,5	16,9	6,7	13	11,1	10,8	12,7
-0,5	0,4	7,3	4,8	3,8	2,1	1,7	3,2	4,6	10,5	2,2	2,3	3,1	5,2	9,4
2,3	2,6	9,9	7,7	7,5	5,8	3,4	2,7	1,2	5,5	4,3	5,2	4,8	6,5	8,7
4,2	9,3	14	12,6	13,8	11,4	6,2	8,3	5,4	14,4	8,6	11	10	10,5	11
0,6	-0,3	0,4	-0,7	1,3	-0,1	-0,9	-0,5	-1	0,6	0,6	1,6	3,5	3,2	4,2
-0,7	-1,3	-1,9	-3	-2	-2,1	-2,2	-1,8	-1,3	-1,1	0,3	0,7	1,8	2,5	2,4
-1,6	-0,3	0,2	-0,9	-0,4	-1,2	-1,6	-0,1	-0,4	2,2	0,1	2,8	4,7	3,7	8,8
8,7	10,5	11,5	11,7	12,3	12,4	13,3	13,4	12,5	12,9	12,4	13,2	13,3	12,2	14,1
6,3	8,6	9,7	9,7	10,2	10,5	12,5	13	11,7	12,8	12,4	13,3	12,8	12,1	12,5
4,1	5,8	6,6	5,3	6	5,4	5,5	7,2	6,5	12,8	6,5	7,8	9,7	9,6	11,6
13	17,4	17	15,2	14,4	12,6	10,4	9,3	11,7	13,6	14,9	16,2	14,5	12,6	14,9
9,8	14,2	14	12,3	11,7	10	7,8	6,4	8,7	10,5	11,2	12,5	10,7	10,3	13,3
2	5,7	10	9,8	13,5	18,5	20,4	19,8	21	21,6	19,1	18,5	17,3	17,3	18,3
14,2	13,9	17,2	16,6	17,7	17,4	17,8	19	20,2	20,9	20,6	22,5	22,8	22	24,5
7,1	7,1	11,2	11,4	12,8	13,4	14,1	15,2	16,1	17,3	17,7	18,5	18	16,3	18,9
15,5	19,5	20,4	19,8	19,2	19,1	18,9	19,4	19,5	22,2	22,9	23,6	21,8	20,4	23,1
16	16,2	17,3	15,9	15,4	16	16,2	17,2	17,2	18,5	19,1	20,5	20,8	20,7	23,5
11,4	11,3	13	13,2	14,1	14,2	16,1	17,3	17,8	18,9	19,5	22	24	23,3	24,6
15,6	18	20,8	20,8	22,4	23,1	23,2	24,9	25	24,6	24,5	24,7	25,8	24,8	26,9
14,6	16,8	20,7	19,9	21,8	21,8	21,2	23,1	24,8	25,9	25,9	28	31	36,2	33,9
19,4	21,6	25,1	24,4	25,8	26	26,8	28,4	28,2	29	28,6	31,1	46,4	49	49
10,2	12	15,2	15	16,3	17,4	18,1	19,6	19,8	20,7	20,7	22,5	37	37,2	42,1
8	9,2	11,8	12	13,7	14,8	15,5	16,4	16,6	16,8	17,2	18,6	25,4	25,8	27,5
4,4	5,4	7,7	7,2	8,4	8,9	8,3	9,8	10,1	10	10	11,5	27	31,2	34,5
1,8	-1,1	-1,6	-0,7	-0,4	0,2	-1,1	-0,5	-0,7	0,3	1	0,6	9,1	12,2	15,6
2,1	0,6	0,8	-0,3	0,6	1,1	0,2	0,9	0,7	1,1	1,1	1,8	12,9	17,3	21,9
1,4	1	2	1,2	1,7	1,5	1,5	1,8	2,2	2,5	2,4	3,5	11,4	15,9	18,6
3,4	2,3	2,9	2,7	2,1	1	2,2	2,1	2,4	1,6	1,9	2,3	8,5	11,8	14,3

7.9 Apéndice C.9:

Rangos de generación de sonido a 12000 RPM.

D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm	1,5 mm
9,3	11,4	13,3	15	15,3	16,7	18,1	19,2	19,5	22,6	26,3	27,8	28,7	30,3	30,5
2,9	5,5	6,2	9,4	1,4	-1,9	0,9	0,1	0,6	-1,4	2,2	-0,9	3,1	-1,6	6
3,6	4,5	6,7	11,2	2,2	1,1	-0,9	-2,1	1,3	0,1	2	3,9	6,6	3,1	7,7
8	4,7	8,5	7	7,8	-0,9	-0,6	-0,8	1	2	3,5	4,5	8,7	1,6	3,7
2,5	12,7	5,4	8,3	2,7	3,3	1,4	2,7	5,2	2,4	6,4	6,1	4,1	4,6	6,9
2,4	4,5	9,1	7,7	5,1	2,9	4,2	3,7	3	4,9	4,8	3,9	2,8	3,6	5
7,9	9,9	15	13,8	9,2	7,3	7	5,7	6,2	6,6	9,6	6,3	9,2	7,5	8
-3,5	-0,8	1,8	3,9	2,2	0,7	-1,5	-0,5	-0,5	-0,2	3	3,8	3,7	5,8	5,1
2,2	8,5	12,6	15,7	15,3	15	14,1	14	13,2	12,6	12,8	12,5	12,9	12,2	13,1
2,6	3,6	4,5	6,8	6,4	6,7	6,5	6,6	7,7	8,7	9,6	10	10,1	9,9	11
5,2	7,1	8,9	10,8	11,5	13	13,7	14,4	14,5	15,3	16,4	17,9	18,4	19,1	18,3
8,8	11,2	12,4	13,6	13,8	15	15	15,5	15,2	15,9	15,7	16,3	16,8	17,2	16,3
3,1	4,7	5,5	6	5,6	5,8	5,7	5,7	6,3	7,8	9	8,1	8,9	10,4	10,1
3,5	7,3	9	8,4	7,9	8,4	7,8	8	8,4	9,6	10,7	12,3	13,1	14	14,7
19,1	23,7	24	24,8	24,8	24,9	23,2	23,7	23,5	24,6	25,5	27,1	27,9	29,8	31,4
3,8	4,8	8,3	12,3	10,8	13,4	14,7	13,6	12,6	13,2	13,7	14,2	14	15,3	14
9,9	11,3	15,5	18,9	20,1	22,5	24,3	25,9	26,5	27,6	29,3	29,1	29,5	30,9	28,8
13	11,4	13,2	14,6	15,1	15,1	14,9	15,9	17,4	17,6	18,4	19	19,4	20,4	20,6
10,3	14,3	16,2	17,3	17,2	18,1	18,3	18,6	18,3	19,5	19,5	19,9	20,4	21,6	20,5
10,7	13,8	13,8	14,2	13,7	14,8	15,7	16,1	16,9	17	16,7	17,3	18,1	19	19,8
10,5	13,4	15,5	16,2	16,5	15,8	15,8	16	16,7	18	20	21,9	22,6	25,1	24,8
13,5	16,5	19,8	21,9	22,6	24,6	26,6	27,4	26,2	29,3	27,2	26,4	23	24,7	25,2
13,9	16,1	17,6	19,5	19,9	22	24,1	25,8	27,7	31,6	29,6	29,4	29	32,5	33,6
20,9	22,1	23,9	25,3	25,2	26,3	27	28,2	29,1	31,8	40,6	42,2	41,7	43,5	44,3
12,9	14,7	16,6	17,9	18,3	18,1	18,5	20,1	22,3	25,8	37,2	39,5	42,4	43,7	42,9
7,4	8,6	10,3	12	12,6	13,7	14,8	15,7	15,8	18,4	26,7	29,2	28,8	29,7	29,1
4,3	5,3	6,4	8,1	7,8	8,4	7,4	9	9,2	10,6	20	24,7	28,5	28,5	29,5
0,6	-0,3	-1,1	0,8	1,6	0,1	1,6	0,6	-0,3	-0,1	4,5	8,4	11,8	12,6	12,8
0,6	0,4	0,8	0,9	0,9	0,9	1,6	1,3	0,8	1,2	5,8	11,3	12,9	15,7	14,8
1,5	1,4	1,4	1,9	2	2,2	1,7	1,9	2,5	2,8	6,8	11,5	13,2	15,2	14,9
1,8	2,2	1,7	1	1,3	1,1	1,8	1,4	1,8	1	3,9	7,3	9,5	11,6	11

7.10 Apéndice C.10:

Rangos de generación de sonido a 13000 RPM.

D1	D2	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
0,1 mm	0,2 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm	1,5 mm
11,8	9,2	13,9	16,6	17,1	18,2	18,8	20,9	21,7	23,3	23,8	23,2	23,2	23,5
6,4	8,4	11,2	9	6,1	6,9	5,5	8,9	11,7	2,7	7,7	4,4	6,1	11,3
3,7	1	8	0	3,9	-2,2	2	0,2	3,5	2,9	3,5	-1,5	2,9	7,3
10,7	7,1	16,4	10,1	7,9	6,6	7,8	10,1	8,5	8,5	6,1	5,3	8,1	11,5
3,2	-1,8	6	5,9	4,9	0,7	6,3	6,3	2,3	9,2	0,3	3,8	3,8	5,4
1,4	0,8	8	7	4,2	2,8	1,8	3	2,5	4,3	3,7	3,3	4,6	8,6
0,9	2,6	7,4	5,7	3,8	1,3	0,1	-0,1	-1,9	1,1	2,9	1,9	2,5	3
0,8	-1	3,5	2,7	3	1,3	0,7	1,2	2,5	1,5	3,8	2,3	2,7	4,3
2,9	0,5	0,8	1,4	1,4	1,9	2	1,9	1,5	1,7	1,2	1,8	1,5	1,9
1,8	1,2	1,1	1,2	1,7	1,8	2,2	1,9	1,7	2	1,9	2	1,8	1,7
2,8	1,7	3,8	5,1	4,1	5,4	4,9	5,3	5,6	5,6	6	7,2	8,6	9,2
8,7	9,3	12,4	13,1	12,9	14	13,4	13	12,9	13,5	13,4	14,9	15,3	15,1
7,9	9,2	11,5	12,3	12,1	13,2	12,6	12,5	12,4	12,6	12,8	14,1	14,6	14,3
1,3	0,2	2	3,8	3,4	4,7	4,9	5,9	6,5	6,9	6,5	5,8	5,9	6,6
18,6	20,4	22,3	25,6	25,8	27,4	27,7	28,5	29,2	29,8	28,5	27,3	25	25,9
9,5	11,5	12,5	15,8	15,9	17,5	17,6	18,3	19	19,6	18,5	17,6	15,2	16
5,3	7,5	11,5	17,9	19	20,5	21,3	22,7	23,9	24	23,8	24,7	24,4	21,5
16,8	5,5	16,6	18,7	16,2	16,5	16,4	16,4	16,9	18,3	17,7	19	19,6	20,9
17,6	15,3	18,8	20,5	18,9	19,3	18,4	19,3	19	19,3	20	19,8	20,9	21,7
11,4	8,9	12,7	13,8	13,8	14,5	14,2	13,6	15,2	16,7	17,2	19,1	19,5	18,8
12,3	8,6	13	14,7	15,6	18,3	19,6	20,3	21,4	22,7	23,6	24	25,1	25,8
14	11,2	19,7	22,4	23,6	25	24,3	23,9	23,5	24,7	25,7	25,1	24,1	24,8
20,8	16,7	22,2	24,9	25,8	25,8	28,3	32,9	34	35,7	35,5	33	31	29,9
19,7	14,1	20	22,3	22,1	23,4	24,9	26,9	27,1	29,4	31,3	32,6	33,9	34,7
13,3	7,6	13,3	15,4	16,5	17,9	19,8	21,3	21,7	25,6	29,7	29,9	31,5	31,8
10	6,2	11,7	14,7	15,5	16,5	17,8	18,6	18	21	22,2	24	24,2	24,6
5,1	3,4	5,8	7,6	7,1	7,8	7,5	9,1	9,9	13,6	16,5	19	20	21
1,1	0,1	-1,9	-1,6	-1,5	-0,4	-1,9	-1,2	0,3	0,6	2,1	4,5	5,4	6,3
1,1	0,8	0,2	1,7	0,7	1,3	0,9	1,3	2,2	3,3	5,4	7,4	8,7	11
1,3	0,1	1,3	2,4	1,6	2,1	2,3	2,7	3,5	4,8	7	8,1	9,3	10,6
0,3	-0,6	0,9	0,5	0,1	0,2	1	0,5	0,9	1	2,9	3,6	4,6	5,5

7.11 Apéndice C.11:

Rangos de generación de sonido a 14000 RPM.

D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm	1,5 mm
14,2	14,6	17,1	17,4	18,4	19,5	19,9	20	20,6	21	21,5	22,3	22,2	22,4	31,2
-3,4	4,8	1,9	0,9	-0,8	0,6	-1	1,3	-1,4	0,7	-3,1	-0,2	2,2	1	6
3	4,4	6,5	3,4	0	1,4	5,9	2,1	4,6	5	1,7	7,9	7,8	8,2	8,1
5,6	14,7	8,4	3,8	7,2	2,7	8,5	3,8	8,2	8,3	7	9,2	6,9	7,2	8
-2,5	0,7	1	-4,6	-3,4	-2,8	-4,1	-4,2	-3,3	2	-3,3	-4,3	-3,2	-2,4	1,5
-1,2	2,6	4,7	3	0,9	1,1	0,9	-1,2	-2,2	3,3	-0,1	-3,2	-0,1	2	3,9
3,3	9,6	7,2	8,1	4,1	6,2	4,3	2	3,8	10,5	2,7	3,8	4,6	6,1	3,9
1,2	6	6,1	-0,2	2,5	0,9	1,6	0,8	-0,2	2	1,7	0,6	3,7	2,2	2,5
10,6	14,1	10,5	13,4	14	15,3	17,4	17,7	16,7	17,4	18	18,2	18	19,3	18,8
13,1	12,6	11,2	13,2	14	14,1	14,5	14,8	14,7	15,5	15,5	15,6	15,2	14,7	15,1
7,6	4,3	5,7	2,3	3,1	6,1	1,8	1,2	1,3	5,1	1,4	2,1	1,1	1,6	2,6
-2,4	1	3,2	1,9	3,9	4,5	4,6	4,3	4,5	4,5	4,5	5	4,6	3,3	4,7
-2,1	0,4	3,8	0,2	1,3	1,4	0,5	0,1	0,8	1,3	1,9	2,3	2,1	0,1	1,7
7,2	4,8	4,9	2	1,3	4	2	0,9	2,2	4,4	2,9	2,6	2,6	2,2	3,4
16,4	18,1	21,1	23,6	26,2	27,7	29,5	28,4	28,6	28,8	28,5	27,9	28,3	28,3	30,1
15,4	16,9	21,3	22,5	24,7	25,9	28,4	26,7	26,9	27,3	26,9	26,3	26,3	26,7	28,7
17,7	19,9	20,6	22,2	23,5	25,3	26	26,8	26,7	27,5	28,3	29,3	29,3	29,2	32,3
8,2	10,7	11,2	11,2	11,1	11,9	11,7	13,3	14,8	16,6	17,6	18,6	19,4	19,9	21,9
23,2	21,2	24,2	25	25,5	25,6	25,2	24,7	25,5	26	26,7	26,9	27,2	26,6	27,8
23,8	21,9	25,4	24,3	25,7	26,4	25,5	24,5	25	25,9	26,5	26,7	26,7	26,2	26,7
14	15	17,2	18,8	19,9	22,1	22,9	22,8	24,5	25,3	26,2	26,9	26,5	26,3	26,7
20,3	21,5	25	24,2	25	27	27,2	28,1	29,1	29,3	29,6	30,5	29,9	29,1	28,7
20,8	22,7	22,4	25,2	26	26,4	26,1	27,1	26,8	27	27,8	28,9	28,3	27,4	30,7
21,4	21,9	24,1	24,3	25,8	26	26,7	26,2	26,9	27	28,4	29	29,9	31,9	45,8
17,5	17,7	19,2	19,9	20,8	21,9	22,8	23	23,3	23	23,8	26,5	28,7	30,2	38
11,9	13,5	16,2	16,5	17	18	17,7	18,6	18,7	19	20,1	22,2	21,5	21,3	27,2
6	6,9	7,5	8,4	10,3	11,1	9,8	10,2	10,9	11,2	12,2	12,5	13,1	15,5	26,3
1,2	2,5	1,8	1,3	1,1	1	1,4	1,2	1,2	2	2,9	2,8	3,7	4,4	14,6
1,5	2,5	2,6	2,3	2,4	3	4,1	3,9	4,5	4,3	5,3	4,8	6	6,8	19,9
2,4	3,1	3,5	3,1	4,2	4,2	4,6	4,5	4,9	5,3	6,5	6,6	7,1	7,6	19,4
0,9	0,8	1,7	1,2	1,2	0,6	1,6	1,5	2,3	2,4	3,4	2,8	2,4	1,8	10,9

7.12 Apéndice C.12:

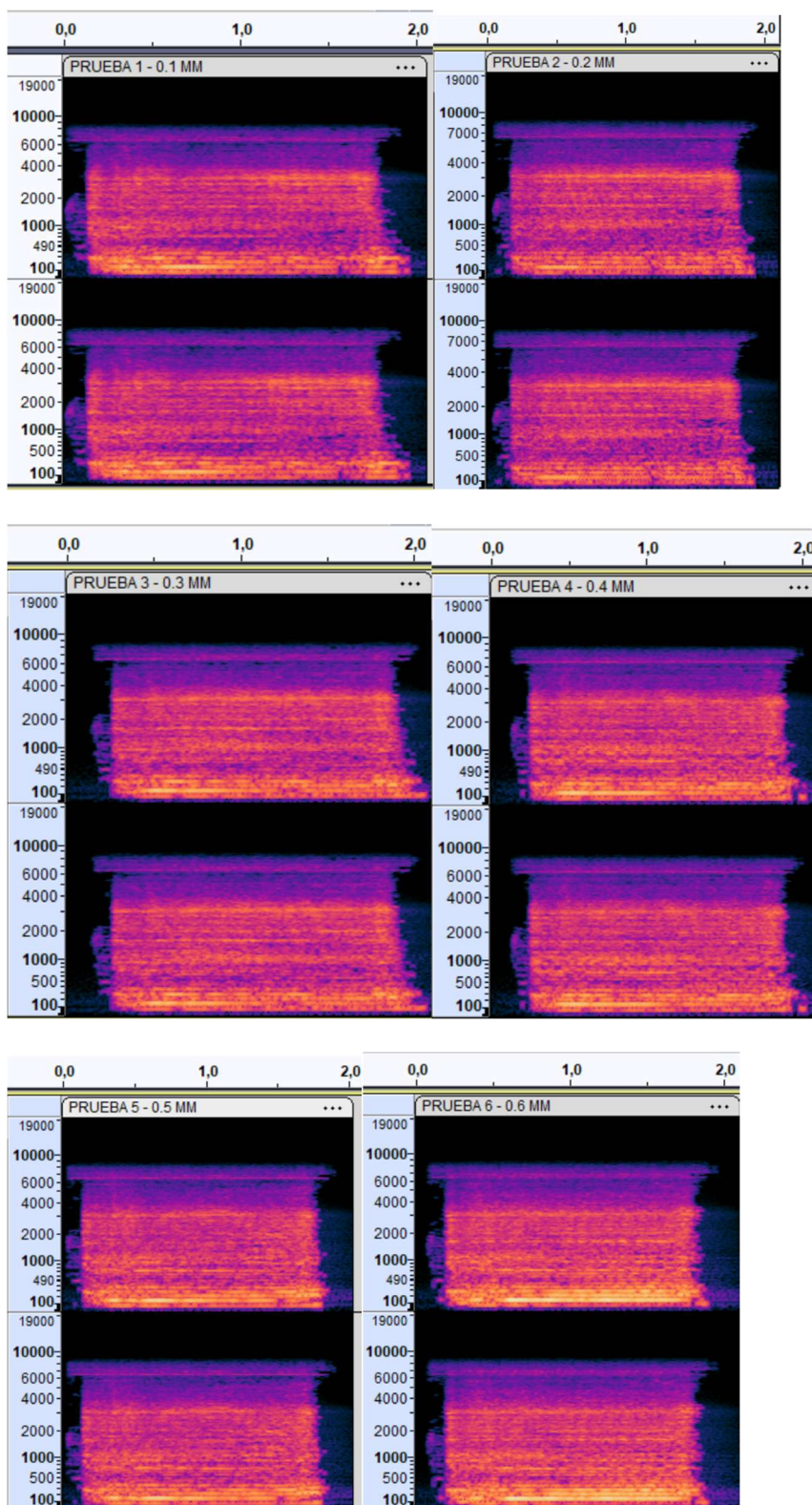
Rangos de generación de sonido a 14403 RPM.

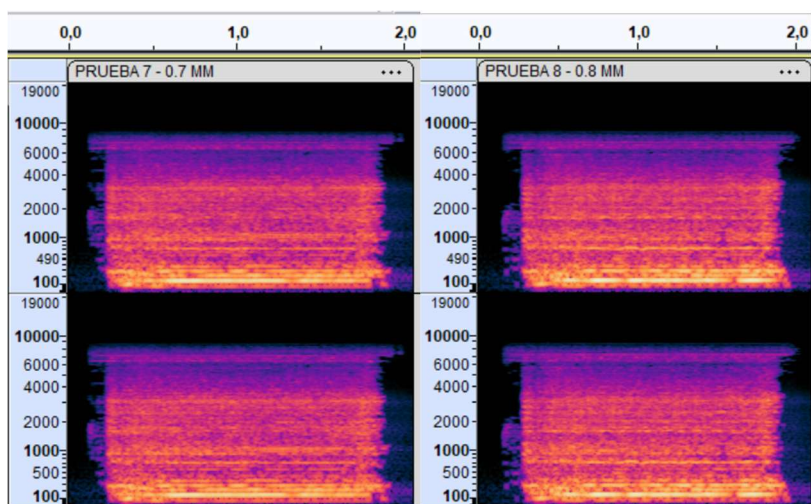
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15
0,1 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	0,9 mm	1,0 mm	1,1 mm	1,2 mm	1,3 mm	1,4 mm	1,5 mm
11,1	18,9	15,6	17,5	18,3	19,4	19,9	19,3	19,8	21	20,7	22	21,6	22,1	21,5
1,2	11,6	0,3	-4,3	-6,1	5,6	-10,4	-2,8	-6,8	-4,9	-7,4	-6,4	-8	-2,7	1,7
7,2	15,9	4,2	1,8	0,2	1,2	-2	3,5	2,4	0,2	-2,4	-5	1,8	6,9	11,8
6,3	15,3	11,4	2,4	4,3	2,6	2,6	6,3	7,8	2,1	3,5	1	6,4	10,6	14,7
3,2	14,3	6,1	0,6	-0,9	0,8	1	3,5	0,7	1,4	3,6	3,2	9,8	9,5	9,8
3,6	11,3	7,4	0,9	1,6	1,1	1,3	4,9	1,3	2,4	-0,2	0,1	1,2	5,1	6,3
12	20,6	13,9	7	12,8	7,4	5,9	10,1	8	10,1	9,4	3,4	11,5	11	11,7
6,8	9,2	7,8	4	2,2	3,6	0,4	4,7	1,4	1,8	0	0,9	0,1	1	5,3
-0,2	9,6	2,5	0,3	0,4	1	2,7	2,6	5,1	6,4	6,1	4,3	6,8	4,1	4,6
-3,5	-6	-4,6	-4,6	-4,9	-5,7	-6	-5,7	-6,3	-6,7	-6,4	-6	-5,6	-5,7	-5,2
9,9	5,5	7,8	5,6	9,8	1,8	3,3	6,7	1,7	3,4	1,3	2,3	3,9	4,5	8,1
14,6	13,5	15,7	16,1	16,3	16,6	17,8	18	17,9	18	17,8	17,8	17,7	17,9	17,1
15,8	9,7	16,8	17,1	16,8	16	14,7	15,8	12,9	11,8	11,2	10,4	11,3	11,7	11,4
2,3	-1,3	2,6	2	-0,1	-1,5	-1,7	0,9	-1,5	-1,2	-1,9	-0,7	-0,6	1	0,5
4,5	13,4	14,6	16,8	18,4	19	21,4	20,4	20,9	20,4	20,6	20,4	20,7	21,4	21,2
14,5	23	23,4	26,7	28,2	29,1	28,7	28,4	27,7	26,4	26,6	24,2	23,3	24,8	25,2
9,1	19	19,3	21,9	22	21,8	21,1	21,4	23,6	25,1	25,5	25,9	24,6	24,4	24,4
8,9	20,2	13,7	14	13,6	13,9	13,2	12,7	13,3	14,3	14,3	14,7	14	14,4	13,4
13,9	20,2	18,9	20	20,2	20,6	21,4	21,4	22,3	23,4	23,4	24,6	24	24,1	23,3
13,5	17,9	19,2	20,6	21,5	22,5	23,4	22,1	21,9	21,8	21,1	22,2	22,2	23,2	23,3
8,3	26,3	13,7	14,9	16,7	18,3	18,7	18,1	20,1	21	21,8	23,1	23,1	23,5	23,5
19,1	25,6	23,5	26,2	27	28,4	28,9	27,7	28,1	28,8	29,6	31,4	30,1	29,9	30,1
18,7	26,5	22,8	24	25,3	26,4	26,6	27,2	26,6	29,2	28	29,2	30	31,2	29,4
19,3	26	24	24,9	25,3	26	27,1	26,4	28,5	30,8	29,5	30,3	30,5	30,9	30,1
12,7	23,9	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2	22	23,1	24,3	24,2	26,2	26,6	26,3	26
11,4	19,1	15	16,5	16,6	17,6	17,6	17,7	18,1	18,7	19	20,1	20	20,5	20,3
5,3	12,6	8,8	9,5	10,3	10,7	10,4	9,9	11	11,3	12,1	12,5	12,9	13,7	14,2
-1,5	3,2	0	-0,7	-1	0,1	1,9	1,6	0,9	0,5	1,8	1,9	1,8	1,7	1,2
0,5	4,6	1,2	0,7	0,8	1,5	2,5	2,9	2,8	2,9	3,1	3,3	3,3	3,7	3
1,3	8,2	3,3	3	3	3,1	3,8	3,1	3,5	4,3	4,1	5,1	4,4	4,5	4,4
-0,7	6,5	1,2	2,7	0,5	1,3	0,9	1,4	1,5	1,6	1,5	2,5	1,8	2,6	1,6

8. Apéndice D: Niveles de energía acústica

8.1 Apéndice D.1:

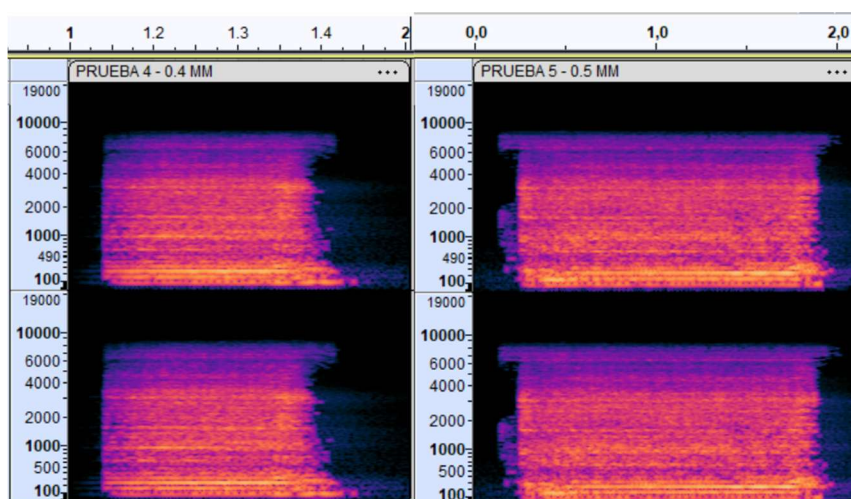
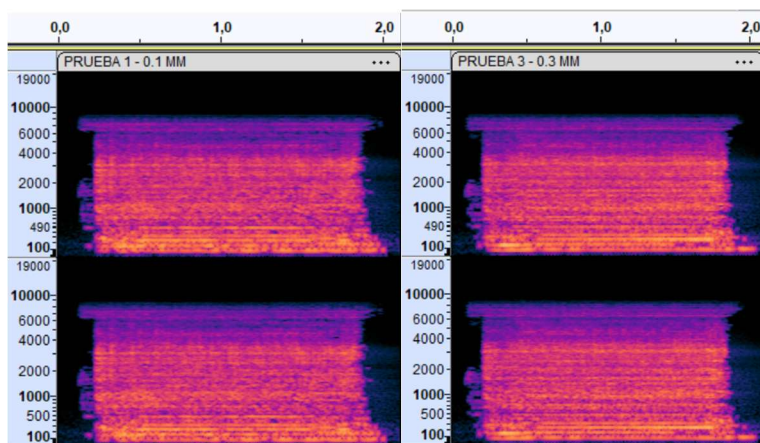
Niveles de energía acústica a 4500 rpm

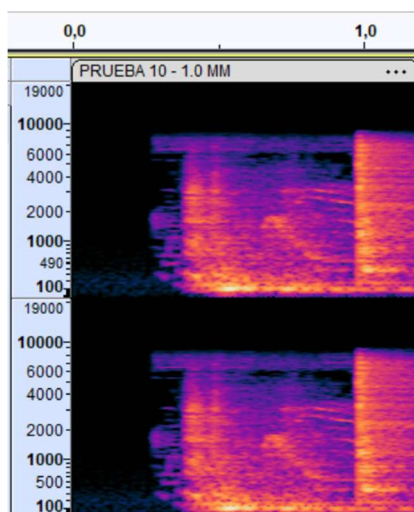
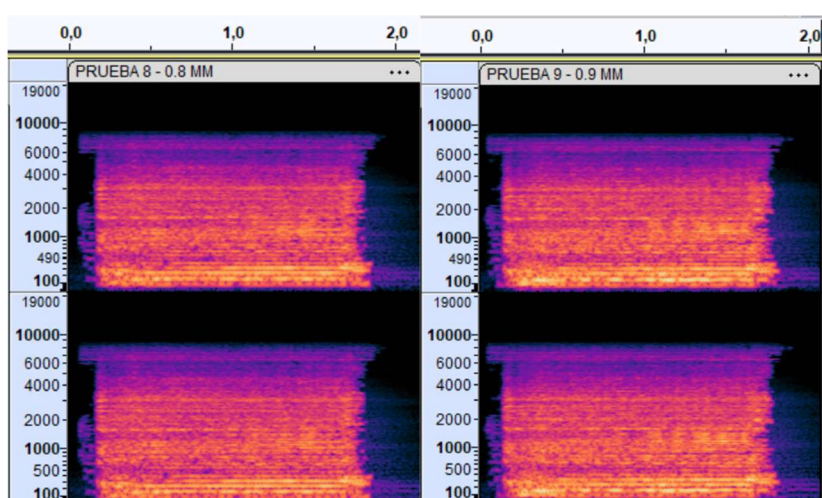
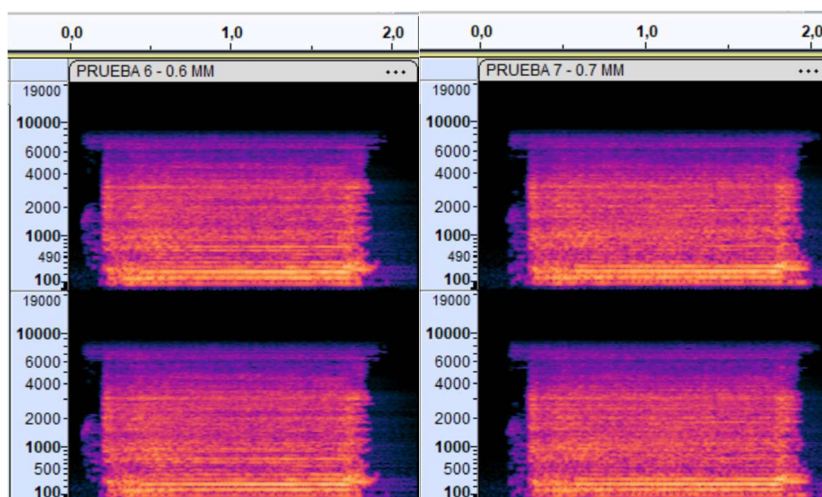




8.2 Apéndice D.2:

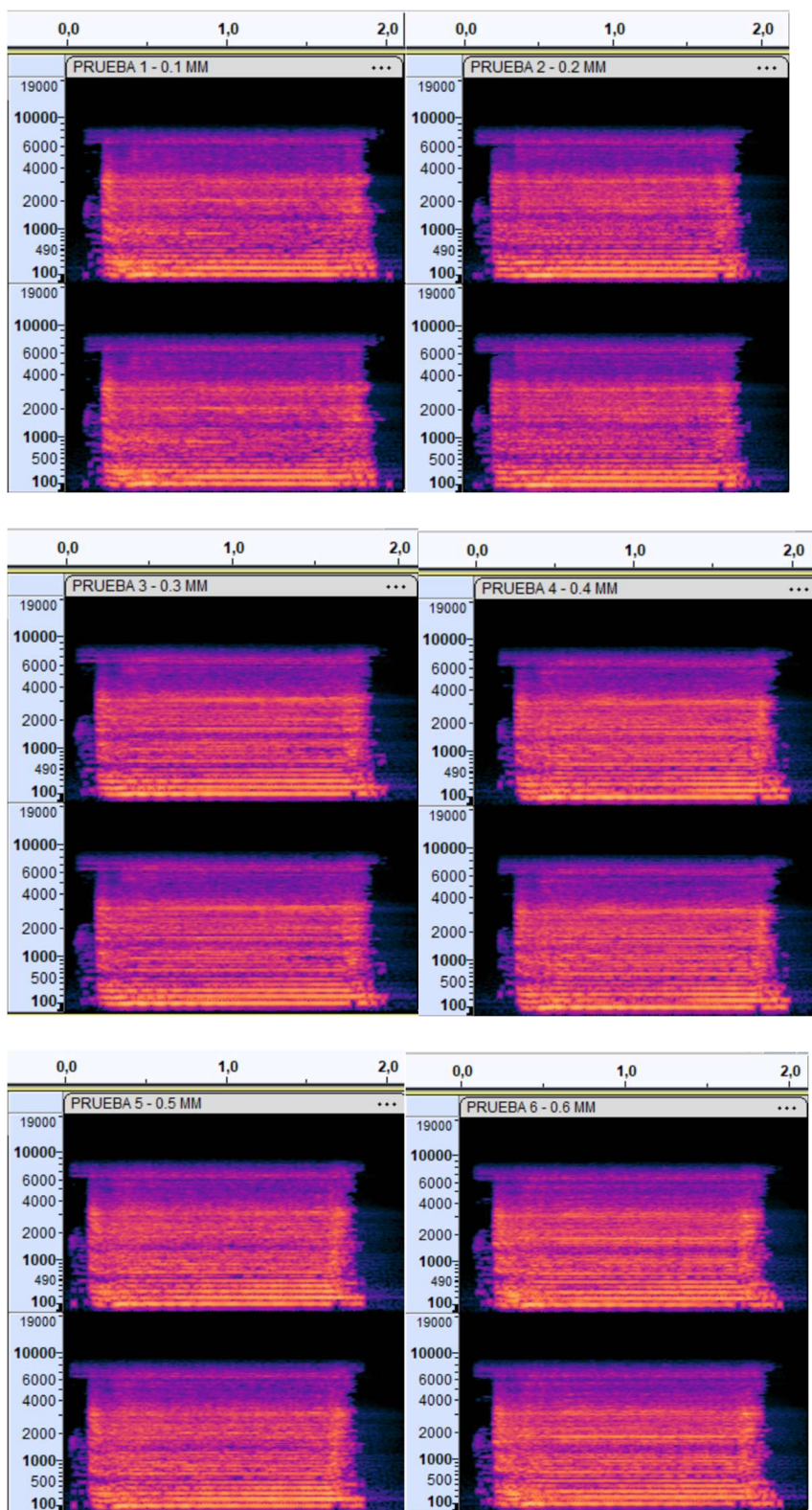
Niveles de energía acústica a 5000 rpm

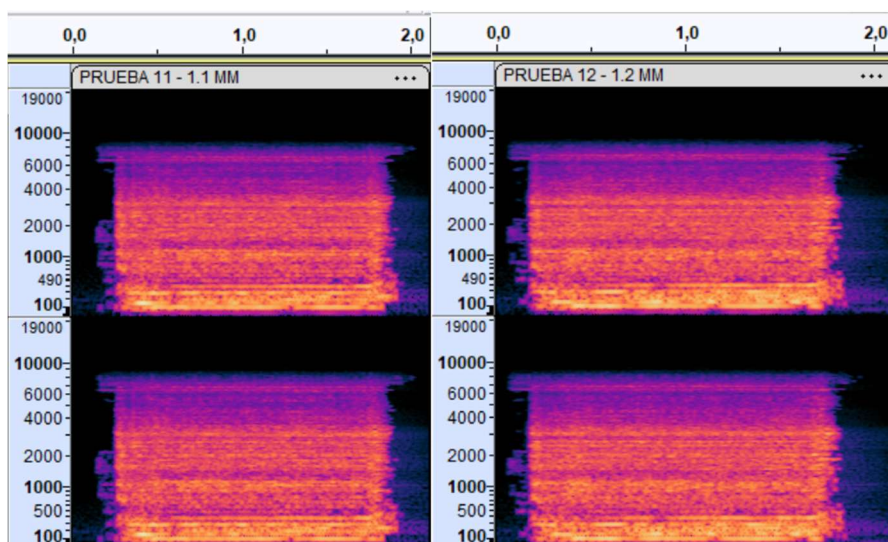
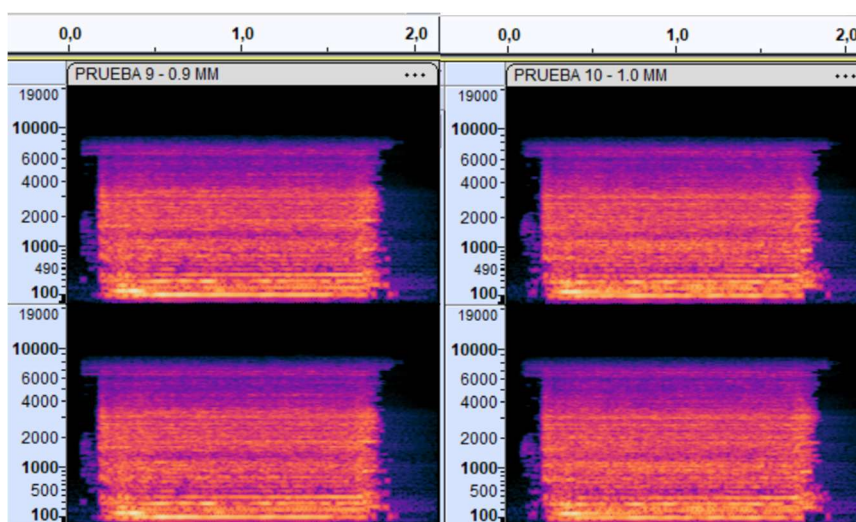
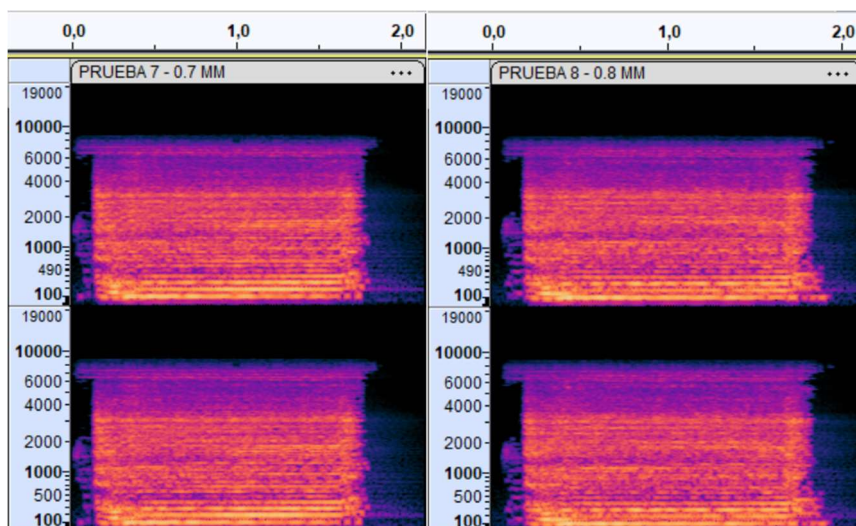


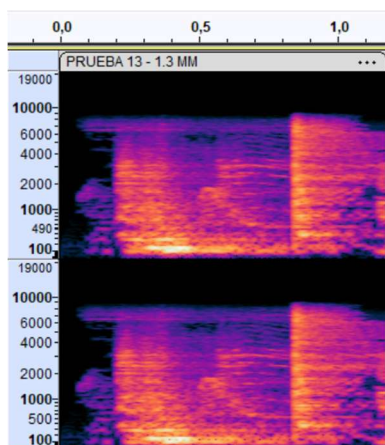


8.3 Apéndice D.3:

Niveles de energía acústica a 6000 rpm

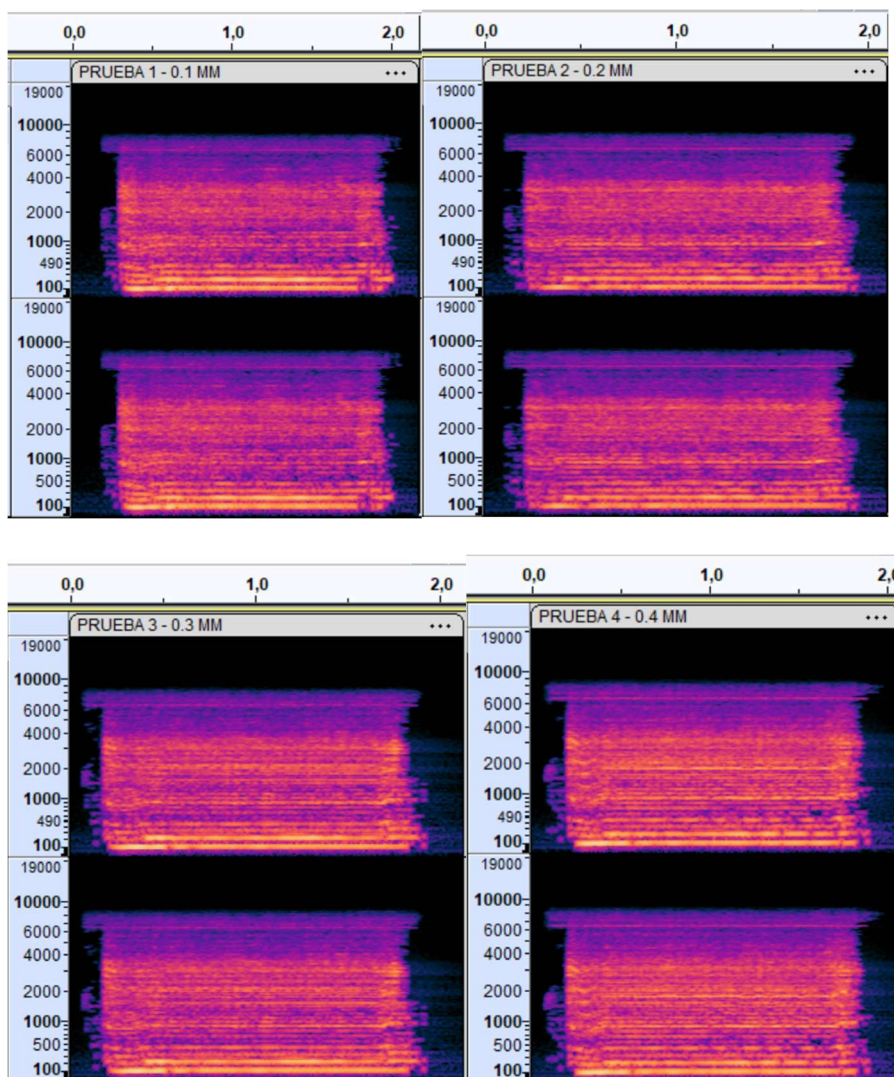


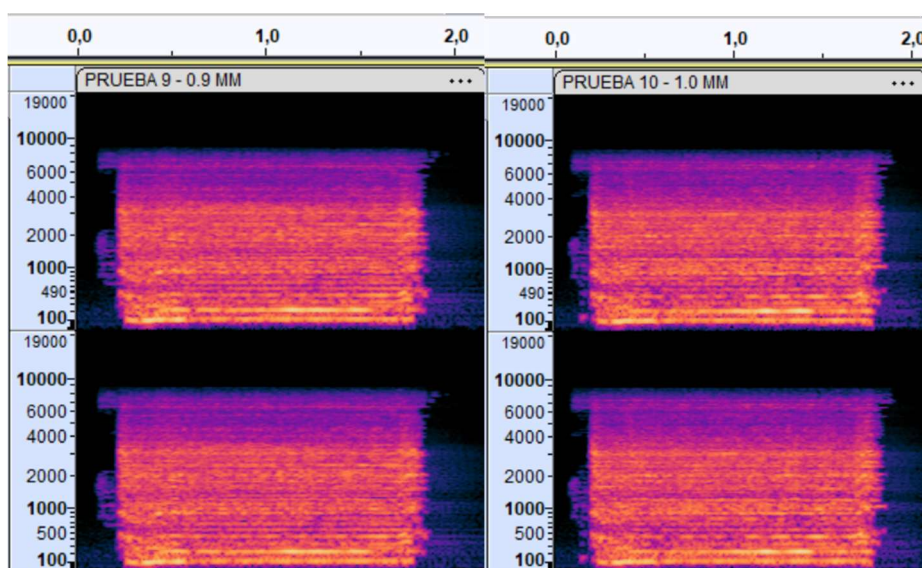
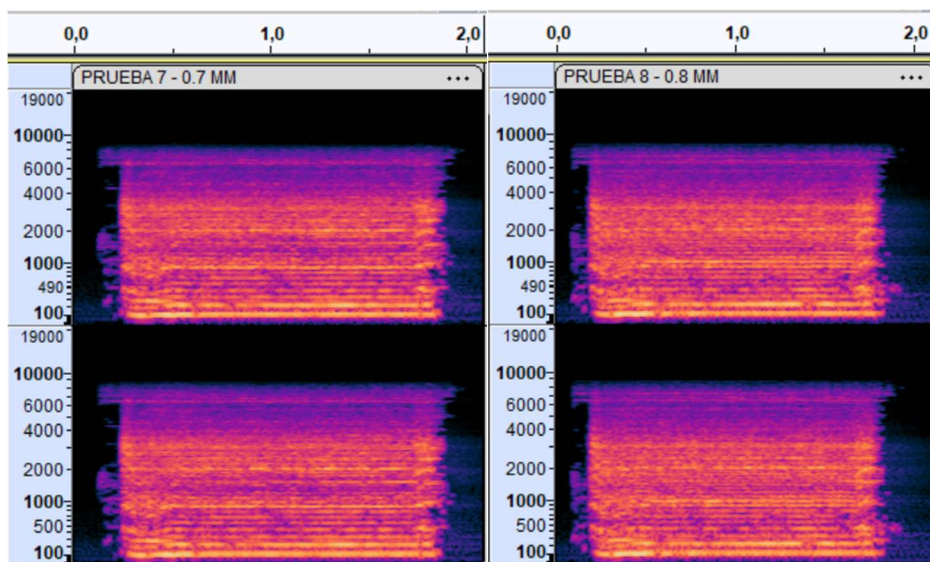
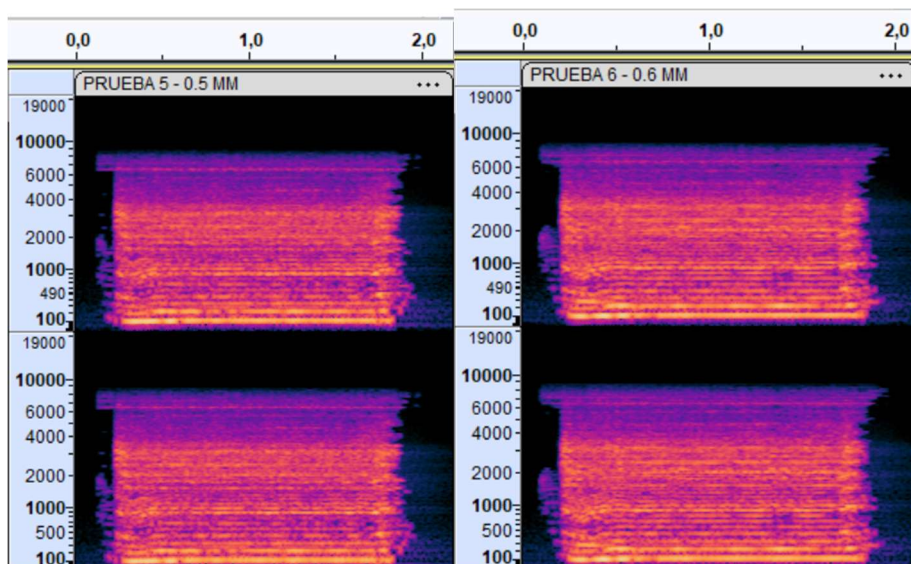


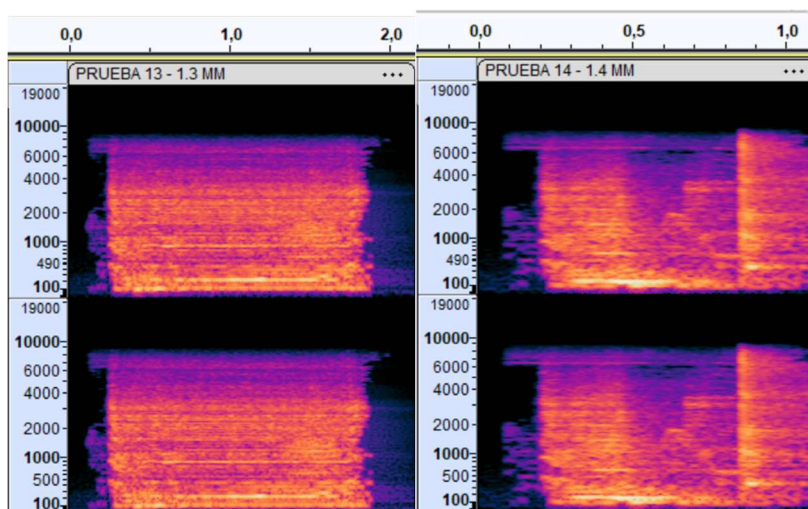
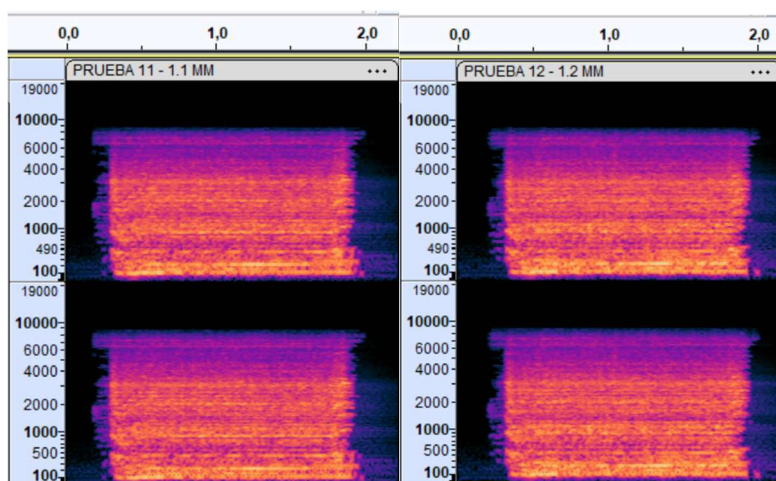


8.4 Apéndice D.4:

Niveles de energía acústica a 7000 rpm

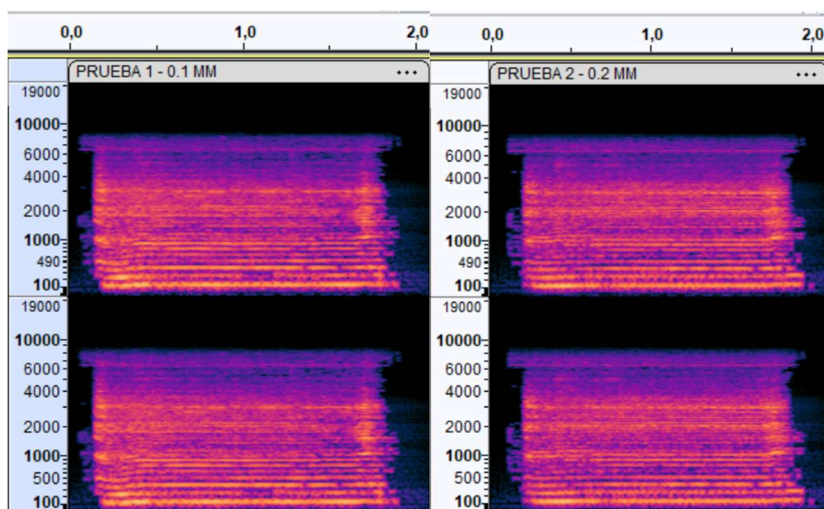


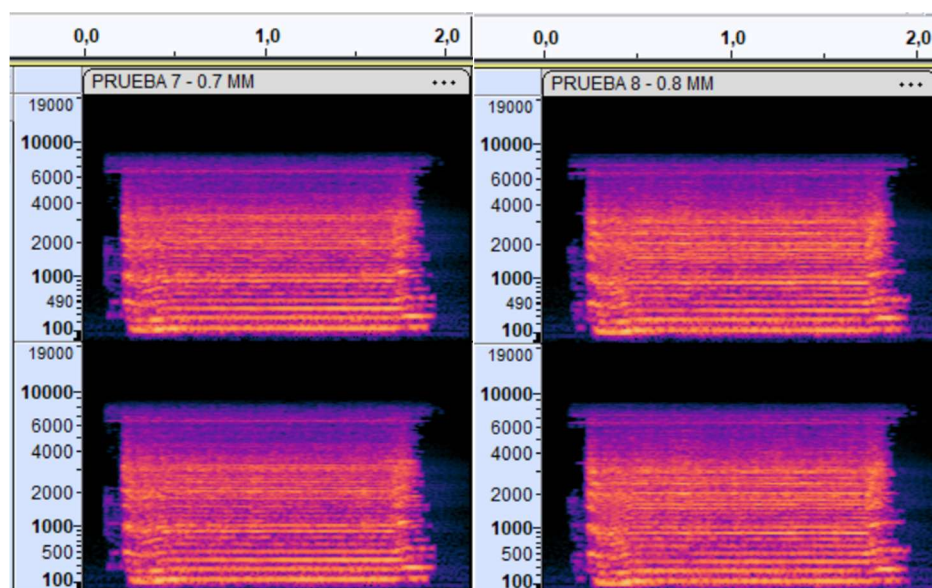
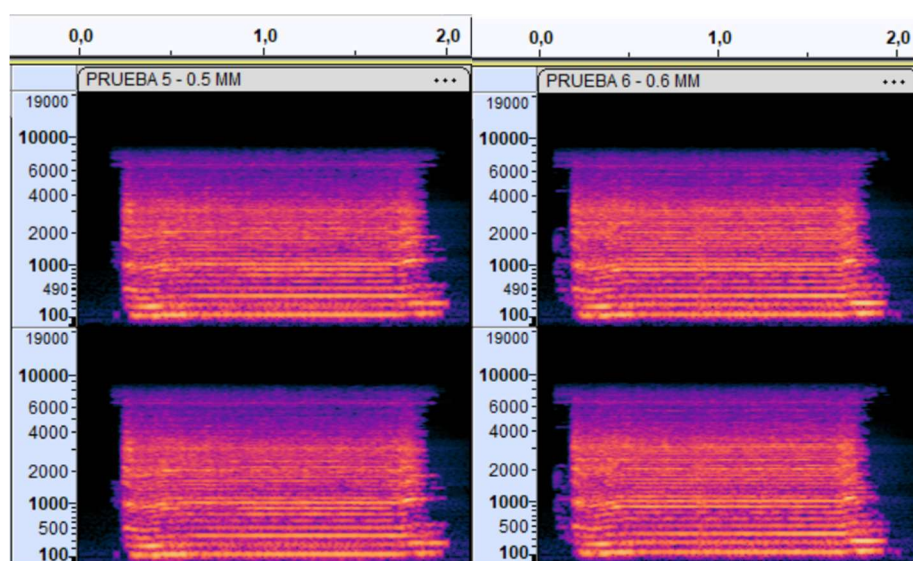
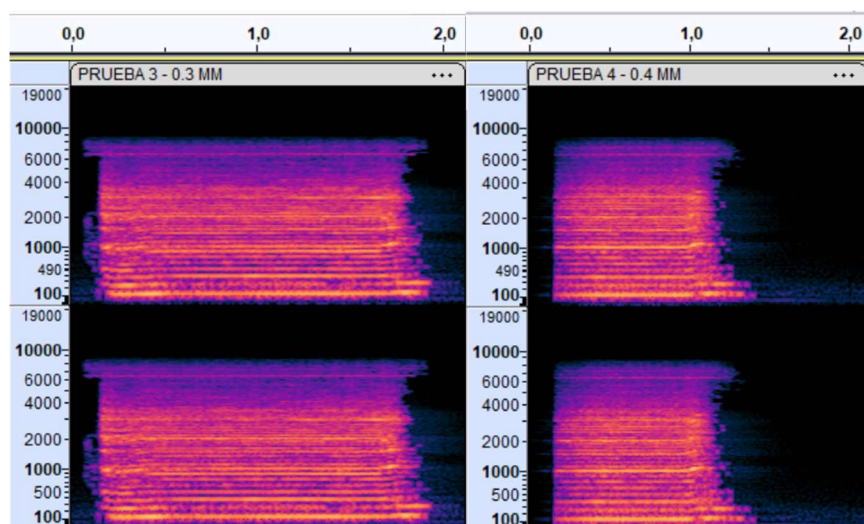


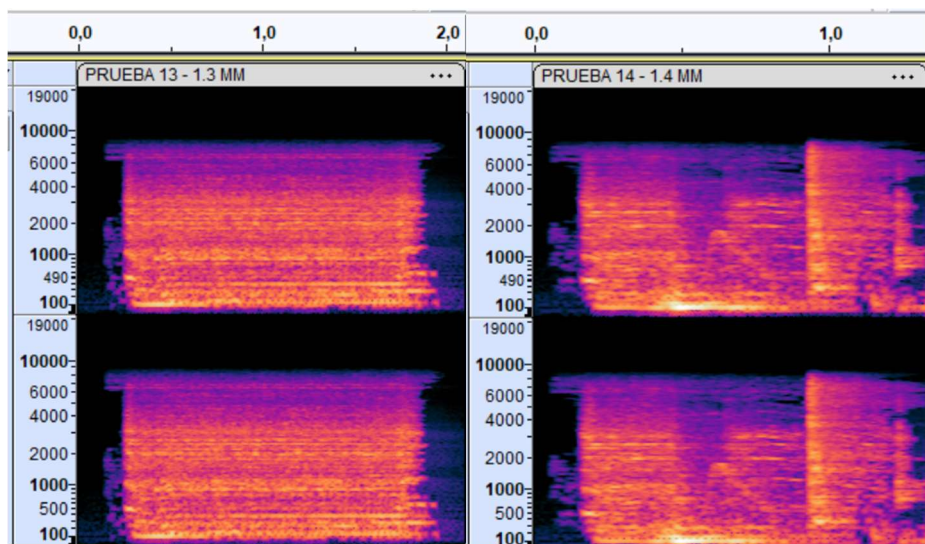
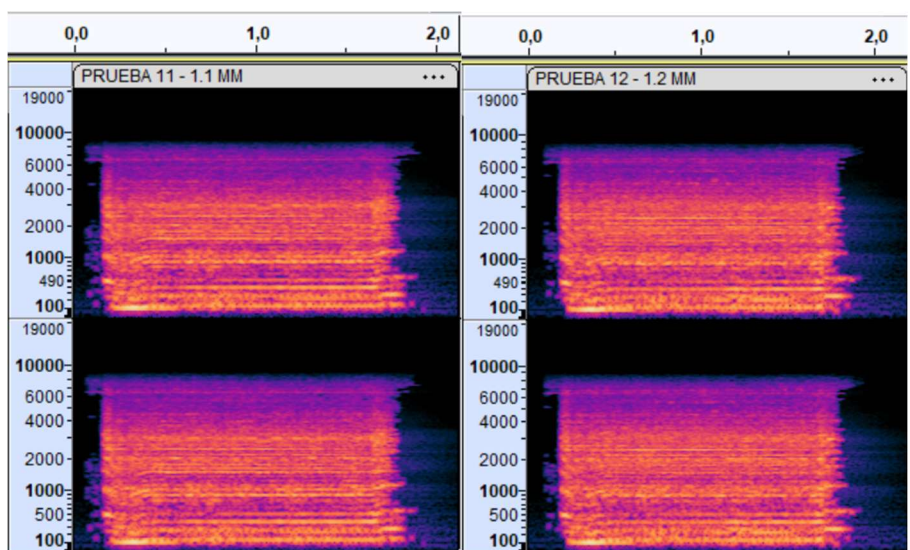
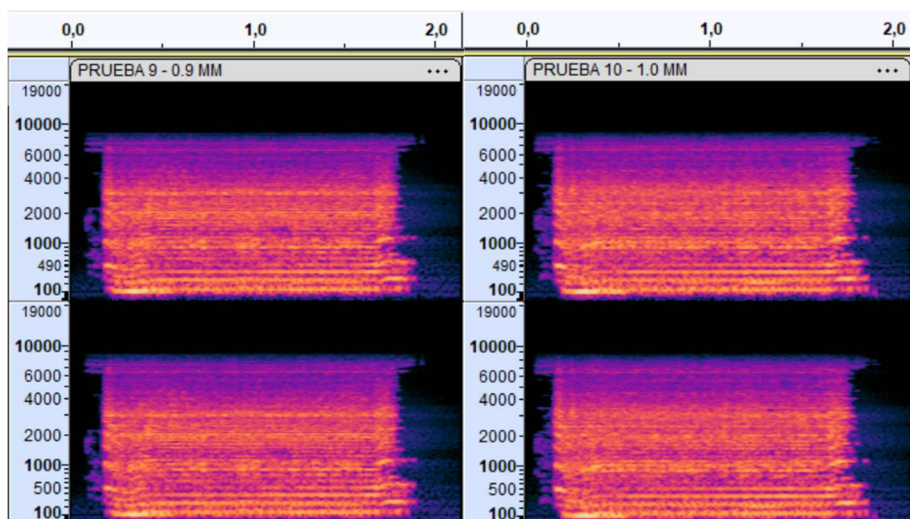


8.5 Apéndice D.5:

Niveles de energía acústica a 8000 rpm

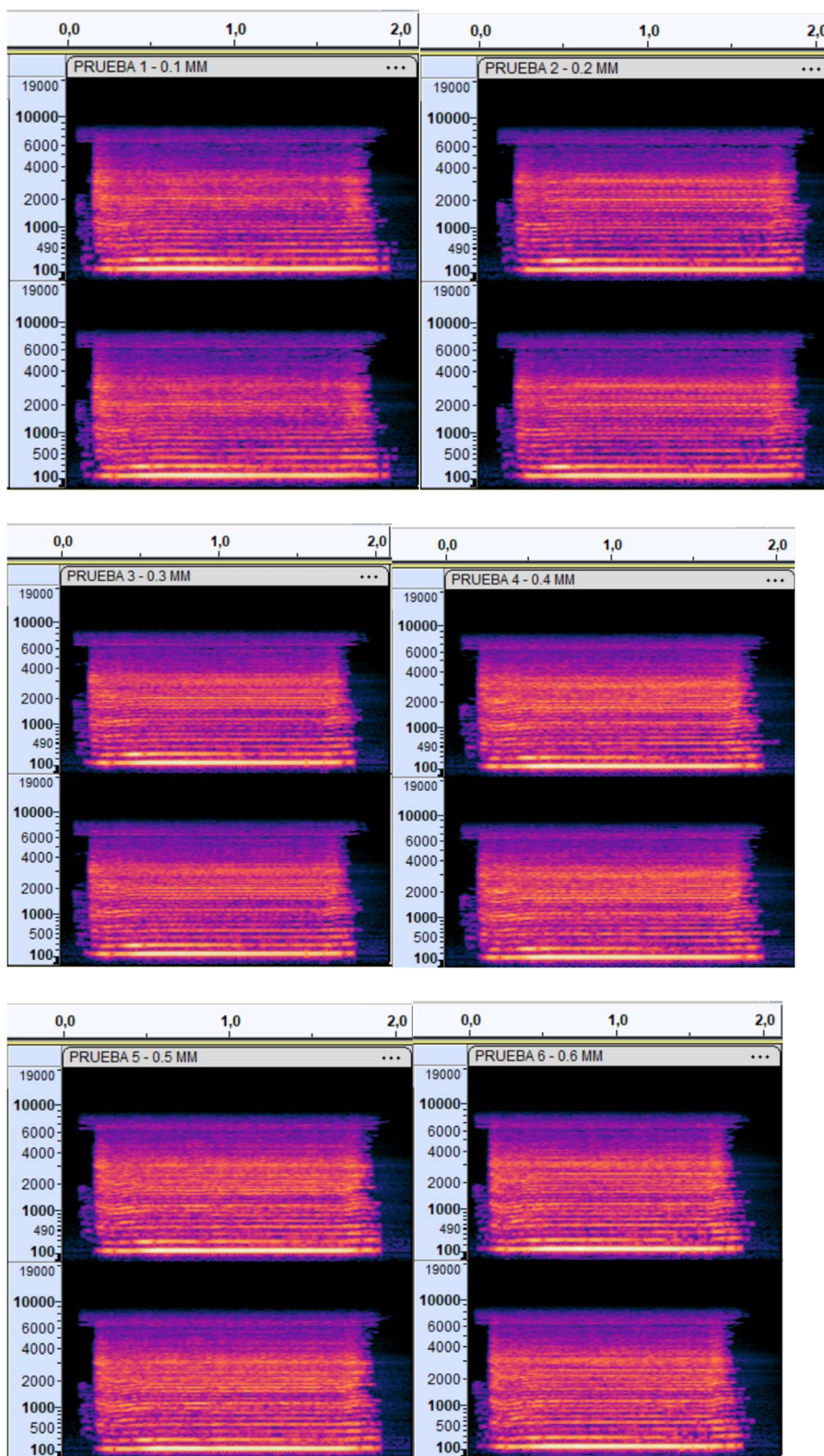


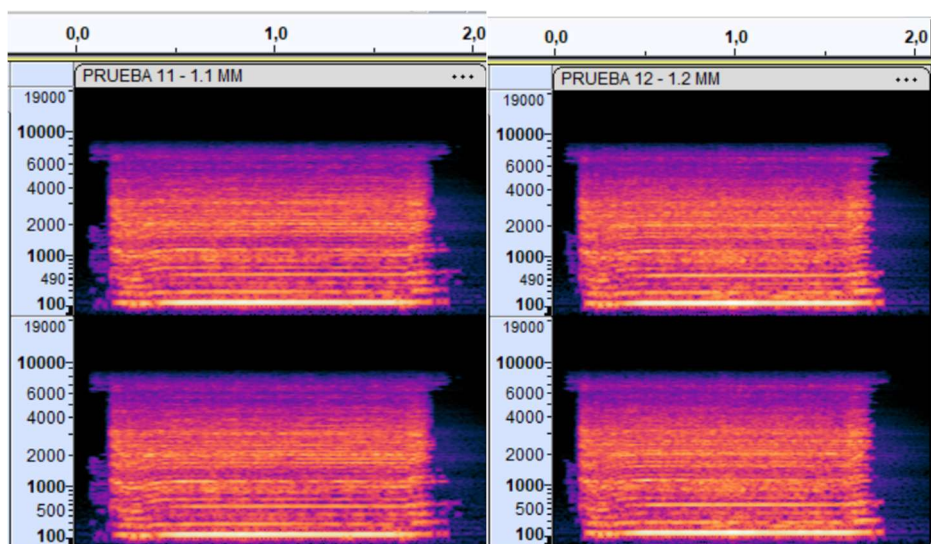
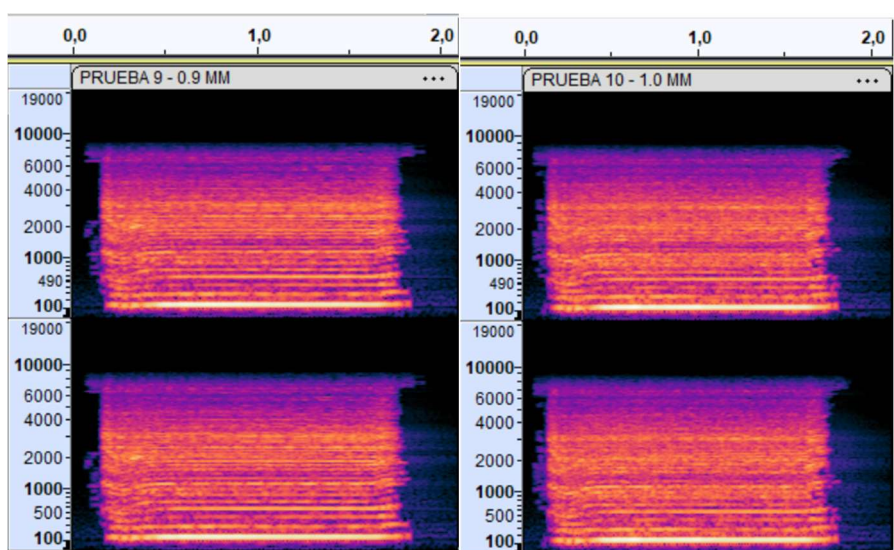
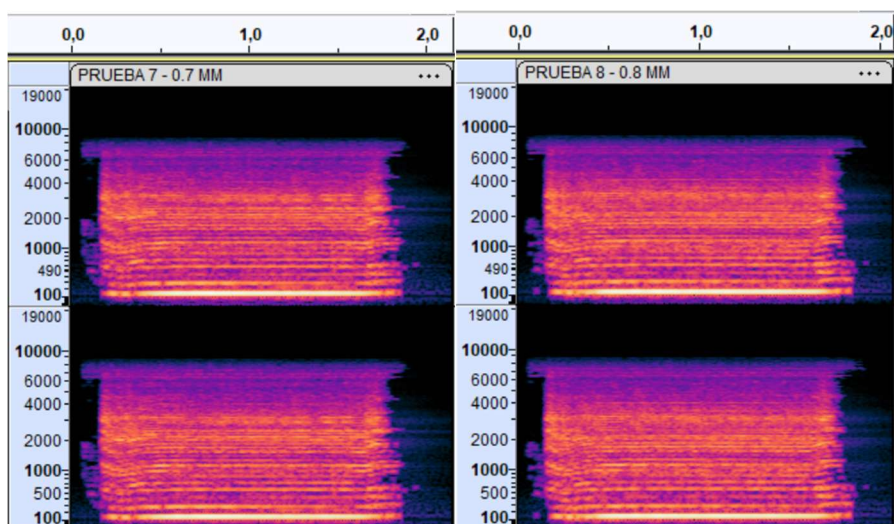


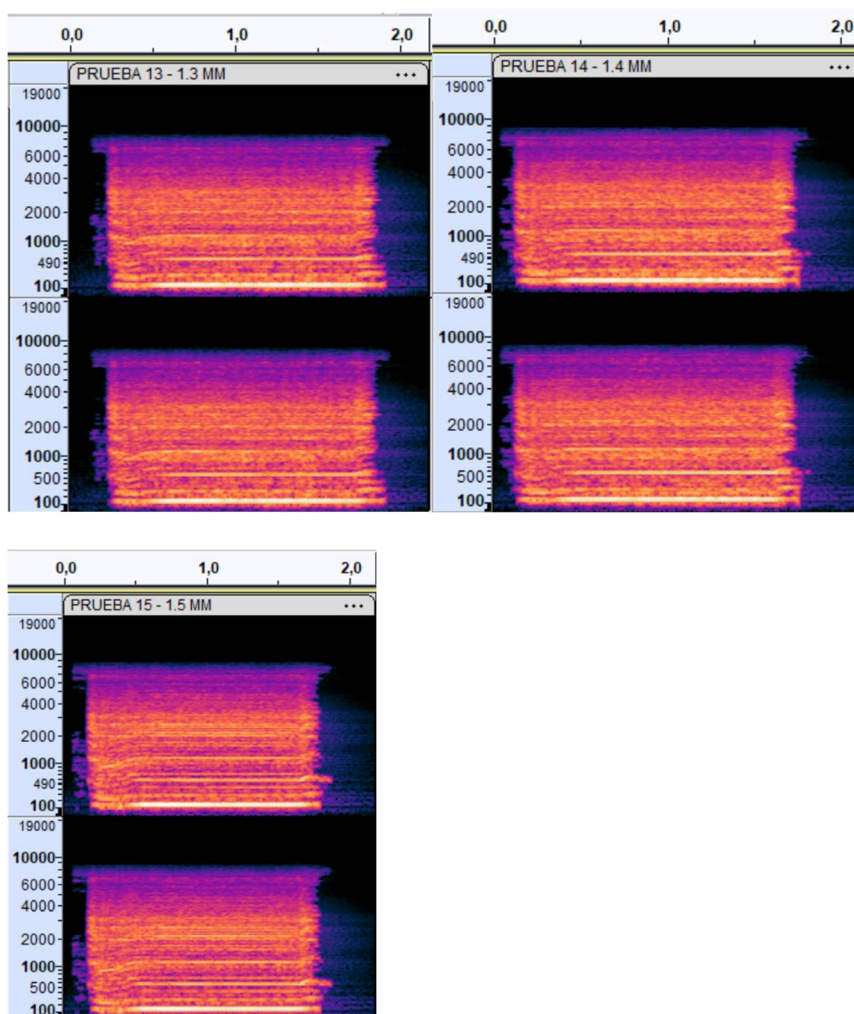


8.6 Apéndice D.6:

Niveles de presión acústica a 9000 rpm

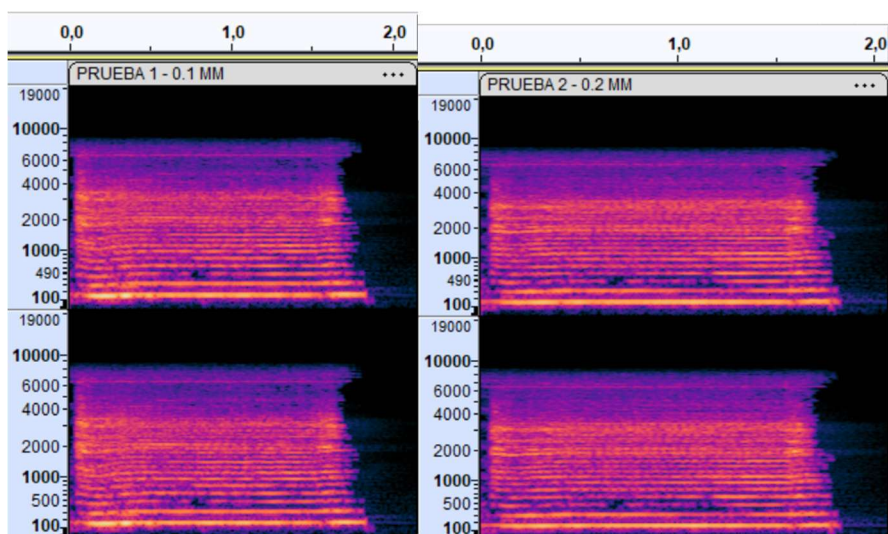


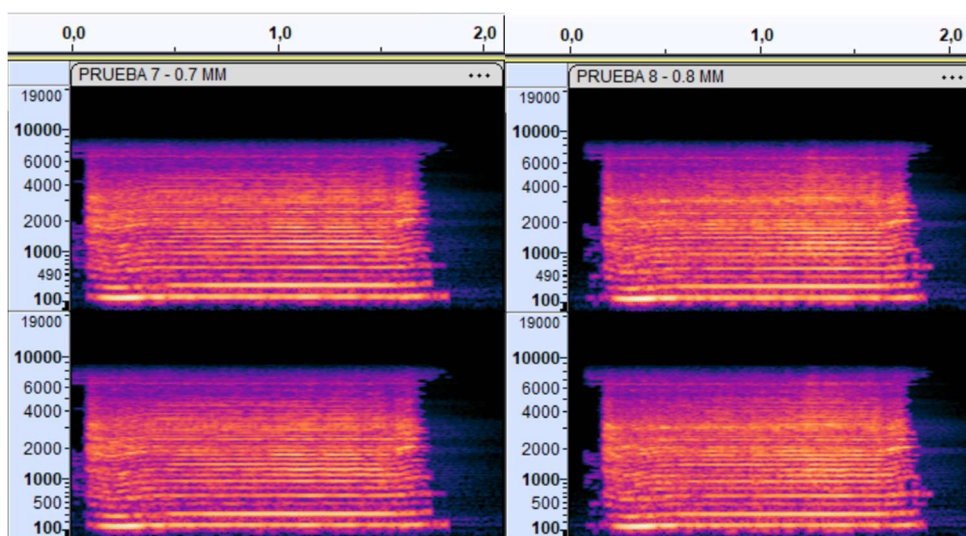
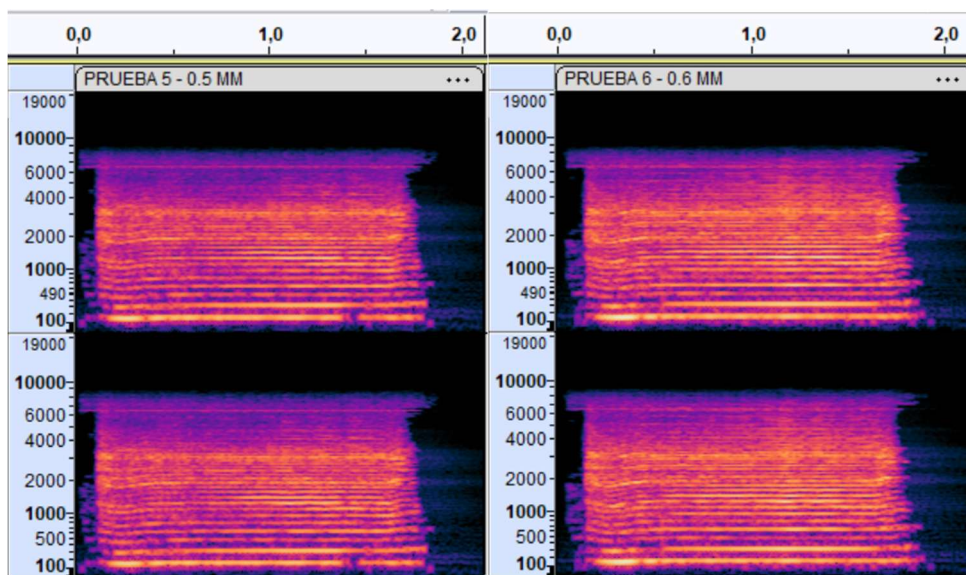
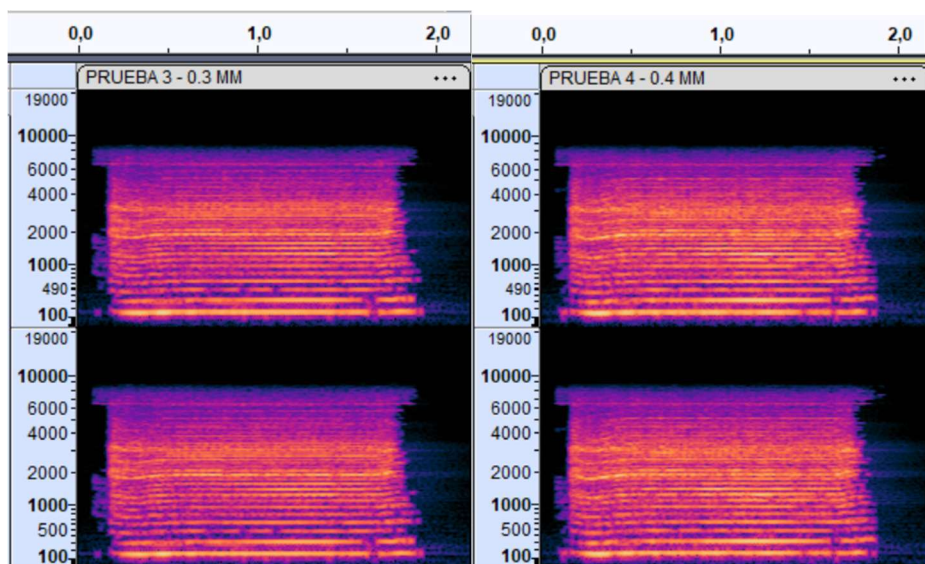


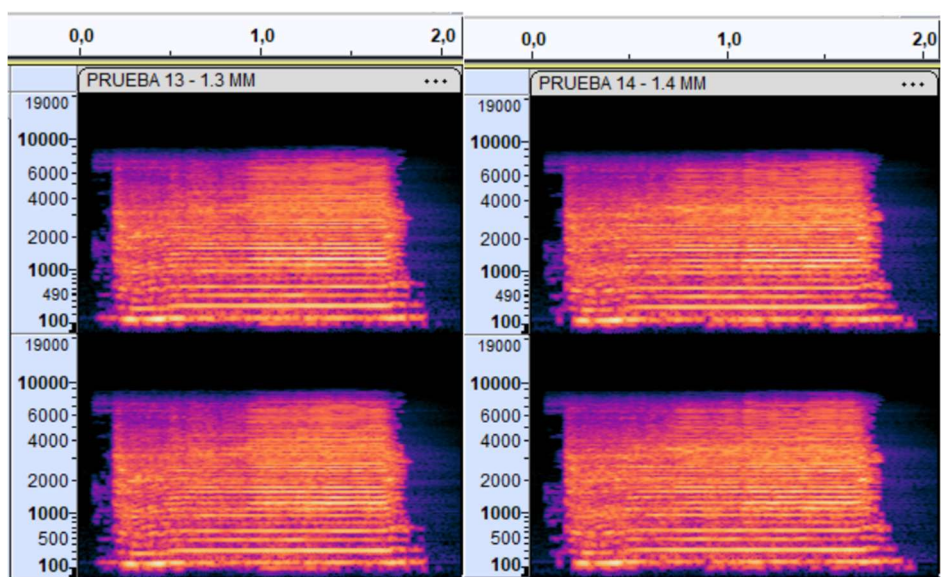
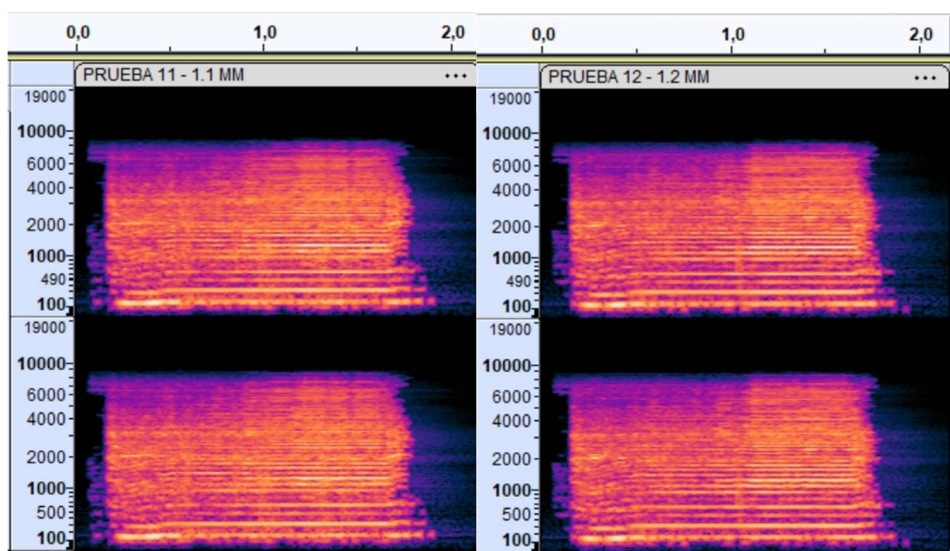
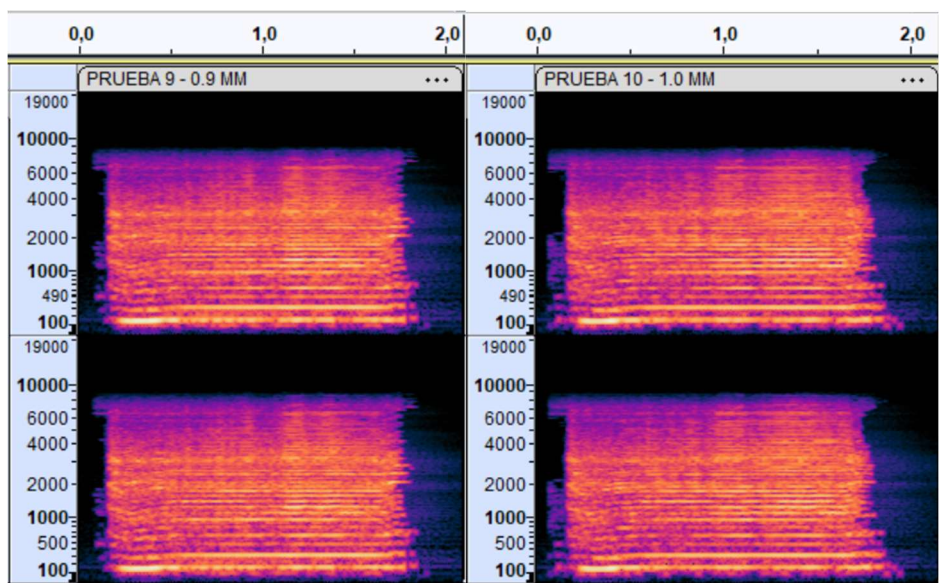


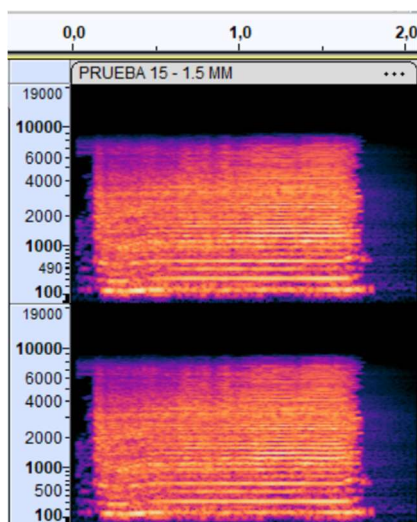
8.7 Apéndice D.7:

Niveles de energía acústica a 10000 rpm



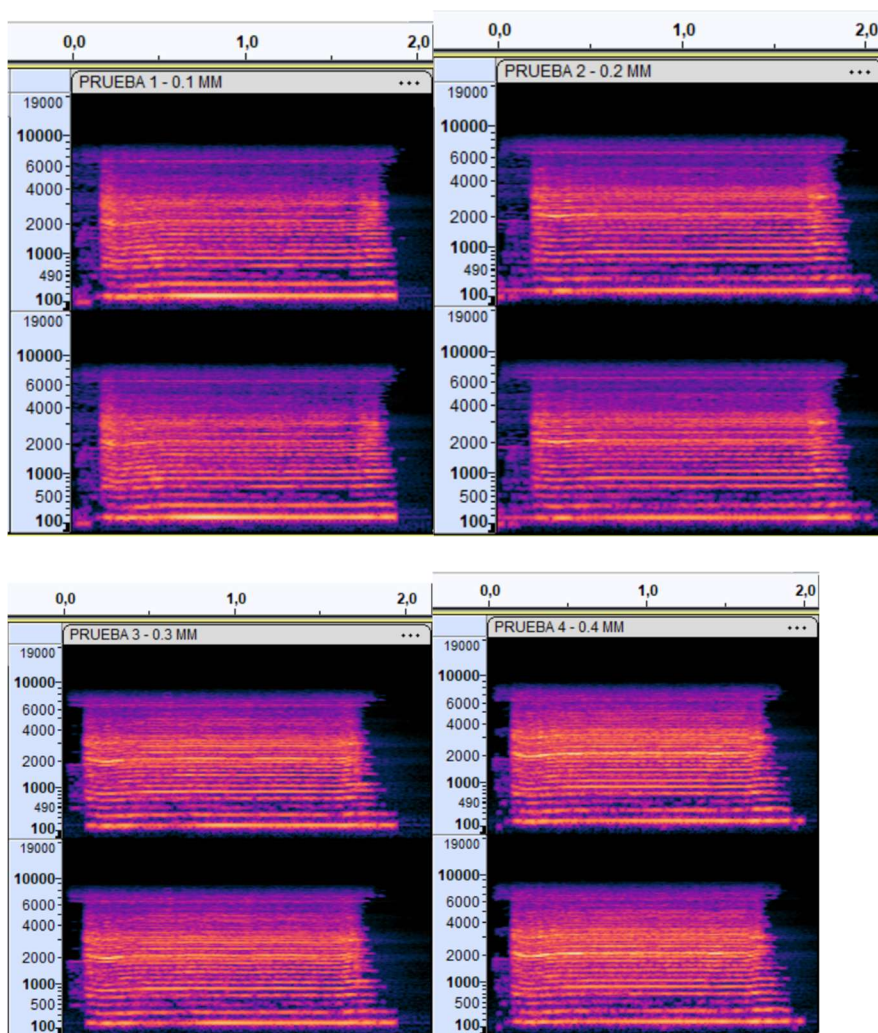


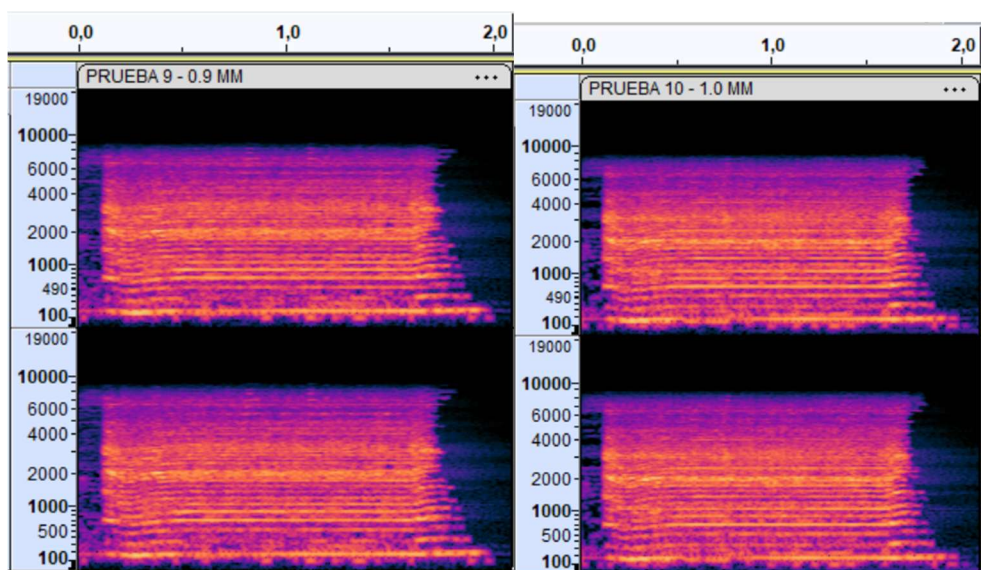
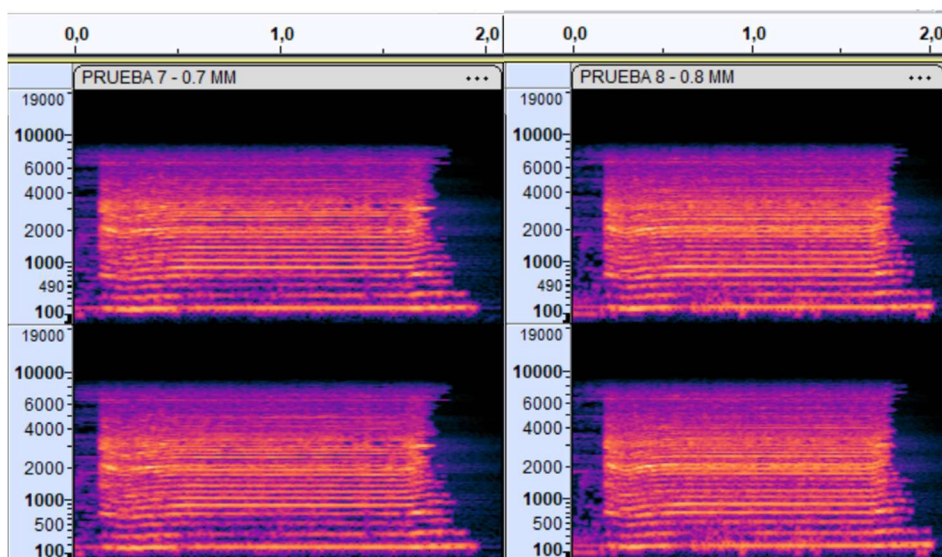
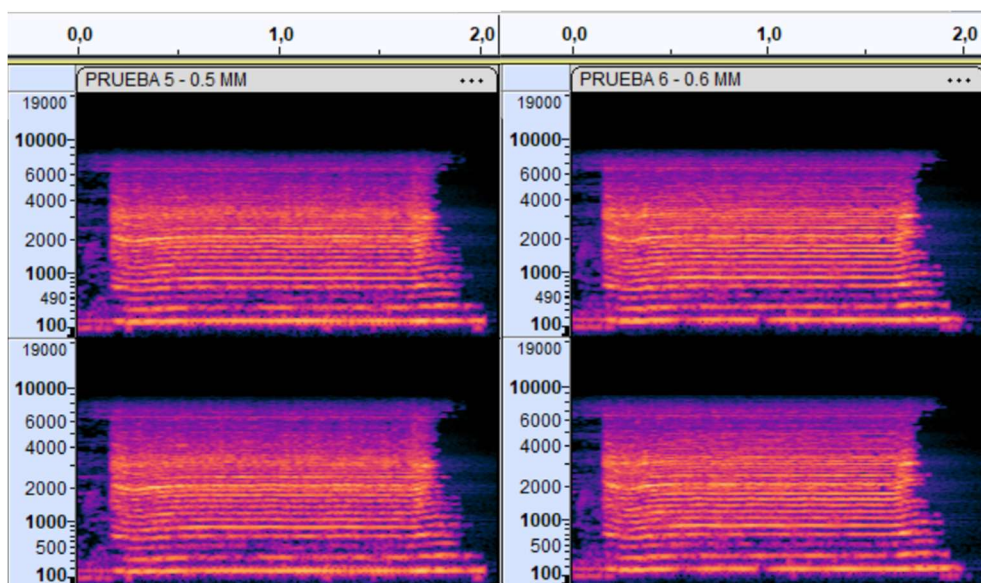


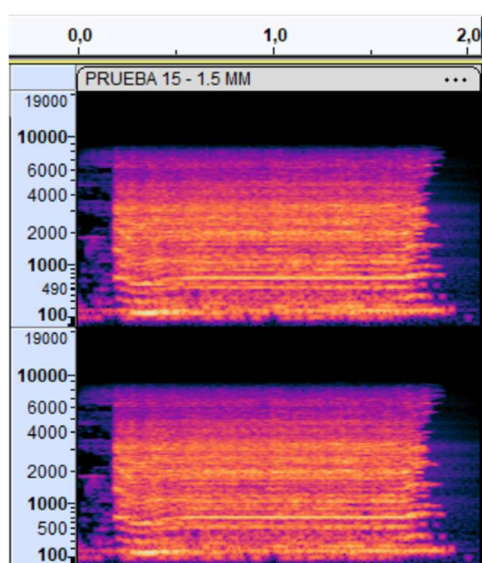
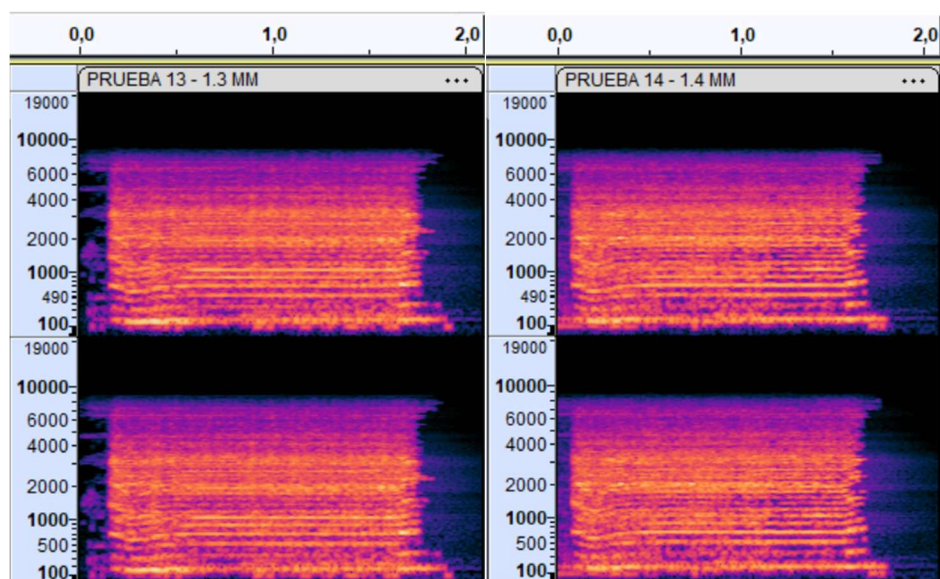
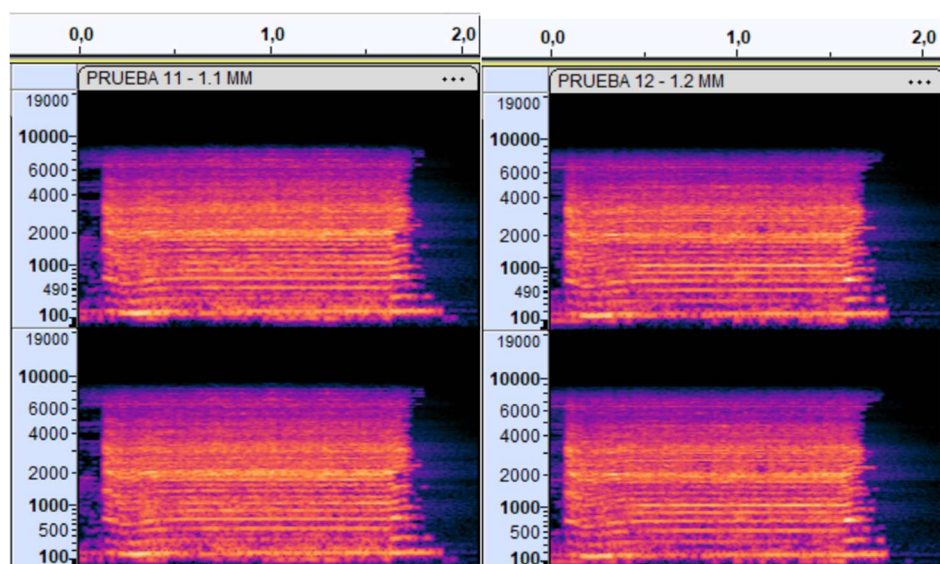


8.8 Apéndice D8:

Niveles de energía acústica a 11000 rpm

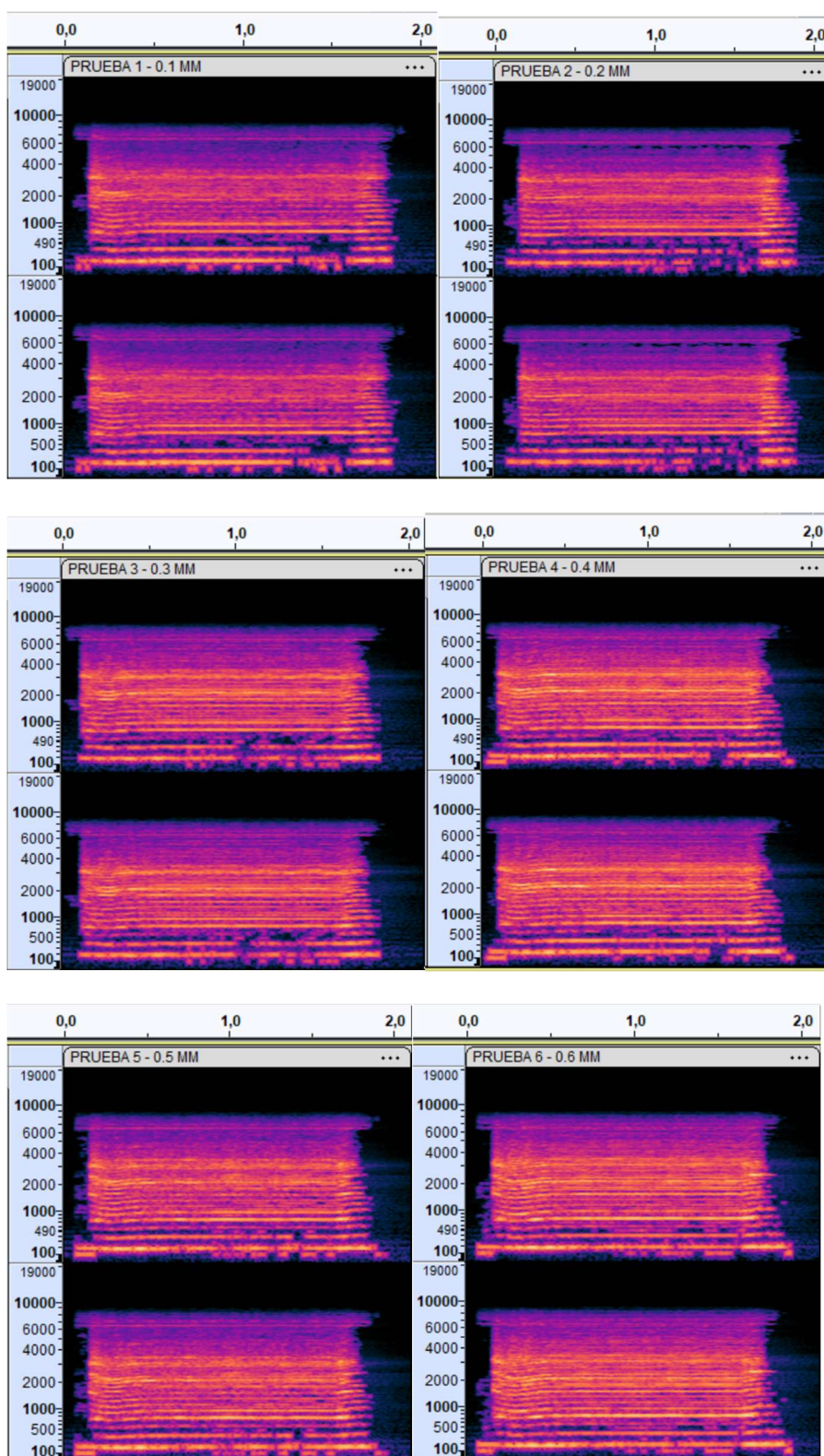


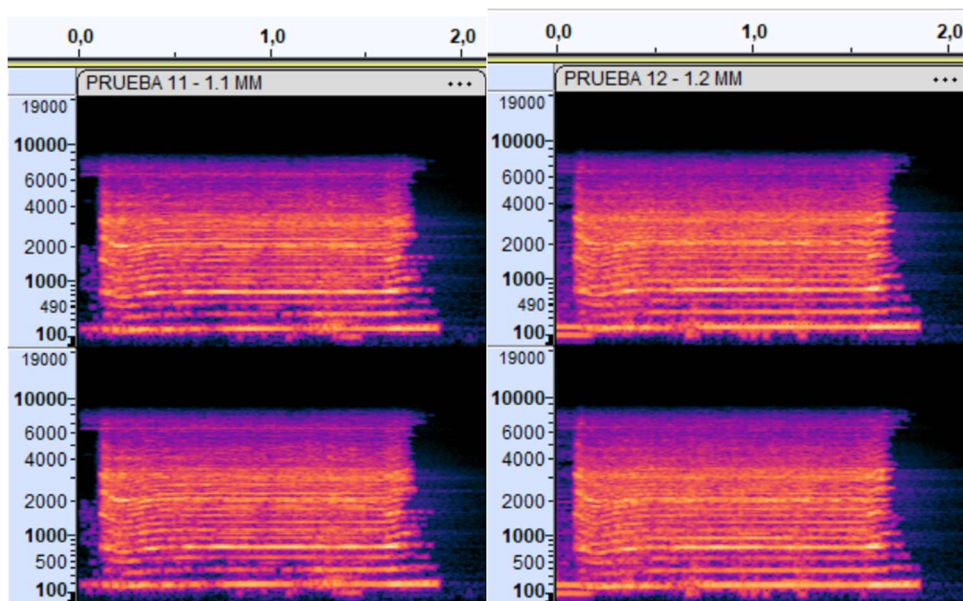
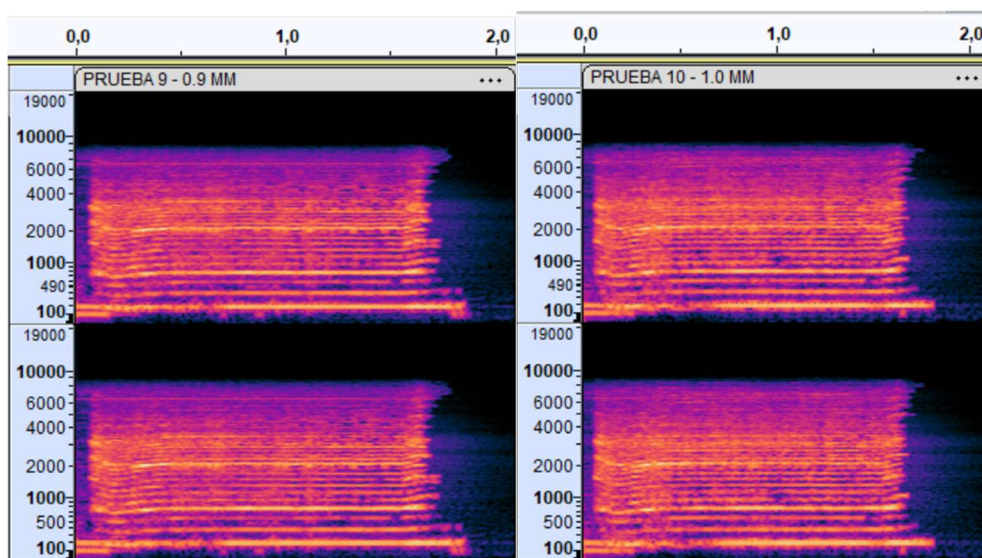
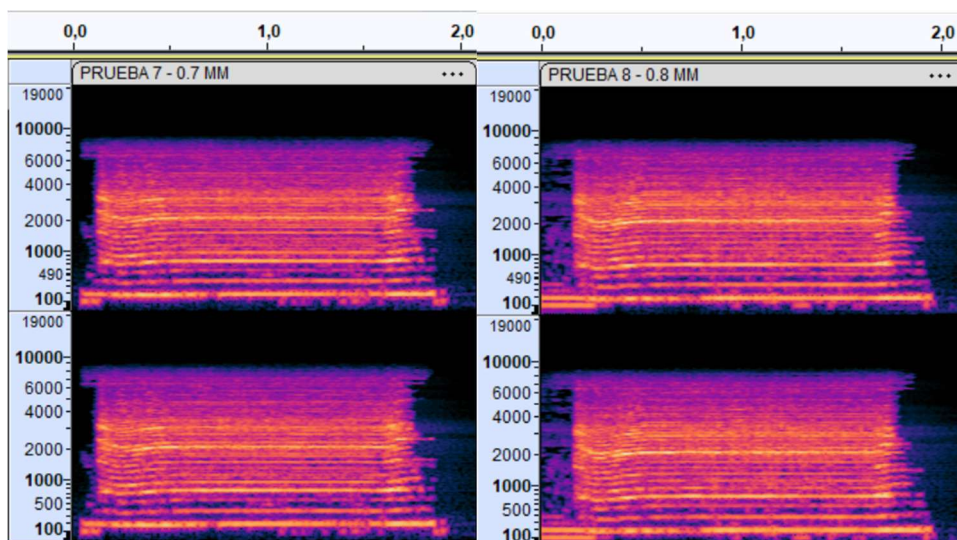


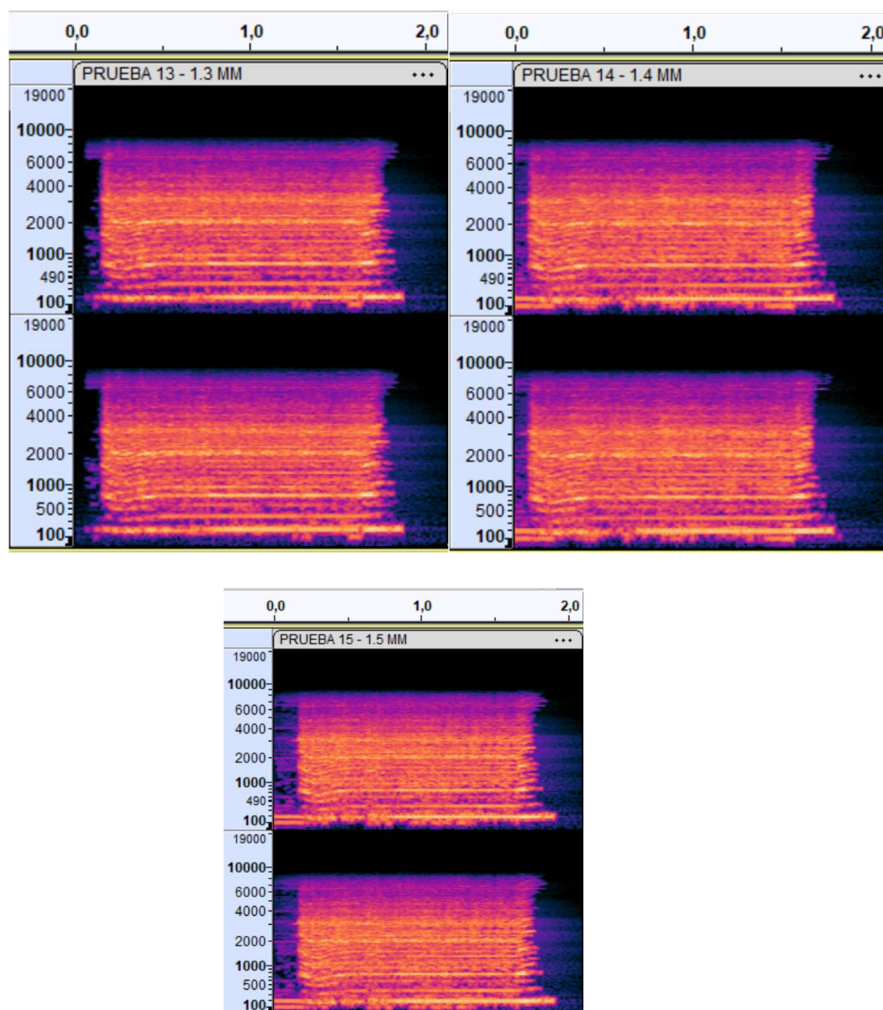


8.9 Apéndice D9:

Niveles de energía acústica a 12000 rpm

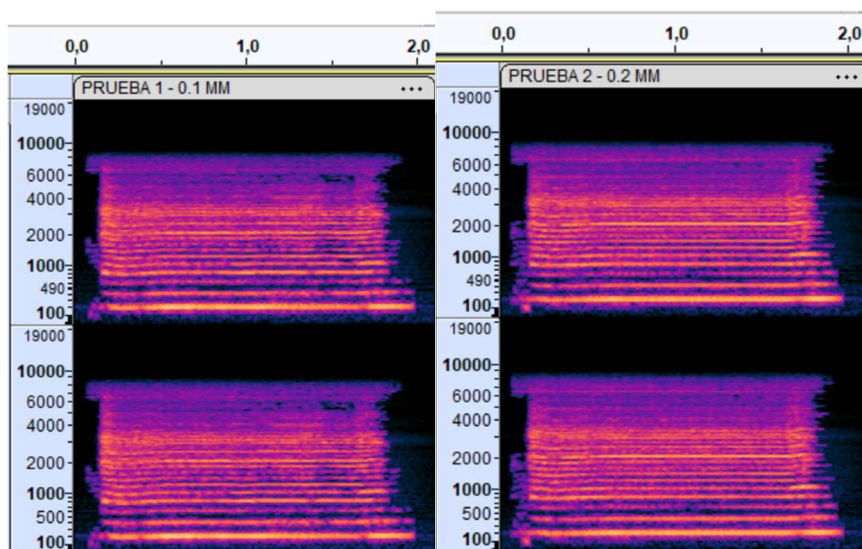


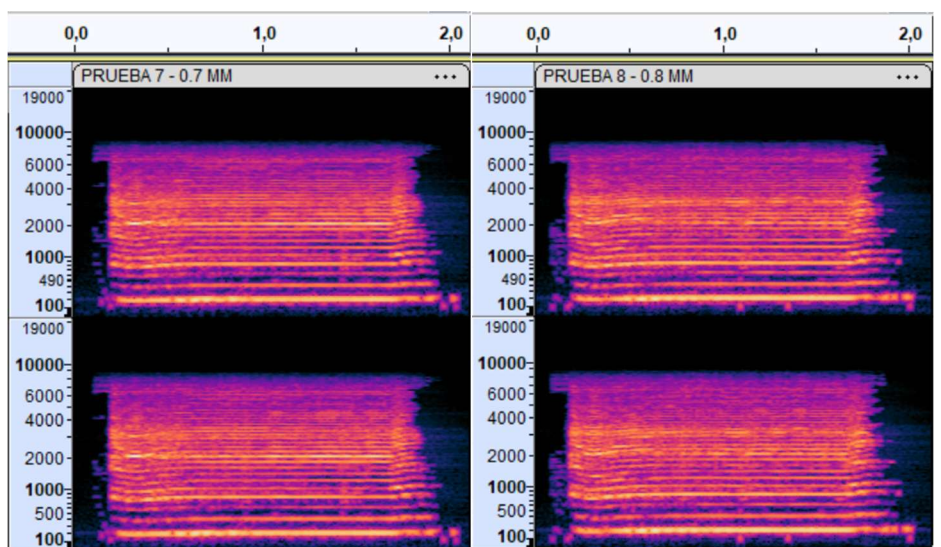
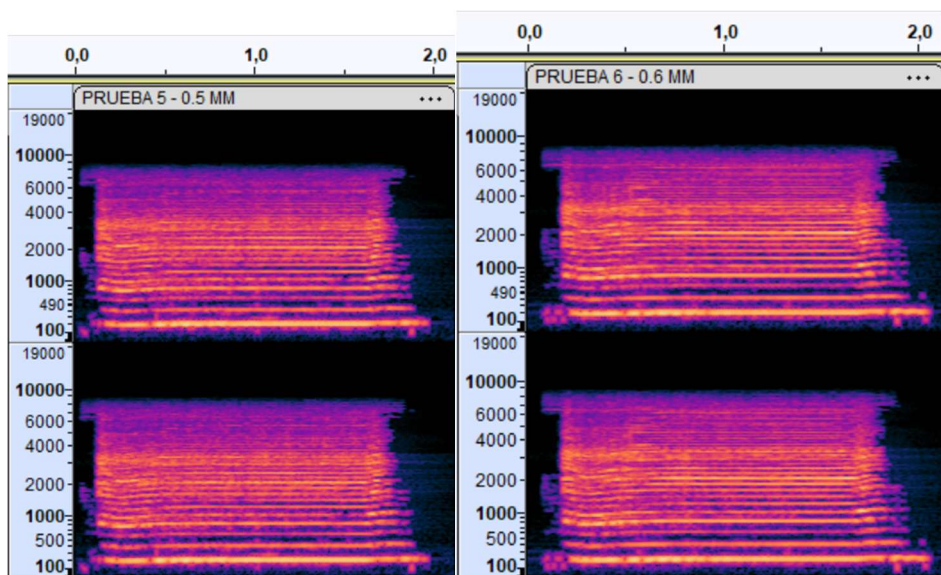
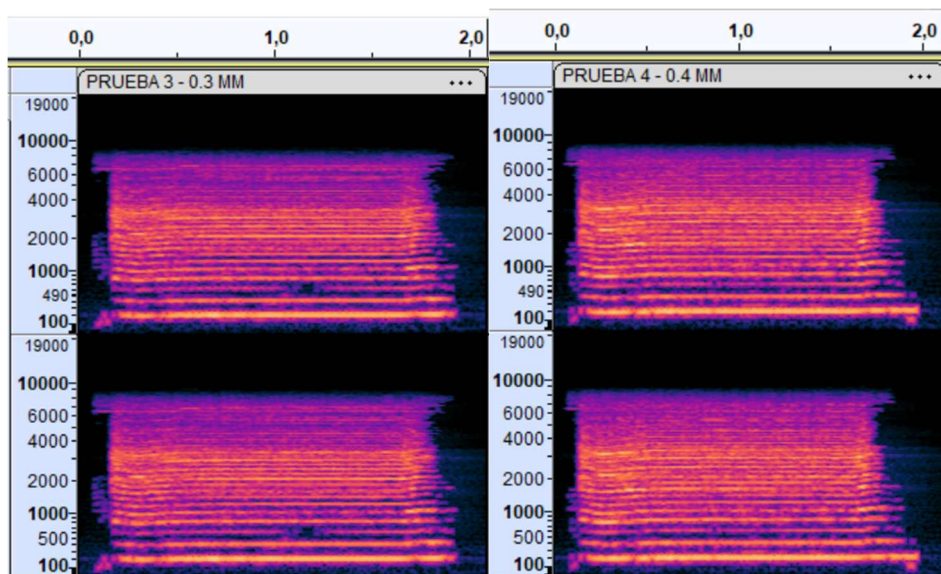


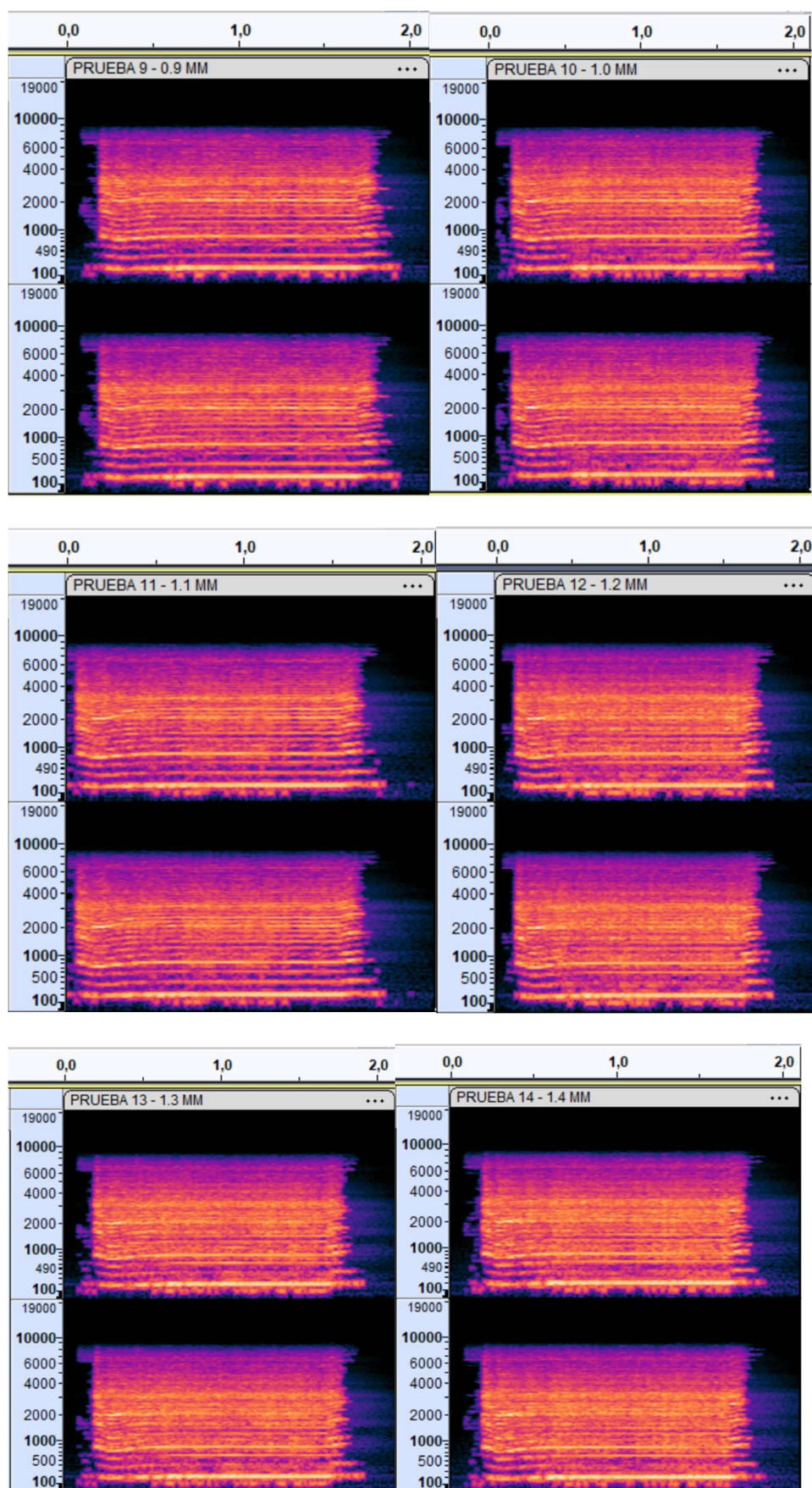


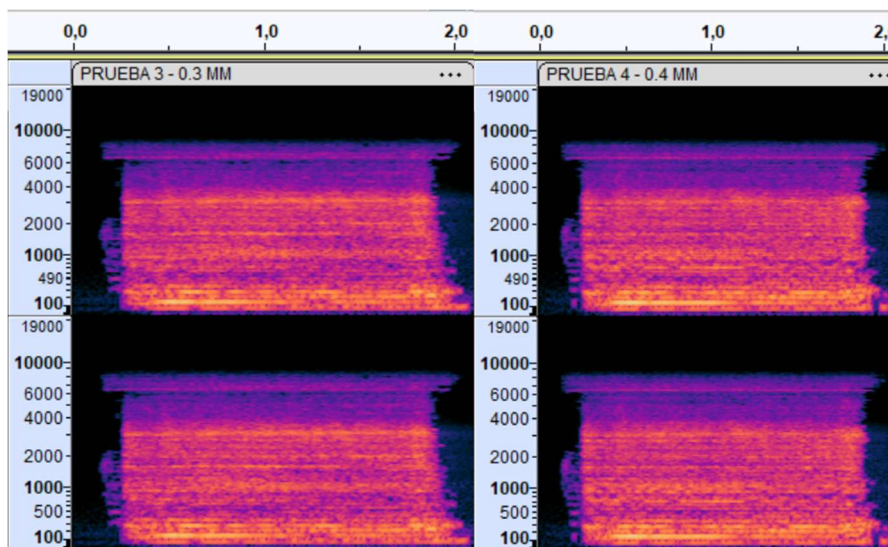
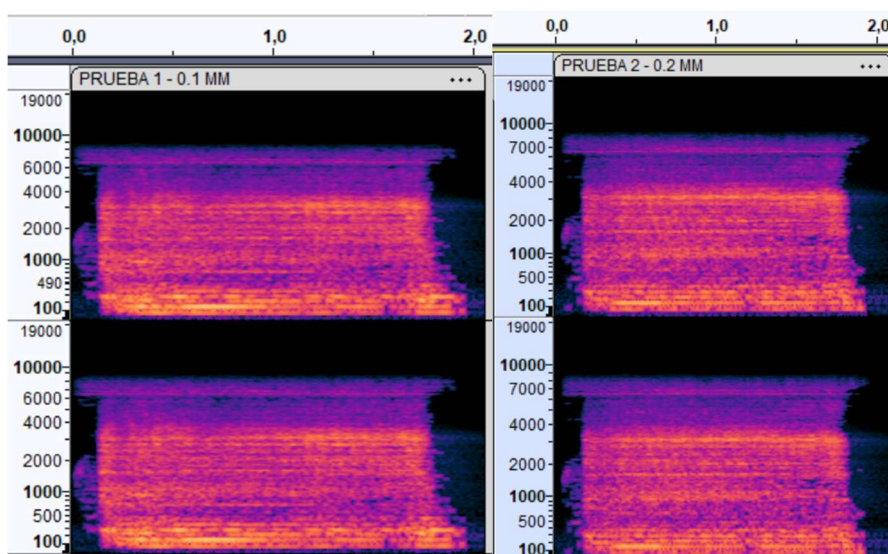
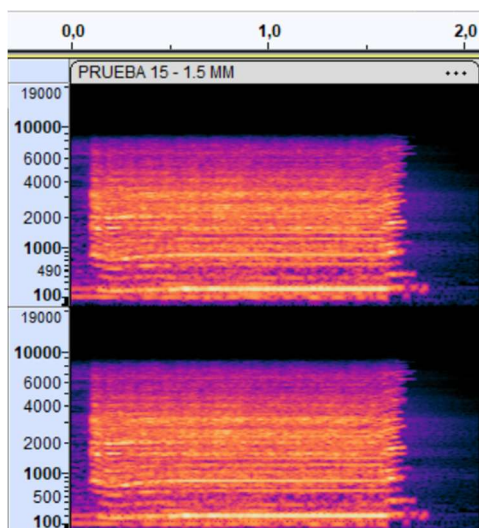
8.10 Apéndice D10:

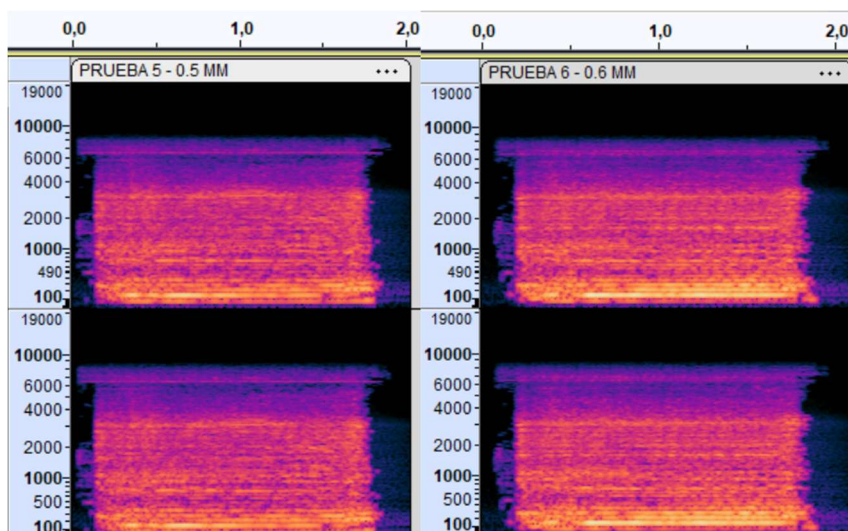
Niveles de energía acústica a 13000 rpm





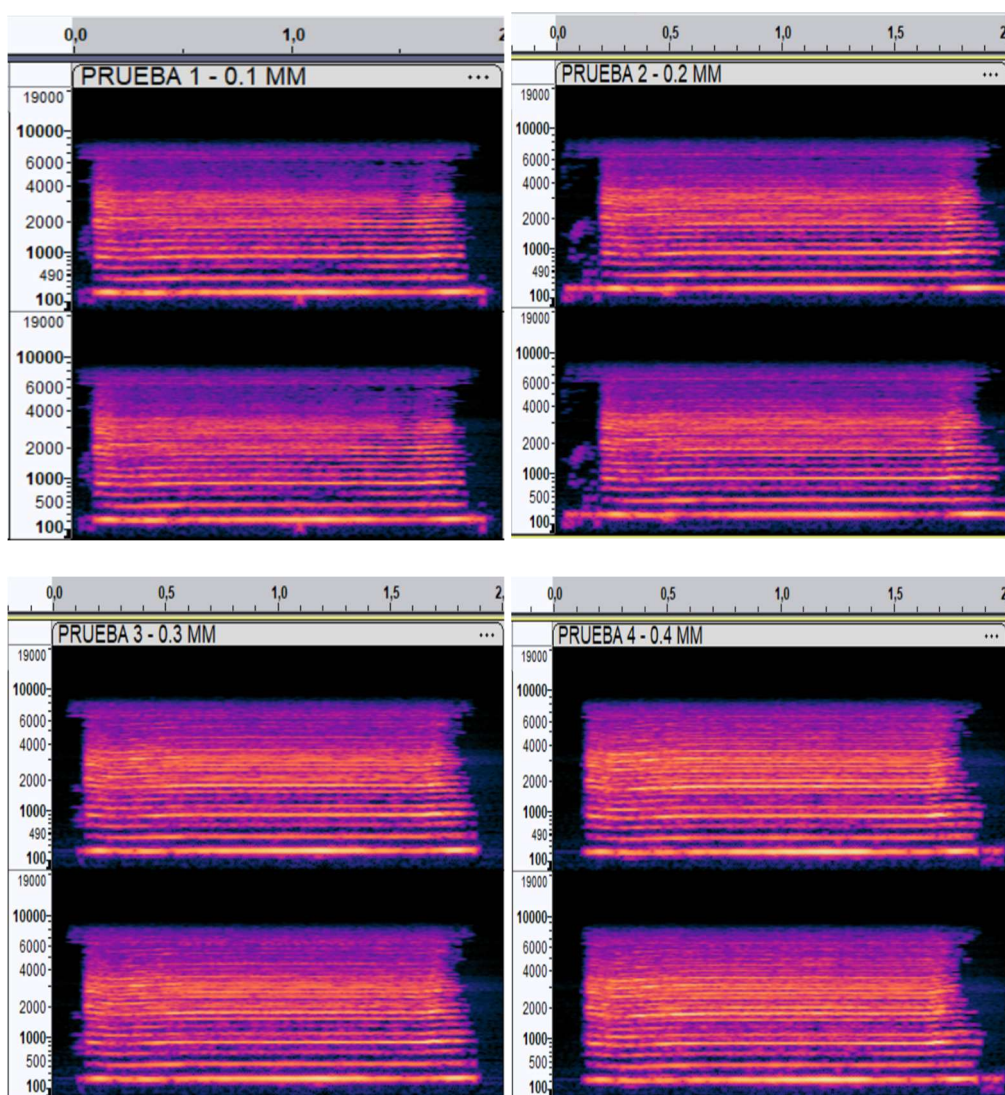


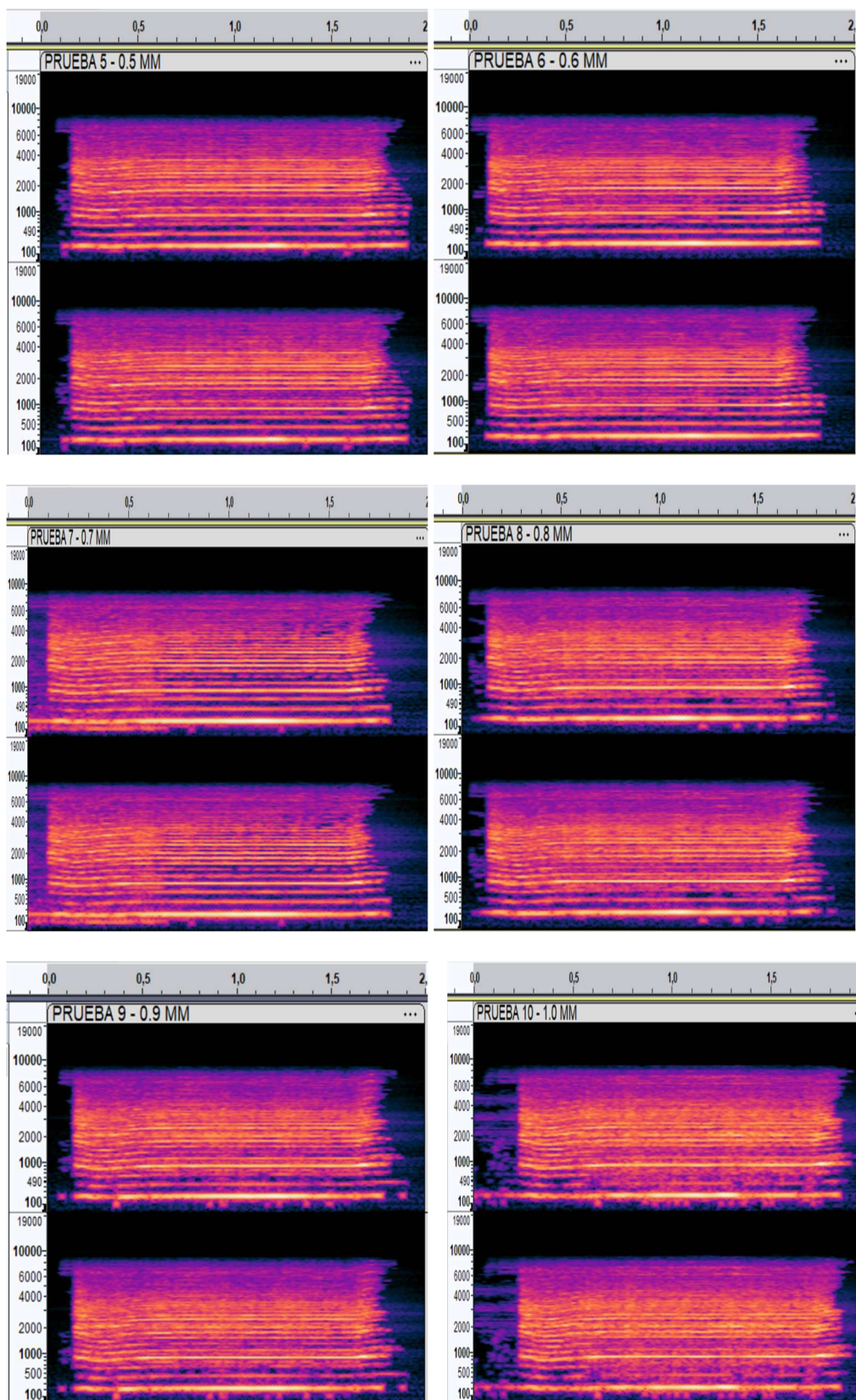


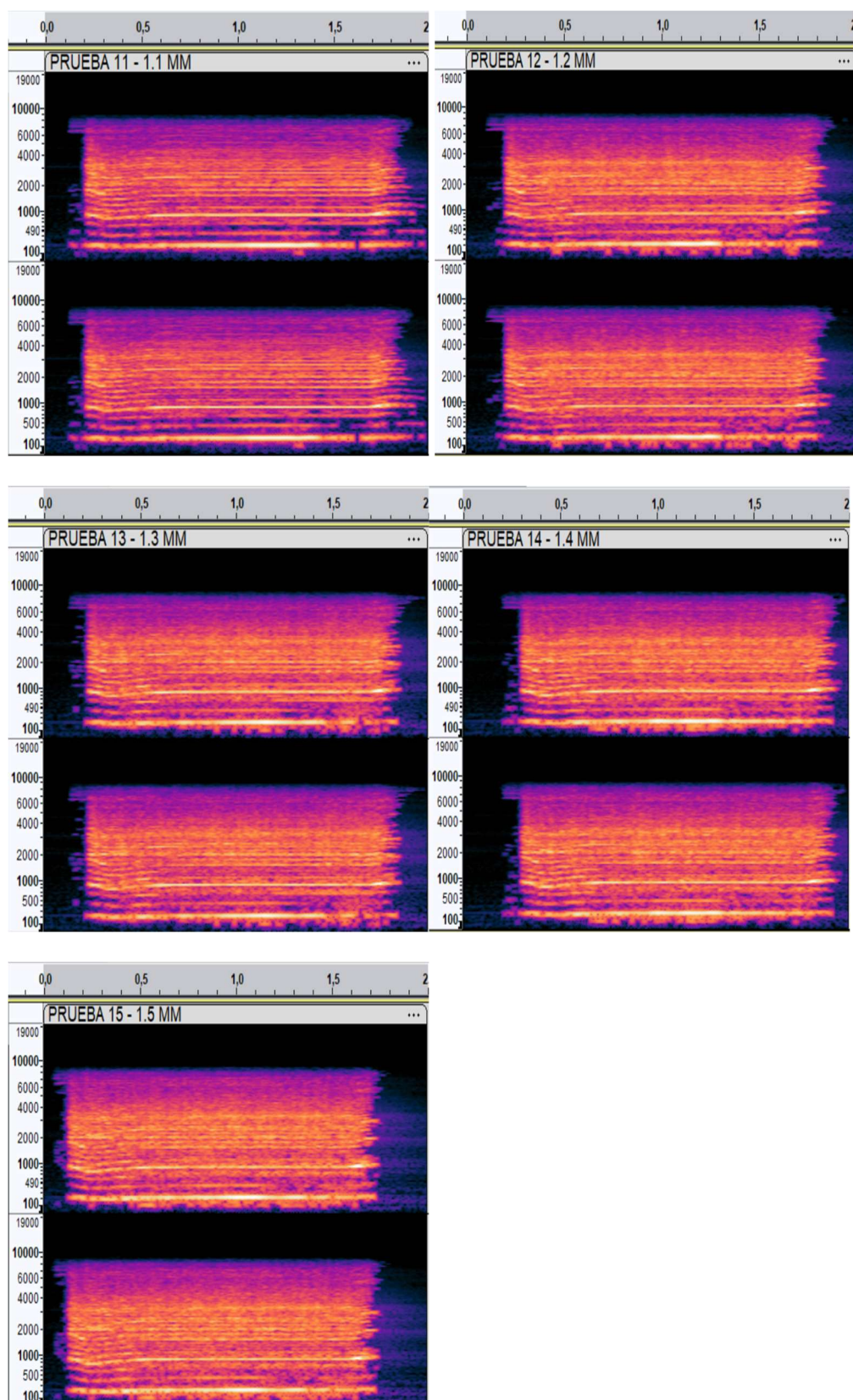


8.11 Apéndice D11:

Niveles de energía a 14000 rpm







8.12 Apéndice D12:

Niveles de energía acústica a 14403 rpm

