

ESCUELA DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN Y ELECTRÓNICA



TRABAJO DE FIN DE GRADO

**Digitalización y
Restauración de Patrimonio
Sonoro Histórico Canario**

Titulación: GITT

Autor: Darío Doña Falcón

Tutor: Juan Manuel Caballero Suárez

Fecha: Junio 2022

Resumen

A lo largo de la historia, la evolución de los sistemas de grabación y reproducción de sonido nos ha permitido guardar obras de muchos tipos diferentes. Sin embargo, el desarrollo de esta disciplina también ha supuesto que muchos de los formatos de almacenamiento queden obsoletos o se deterioren. Por esto, es importante digitalizar y restaurar piezas de patrimonio histórico sonoro, conservándolas sin que puedan ser dañadas o perdidas fácilmente.

Este proyecto consiste en la creación de un protocolo de digitalización y mejora de documentos sonoros del Archivo de literatura oral de Canarias *Maximiano Trapero* para asegurar una mayor longevidad y mejorar las posibilidades de su estudio. El protocolo será realizable con diferentes equipos de hardware y aplicaciones de software, no limitándose a un setup concreto, de manera que pueda ser reproducido por otros ingenieros en proyectos que lo necesiten.

Distintos métodos de ecualización, reducción y eliminación de ruido, compresión, etc. serán aplicados y comparados para establecer el mejor procedimiento al restaurar un documento sonoro con décadas de antigüedad, mejorando su estado en lo posible sin alterar su naturaleza. Atendiendo a la tecnología actual pero también al avance de los dispositivos de grabación a través de la historia y a las condiciones particulares de esta disciplina en Canarias, el proyecto combina la ingeniería con el estudio de la lengua y la historia, observando cómo estas ramas del conocimiento pueden apoyarse entre ellas.

Abstract

Throughout history, the evolution that sound recording and reproduction systems have experienced has allowed us to store many different types of works. However, due to these same developments, many storage formats have become obsolete or deteriorated in time. Thus, it is important to digitize and restore pieces of historic sound heritage, preserving them in a way that will keep them from harm or being lost.

This project consists in the creation of a digitalization and quality improvement protocol for the documents stored in the Archivo de literatura oral de Canarias *Maximiano Trapero*, to ensure them a longer life-span and to facilitate their study. The protocol will involve different hardware equipment and software applications without being limited to a specific setup, so as to make it easily reproducible by other engineers who might need it in their work.

Different methods of equalization, sound elimination and reduction, compression, etc. will be applied and compared, to establish the best available procedure when restoring a decades old sound document to improve its sound quality without compromising or modifying its nature. The attention will not only be placed on current technology, but also in its development along history and the specific conditions of Canarian sound heritage storage. With this in mind, the aim is to observe how this different branches of studies can interact with and help each other in their mission.

Índice

1. Antecedentes	1
2. Objetivos	21
3. Descripción de las tareas realizadas	23
4. Resultados	32
5. Conclusiones	38
6. Bibliografía relacionada	41
7. Presupuesto	43
8. Anexos	44
Anexo 1. Datos técnicos del hardware empleado	44
Anexo 2. Clasificación de los documentos de ejemplo	50
Anexo 3. Comparación espectral de métodos de eliminación y reducción de ruido	51
Anexo 4. Comparación espectral entre la señal original y la restaurada para los documentos de ejemplo	57

Índice de figuras

Fig. 1.1. Página principal del Archivo de literatura oral de Canarias Maximiano Trapero.	11
Fig.1.2. Diagrama de polaridad omnidireccional.	15
Fig.1.3. Diagrama de polaridad bidireccional.	15
Fig.1.4. Diagrama de polaridad cardioide.	16
Fig.1.5. Diagrama de polaridad shotgun.	16
Fig.3.1. Esquema del sistema de digitalización.	24
Fig.3.2. Reducción de ruido de Adobe Audition.	26
Fig.3.3. Sección del algoritmo Vuvuzela.	27
Fig.3.4. Declipper disponible en Adobe Audition.	28
Fig.3.5. Declicker disponible en Adobe Audition.	28
Fig.3.6. Ecualizador empleado en FL Studio.	29
Fig.3.7. De-esser Spitfish.	30
Fig.3.8. Compresor Dyn3 de ProTools.	31
Fig.3.9. Normalización en Adobe Audition.	31
Fig.4.1. Rango de frecuencias base más comunes para voz masculina y femenina.	34
Fig.4.2. Esquema del protocolo de digitalización y restauración de audio.	36

Índice de tablas

Tabla.4.1. Criterios de clasificación de los documentos sonoros estudiados.	34
Tabla 4.2. Relación entre señales y ruidos en forma numérica.	37

Antecedentes

La conceptualización del almacenamiento de sonido comienza en 1857, cuando Édouard-Léon Scott de Martinville crea el fonógrafo. Este dispositivo canalizaba el sonido (con un cono u otro receptor) sobre un diafragma que empujaba una aguja o estilete, grabando una línea que representaba el movimiento del diafragma en un cilindro de papel cubierto de hollín. Sin embargo, el fonógrafo no permitía la reproducción del grabado, por lo que se trataba de un dispositivo de transcripción, no de grabación/reproducción, y se utilizaba para el estudio del sonido.

Es en 1877 cuando se inventa el primer equipo capaz de grabar y reproducir sonido. El fonógrafo de Thomas Alva Edison tenía un sistema similar al del fonógrafo, puesto que constaba de un receptor que llevaba el sonido a un diafragma, y este movía una aguja que realizaba un grabado en un cilindro cubierto con papel de aluminio (posteriormente se utilizaron otros materiales para cubrir el cilindro, como cera sólida). Pero este invento no se quedaba en ese punto, pues al girar una manivela se podía hacer rotar al cilindro, que movía al lápiz y provocaba una presión sobre el diafragma, reproduciendo las fluctuaciones de frecuencias que habían sido grabadas. El diafragma entonces empujaba el aire reproduciendo el sonido grabado, que era amplificado por el elemento que había sido empleado como receptor. El 21 de noviembre del año en que se creó, este dispositivo fue utilizado por primera vez para grabar la voz de Edison gritando la canción "Mary had a little lamb", siendo esta la primera muestra de sonido capturado en un medio que permitía su reproducción. El fonógrafo recibió gran atención y éxito tras su creación, y Edison lo mostró en conciertos y exposiciones donde reproducía el sonido de músicos de la época.

Tras el éxito del fonógrafo, la competencia no tardaría mucho en llegar. Ese mismo año, el inventor Charles Cros propuso un sistema para invertir el sistema del fonógrafo y poder utilizarlo también de reproductor, aunque este proyecto no llegó a recibir atención por la popularidad del fonógrafo de Edison. No fue

hasta 1888 en que Emile Berliner inventó el gramófono. Este dispositivo seguía el mismo sistema receptor-diafragma-lápiz que el fonógrafo, pero en vez de cilindros la superficie de grabación se encontraba en discos planos. De esta manera, en vez de mover la aguja de arriba a abajo, esta se desplazaba horizontalmente en un surco que mantenía la misma profundidad, pero no el mismo ancho. La empresa de Berliner no duró mucho, por lo que en un principio no parecía que el gramófono fuera una amenaza real para el imperio que Edison estaba estableciendo en la industria del sonido. Sin embargo, en 1901, la Victor Talking Machine Company puso su versión del gramófono a la venta en el mercado que, con un hardware elegante (el diseño del cuerno receptor, el soporte de los discos, etc.) y el respaldo de la influencia de la empresa en la industria musical, comenzó a cobrar importancia. Aunque los cilindros podían obtener una mejor calidad de reproducción, los discos del gramófono de Victor tomaron progresivamente mayor espacio del mercado, aumentando sus ventas mientras que el fonógrafo se mantenía siempre en los mismos números. En 1909, Edison cambia finalmente su dispositivo para trabajar con discos en vez de cilindros, decisión que ya habían sugerido inversores de su empresa, creando el Diamond Disc, un fonógrafo que grababa en discos en vez de cilindros, y que tuvo un pico de ventas en 1915. Sin embargo, los esfuerzos de Edison por crear una máquina que grabase y reprodujese el sonido más fiel posible lo llevaron a volver a trabajar con cilindros y, poco a poco, a perder ventas. La TAE (Thomas Alva Edison. Inc) vendió sus últimos discos en 1929, unos años después de que la industria experimentase un cambio que llevó la grabación de sonido a una nueva era.

En 1924, los ingenieros de Western Electric consiguen crear un sistema que realiza grabaciones por medio eléctrico. Este suceso marca el advenimiento de la era de la grabación eléctrica y da comienzo al final de los soportes acústicos mecánicos. El sistema de Western Electric seguía un principio similar a los de grabación acústica. El receptor en este caso era un micrófono que contenía un diafragma cuyos movimientos eran transformados por un transductor en impulsos eléctricos. Los impulsos generados por el transductor son transportados por cable a un transductor que realiza el trabajo opuesto, pasando de impulsos eléctricos al movimiento de una aguja que grababa las variaciones de frecuencia en un disco similar a los empleados por los fonógrafos y gramófonos. Al reproducir, el

movimiento de la aguja sobre los surcos del disco se transforma en electricidad por medio del transductor. Esta corriente se transmite al otro transductor, que la vuelve a convertir en energía acústica y con eso en movimientos del diafragma, que son emitidos por un amplificador. Este modo de grabación presentaba una gran ventaja sobre la acústica por el hecho de que el micrófono podía capturar un mayor rango de sonidos (una extensión de 2,5 octavas) que el receptor acústico con diafragma. En 1925, la Victor Talking Machine Company y la Columbia Phonograph Company comenzaron a comercializar sistemas de grabación eléctrica, poniéndolos así por primera vez en el mercado.

En 1929, la Victor Talking Machine Company se fusionó con la Radio Corporation of America (RCA), aumentando en gran medida su capital y pudiendo liderar los esfuerzos en desarrollo de sistemas de grabación eléctrica. Los sistemas eléctricos aumentaban en calidad con gran velocidad, y permitían nuevos avances, como la posibilidad de nuevas técnicas de edición (cuando la post-producción y los conceptos actuales de producción no existían) y nuevas maneras de obtener dinamismo y distintos matices en una grabación (la posición y la cantidad de los micrófonos se transformó en un factor importante). Otro elemento que experimentó cambios fue el estudio de grabación. La posibilidad de cambiar el receptor de posición y de que este se viera afectado por las condiciones acústicas de la habitación provocaron que la elección de recinto se volviera más importante. En 1931, los ingenieros de los laboratorios Bell crearon un estudio y centro de trabajo en el sótano del edificio de la Academy of Music, donde realizaron importantes investigaciones. Con sus grabaciones, descubrieron que la posibilidad de dividir el sonido en dos canales (que se representarían en dos pistas diferentes del disco) permitía una mayor claridad de sonido, así como una menor distorsión. Además, si colocaban dos micrófonos a los lados de la sala y uno en el centro y equilibraban bien los canales, conseguían que la grabación reflejase la posición de los instrumentos y tuviese unas características espaciales que las grabaciones acústicas no habían logrado obtener.

Durante la década de los 30, los laboratorios Bell trabajaron en un sistema de grabación en cintas. Manteniendo el micrófono como receptor, los impulsos eléctricos se transportaban ahora a una fuente de iluminación cuyas fluctuaciones

se imprimían en la cinta. Para reproducir el sonido, se iluminaba la cinta mientras pasaba y se recibía la luz con una célula fotoeléctrica, de manera que las variaciones en la luz que caía sobre esta se convertían en corriente eléctrica que se mandaba a un amplificador, reproduciendo el sonido. Un sistema surgido a través de esta tecnología fue el Fantasound, empleado en la creación de la película *Fantasia*, de Disney, una de las primeras películas comerciales con sonido estereofónico.

Aunque se realizaron más desarrollos respecto a la calidad de micrófonos y amplificadores, los sistemas de grabación eléctrica siguieron siempre el mismo principio. Por otro lado, mientras las tecnologías de grabación/reproducción acústicas y eléctricas hacían su marca en la historia, otro método se gestaba poco a poco y acabaría suponiendo una revolución para la industria del sonido.

En 1888, tras haber observado el fonógrafo de Edison, Oberlin Smith teoriza en su artículo "Some Possible Forms of the Phonograph" sobre sistemas de grabación que realicen su labor por medio de campos magnéticos, no teniendo que establecer contacto entre una aguja y el material de grabación. En el texto, describe un sistema de hilos de seda o algodón que, cubiertos de virutas de hierro, pudieran ser magnetizados para grabar el sonido. Dada la escasa atención que recibió el artículo, no llegó a probar nunca sus teorías. No fue hasta 1896 en que Valdemar Poulsen (que no había oído hablar de Smith, o al menos no hay pruebas de ello) crearía una máquina capaz de grabar sonido mediante el uso del magnetismo. Con un cable de hierro colocado entre dos paredes opuestas de su laboratorio, colocó un receptor sonoro junto a un imán y una pila y los colgó de manera que pudieran desplazarse a lo largo del cable. Después, hizo que el receptor recorriera el cable mientras él le gritaba una frase. Entonces, sustituyó el receptor por un altavoz de teléfono y, al recorrer con este el cable, comprobó que se oía ligeramente la frase que había gritado al receptor. A partir de este descubrimiento, creó su primer prototipo de máquina para la grabación magnética, el telegráfico, que funcionaba bajo el mismo principio, colocando el cable en un tubo de metal. Este dispositivo tuvo un éxito limitado, pues el nivel al que podía reproducir el sonido era muy bajo (no existía todavía tecnología de amplificación compatible), pero vio algo de uso en la I Guerra Mundial. En la década de los 20,

el ejército estadounidense estudió el uso del telegráfico para el almacenamiento de datos, pero no consideraron su uso en las tecnologías de sonido, lo que podría haber acelerado la historia de la grabación y reproducción unos veinte años.

En 1928, el austriaco Fritz Pfleumer creó una cinta de papel cubierto en barniz y metal para un encargo que le había hecho una empresa distribuidora de tabaco. Se dio cuenta pronto de que su invento podía contribuir a otras industrias, y en concreto a la grabación magnética. Un año después, vendería un prototipo de máquina de grabación magnética que empleaba su cinta a la compañía Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG), que se dedicó a investigar para crear un sistema de grabación con alternativas mejores a la cinta de Pfleumer. La investigación dio sus frutos, y en 1935 salió a la luz la primera versión pública del magnetófono. La cinta de este magnetófono era de acetato de celulosa, y estaba cubierta de laca de óxido férrico. El sonido era captado por un micrófono conectado a un electroimán y una batería. Los impulsos eléctricos que representaban el sonido captado por el micrófono provocaban diferencias de potencial en la batería, que hacían que el campo electromagnético del electroimán fluctuase, polarizando el metal de la cinta y grabando en ella el sonido. Sin embargo, en las demostraciones hechas de cara al público, el magnetófono tenía una calidad de sonido muy inferior a los estándares del momento, tanto acústicos como eléctricos, por lo que a Walter Weber, de la Reichs-Rundfunk-Gesellschaft (RRG), le fue encargado colaborar con AEG para encontrar una manera de mejorarlo. Unos años después, en 1940, la nueva versión del magnetófono fue presentada y tuvo un gran impacto, siendo descrito como revolucionario en el mundo de la grabación, por su elevada calidad de sonido. El principal descubrimiento que había llevado a esta mejora era la posibilidad de utilizar corriente alterna (AC) para el sistema, pues esta corriente emite frecuencias inaudibles (por lo que no afectan a la fidelidad) que mejoran la polarización del metal.

El magnetófono de Weber no fue el único dispositivo de grabación magnética comercial. En 1942, Marvin Camras presentó ante AEG su grabador magnético de cable metálico con AC-Bias (el AC-Bias es el uso de la AC que da también Weber a su magnetófono). El dispositivo de Camras era similar al telegráfico, pero

presentaba mejoras. Además de contar con sistemas de amplificación que permitían dar al sonido un volumen aceptable, el cable estaba sujeto en el interior del aparato por un cabezal que lo mantenía fijo y que permitía la grabación simétrica en los dos lados del cable (en el telegráfico original el cable giraba en el interior del dispositivo). El último descubridor del AC-Bias fue Jack Mullin. Mullin había estudiado ingeniería electrónica y, junto a su amigo Bill Palmer, había encontrado la forma de introducir capacidades de sonido óptico a una cámara de video mudo. Durante la II Guerra Mundial, Mullin fue llamado a unirse a las tropas, y pronto le resultó extraña la claridad de la reproducción de la orquesta que tocaba en la radio alemana todas las noches, pues no conocía ningún dispositivo que pudiera obtener tal calidad. En 1944, poco después del Día D, iría a Frankfurt (por consejo de un militar británico) para descubrir la fuente de la grabación de aquella orquesta. Lo que encontró fue el Magnetófono K-4, una pieza de tecnología que el ejército alemán había mantenido secreta, y que debía al uso de corriente alterna su alta calidad y falta de ruido. Con permiso de sus superiores, Mullin llevó dos K-4s a Estados Unidos junto con una gran cantidad de piezas de repuesto, para poder investigarlos junto con Palmer. Con sus investigaciones, Mullin y Palmer pudieron exhibir su Magnetófono K-4 hecho con piezas de los alemanes. Ese mismo año, un pequeño grupo de empleados de la compañía Ampex que habían asistido a la presentación del magnetófono reconstruido por Mullin fueron encargados con la labor de recrear dicho equipo de grabación. En 1947 ya habían conseguido crear una cinta y unos cabezales que conseguían la misma calidad.

Mullin continuó su trayectoria obteniendo un trabajo como ingeniero de un popular programa de radio. En ese empleo, con sus magnetófonos y cintas, comenzó la disciplina de la edición de audio, cortando las cintas y volviendo a unir las para eliminar elementos indeseados o añadir risas y otros efectos. Tras la primera grabación del programa, Ampex presentó su Model 200, el sistema que habían creado equivalente al K-4 alemán. Veinte de estos dispositivos fueron adquiridos para la grabación del programa, y el gran éxito del trabajo que Mullin realizó con ellos llevó a que se presentaran al público comercialmente en 1948. Sus ventas crecieron rápidamente, por lo que otras empresas no tardaron en sumarse al “boom” de la grabación magnética. Uno de los dispositivos de mayor éxito fue el

Magnecord de Armour Research, que se ofrecía como una alternativa al Model 200 con alta calidad pero un precio mucho más bajo. Ese mismo año salía a la venta el single "Lover" de Les Paul, la primera grabación multipista de la historia comercial. Para grabarla, Paul había grabado un instrumento inicial en un disco de aluminio. Después, había reproducido este disco mientras que otro grabador captaba esta reproducción y otro instrumento que Paul tocaba a la vez. Al realizar esta operación consecutivamente con todos los instrumentos, conseguía finalmente una grabación de todas las pistas (puesto que no tenía banda y tocaba él todos los instrumentos, no tenía otra manera de grabar sus canciones). Por el éxito que recibió, le entregaron dos Model 300 (un nuevo magnetófono) desde Ampex. Estos magnetófonos fueron modificados por Paul para mejorar el proceso de grabación multipista en cinta y estandarizarlo en los estudios posteriormente.

En la década de los 40, aunque la grabación magnética supuso una revolución, la eléctrica continuaba siendo relevante, y tuvo uno de los más importantes episodios de su historia, la Batalla de las Velocidades. Edward Wallerstein era empleado de RCA mientras la compañía desarrollaba su disco de 45 rpm. Hasta entonces, los discos estándar en el mercado eran de 78 rpm, y RCA planeaba revolucionar la grabación eléctrica con ellos. Sin embargo, en 1937, Wallerstein abandonó RCA para ser presidente de la Columbia Recording Corporation, y sugirió la idea de crear un disco similar al que se estaba estudiando en RCA. Comienza entonces el desarrollo del disco de 33 ½ rpm de Columbia (ahora conocido como LP). Los discos salieron a la venta para el público con meses de separación entre sí (el de Columbia a mediados de 1948, y el de RCA con el Año Nuevo en 1949). Las dos compañías esperaban tomar el hueco de mercado para que su disco fuera el estándar en grabación y reproducción. Tras meses de discusiones, intentos de diplomacia y ataques entre las empresas, el LP tenía mayores ventas y reconocimiento por parte de la audiencia (aunque el 45rpm conseguía mejor sonido auralmente, el LP era más cómodo y su sonido más fluido), y RCA comenzaron a grabar en 33 ½ rpm además de en 45. La conclusión de este enfrentamiento dio paso al audio *hi-fi* y a la era de la *audiofilia*, con las compañías dedicadas a los sistemas de grabación intentando mejorar sus equipos para obtener el mejor sonido posible.

La afición por la alta definición culmina en la creación de la reproducción en estéreo, encabezada por Ampex con su fonógrafo estéreo de cinta, que reproducía cada una de las dos pistas de la cinta en un altavoz diferente (uno a la derecha y otro a la izquierda). Este aparato, desvelado al público en 1954, no tuvo mucho éxito inicial por su elevado precio, pero mostró que las grabaciones y reproducciones en estéreo podían ser el futuro del sonido. En 1957 se estableció el cutter de Westrex (una subsidiaria de Western Electric) como estándar para la grabación estéreo en disco, llevando este nuevo formato a tener gran popularidad entre los consumidores, que podían permitirse los discos más fácilmente. Desde entonces hasta los 80, los avances en la industria se dirigieron a mejorar los dispositivos y formatos ya existentes (reducción del tamaño de las cintas para crear el cassette, mejora de micrófonos y transmisores, etc.).

Tras varias décadas, el comienzo de una nueva era llegó en 1984, junto con el álbum *Born in the USA* de Bruce Springsteen. Bob Ludwig, que había trabajado en otros álbumes anteriores de Springsteen, tomó un cassette del álbum (estaba en ese momento disponible en cassette y LP) y utilizó un convertidor de Sony para transformar la señal de la cinta en información digital (esta tecnología había sido creada por Thomas Stockham unos años antes), en forma de código de 16 bits. En el convertidor, los impulsos eléctricos eran codificados y pasados a una cinta de vídeo que contenía la información en forma de este código. La cinta de vídeo fue entonces enviada a una fábrica de la compañía Columbia Broadcasting System, donde fue colocada en una máquina de grabación. Sin embargo, esta máquina era especial; en vez de un cutter de discos usual para LPs, tenía un láser que emitía un rayo o no dependiendo de la señal que le llegaba. Este láser se disparaba contra un disco de cristal cubierto por una fina capa de fotorresistor. Con este disco se hacía entonces un molde, y se utilizaban gránulos de policarbonato fundidos para formar los discos finales, que serían cubiertos con una fina capa de aluminio. Así nació el Compact Disc, más conocido como CD, y con él la grabación digital de sonido. El método de codificación utilizado era el Pulse Code Modulation (PCM), teorizado en 1937 por Alec Harley Reeves pero no probado hasta mucho después por la incapacidad de los ordenadores de esa época de computar los procesos necesarios. Este método toma muestras del sonido del disco o cinta analógicos (una señal continua) con una frecuencia de

44,1 kHz (44100 muestras por segundo) y les asigna valores de código de 16 bits (formando una señal discreta), que es la información grabada en el CD.

La era digital, en la que todavía nos encontramos actualmente, ha sido marcada por la mejora en formatos de almacenamiento, capacidad de los equipos (mejores ordenadores y tarjetas de sonido que permiten nuevas funcionalidades) y las nuevas técnicas desarrolladas para el procesado de audio. En 1991, Digidesign introducen ProTools al mercado, una de las primeras Digital Audio Workstation (DAW), que actualmente se mantiene como DAW de referencia en la industria. Con este software, la mayoría de estudios comenzaron a dar mucha mayor prioridad a la grabación digital. Ese mismo año fue creado el Waveform Audio File Format (wav) por IBM y Microsoft, un formato de audio sin pérdidas que permite guardar la señal de sonido completa como información digital. Con este formato y el MP3, creado en 1995, las posibilidades de grabar, compartir y utilizar audio digital crecieron y se extendieron por todo el mundo y en todas sus aplicaciones. Actualmente, se continúan mejorando estas tecnologías para conseguir mejor calidad de sonido, archivos más pequeños y mayor facilidad para la grabación de audio.^{[1][2]}

La historia, sin embargo, no contiene solamente la tecnología. El desarrollo de nuestra sociedad ve un reflejo de sí misma en la tecnología a la que da lugar, que permite a su vez conservarla en el tiempo mediante diferentes métodos (fotografía, grabaciones sonoras, escritos, etc.). Las huellas de esta relación son el patrimonio histórico, todos aquellos restos materiales conservados del pasado y considerados valiosos por las disciplinas que los estudian.

El sonido es una fuente de información totalmente diferente del resto, y los documentos sonoros lo son también. La cantidad de formatos de almacenamiento y su rápido avance, los diferentes puntos de estudio de su contenido (un poema recitado, por ejemplo, se puede estudiar desde diferentes ángulos que uno escrito) y la variedad de fuentes de su contenido. La voz, especialmente, permite juntar muchas disciplinas en su estudio, desde la lingüística de los dialectos hasta el estudio espectral y armónico, además del carácter afectivo que contiene al

servir de representación de personas que pueden haber pertenecido a nuestro pasado.

Es por esto por lo que la conservación del patrimonio sonoro histórico es un caso único. Sin embargo, también es una disciplina reciente, que vio sus inicios en la década de los 50, en la que bibliotecas universitarias comenzaron a crear catálogos con los documentos de audio que tenían disponibles. En las décadas siguientes, los archivistas y bibliotecarios del mundo comenzaron a interesarse más por el almacenamiento de sonido, y en 1969 se creó la Asociación Internacional de Archivos Sonoros y Audiovisuales (IASA) en Ámsterdam. Este organismo permitió la unión y colaboración de trabajadores del gremio, fomentando así mayor desarrollo y popularidad en el ámbito del patrimonio sonoro. Poco a poco, y especialmente a partir de la incorporación de la tecnología digital al mundo del archivismo sonoro, se han ido recopilando mayores cantidades de documentos guardados y restaurados, tendencia que continúa hoy en día y que resalta la importancia de crear maneras de realizar estos proyectos en diferentes lugares y situaciones.^{[3] [4]}

Un lugar en el que es importante aplicar procesos de digitalización y preservación es el archipiélago canario. En nuestras islas, la conservación de documentos históricos en algunos ámbitos (escritos, fotografía, cine y documentos sonoros) no ha recibido suficiente atención a lo largo de los años. Es por esto por lo que las colecciones que hay se encuentran en formatos desactualizados, un hecho que hay que sacar a la luz para poder arreglarlo. Entre las escasas colecciones de documentos sonoros se encuentra el Archivo de literatura oral de Canarias *Maximiano Trapero*, que contiene miles de grabaciones de documentos literarios orales pertenecientes a la cultura canaria. Este archivo contiene documentos grabados entre los años 1978 y 2008 en investigaciones realizadas por Maximiano Trapero con isleños canarios, y recoge una gran cantidad de clases de archivo como pueden ser los romances, las canciones o los cuentos. Más recientemente, dada la importancia de la colección, se han añadido fotografías y monografías ya digitalizadas. Las grabaciones pertenecen a diferentes islas y dialectos, lo que es especialmente notable en las comparaciones entre canciones con el mismo título que cambian en su letra o melodía dependiendo de su

procedencia. Es por esto que el Archivo es una importante pieza de historia canaria que permite el estudio de nuestras islas en sus dimensiones lingüística, filológica y de tradición musical. Sin embargo, más de la mitad de estos documentos se encuentran almacenados en cintas magnéticas y los que están en formato digital tienen mala calidad, pues el proceso de digitalización que se les aplicó no podía conseguir los resultados que podemos obtener hoy. Es por esto por lo que, con el permiso y la colaboración de Maximiano Trapero, este Trabajo de Fin de Grado buscará crear un protocolo de digitalización que se pueda aplicar a estos documentos para conseguir el mejor resultado posible y que pueda ser realizado en diferentes medios por cualquier ingeniero cualificado.

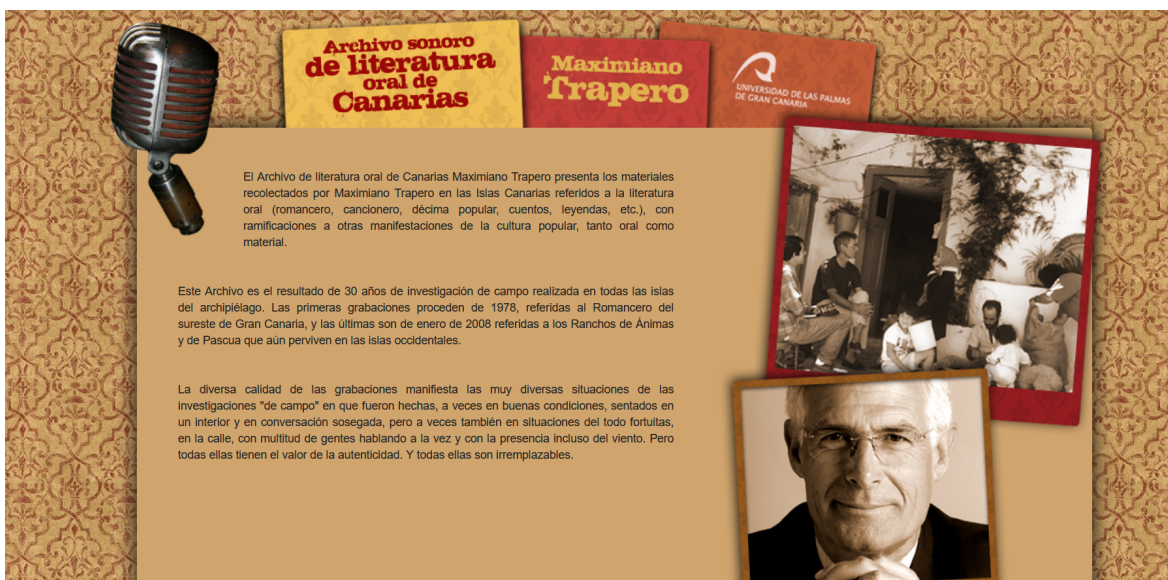


Fig. 1.1. Página principal del Archivo de literatura oral de Canarias Maximiano Trapero.

Este no es el primer proyecto de digitalización en España ni en las Islas. La Biblioteca Nacional de España comenzó a digitalizar el material del que disponían en 1993. El proyecto llevado a cabo ese año supuso la digitalización de 10000 minutos de audio (repartidos entre cintas, discos y unidades de almacenamiento en camino a la obsolescencia) pasados a un formato digital de alta calidad en la documentación disponible no se especifica el formato). Posteriormente, en 2016, se estableció otro proyecto de digitalización en colaboración con Telefónica y el Departamento de Arte y Musicología de la Universidad Autónoma de Barcelona en el que fueron digitalizados rollos de pianola y soportes de grabación

magnéticos. En los documentos ofrecidos por la Biblioteca no se especifica el proceso que se siguió para estos trabajos.

En Canarias, el Centro de Cultura Audiovisual (CCA) de Gran Canaria ha realizado labores de digitalización de material, pero únicamente han trabajado con fotografía y material filmico. Por otro lado, el Museo Canario ha digitalizado parte del material disponible escrito (para el cual hay también un proyecto realizándose actualmente) y sonoro, pero han trabajado principalmente con grabaciones nuevas, recreando las antiguas. En su caso, no ofrecen documentación sobre el proceso.^{[5] [6]}

En el caso de las grabaciones concretas utilizadas para este proyecto, no está especificado el equipo que fue utilizado para su grabación, por lo que no se pueden conocer las características específicas del proceso. Sin embargo, se sabe que la grabación fue realizada con magnetófono, en diferentes lugares (no se utilizó un estudio de grabación común para todas) no acondicionados pertenecientes a la vida cotidiana de los intérpretes (principalmente sus casas). Esto presenta algunos problemas a los que prestar atención.

La grabación magnética, aunque supuso una revolución en su momento, presenta claros inconvenientes que son ahora más evidentes que nunca. El funcionamiento de esta se basa en una cinta en cuya superficie se aplica una capa de material ferromagnético y un electroimán (una bobina de material conductor alrededor de un imán) o “cabezal magnético”. Al inducirse una corriente eléctrica en el bobinado del cabezal, el imán produce un flujo magnético que magnetiza la cinta a medida que esta pasa, quedando la información capturada en esta a través de las variaciones de la onda magnética.

El magnetófono debe estar bien mantenido, lo que incluye su limpieza y el alineamiento de sus cabezales. La suciedad puede provocar que el flujo magnético no se transmita correctamente a la cinta o puede dañar a esta, reduciendo la calidad del sonido; el alineamiento de los cabezales consiste en asegurar que este elemento, que es el transductor que envía el flujo magnético a la cinta, se encuentre perpendicular a las pistas de manera que el flujo las alcanza

totalmente, puesto que si se inclinase el cabezal solo una porción menor de la señal sería grabada correspondiente a la menor porción de flujo magnético que llegaría a la pista. El magnetófono, además, provoca un ruido (leve, pero presente) en las cintas. Este ruido se debe a que, aunque teóricamente se pueda imaginar la superficie de la cinta en su interacción con el campo magnético como ideal y uniforme, en la realidad las partículas magnéticas no están distribuidas de esta manera. El campo magnético producido por el cabezal provocará pequeños movimientos en este que, unido a la irregularidad de la distribución mencionada, generan una variación aleatoria en la magnetización de las partículas de la cinta. Dado el pequeño tamaño de las partículas, esta irregularidad se manifestará como un ruido continuo de alta frecuencia denominado “tape hiss”.

Por el lado de las cintas, estas sufrirán una progresiva desmagnetización a lo largo del tiempo o si son aproximadas a un gran flujo magnético, por lo que la señal se irá deteriorando (las cintas tratadas en este trabajo datan de alrededor de cuarenta años, por lo que este proceso ya habrá provocado pérdidas de información). Además, la magnetización del material no es lineal, sino que sigue una curva (de histéresis) según los cambios del campo, por lo que se puede provocar distorsión (para evitarla se emplea una corriente alterna al grabar, usando el método AC Bias).

La toma microfónica en las grabaciones también es de gran importancia. El micrófono es un dispositivo que cuenta con un diafragma que recibe los impulsos de la voz (que se transmite, como todo sonido, como onda de presión) y los transmite a un transductor que los convierte en un flujo de electrones (corriente eléctrica). Este flujo de electrones será transformado en información digital (código de bits) tras pasar por un cable o un sistema de transmisión inalámbrica a un codificador. Sin embargo, la microfonía tiene aspectos más complejos, como los tipos de micrófono y las condiciones de grabación.

Los principales tipos de micrófono son los de condensados, los dinámicos y los de cinta. El micrófono de condensador emplea como transductor el dispositivo que le da su nombre, el condensador. El diafragma, al moverse, provoca que la distancia entre las dos placas del condensador cambie, por lo que hay una variación de

capacitancia (la capacidad del condensador de almacenar carga eléctrica), y con esta una variación de carga en el condensador que se codifica como información. Para que esto suceda, el micrófono debe recibir una corriente de +48V, puesto que debe haber carga en el condensador para tener una diferencia. El micrófono dinámico tiene una bobina de algún material inductor unida al diafragma. Estos micrófonos contienen también un imán que genera un campo magnético constante. Al moverse el diafragma, la bobina se mueve también en el campo magnético, generando una diferencia de potencial en los extremos de la bobina, y por tanto una corriente eléctrica, que se codifica como información. El tercer tipo de micrófono, el de cinta, emplea también un imán para generar un campo magnético constante, pero en vez de una bobina se introduce en el campo una cinta de metal. Esta cinta es la que recibe la vibración del aire provocada por la voz, que hace vibrar la cinta y genera por el principio de inducción una corriente eléctrica que se codifica como información. El tipo de micrófono utilizado en una grabación dependerá del objetivo concreto, aunque en general se suelen emplear con mayor frecuencia los micrófonos de condensador (los dinámicos son más utilizados en actuaciones musicales en vivo, por ejemplo). No se conoce el tipo concreto de micrófono empleado para las grabaciones que se tratan en este proyecto.

Los micrófonos no se clasifican únicamente por su método de transducción, sino que también se dividen según su patrón polar (que ilustra la sensibilidad del micrófono al sonido en una misma frecuencia según la dirección desde la que le llega). El primer tipo de micrófono según su polaridad es el omnidireccional, que como su nombre indica ofrece la misma sensibilidad al sonido en todas las direcciones. Este tipo de micrófono puede recibir señal, por tanto, desde 360°. Otro tipo de micrófono es el bidireccional, que recibe la onda sonora tanto por su cara frontal como por la trasera, mientras que no responde al sonido si llega por sus laterales. Casi todos los micrófonos de cinta pertenecen a este grupo. El micrófono de tipo cardioide (llamado así por la forma similar a un corazón que toma su diagrama de polaridad) solo responde al sonido recibido por su cara frontal, por lo que ningún sonido que llegue en un ángulo de 180° será captado por este. Existen variaciones del micrófono cardioide, como el hipercardioide o el supercardioide, que pueden recibir la onda sonora por su parte trasera, pero con

menor sensibilidad que la frontal. El último tipo relevante de micrófono es el shotgun, que responde al sonido tanto por su cara frontal como por la trasera, pero en direcciones muy estrechas, por lo que se utiliza para captar a un solo interlocutor sin recibir nada de ruido ambiente. El tipo de micrófono elegido dependerá del tipo de grabación que se esté realizando, por lo que las grabaciones tratadas en este proyecto fueron muy probablemente realizadas con un micrófono cardioide, puesto que permite captar al interlocutor sin grabar el sonido proveniente de detrás del micrófono.

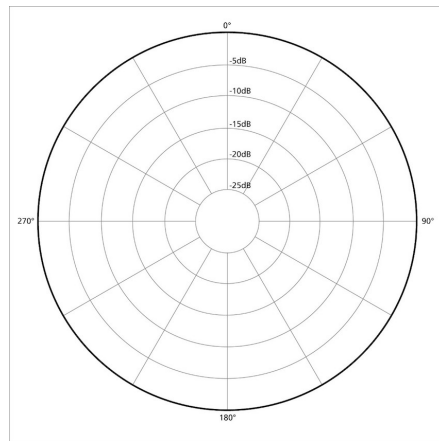


Fig.1.2. Diagrama de polaridad omnidireccional.

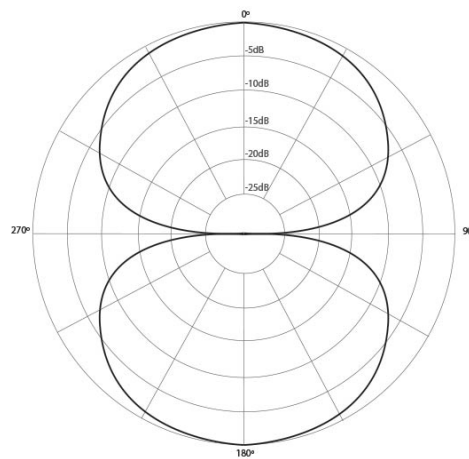


Fig.1.3. Diagrama de polaridad bidireccional.

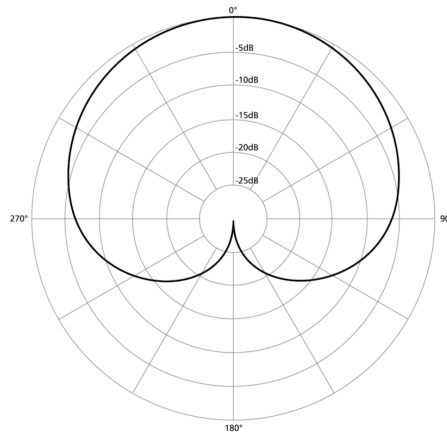


Fig.1.4. Diagrama de polaridad cardioide.

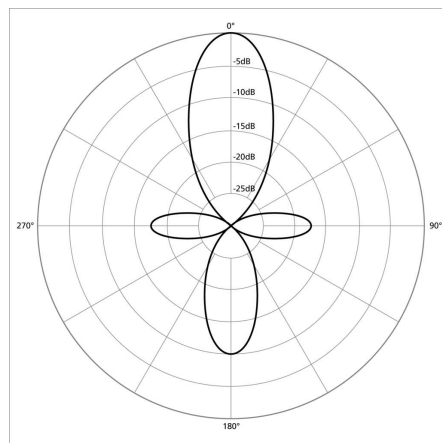


Fig.1.5. Diagrama de polaridad shotgun.

El tipo de micrófono no es el único factor importante al realizar una grabación. El ambiente en el que se realiza debe ser elegido y acondicionado cuidadosamente. Elegir un lugar con el menor ruido posible es esencial, así como el apantallamiento del micrófono (que consiste en rodearlo de material que absorba el sonido) en las direcciones en las que no se quiere recibir ruido. También es recomendable el uso de un anti-pop, una membrana que actúa como filtro para que el sonido recibido no sea demasiado explosivo con la pronunciación de una consonante como la /p/ o la /t/. En las grabaciones tratadas estas precauciones no fueron tomadas en cuenta, y se captaron grandes cantidades de ruidos externos así como de efectos indeseados en las consonantes.

El protocolo que se establecerá en este TFG será posible de realizar en diferentes DAWs. En concreto, se emplearán ProTools, FL Studio y Adobe Audition. Los

diferentes efectos de procesado utilizados serán los incluidos en estas DAWs, pero podrán ser sustituidos por otros puesto que las instrucciones servirán para un uso general. Los efectos empleados serán ecualización, compresión, normalización, reducción o eliminación de ruido, de-essing, declipping y declipping. También se utilizará Matlab, un sistema de cálculo y cómputo matemático con su propio lenguaje de programación. Respecto al hardware, se utilizarán un magnetófono Tascam 102 MK II y una tarjeta Edirol FA-101 para la digitalización, junto con el cableado necesario para su implementación. La tarjeta de sonido es un dispositivo que actúa como interfaz entre la señal de audio digital y el ordenador, pudiendo realizar modificaciones en diferentes aspectos antes de que la señal entre al sistema informático. La edición se realizará en un ordenador de sobremesa. Para la monitorización de la grabación, será escuchada tanto en unos auriculares Audio-Technica ATH-M50 X como en un set de altavoces Trust Tytan 2.1 con un subwoofer y dos altavoces satélite. Las características del hardware pueden observarse en mayor profundidad en el Anexo 1.

La ecualización es un proceso que consiste en el aumento o la reducción del nivel en una banda de frecuencias concreta. Existen dos tipos de ecualizadores: el gráfico, que coloca filtros cada intervalo igual de frecuencias (normalmente 1 octava o $\frac{1}{3}$ de octava), que permiten cambiar el nivel de cada una de las bandas independientemente, y el paramétrico, que tendrá un número concreto de filtros que pueden ser ajustados en ganancia, frecuencia central en la que están colocados y ancho de banda. También existen ecualizadores llamados semi-paramétricos, en los que se puede modificar la frecuencia central y la ganancia, pero el ancho de banda está predeterminado. Algunos casos concretos de ecualización son los filtros paso bajo (que impide que pasen las frecuencias por encima de una determinada) y los paso alto (el contrario del anterior). En este proyecto, el ecualizador empleado es el "Fruity parametric EQ 2", nativo de FL studio, que es un ecualizador paramétrico de 7 bandas.

La compresión consiste en la reducción de la ganancia de la señal a partir de cierto nivel de esta, disminuyendo el rango dinámico. El rango dinámico es la diferencia entre el mayor nivel que alcanza la señal y el menor. Un compresor toma un nivel umbral superior y uno inferior, y reduce la ganancia cuando los

supera o no los alcanza, respectivamente. El aumento o la reducción se realizará en una relación determinada (2:1 es una compresión no muy alta, mientras que 20:1 es una gran compresión), llamada relación de compresión. Se puede tomar una sola relación de compresión, lo que dará lugar a un compresor lineal, o dos relaciones de compresión, resultando en uno no lineal. El compresor también puede tener una ganancia que aplicar a la señal, que podrá ser positiva (aumenta el nivel) o negativa (reduce el nivel). El compresor empleado en este caso será el “Dyn3” de ProTools.

La normalización, otro de los efectos aplicados, consiste en la aplicación de una ganancia constante a la señal para llevar los niveles de pico (el máximo valor) a un valor concreto. En este proceso se aplica una ganancia pero, al contrario de lo que ocurre en la compresión, el rango dinámico no se modifica. La normalización se aplica con Adobe Audio.

La reducción y la eliminación de ruido son efectos distintos con un mismo objetivo, aumentar la relación señal a ruido (S/N) lo máximo posible. La S/N es la diferencia entre la señal principal (S) y el ruido (N), por lo que cuanto mayor es, más distanciados están la señal y el ruido, considerándose una relación S/N de gran calidad cuando es de 20dB o mayor. La eliminación de ruido se lleva a cabo con puertas de ruido (llamadas comúnmente “gates”). Las noise gates son un caso particular de expansor (el efecto contrario al compresor), que aplican una ganancia negativa a la señal cuando no supera un nivel umbral concreto, reduciéndola para hacerla inaudible. Para este proyecto se probará la puerta de ruido incluida en el “Fruity Limiter” de FL Studio. La reducción de ruido se puede realizar por diferentes métodos. En este caso se emplearán el algoritmo de reducción de ruido Vuvuzela, disponible para Matlab, y el reductor incluido en Adobe Audition. Estos dos reductores funcionan en base al principio de reducción sustractiva de ruido. La técnica de sustracción espectral consiste en tomar una muestra del documento donde solo se escuche ruido de fondo y obtener su información espectral. Esta información se toma entonces como modelo y se resta al resto de la señal, eliminando así el ruido de fondo. Para este proceso se toma como suposición que el ruido es estacionario o que varía lentamente, permitiendo así eliminarlo al restar su mismo espectro. En el caso del algoritmo Vuvuzela,

toma una muestra de 0,4s después del primer segundo de reproducción, por lo que hay que preparar los documentos. Para esto, en FL Studio se ha elegido un fragmento de cada audio en el que no esté presente la señal principal y se ha colocado al principio del documento para que el algoritmo lo utilice de modelo. Tras preparar cada uno de los documentos, se pasan por el algoritmo insertando su nombre en el código y este exporta una versión con el ruido de fondo sustraído, de la que se ha eliminado el fragmento que se había puesto al inicio. La versión exportada tiene un nombre por defecto (“anti_vuvuzela”) pero se puede cambiar en el código también. El denoise de Adobe, por otro lado, toma una fracción de ruido proporcionada por el usuario sin duración o posición fija. A partir de este fragmento, crea el modelo que sustrae posteriormente del documento. Al igual que en Matlab, el audio cuyo ruido se ha reducido se puede exportar en formato wav. Las puertas de ruido toman un umbral de nivel proporcionado por el usuario y eliminan toda la señal que no alcance dicho nivel. Los dos métodos serán comparados para elegir el mejor.

El de-essing es una técnica utilizada para eliminar el silbido que ocurre en la señal con la pronunciación de una /s/ (llamado sonido sibilante), que puede ser molesto y afectar al documento. En el caso de estas grabaciones, este sonido se ve especialmente acentuado por la fonética de la /s/ canaria, que presenta un caso singular frente a la castellana o la de otros idiomas. La /s/ canaria “es una s predorsal. La articulación se ha hecho con el predorso de la lengua. El ápice (el instrumento esencialmente articulatorio de la s castellana) desciende, pasivo, sobre los incisivos inferiores. El cuenco castellano se ha tornado tortuga, de cóncavo a convexo”.^[7] El de-esser es una aplicación concreta de ecualizador que afecta a la banda (el efecto suele detectar esta banda, que se encuentra en el intervalo 2-10 kHz) en la que se produce el silbido con un ancho de banda muy estrecho. Para este proyecto se ha utilizado el Spitfish, un de-esser gratuito de Digitalfishphones.

El declipping es un proceso que busca eliminar la saturación. La saturación ocurre cuando el sonido que entra en el micrófono tiene un nivel demasiado elevado para el diafragma, provocando que todos los valores digitalizados en ese momento estén al valor máximo y se distorsione la señal. Para deshacer la saturación, el

declipper interpola la información perdida por la distorsión basándose en la señal en un periodo de tiempo directamente anterior y uno directamente consecutivo al que se ha perdido. Este es el único tipo de distorsión que puede ser eliminado fiablemente; el resto de la distorsión se debe al estado de la cinta, que se deteriora a lo largo del tiempo, y a las limitaciones del proceso de grabación, por lo que no se puede deshacer. El declipper utilizado será el declicker nativo de Adobe Audio.

El último efecto, el declipping, detecta los clicks (que se pueden deber a la situación en la que fue grabado el documento o a defectos en la digitalización) en base a sus frecuencias, diferencia de nivel respecto a la señal próxima y a la duración, y aplica ganancia negativa en esos puntos para reducir o eliminar los sonidos molestos. Al igual que el declicker, el declipper utilizado es el nativo de Adobe Audition.

Con estos efectos se puede realizar el protocolo de digitalización y restauración para conseguir un audio de mayor calidad pero sin modificaciones que cambien la señal original y no la representen como estaba antes, pues es importante la fidelidad con el sonido original.

Objetivos

Digitalización de los documentos proporcionados.

El primer objetivo es la digitalización de los documentos proporcionados por Maximiano Trapero. Por un lado se pasará a formato digital la cinta magnética utilizando el magnetófono y la tarjeta de sonido, y por otro se cambiarán de formato los audios entregados por la Biblioteca Universitaria de la ULPGC por medio de software, de manera que todos sigan un mismo estándar (wav, 44100 kHz) y puedan ser trabajados con el mismo proceso.

Análisis y clasificación de los documentos digitalizados.

Una vez los documentos estén en el formato elegido, serán analizados para poder dividirlos en categorías a partir de las cuales establecer un protocolo. El análisis se realizará tanto de manera técnica (mediante el análisis en dominio de frecuencia) como de manera subjetiva (apreciación del tipo de voz o instrumentos presentes y caracterización de ruidos y distorsiones).

A partir de la clasificación, establecimiento de un protocolo para la restauración del audio.

Tras la clasificación, se establecerá un protocolo de restauración. El primer objetivo de este protocolo será la eliminación del ruido de fondo de los documentos de la manera más completa posible sin dañar la señal útil. La relación señal a ruido (S/N) ideal es de 20 dB o mayor. Los ruidos intermitentes también serán suprimidos en la medida de lo posible (buscando una reducción en este caso más subjetiva). Se compararán métodos de reducción de ruido para encontrar el más adecuado.

La siguiente meta será tratar de eliminar la distorsión del audio (podrá tratarse de simplemente eliminarla o interpolar la información perdida para deshacerla). También se realizará una mejora de la señal en el dominio de frecuencias con equalización dependiendo de sus categorías y, si es necesario, con de-essing. Por último, se ajustará la sonoridad de los archivos sonoros mediante compresión y otros efectos que sean necesarios con tal de hacer su reproducción lo más efectiva posible.

El espectro final del documento deberá ser lo más parecido al original que sea posible, idealmente en un intervalo de 1,5 dB por encima o por debajo en las frecuencias relevantes (entre 200 y 10000 Hz).

Aplicación del protocolo a los documentos y comparación con la digitalización inicial.

Tras la creación del protocolo, este se aplicará a cada documento según sus características. Los resultados serán analizados igual que lo fueron antes de ser restaurados para comprobar el funcionamiento del proceso.

Descripción de las tareas realizadas

Para empezar el proyecto, el primer paso fue reunir el material necesario para trabajar. El magnetófono y la tarjeta de sonido fueron proporcionados por Juan Manuel Caballero Suárez, el tutor de este Trabajo de Fin de Grado, que disponía de ellos. Para utilizar estos equipos también fue proporcionado el cableado necesario. Los documentos fueron entregados por Maximiano Trapero en formato físico (cinta magnética) y digital (audios de la colección guardada por la Biblioteca de la ULPGC en formato flv). El equipo de monitorización de sonido y el software utilizado en el proyecto eran de mi propiedad y eran adecuados para las labores necesarias, por lo que no consideré el uso de otros equipos.

Para poder digitalizar los audios de la cinta, primero hay que asegurarse de que el magnetófono está en buenas condiciones. Para ello, primero limpié los cabezales con unos bastoncillos de algodón mojados en alcohol de 70°, lo que elimina residuos físicos que puedan afectar a la reproducción de la cinta. A continuación, para comprobar el acimut, utilicé una cinta de mi propiedad de la que ya tenía una versión digital, para así comparar las frecuencias, que se verían afectadas por la alineación del cabezal. En un magnetófono, el cabezal puede verse afectado por un uso repetido y desalinearse respecto a las pistas de la cinta, lo que afecta a la información que se transmite del documento en frecuencia. Al reproducir una cinta en formato físico y digital (sabiendo que esta digitalización previa fue hecha correctamente, como es el caso), se pueden comparar los espectros para comprobar si el acimut es correcto (debe estar lo más próximo a 90° que sea posible). Con la cinta de la que ya disponía, el espectro era muy similar y por tanto consideré el acimut como adecuado. Por último, se debe utilizar una cinta limpiadora antes de emplear el magnetófono. La cinta limpiadora contiene un pulso electromagnético que elimina los residuos de esta naturaleza que otras cintas pueden haber dejado en el equipo. Esta cinta debe reproducirse lejos de ordenadores, móviles y dispositivos similares, pues puede afectar a su memoria. Una vez pasada la cinta en un lugar seguro, el mantenimiento estaba completo y podía comenzar la digitalización.

En la siguiente etapa del proceso, los documentos de la cinta fueron digitalizados por medio del magnetófono y la tarjeta siguiendo el siguiente esquema de conexión.



Fig.3.1. Esquema del sistema de digitalización.

Cada cara de la cinta dura entre 15 y 20 minutos. La cara A contiene diferentes canciones y romances cantados por los descendientes de los canarios que emigraron a Luisiana en la segunda mitad del siglo XVIII a establecer colonias, mientras que la cara B contiene una entrevista a una mujer canaria que cuenta su infancia y su experiencia en la escuela. Para separar los documentos de la cara A contacté con Maximiano Trapero, que los identificó e indicó dónde empezaba y acababa cada uno. El software utilizado para la digitalización fue el FL Studio puesto que de entre los diferentes programas utilizados es con el que más familiaridad tengo y me resultó más cómodo para una labor realizable en cualquiera de ellos. Estos audios fueron exportados en formato wav con

frecuencia de muestreo de 44100 Hz, 16 bits de codificación y en estéreo, para poder ser tratados en un formato estándar sin pérdidas.

Por otro lado, los documentos enviados por la colección de la Biblioteca Universitaria de la ULPGC fueron cambiados de formato de flv (un formato de video que no permite el procesado que requiere este proyecto) a wav (manteniendo así un mismo formato para todos los audios) mediante el software Audacity, ya que el FL Studio no puede importar archivos flv.

Una vez los documentos están digitalizados y en un formato común a todos, se realiza un análisis para poder extraer características notables de ellos.

El primer análisis realizado es en el dominio de frecuencia. Para esto se ha utilizado el Audacity, pues ofrece la posibilidad de exportar la información a un documento de texto y con este a Excel. El análisis se ha realizado sobre el documento original así como sobre secciones en las que únicamente está presente el ruido de fondo y no la señal principal, para así poder evaluar el nivel de ruido en el audio (Anexo 4).

Por otro lado, se realiza un análisis subjetivo escuchando los documentos varias veces para poder definir rasgos cuyo análisis no corresponde a valores técnicos o estandarizados (voz masculina o femenina, cantidad de distorsión, instrumentos presentes, por ejemplo). En estas grabaciones se ha observado la presencia de ruido ambiente tanto constante como intermitente, principalmente de coches circulando y otros vehículos, lo que apunta a la situación de grabación de los documentos. No se observa ruido DC (el ruido que induce el magnetófono), pero sí saturación de la señal en la mayoría (debida a las limitaciones del micrófono).

Tras el análisis, se extraen las características notables de los documentos que permiten separarlos en grupos. Estas categorías serán tanto referidas a valores (relación señal/ruido) como de cualidades no mensurables (existencia de ruidos intermitentes).

El primer paso en el procesamiento de los documentos es la eliminación de ruido de fondo. Para esto se han probado diferentes métodos, el algoritmo Vuvuzela disponible para Matlab a través de MatWorks, el denoise nativo de Adobe Audition y una puerta de ruido de FL Studio. Se han aplicado a los diez documentos elegidos los reductores y el eliminador y se han estudiado sus espectros para compararlos con la señal del documento original. El método que ha obtenido un espectro más similar al anterior (manteniendo también una experiencia de escucha satisfactoria) y una relación S/N mayor ha sido elegido.

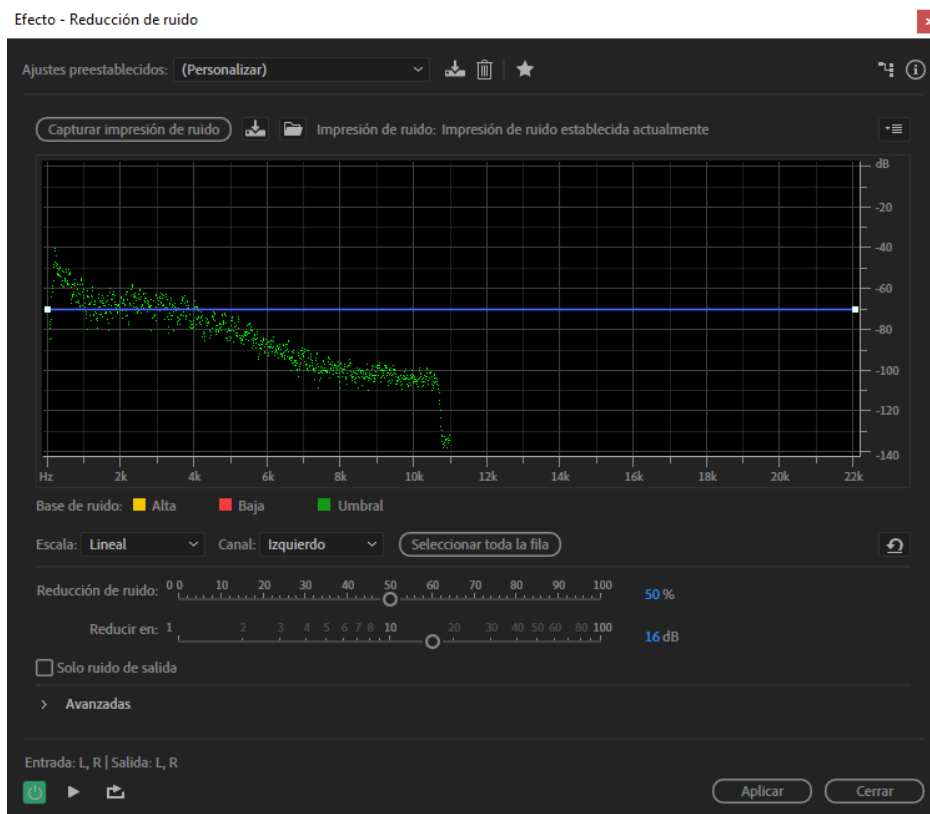


Fig.3.2. Reducción de ruido de Adobe Audition. Se observa el espectro de ruido modelado y permite decidir el grado de reducción, haciendo sustracción total del espectro o reducida en un factor expresado en porcentaje.

```

%-----%
%      noisy spectrum      %
%      extraction          %
%-----%
fprintf('-> Step 2/5: Extract noise spectrum -');
t_index=find(T>t_min & T<t_max);
absS_vuvuzela=abs(S(:,t_index)).^2;
vuvuzela_spectrum=mean(absS_vuvuzela,2); %average spectrum of the vuvuzela (assumed to be ergodic)
vuvuzela_specgram=repmat(vuvuzela_spectrum,1,Nw);
fprintf(' OK\n');

%-----%
%      Estimate SNR      %
%-----%
fprintf('-> Step 3/5: Estimate SNR -');
absS=abs(S).^2;
SNR_est=max((absS./vuvuzela_specgram)-1,0); % a posteriori SNR
if apriori_SNR==1
    SNR_est=filter((1-alpha),[1 -alpha],SNR_est); %a priori SNR: see [2]
end
fprintf(' OK\n');

%-----%
%      Compute attenuation map      %
%-----%
fprintf('-> Step 4/5: Compute TF attenuation map -');
an_lk=max((1-lambda*(1./(SNR_est+1)).^beta1)).^beta2,0); %an_l_k or anelka, sorry stupid french joke :)
STFT=an_lk.*S;
fprintf(' OK\n');

%-----%
%      Compute Inverse SIFT      %
%-----%
fprintf('-> Step 5/5: Compute Inverse SIFT:');
ind=mod((1>window_length)-1,Nf)+1;
output_signal=zeros((Nw-1)*overlap+window_length,1);
for indice=1:Nw %Overlapp add technique
    left_index=((indice-1)*overlap) ;
    index=left_index+(1>window_length);
    temp_ifft=real(iff(STFT(:,indice),NFFT));
    output_signal(index)= output_signal(index)+temp_ifft(ind).*window;
end
fprintf(' OK\n');

```

Fig.3.3. Sección del algoritmo Vuvuzela. Se toma el espectro de ruido en el intervalo de tiempo determinado (por defecto se toma uno de 0,4s tras 1s del inicio), se estima la relación S/N resultante y se hace el mapa de ruido negativo para sustraerlo de la señal.

Una vez los audios han pasado por el reductor designado, el siguiente paso es deshacer la distorsión. Esta labor es complicada puesto que la distorsión es una pérdida de información, pero los algoritmos modernos de declipping pueden restaurar las partes perdidas. En este caso se ha utilizado el declipper nativo de Adobe Audition. Este efecto analiza el audio para detectar las zonas en las que se produce distorsión y permite su reparación en tres grados: reparación normal, reparación de recortado leve o reparación de recortado en exceso. Para este proyecto se ha elegido la reparación normal. Tras el declipper, se aplica también el declicker nativo para eliminar los ruidos más prominentes que no sean continuos. El documento es guardado tras su reparación para proceder con su edición.

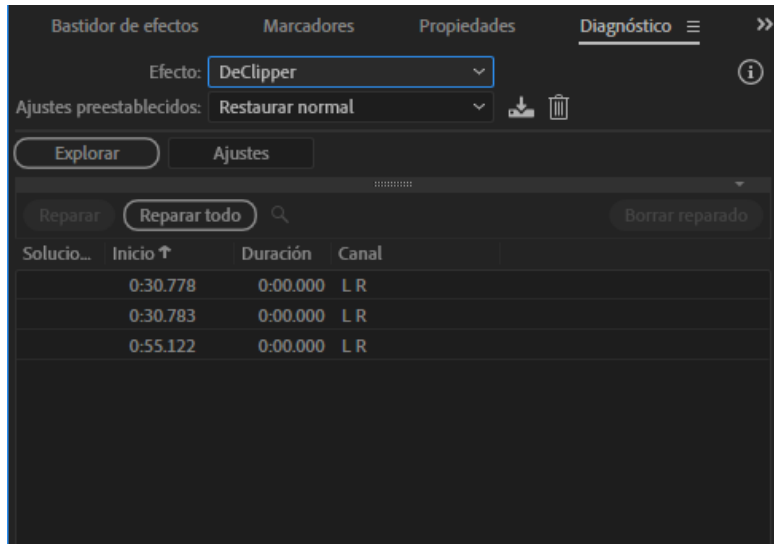


Fig.3.4. Declipper disponible en Adobe Audition. Detecta la saturación en el documento con el botón de explorar y permite restauración normal, ligera e intensa.

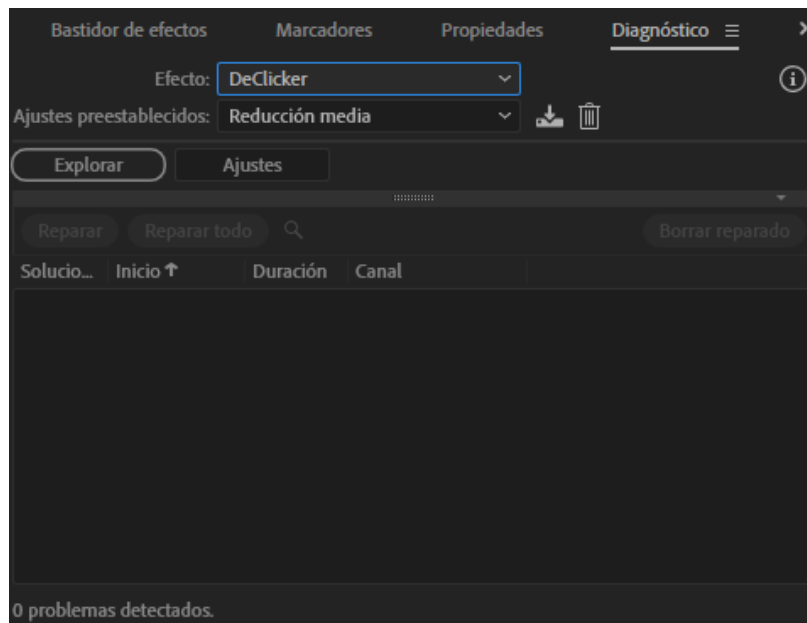


Fig.3.5. Declicker disponible en Adobe Audition. El funcionamiento es igual al del declicker y permite los mismos grados de restauración.

Para completar el procesamiento de los documentos serán empleados diferentes plugins de FL Studio, ProTools. Primero se pasará el documento por un ecualizador en el que se eliminarán las frecuencias por debajo de 200 Hz y por encima de 10 u 8 kHz si el audio no contiene instrumentos musicales (en caso de que los contenga, el valor dependerá de los armónicos de los instrumentos), puesto que estos rangos de frecuencias no pueden contener información útil. El

ecualizador se ajustará también para resaltar la señal de voz (que dependerá de si es una voz masculina o femenina) y los elementos musicales que intervengan. Para las voces masculinas se ha buscado la frecuencia base alrededor de los 100 Hz y se han potenciado también alrededor de los 300 y 1800 Hz puesto que eran los armónicos más destacados en el ecualizador. Para las femeninas, se han tomado de base los 200 Hz y se han tomado como armónicos más significativos los que se encuentran cercanos a los 500 Hz y a los 2400 Hz. Se observa que se toma un armónico cercano a la base y otro más lejano, con lo que se consigue un aumento de la sonoridad en todo el rango de frecuencias manteniendo el carácter del timbre.



Fig.3.6. Ecualizador empleado en FL Studio. En este caso se realiza la ecualización de una voz masculina. La banda 4 potencia el armónico en 300 Hz y la 6 el armónico en 1800 Hz. La banda 1 reduce desde un principio las frecuencias que no pasarán el paso alto, para el que se ha utilizado otra instancia del mismo ecualizador. Se observan las 7 bandas y las opciones de modificar la ganancia (los sliders verticales), la frecuencia (rueda FREQ) y el ancho de banda (rueda BW) de cada una.

A continuación, se aplicará un de-esser con sensibilidad alta y profundidad media-alta, puesto que la /s/ canaria provoca sonidos sibilantes que enmascaran gran parte de la señal a su alrededor. Este de-esser se aplicará a todos los archivos por igual por la procedencia de todos los interlocutores.



Fig.3.7. De-esser Spitfish. Se puede tomar la frecuencia principal (tune), en este caso de 8 kHz la sensibilidad (sense), cercana al máximo, y la potencia del efecto (depth), que se ha elegido media-alta. También está activada la opción stereo puesto que los archivos están en este formato.

Tras el de-essing, se emplea un compresor con el objetivo principal de que no se superen los límites de nivel apropiados y el audio quede en las mejores condiciones posibles para su estudio.

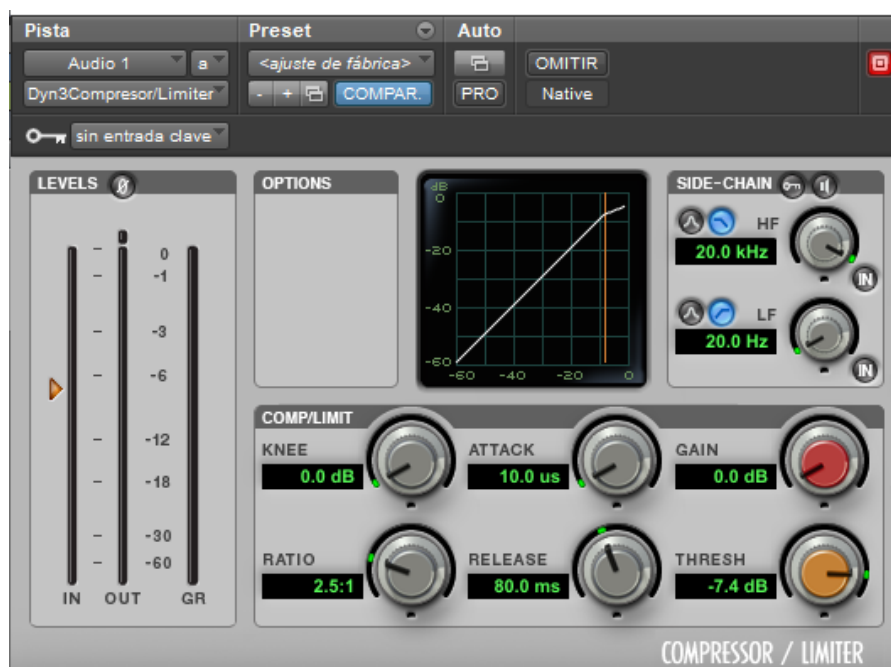


Fig.3.8. Compresor Dyn3 de ProTools. El umbral está en -7.4dB porque se busca una compresión que no afecte a gran parte de la señal, sino a los valores más extremos. La relación de compresión es de 2.5:1, no muy elevada pues no se quiere dañar el rango de la señal, cambiando sus características. Se observa que también se pueden modificar el codo (knee) para hacer la compresión más o menos gradual en relación al nivel, el ataque, para hacer la compresión más gradual en el tiempo, la ganancia y el release (que indica la duración del efecto cada vez que se activa).

Por último, se han normalizado los archivos para estandarizar el nivel al que llegan. Este proceso aporta la misma ganancia a todo el archivo llevando los picos mayores al máximo sin llegar a la saturación (indicado en las DAW como 0.0dB).

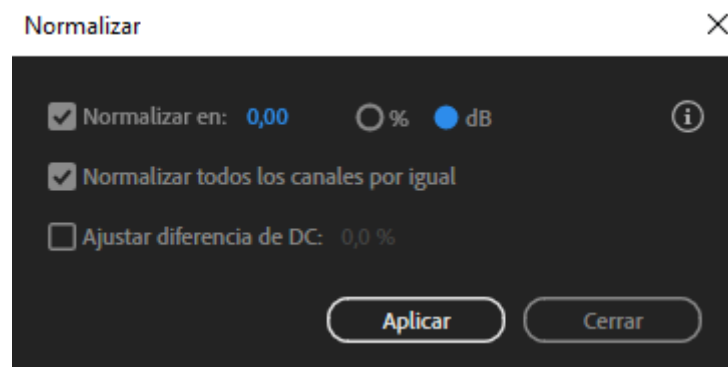


Fig.3.9. Normalización en Adobe Audition. Permite ajustar la diferencia del ruido DC también, aunque en este caso no ha sido necesario.

Para comprobar que el protocolo da unos resultados adecuados, se utilizan las mismas técnicas de análisis que fueron utilizadas con los documentos en su estado original, pudiendo así obtener conclusiones al respecto.

Resultados

Los resultados se muestran referidos a 10 de los documentos, elegidos por su relevancia y por mostrar diferentes características. Cinco de ellos proceden de las dos cintas de cassette que se adjuntaron al “Romancero de Gran Canaria. I. Zona del Sureste (Agüimes, Ingenio, Carrizal y Arinaga)”, de Maximiano Trapero, con transcripción y estudio de la música de Lothar Siemens Hernández. Las Palmas de Gran Canaria: Mancomunidad de Cabildos de Las Palmas, 1982. Se han seleccionado los romances siguientes:

- . “Tamar”, interpretado por un grupo de niños
- . “Enrique y Lola”, cantado por Irene Díaz
- . “Delgadina”, cantado por un intérprete anónimo,
- . “A Belén llegar”, cantado por Catalina Rodríguez
- . “La pulga y el piojo”, interpretado por Mariana Santana

Los cinco restantes proceden de una cinta de cassette que contiene canciones, romances y dichos populares cantados por Irván Pérez, uno de los descendientes de los “isleños” de Luisiana en la década de 1970, quien se la entregó a Maximiano Trapero para sus investigaciones. Se han seleccionado las siguientes canciones:

- . Canción “Narannarán” (desconocida)
- . Canción narrativa “Las — de California” (sin identificar el primer nombre de la canción)
- . Canción lírica “La Luna”
- . Romance “Bernal Francés”
- . Romance “La vuelta del marido”

Los resultados del análisis espectral se muestran entre 43 y 10100 Hz (excepto en la primera gráfica, que muestra todo el espectro). En las gráficas se puede

observar el nivel del audio original en el dominio de frecuencia junto al del ruido presente.

A partir de los espectros, podemos observar que la mayoría de los documentos tienen información útil entre los 200 y los 10000 Hz, tal como estaba previsto. En general, el ruido se presenta como problema alrededor de los intervalos de 200-400 Hz y de 5000-7000 Hz, manteniendo en los demás una relación S/N de entre 20 y 15 dB. En los intervalos mencionados, sin embargo, la relación es <10dB o <5dB.

Los archivos presentan, en general, ruido continuo, sobre todo en altas frecuencias (y algunos también en las más bajas). También hay gran cantidad de clicks y otros ruidos del ambiente como coches, el paso de páginas y otras personas hablando lejos del micrófono. En la mayoría de los archivos hay saturación y algo de distorsión provocada por las condiciones del material (esta última es irreversible). Es por tanto necesario reducir el ruido y hacer declipping y declipping en todos los documentos. Dadas las condiciones de las cintas, la voz pierde parte de su información y sonoridad, por lo que se ecualizarán los archivos para potenciar el timbre y conseguir una señal más “llena”. Además, por el uso de sistemas de grabación antiguos, el nivel de potencia de las grabaciones es menor del que podrían alcanzar actualmente, por lo que se normalizarán después de comprimirlas (esto último se hará para ajustar el rango dinámico para que sea más adecuado).

A partir de este análisis y del análisis subjetivo, se ha realizado la siguiente tabla de clasificación.

Criterio	Clases			
	Femenino		Masculino	
Interlocutor	Femenino		Masculino	
¿Musical?	Sí		No	
¿Instrumentos?	Contiene instrumentos		No contiene instrumentos	
Diferencia S/N	S/N>20dB	20dB>S/N>10dB	10dB>S/N>5dB	5dB>S/N
Click	Sí		No	
Distorsión	Nada	Poca	Media	Mucha

Tabla.4.1. Criterios de clasificación de los documentos sonoros estudiados.

En el caso de las voces infantiles, serán incluidas en el apartado de las femeninas pues se encuentran en el mismo rango de frecuencias (147-242 Hz frente a los 80-165 Hz de una voz masculina adulta) y tienen armónicos similares.

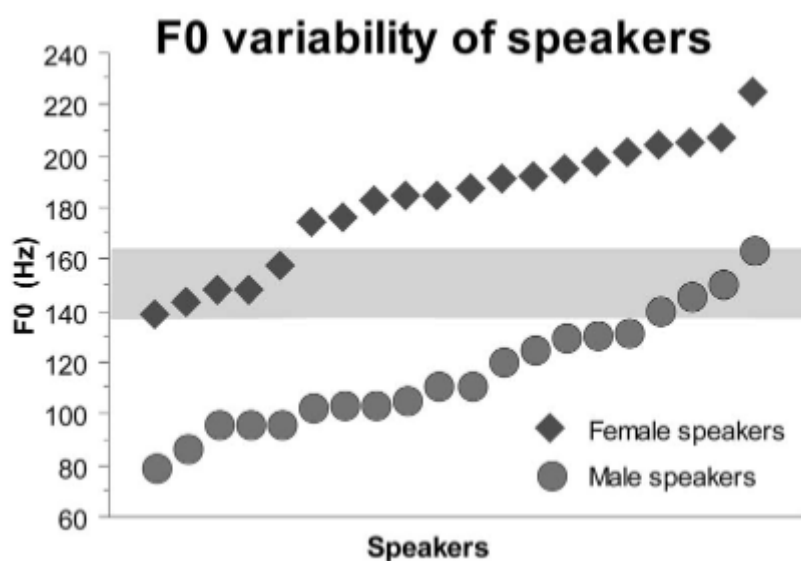


Fig.4.1. Rango de frecuencias base más comunes para voz masculina y femenina.^[14]

Los documentos son clasificados según los criterios expuestos para establecer el protocolo (Anexo 2). Es notable el hecho de que ningún documento incluye instrumentos musicales, pero ninguno de los documentos proporcionados pertenecían a esa categoría.

La comparación de métodos para la reducción de ruido (Anexo 3) prueba la competencia de los dos reductores, pero también muestra diferencias entre los dos. Dada la menor complejidad de sus sistema, el algoritmo Vuvuzela tiene una peor señal de salida, que se ve dañada en algunas frecuencias (especialmente cuando el ruido de fondo tiene un componente agudo notable) y suena filtrada al reproducirla. Además, el algoritmo Vuvuzela deja de respetar el espectro en su forma original a partir de una frecuencia de corte (que depende del documento), creando una pendiente descendiente continua, alterando la señal. El espectro resultante del denoiser de Adobe tiene mayor parecido con el original tanto en la distribución de energía en el dominio de frecuencias como en nivel medio, por lo que será este el que finalmente se use en el protocolo. Las puertas no han sido incluidas puesto que han sido retiradas del proceso antes de llegar a analizar el espectro. Esto se debe a que, cuando se produce eliminación de ruido, la señal queda entrecortada. Además, al suceder a la vez que la señal principal, parte del ruido no puede eliminarse ni reducirse, y suena completamente. Para eliminar todo el ruido hay que eliminar también parte de la señal principal, por lo que no se emplea este método. Finalmente, el denoise de Adobe demuestra ser el mejor para el proyecto.

Respecto al uso del declipper, se empleará restauración media para los documentos con poca o media distorsión, y con restauración intensa para los que tienen mucha. El declicker se utilizará en valores medios para todos los documentos con clicks o ruidos puntuales, para reducirlos sin dañar la señal.

La ecualización estará diferenciada entre las voces masculinas y las femeninas. En los dos casos se aplicará un paso bajo para eliminar las frecuencias por encima de 10 kHz y un paso alto para eliminar las que estén por debajo de 200 Hz. A partir de ese punto, las voces masculinas serán potenciadas en las frecuencias de 310 y 1800 Hz levemente (alrededor del 5%) con un ancho de banda de 40% o similar, y se reducirán en 1200 Hz un 7% con un ancho de banda de 5%. Las voces femeninas serán aumentadas en la misma medida pero en las frecuencias de 500 y 2400 Hz, y serán igualmente reducidas en 1350 Hz.

La aplicación del de-esser será igual para todos los documentos, con alta profundidad y sensibilidad (entre el 75% y el 100%) y se afinará en 8 kHz (si permite la opción).

Finalmente, se comprime levemente el audio (frecuencia de corte entre -7.5dB y -2dB y relación de 2.5:1) y se normaliza (llevando los picos al nivel máximo).

El protocolo final sigue, por tanto, el siguiente esquema.

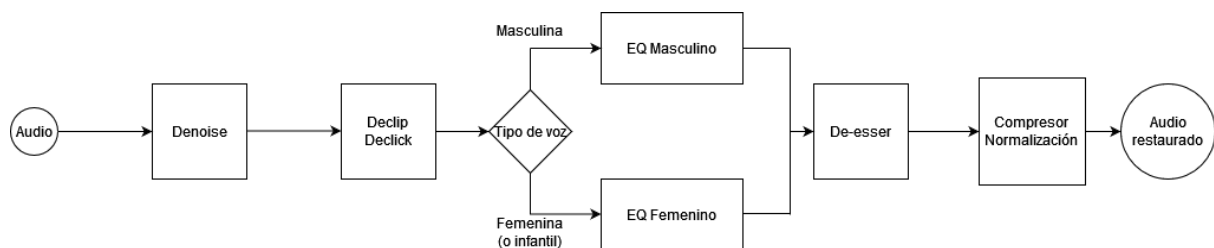


Fig.4.2. Esquema del protocolo de digitalización y restauración de audio.

La comparativa (Anexo 4) entre los documentos originales y los resultados muestra que el protocolo consigue mantener el espectro de la señal eliminando el ruido en gran medida. En todos los casos la relación S/N se mantiene en 20dB o por debajo, por lo que el ruido de fondo no es audible. La ecualización permite potenciar la voz y obtener más riqueza y claridad en las palabras de los intérpretes sin alterar sus componentes.

La siguiente tabla contiene una comparación entre la señal original y la procesada final para cada archivo, tomando la diferencia entre las señales principales y entre los ruidos respectivos.

Documento	Diferencia en señal principal (Procesada - Original)	Diferencia en ruido (Procesado - Original)
La Luna	7 dB	-10 dB
Narannarán	5 dB	-13 dB
Las — de California	3 dB	-100 dB
La vuelta del marido	2 dB	-10 dB
Bernal Francés	7 dB	-60 dB
Delgadina	7 dB	-20 dB
Enrique y Lola	0 dB	-20 dB
Tamar	0 dB	-30 dB
A Belén llegar	-1 dB	-20 dB
La pulga y el piojo	-1 dB	-100 dB

Tabla 4.2. Relación entre señales y ruidos en forma numérica.

Conclusiones

Con este proyecto, se ha establecido un protocolo para poder restaurar documentos de audio almacenados en cinta magnética devolviéndolos a una mejor calidad que permite su estudio y una mejor escucha. La importancia del patrimonio sonoro histórico no es mencionada tanto como debería, y especialmente la del patrimonio sonoro canario, que se ha abandonado o pasado por alto durante mucho tiempo. La voz es un medio único que contiene información que no se puede encontrar en ningún otro. Tanto para los lingüistas como para los historiadores, para aquellos preocupados con nuestros antepasados, la posibilidad de conservar este sonido con la mejor calidad posible es un soplo de vida en sus disciplinas, abriendo un nuevo abanico de posibilidades en su estudio.

Con el proyecto se ha podido mostrar el uso de diferentes efectos en la labor de restauración de sonido, disciplina que no cuenta con gran cantidad de documentación, especialmente de acceso público. Con los reductores de ruido se puede conseguir el rango dinámico deseado (se ha comprobado que los eliminadores no son adecuados para este trabajo), seleccionando las secciones en que el espectro de ruido se muestra más claramente y modelando dicho espectro para eliminarlo de toda la grabación. Además, se han comparado métodos de reducción de ruido y se ha observado que, aunque el algoritmo Vuvuzela y las puertas de ruido permitan deshacerse del ruido, los otros efectos que causan en la señal (sonido entrecortado, efecto de filtro) los hacen inapropiados para este tipo de proyecto. Con los ecualizadores se ha encontrado la manera de potenciar la voz por encima del resto de señal centrándose en los puntos importantes, eligiendo las frecuencias enfatizadas en función del tipo de voz y los armónicos que presenta cada una, aunque teniendo también en cuenta las características únicas de cada voz. Con el declipping y declicking se han podido eliminar elementos que dañan la información contenida en la grabación y la claridad al escucharla, en la medida en la que estaban presentes según un análisis subjetivo. Con el de-esser se ha arreglado el problema del sonido sibilante de la “S”, especialmente presente en estas grabaciones al proceder de

intérpretes canarios. Por último, con la compresión y normalización se consigue un nivel estándar para las grabaciones, manteniendo una cohesión en ese ámbito también y una mayor sonoridad que en los documentos originales. Al contrario que otros proyectos que necesitan un software y unos plugins específicos, este protocolo se puede llevar a cabo con diferentes DAWs y sistemas siempre que se respeten los valores proporcionados (siempre orientativos, por la naturaleza del trabajo con audio), permitiendo gran flexibilidad tanto en setup como en presupuesto y la posibilidad de que otros ingenieros lo empleen y desarrollen. Esto permite también continuar la digitalización del Archivo de literatura oral de Canarias *Maximiano Trapero*, pudiendo restaurar de esta manera una de las mayores colecciones de literatura oral canaria del mundo. Hay que tener en cuenta también que algunos documentos, como los que contienen instrumentos musicales, no han podido ser probados puesto que no había ninguno de ese tipo entre los proporcionados del Archivo. Sin embargo, esto supondrá principalmente una rectificación de la ecualización, aumentando el rango de frecuencias sin eliminar y posiblemente añadiendo armónicos para los instrumentos.

Del proyecto se puede observar también que gran parte de los problemas en las grabaciones se deben a la toma microfónica, por lo que parte de la restauración podría no haber sido necesaria de haberse seguido un protocolo más estricto de grabación desde un principio. Aunque es imposible rehacer grabaciones antiguas como estas, es importante la educación al respecto y la monitorización del trabajo de los ingenieros que se dedican a la grabación. La elección tanto del micrófono como del lugar correctos, así como el uso de equipo que permita aislar la señal del ruido, permiten obtener grabaciones de mayor calidad que no necesitarán ser mejoradas en el futuro.

El uso de tecnologías contemporáneas para recuperar aquellas que han quedado obsoletas y poder seguir trabajando con ellas es una prueba de las capacidades de la ingeniería de actualizarse y poder actualizar otras ramas de conocimiento e investigación. Es también una muestra de la capacidad de la ingeniería de colaborar con otras disciplinas y prestar ayuda de numerosas maneras. Este acercamiento, en este caso de la ingeniería con la lingüística y la historia, es

importante que se realice y que sea visible para no limitar nuestras competencias cuando hay un gran abanico de posibilidades delante de nosotros.

Bibliografía relacionada

- [1] G. Milner, *Perfecting sound forever: The story of recorded music*. London: Granta Publications, 2018.
- [2] C. Symes, *Setting the record straight : a material history of classical recording*. Connecticut: Wesleyan University Press Middletown, 2004.
- [3] P. O. Rodríguez-Reséndiz, "La Preservación Digital Sonora," *Investigación Bibliotecológica: Archivonomía, Bibliotecología e Información*, vol. 30, no. 68, pp. 173–195, 2016.
- [4] L. Duranti, & E. Shaffer. *Proceedings of The Memory of the World in the Digital Age: Digitization and Preservation. An international conference on permanent access to digital documentary heritage, 26-28 September 2012, Vancouver, British Columbia, Canada*. Vancouver: University of British Columbia, 2013.
- [5] "Archivo Sonoro Maximiano Trapero de Literatura oral de Canarias," *Archivo sonoro Maximiano Trapero de literatura oral de Canarias*. [Online]. Available: <https://mdc.ulpgc.es/cdm/landingpage/collection/asmtloc>. [Accessed: 02-Jun-2022].
- [6] C. H. Muñoz, "Los registros sonoros en la Biblioteca Digital hispánica," *El Blog de la BNE*, 28-Jul-2015. [Online]. Available: <https://blog.bne.es/blog/los-registros-sonoros-en-la-biblioteca-digital-hispanica/>. [Accessed: 02-Jun-2022].
- [7] A. Espinosa García, "La S de Canarias", *"La Rosa de los Vientos"*, no. 3, pp. 8–9, Apr. 1927.
- [8] *Archivos sonoros. Recomendaciones para su digitalización.*, 1st ed. Centro de Documentación de Música y Danza. INAEM (Gestión del Patrimonio Musical; I), 2007.

- [9] G. Ballou, *Handbook for sound engineers*. New York; London: Taylor & Francis, 2015.
- [10] B. Owinski, *The Recording Engineer's handbook*. Burbank, CA: BOMG Publishing, 2017.
- [11] *Guía de referencia de Pro Tools*. Daly City, CA: Avid, 2002.
- [12] FL Studio, "FL Studio Online Manual," *FL Studio*, 29-Jun-2020. [Online]. Available: <https://www.image-line.com/fl-studio-learning/fl-studio-online-manual/>. [Accessed: 14-Jun-2022].
- [13] *Adobe Audition: User Guide*. San Jose, CA: Adobe, 2003.
- [14] D. Kovačić and E. Balaban, "Voice gender perception by Cochlear implantees," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 126, no. 2, pp. 762–775, 2009.

Presupuesto

Presupuesto

Nombre	Descripción	Cantidad	Costo por unidad	Total
Licencias de software				
ProTools	Costo por mes	5	29.00 €	145.00 €
FL Studio	Pago único (Producer Edition)	1	189.00 €	189.00 €
Adobe Audition	Costo por mes	5	24.19 €	120.95 €
				0.00 €
				0.00 €
				0.00 €
Total software				454.95 €
Material				
Magnetófono	Tascam 102 MK II	1	376.15	376.15 €
Tarjeta de sonido	Edirol FA-101	1	199.00 €	199.00 €
Cableado	Cable FireWire y cable miniJack-Jack	1	17.10 €	17.10 €
Alcohol 70º	Mantenimiento	1	4.00 €	4.00 €
Bastoncillos	Mantenimiento	1	1.00 €	1.00 €
Cinta desmagnetizadora	Mantenimiento	1	3.59 €	3.59 €
Total material				600.84 €
Mano de obra				
Ingeniero de sonido	Costo por hora	300	22.00 €	6,600.00 €
				0.00 €
				0.00 €
				0.00 €
Total mano de obra				6,600.00 €

Costo total

7,655.79 €

Fdo.

Darío Doña Falcón

Anexos

Anexo 1. Datos técnicos del hardware empleado

En este anexo se presentan las características del hardware utilizado que se encuentran disponibles en sus manuales. Se ha incluido la información del magnetófono, la tarjeta de sonido y el equipo de monitorización de señal.

Tascam 102 Mk II.

Performance Specifications:

Track System:	4 track, 2 channel stereo
Heads (per deck):	(1) Erase, (1) Record/Reproduce
Type of Tape:	Cassette C-60, C-90
Tape Speed:	1 7/8 ips, 4.76 cm/sec
Fast Wind Time:	Approximately 110 seconds for C60
Frequency Response:	25Hz-19kHz \pm 3dB Metal 25Hz-18kHz \pm 3dB CrO2 25Hz-17kHz \pm 3dB Normal
Signal to Noise Ratio:	>79dB Dolby C, over 1kHz >69dB Dolby B, over 5kHz >59dB Dolby off, 3% THD, Weighted
Wow and Flutter:	<0.06% (W RMS)
Line RCA Input:	-10dBu, 97mV, 50kOhms
Line RCA Output :	-10dBu, .52mV, >50kOhms
Headphone Output:	1mW, 8 Ohms

General Specifications:

Power Requirements:	120V AC, 60Hz (US/Canada Model) 230V AC, 50Hz (Europe Model)
Power Consumption:	10W
Dimensions:	482 x 144 x 286 mm 19" x 5.7" x 11.3"
Weight:	4Kg, 8.8 lbs.

Roland Edirol FA-101.

Number of Audio Record/Playback Channels:

44.1/48/88.2/96 kHz

Record: 10 channels
Playback: 10 channels
Full duplex

192 kHz

Record: 6 channels
Playback: 6 channels
Full duplex

Signal Processing:

PC interface
24 bits

AD/DA Conversion
24 bits (linear)

Sampling Frequency:

Digital output
44.1/48/88.2/96 kHz

Digital input
44.1/48/88.2/96 kHz

AD/DA Conversion
44.1/48/88.2/96/192 kHz

Frequency Response:

96.0 kHz
20 Hz to 40 kHz (+0/-2 dB)

88.2 kHz
20 Hz to 40 kHz (+0/-2 dB)

48.0 kHz
20 Hz to 22 kHz (+0/-2 dB)

44.1 kHz

20 Hz to 20 kHz (+0/-2 dB)

Nominal Input Level:

Input Jack 1–2 (XLR type)

-50 to -10 dBu

Input Jack 1–2 (1/4 inch TRS phone type)

-35 to +4 dBu

Input Jack 3–6

+4 dBu (balanced)

Input Jack 7–8

-10 dBu to +4dBu(balanced)

Nominal Output Level:

Output Jack 1–8

+4 dBu (balanced)

Residual Noise Level:

Output Jack 1–2

98 dBu

(input terminated with 1 k ohms, MAIN VOLUME: 0 dB,

INPUT SENS: +4 dBu, DIRECT MONITOR VOLUME: OUT1/2 position,

IHF-A typ., Balanced)

SN RATIO (Typical):

OUTPUT

108 dB

INPUT

102 dB

Interface:

Firewire (IEEE1394)

Digital input/outputs?•Optical type (conforms to IEC60958)

MIDI IN/OUT

Connectors:

Front Panel

Input Jack 1–2 (XLR type / 1/4 inch TRS phone type)

XLR type (balanced / phantom power +48V)

1/4 inch TRS phone type (balanced)

*INPUT2 jack: high impedance is supported Digital In Connector(Optical type)

Digital Out Connector (Optical type)

Headphones Jack (Stereo 1/4 inch phone type)

Rear Panel

Input Jack 3–8 (1/4 inch TRS phone type (balanced))

Output Jack 1–8 (1/4 inch TRS phone type (balanced))

MIDI Connectors (In, Out)

FireWire (IEEE1394) Connectors

Others:

Power Supply

DC 9V (AC adaptor)

Current Draw

900 mA

Accessories

Owner's Manual

CD-ROM

AC Adaptor

FireWire (IEEE1394) cable (6 pins to 6 pins)

FireWire (IEEE1394) cable (6 pins to 4 pins)

Size and Weight:

Width

218 mm

8-5/8 inches

Depth

137 mm

5-7/16 inches

Height

47 mm

1-7/8 inches

Weight

1.0 kg

2 lbs. 2 oz.

Audio-Technica AH-M50 X.

Dinámicos

Cerrados

Drivers de 45 mm con imanes de tierras raras y bobinas de voz con filamento de aluminio revestido de cobre

Almohadillas giratorias 90°

Almohadillas de cuero sintético

Respuesta en frecuencia: 15 - 28000 Hz

Potencia máxima de entrada: 1600 mW a 1 kHz

Impedancia de 38 Ohmios

SPL: 99 dB

Cables desmontables

Cable en espiral de 1,2 m

Cable recto de 1,2 m y 3 m

Incluye adaptador de 6,3 mm y bolsa

Peso con cable: 341 g

Peso sin cable: 287 g

Color: Negro

Set Trust Tytan 2.1.

Tipo de altavoz: 2.1

Dimensiones del altavoz (en mm): 250x250x240

Peso total: 4900 g

Dimensiones del subwoofer (en mm): 255x255x260

Conexión: Cable miniJack-miniJack

Potencia de salida (pico): 120W

Potencia de salida (eficaz): 60W

Respuesta en frecuencia: 20-20000 Hz

Drivers: 3

Controles: Bajo, ahorro de potencia, volumen

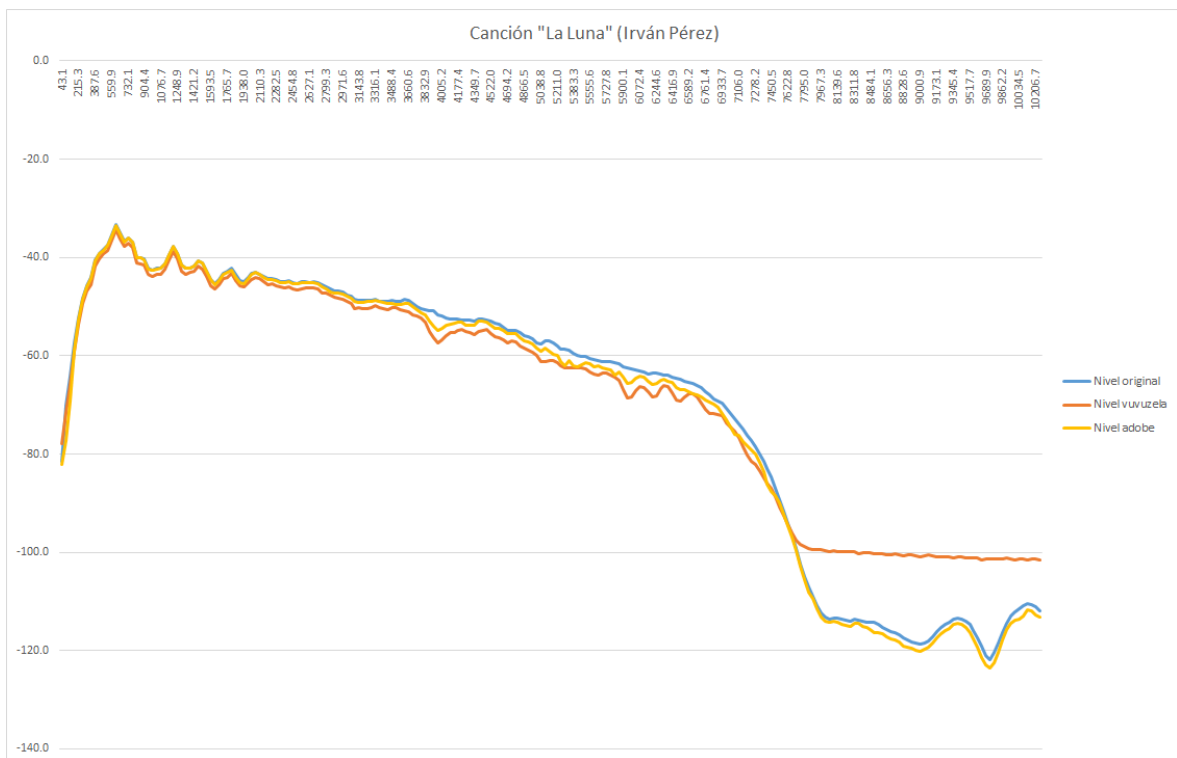
Anexo 2. Clasificación de los documentos de ejemplo

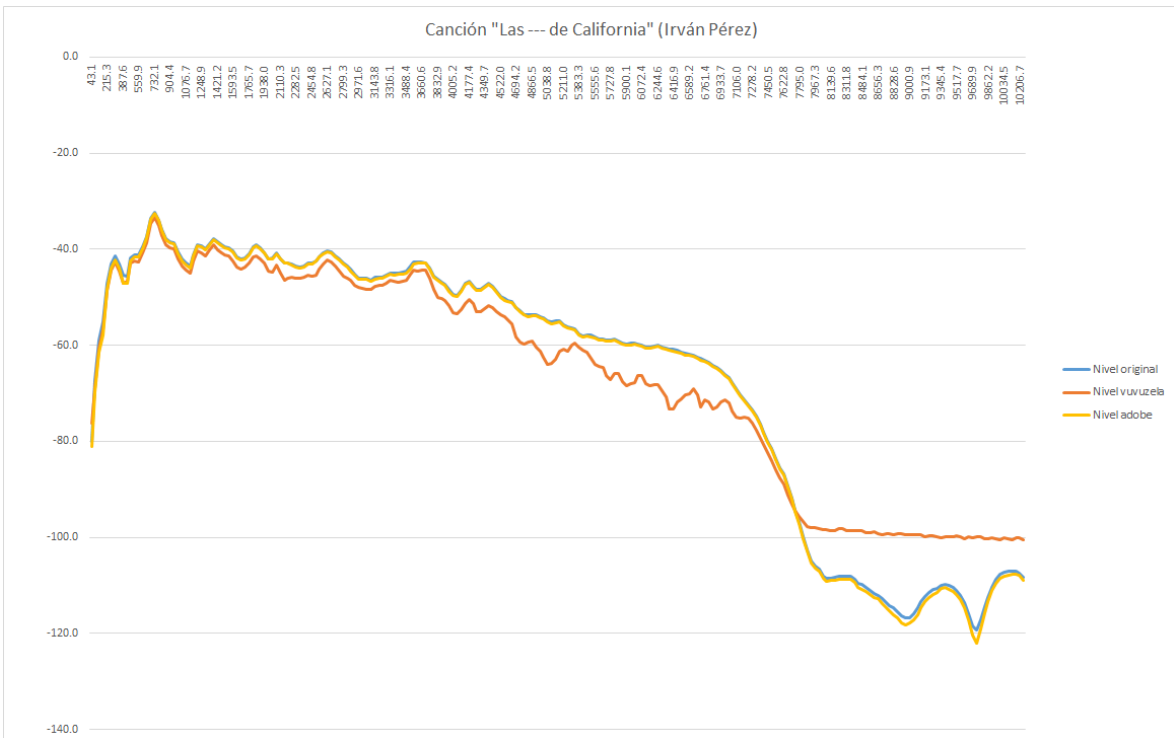
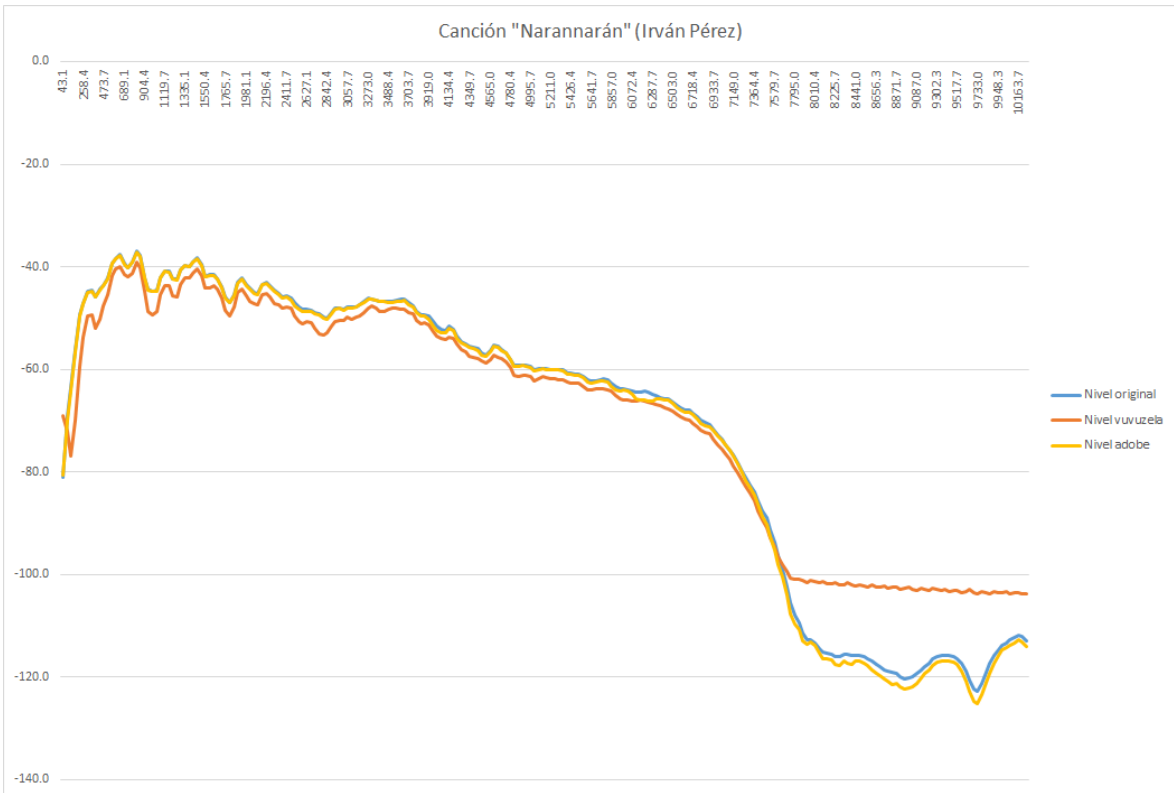
La tabla contiene la clasificación de los documentos tratados en el proyecto en función de los criterios establecidos en la sección de resultados.

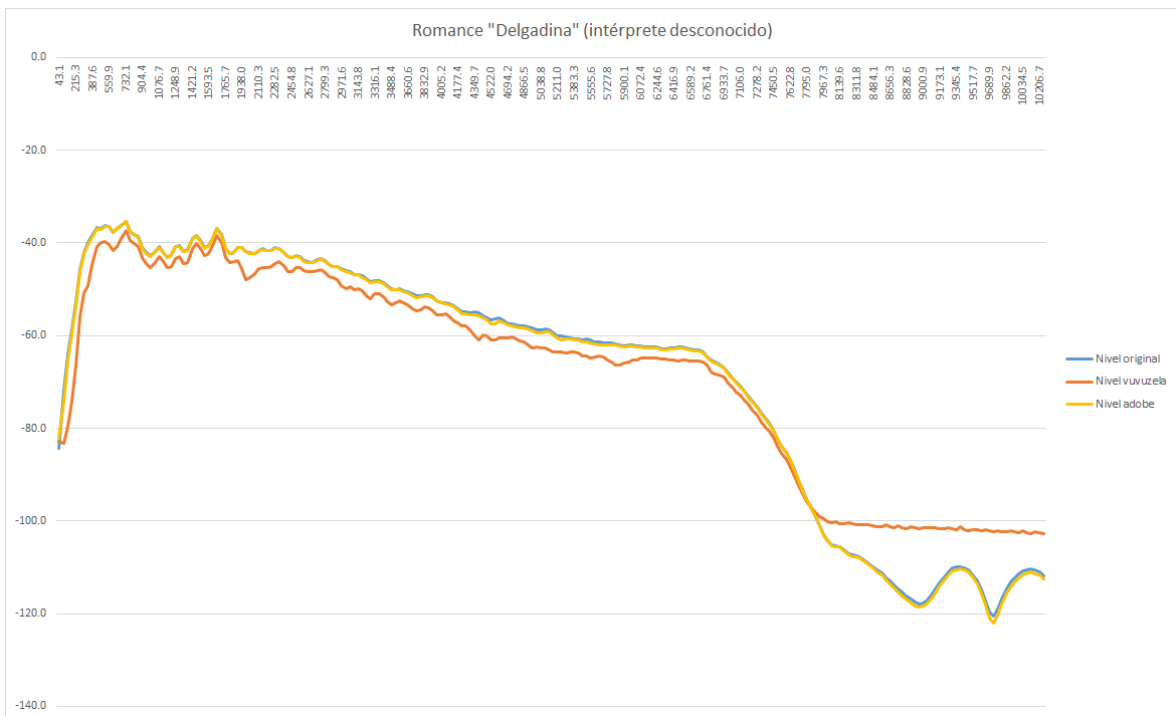
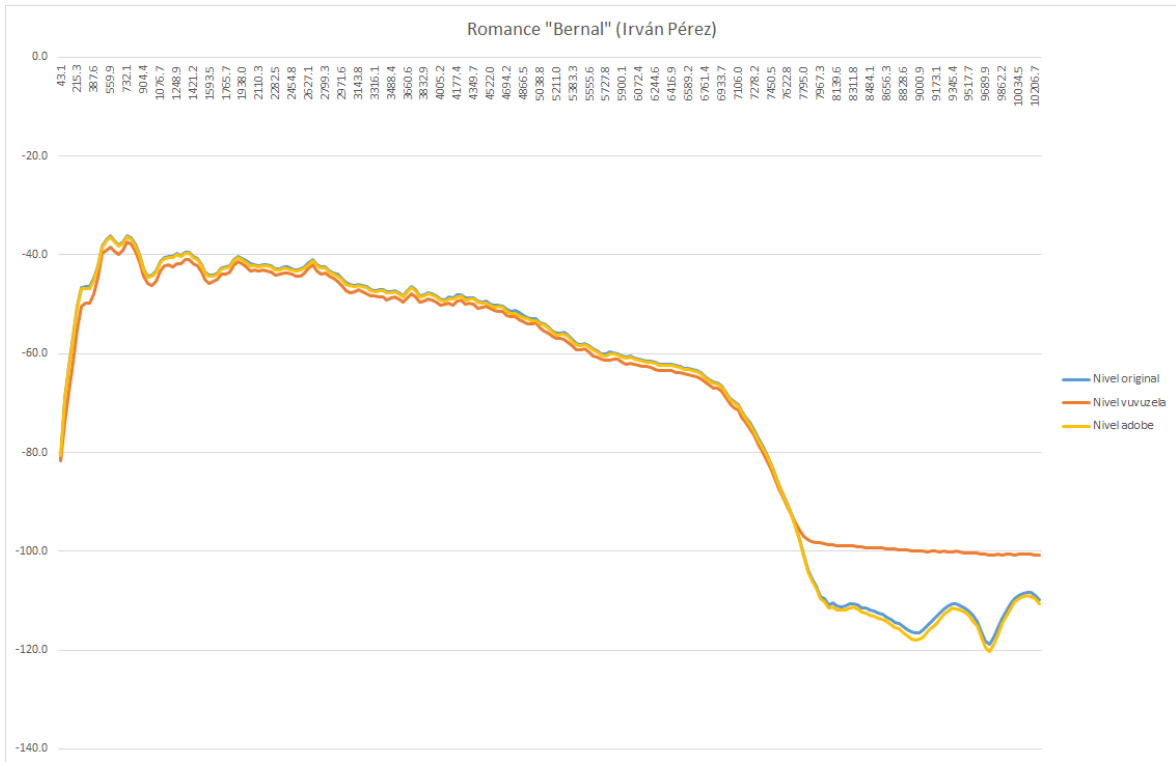
Documento	Voz	Musical	Inst.	S/N	Click	Dist.
La Luna	M	Sí	No	16,6 dB	Sí	Mucha
Narannarán	M	Sí	No	14,5 dB	Sí	Media
Las — de California	M	Sí	No	19,0 dB	Sí	Mucha
La vuelta del marido	M	Sí	No	14,0 dB	Sí	Mucha
Bernal Francés	M	Sí	No	20,1 dB	Sí	Media
Delgadina	M	Sí	No	11,5 dB	Sí	Mucha
Enrique y Lola	F	Sí	No	14,0 dB	Sí	Poca
Tamar	F/Niños	Sí	No	19,3 dB	Sí	Nada
A Belén llegar	F	Sí	No	15,0 dB	No	Poca
La pulga y el piojo	F	Sí	No	22,0 dB	No	Media

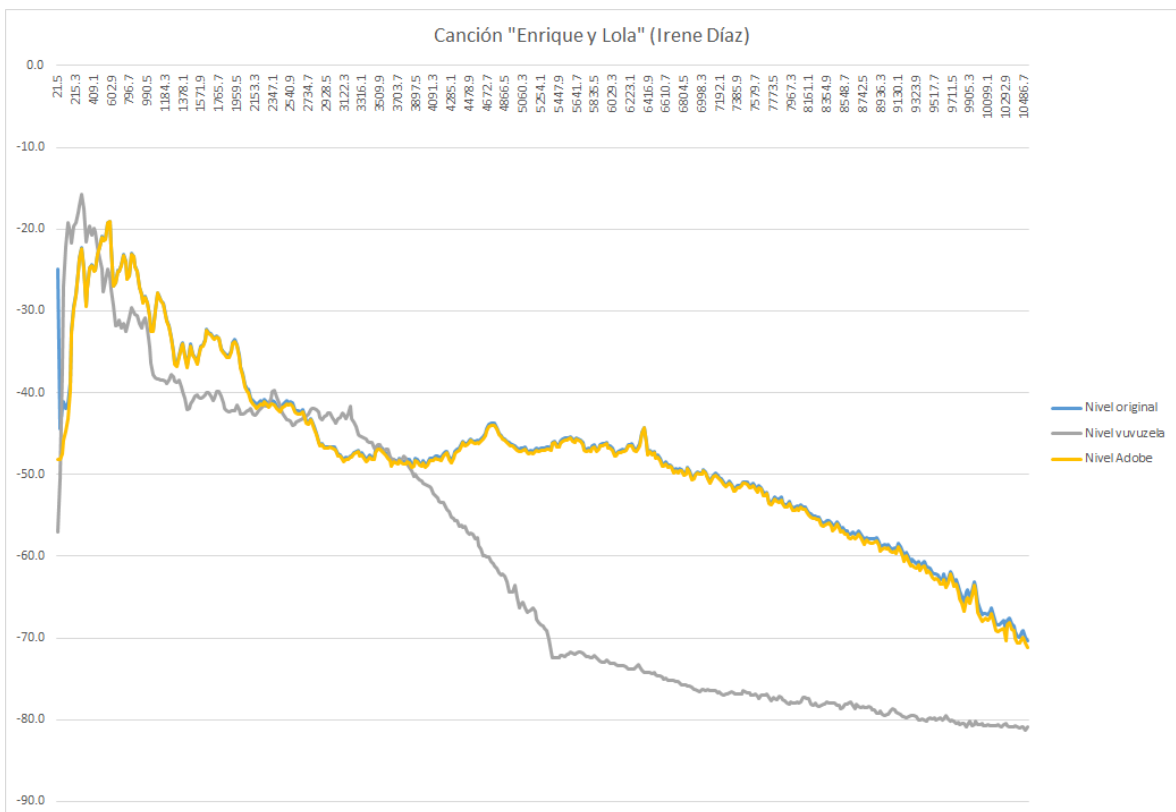
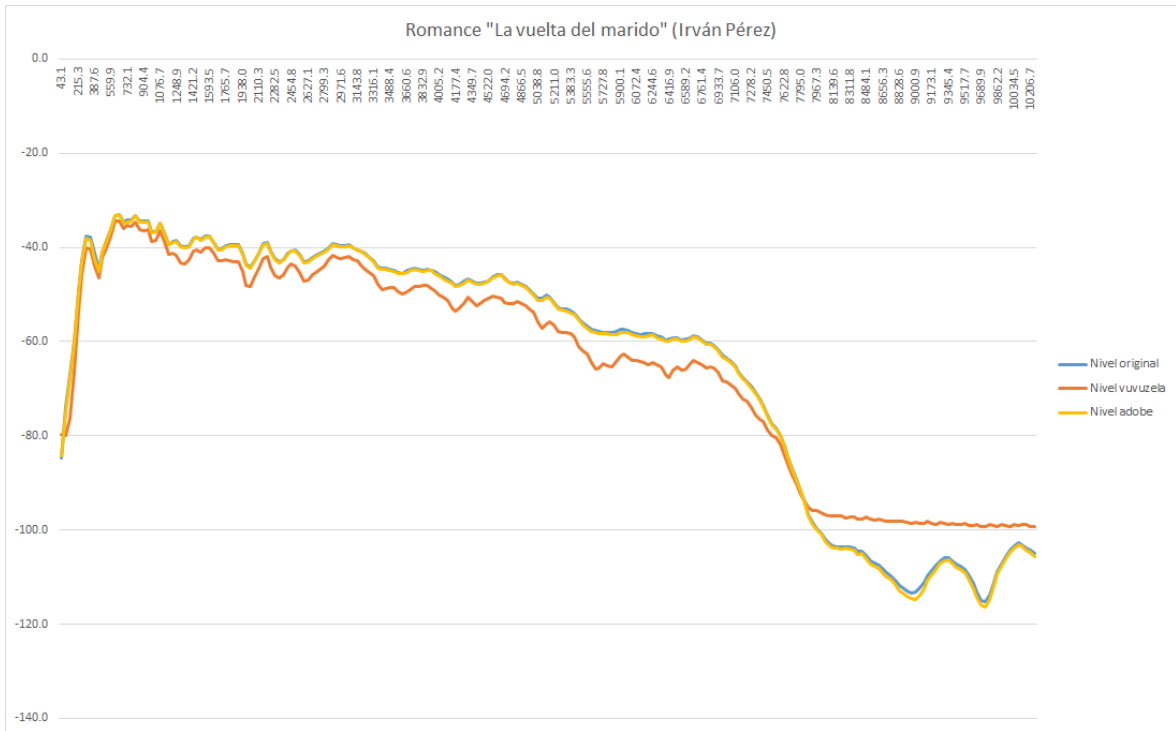
Anexo 3. Comparación espectral de métodos de eliminación y reducción de ruido

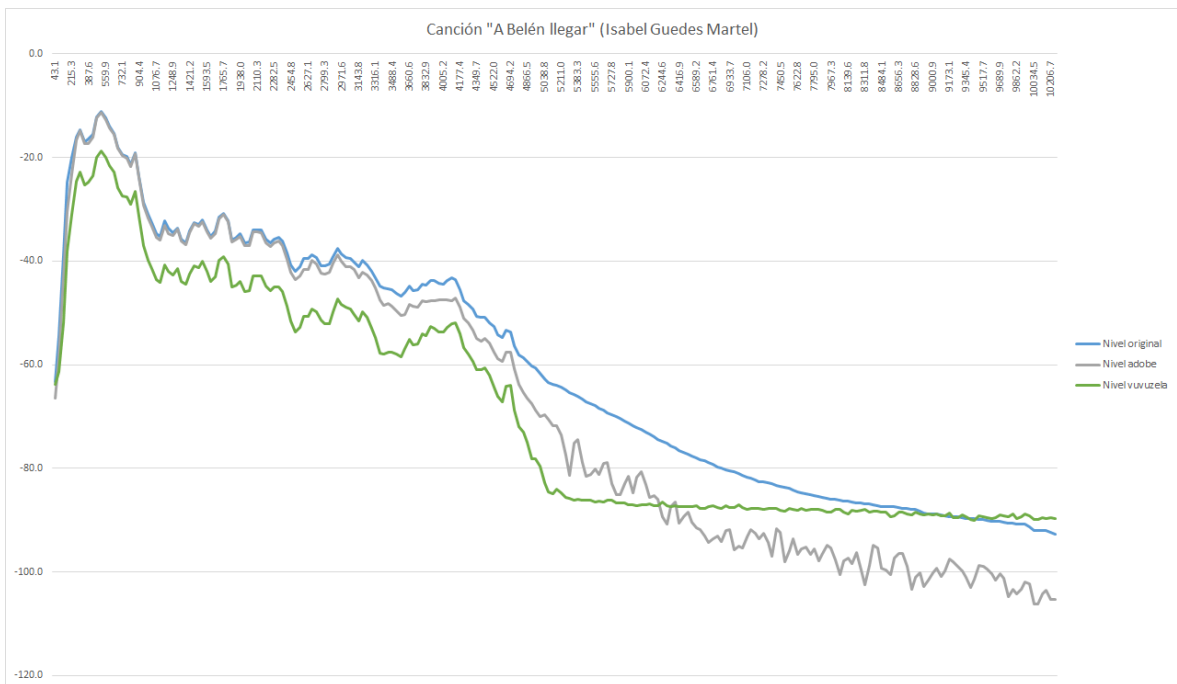
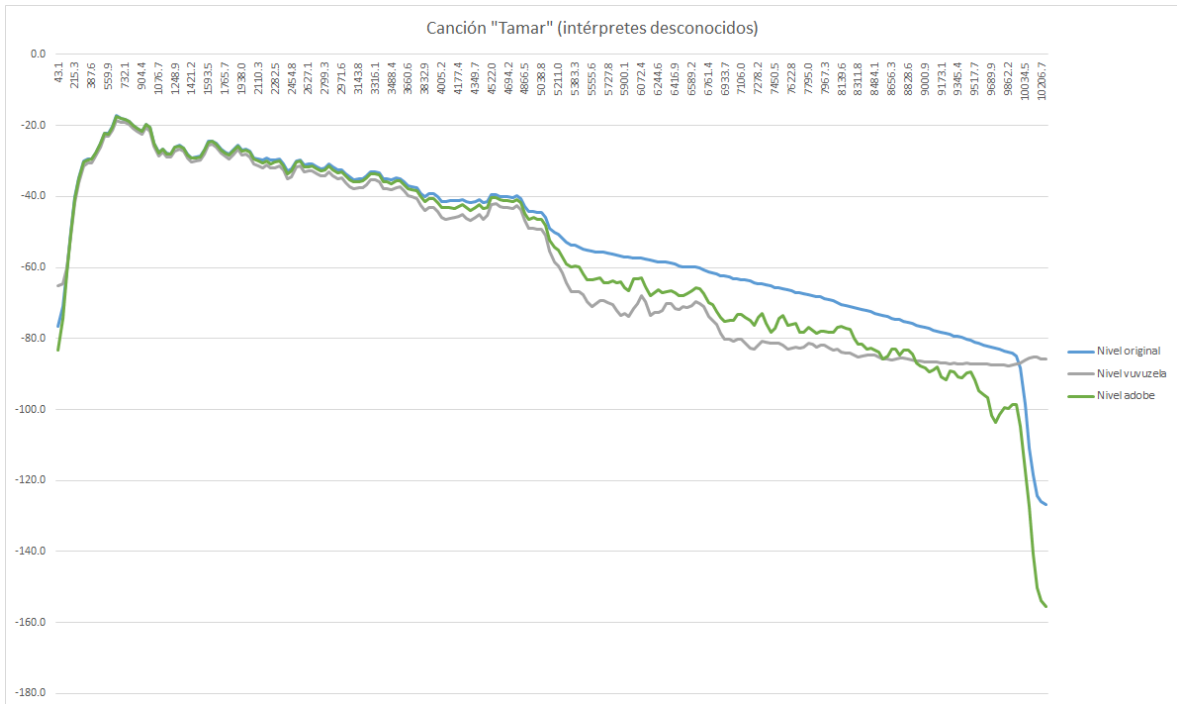
Las gráficas presentes en este anexo muestran tres curvas correspondientes a la señal del documento tanto en su estado original como al pasar por la reducción de ruido del algoritmo Vuvuzela como por la realizada en Adobe Audition. Se observa que la señal pasada por el sistema de Adobe es más similar a la original que la pasada por el algoritmo Vuvuzela, que sufre pérdidas y se ve algo filtrada, especialmente en las frecuencias altas y las más bajas, en las que se encuentra la mayor presencia de ruido. La señal tras pasar por el vuvuzela presenta también un nivel continuo después de una frecuencia que varía para cada grabación por funciones del algoritmo

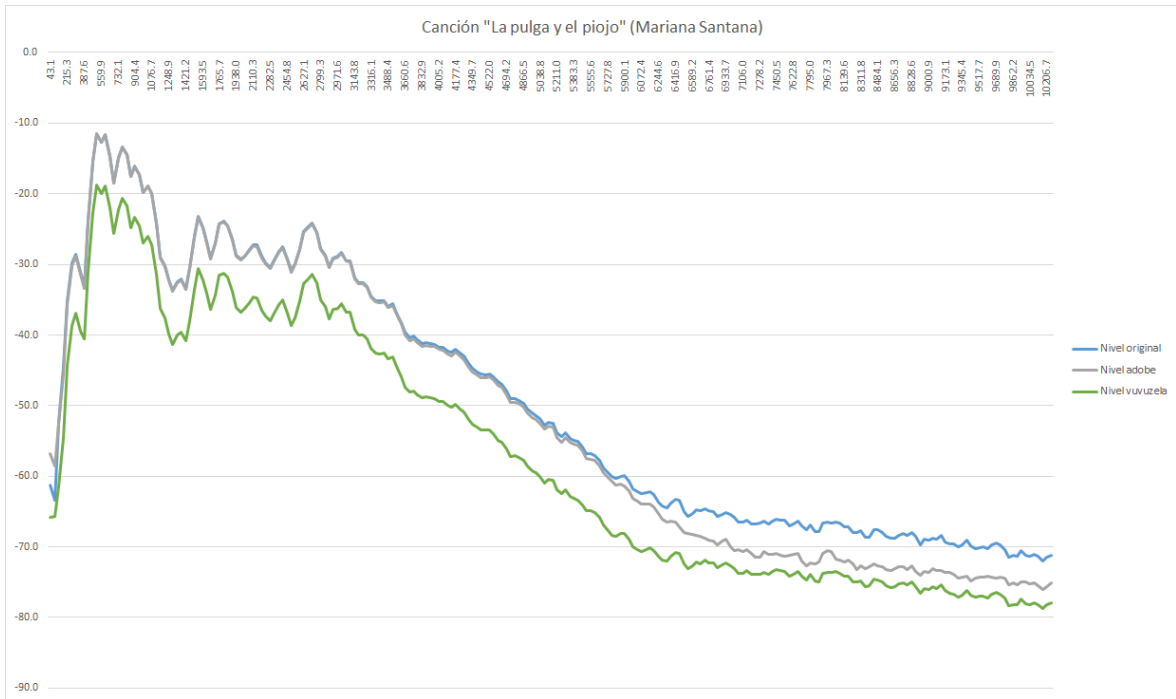












Anexo 4. Comparación espectral entre la señal original y la restaurada para los documentos de ejemplo

Las gráficas presentes en este anexo muestran curvas correspondientes al nivel de la señal original y después del procesado, así como al nivel de ruido en la grabación original y después de ser procesada. Se observa que el nivel de la señal tras el proceso de restauración y mejora supera en alrededor de 3-5 dB a la original, especialmente en las frecuencias base de la voz, lo que es señal de una mayor sonoridad del archivo sonoro. Por otro lado, el ruido es reducido drásticamente, perdiendo más de 20dB en la mayoría de grabaciones (excepto en las canciones “La Luna”, “Narannarán” y “A Belén llegar”) y siendo inaudible en todas, bien por estar en el umbral de la audición o por el enmascaramiento que realiza la señal, de mucho mayor nivel.

