

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación



TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación

DISEÑO DE ESTRATEGIAS PARA LA GESTIÓN DEL AUDIO EN
TELÉFONOS INTELIGENTES SOBRE EL SISTEMA OPERATIVO
ANDROID

DESIGN OF STRATEGIES FOR AUDIO MANAGEMENT IN
SMARTPHONES OVER ANDROID OPERATING SYSTEM

Diego Poderoso Novo
Junio 2017

Trabajo de Fin de Grado

Título: Diseño de estrategias para la gestión del audio en teléfonos inteligentes sobre el sistema operativo Android.

Autor: Diego Poderoso Novo

Tutor: Alvaro Araujo Pinto

Departamento: Ingeniería Electrónica

Tribunal

Presidente:

Vocal:

Secretario:

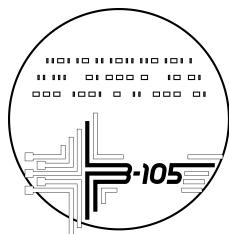
Suplente:

Calificación:

Fecha de lectura: Madrid, a de Junio de 2017

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación



Universidad Politécnica de Madrid



TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación

DISEÑO DE ESTRATEGIAS PARA LA GESTIÓN DEL AUDIO EN
TELÉFONOS INTELIGENTES SOBRE EL SISTEMA OPERATIVO
ANDROID

DESIGN OF STRATEGIES FOR AUDIO MANAGEMENT IN
SMARTPHONES OVER ANDROID OPERATING SYSTEM

Diego Poderoso Novo
Junio 2017

Agradecimientos

A los miembros del B105 encargados de la Cátedra BQ, por brindarme la posibilidad de realizar esta beca. A Álvaro, por ser un excelente tutor, orientándome siempre que lo requería. A Ramiro, por gestionar de manera excepcional el que ha sido mi lugar de trabajo este último curso.

A los compañeros del departamento de audio de BQ y a los compañeros de la Cátedra. A Luis, por ser un extraordinario tutor en la empresa, haciéndome participar en todo momento.

A mis amigos de la universidad, con los que he pasado muchos buenos momentos y con los que espero seguir compartiendo otros nuevos.

A mis amigos de toda la vida, que aunque nos viésemos menos siempre estuvieron a mi lado cuando los necesité.

A mis padres y a mis hermanos, por su apoyo siempre incondicional, aportándome, cuando lo necesitaba, un sitio en el que sentirme cómodo.

Una mención especial me gustaría hacerles a mis abuelos, Fernando y Carmen, con los cuales he convivido estos cuatro años de carrera, por su cariño, preocupación y ánimos para superarme día a día.

Gracias a todos aquellos que habéis estado a mi lado durante este tiempo.

Resumen

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se ha realizado en la Cátedra BQ. BQ es una empresa que tiene en el desarrollo de teléfonos inteligentes, con el sistema operativo Android, una de sus principales actividades.

El uso del sistema operativo Android en los dispositivos móviles es muy habitual, situándose en una cuota de mercado del 87 %. Debido a este crecimiento, su complejidad también ha ido creciendo.

Por otro lado, el audio en los teléfonos inteligentes es de suma importancia. Hoy en día los teléfonos ya no sólo sirven para comunicarse, sino que también se utilizan como centro multimedia.

En este marco se ha llevado a cabo la realización de un proyecto dedicado al análisis y procesado del audio sobre las versiones de Android 6.0 y 7.1.1. El objetivo principal es el diseño de nuevas estrategias que optimicen la gestión del audio en dicho sistema operativo.

En este proyecto se han llegado a abordar tres puntos de interés del tratamiento del audio a lo largo del sistema.

Por un lado, se ha estudiado los modos de clasificación del audio, realizando la prueba de implementar un nuevo modo de clasificación.

Por otro lado, se ha analizado y configurado las diferentes curvas de volumen, encargadas del control del volumen en los distintos casos de uso. En este punto es en el que ha tenido lugar el mayor cambio tras la actualización de la versión 6.0 a 7.1.1. Por tanto, tras implementar dicho cambio, se han comparado las implementaciones de ambas versiones.

El último desarrollo ha consistido en el estudio del encaminamiento y procesado del audio en las capas inferiores del sistema operativo, las más cercanas al *hardware*. Tras este estudio, ha sido posible diseñar y aplicar nuevas rutas de procesado, con el objetivo de solventar algunos de los problemas encontrados durante la realización de este proyecto.

Palabras clave: Audio, Android, Modos de audio, Curvas de volumen, Procesador digital de señales

Summary

This TFG has been achieved in Cátedra BQ. BQ is a company which works developing smartphones, running Android operating system, as one of its main products.

The use of Android as the operating system in smartphones is very usual, and its market share is around an 87%. Due to this growth, its complexity has rised as well.

On other hand, audio is very important in smartphones. Nowadays smartphones are not used to communication only, otherwise they are used as multimedia center.

In this surrounding it has been developed a project dedicated to the analysis and process of audio in Android versions 6.0 and 7.1.1. The main objective is to design new strategies which optimize the audio control in this operating system.

Three interesting points about audio treatment along the system have been tackled in this project.

On one hand, audio modes classification have been studied, making the test of introducing a new audio mode.

On the other hand, volume curves in charge of volume control in different use cases have been analized and configured. Here is where the main change, after updating Android from 6.0 to 7.1.1, has taken place. Because of this, after implementing this change, a comparison between both implementations has been made.

The last development has consisted of a study about routing and processing of audio in lower layers of the Android operating system, which are the nearest layers to hardware. After this study, it has been possible to design new processing routes, and to apply them to resolve some problems found during project realization.

Keywords: Audio, Android, Audio modes, Volume curves, Digital signal processor

Índice

1	Introducción	1
1.1	Motivación	1
1.2	Objetivos	1
1.3	Acerca de este documento	2
2	Análisis	3
2.1	Evolución del sistema operativo Android	3
2.2	Situación del audio sobre el sistema operativo Android	6
2.2.1	Cambios en las últimas versiones	6
2.2.2	Situación actual sobre Android N	7
3	Entorno de trabajo	9
3.1	Código base sobre el que se desarrolla	9
3.1.1	Estructura del código	9
3.2	Programas de utilidad para el análisis y diseño	10
3.3	Otros recursos utilizados	12
4	Modos de audio	14
4.1	¿Qué son los modos de audio en Android?	14
4.2	Implementación de un nuevo modo de audio para tono de llamada VoIP	16
4.2.1	Implementación del modo de audio.	16
4.2.2	Pruebas y problemas en su uso.	18
5	Curvas de volumen	20
5.1	¿Qué son las curvas de volumen?	20
5.2	Diferencia entre Android M y Android N	26
5.2.1	Android M	26
5.2.2	Android N	28
6	Rutas del audio	31
6.1	Rutado en el código	31
6.1.1	Rutado a nivel de DSP	32
6.1.2	Rutado a nivel de <i>hardware</i>	34
6.2	Configuración del DSP a través del programa QACT	36
6.2.1	Modos de diseño disponibles	37

6.3	Análisis de la salida de las áreas del DSP a través del los programas QXDM y QCAT	39
6.4	Diseño de nuevas rutas	41
6.4.1	Para la supresión de ruido en grabaciones	42
6.4.2	Para el correcto funcionamiento de aplicaciones de llamadas VoIP	44
7	Conclusiones y futuro desarrollo	48
	Bibliografía	50
	Acrónimos	51

Índice de figuras

2.1	Capas del audio en Android	7
3.1	Página inicial de Adobe Audition.	11
3.2	Página inicial de Jenkins.	12
4.1	Declaración de los modos de audio.	15
4.2	Declaración de los flujos de audio.	16
4.3	Declaración de MODE_RINGTONE_IP.	17
4.4	Trazas Skype con MODE_RINGTONE_IP.	18
4.5	Mensaje de error de Hangouts con MODE_RINGTONE_IP.	19
5.1	Declaración de los dispositivos de salida.	21
5.2	Declaración de las categorías de dispositivos.	21
5.3	Asociación de las categorías de dispositivos.	22
5.4	Definición de un punto de la curva de volumen.	23
5.5	Declaración del control de volumen en la interfaz de usuario.	23
5.6	Comparación de volumen mínimos.	24
5.7	Comparación de barras de volumen de la interfaz de usuario.	25
5.8	Definición curvas de volumen Android M.	26
5.9	Asociación curvas de volumen Android M.	26
5.10	Implementación de una nueva curva de volumen en Android M.	28
5.11	Aplicación del nuevo formato de curvas de volumen.	28
5.12	Definición curvas de volumen Android N.	29
5.13	Asociación curvas de volumen Android N.	29
6.1	Esquema del rutado del audio a bajo nivel.	32
6.2	Declaración de dispositivos para cada ruta.	33
6.3	Asociación de topologías para cada dispositivo.	33
6.4	Tipos de aplicación por defecto.	34
6.5	Asociación de rutas <i>hardware</i> para cada dispositivo.	35
6.6	Definición de rutas <i>hardware</i>	35
6.7	Modificación de la ganancia del auricular en tiempo real.	36
6.8	Rutado por el códec de audio del altavoz.	36
6.9	Puntos posibles donde obtener trazas en una llamada.	40
6.10	Puntos posibles donde obtener trazas para el resto de audio.	41
6.11	Nueva topología de grabación mono con supresión de ruido.	43
6.12	Nueva topología de grabación estéreo con supresión de ruido.	43

6.13 Comparación de una grabación mono con y sin supresión de ruido. .	44
6.14 Asociación de rutas del Application Digital Signal Processing (ADSP) y del códec de audio para los nuevos dispositivos.	46
6.15 Rutado del nuevo dispositivo de manos libres por el códec de audio propio del altavoz.	46
6.16 Ganancia de los micrófonos en llamadas VoIP.	47

Índice de tablas

2.1 Distribución de versiones Android en mayo de 2017	5
---	---

Capítulo 1

Introducción

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se lleva a cabo en la Cátedra BQ, que surge de la colaboración entre la empresa Mundo Reader S.L y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid.

1.1 Motivación

La empresa BQ tiene entre sus productos principales una amplia gama de teléfonos inteligentes con sistema operativo Android. El sistema operativo Android se presentó en 2007 y desde entonces no ha hecho más que crecer, hoy en día se encuentra en el 87% de los teléfonos inteligentes. Debido a este crecimiento su complejidad también ha ido creciendo, y su código es muy extenso. Como ejemplo de complejidad, el código con el que se ha trabajado, antes de ser compilado, pesa alrededor de 100Gigabytes (GB).

El audio en los teléfonos inteligentes ha cobrado más importancia, si cabe, que la que tenían en los teléfonos tradicionales. Esto se debe a que, hoy en día, se utilizan estos dispositivos no sólo para comunicarse, sino también como reproductores multimedia.

Unos de los principales problemas que aparecen en los terminales móviles es el manejo y gestión de audio y en este problema se encuadra el proyecto.

1.2 Objetivos

El objetivo principal es el diseño de nuevas estrategias de gestión del audio en los teléfonos móviles actuales, que trabajan sobre el sistema operativo Android en su versión 7.1.1, que permitan mejorar la robustez y calidad del sistema, sin limitarse a ninguna de las capas del sistema operativo.

Los subobjetivos a seguir, para poder llevar a cabo el objetivo principal, serán los siguientes:

- Análisis del funcionamiento del audio en las distintas capas del sistema operativo.
- Detección de problemas o posibles mejoras en cada una de las capas.
- Implementación de las soluciones o mejoras.
- Realización de pruebas sobre las nuevas implementaciones.
- Conclusiones sobre los resultados obtenidos.

De esta manera, tras la consecución de estos objetivos, se pretende obtener un documento que sirva de referencia a la hora del tratamiento del audio en el sistema operativo Android.

1.3 Acerca de este documento

El TFG se ha dividido en las distintas partes que han sido estudiadas durante la realización de este proyecto.

Se compone de los siguientes capítulos:

- **Análisis:** se aborda la evolución durante las distintas versiones que ha tenido el sistema operativo Android, centrándose más en profundidad en aquellos cambios relacionados con el audio. Además, se explica la situación actual del audio en Android, así como su estructura a lo largo del sistema.
- **Entorno de trabajo:** se introducen los recursos utilizados durante la realización del proyecto. Se explica como se encuentra dividido el código de Android y los diferentes programas de terceros que se han utilizado.
- **Modos de audio:** fue el primer caso de estudio del proyecto, los modos de audio. Se explica que son los modos de audio, la selección de ellos a nivel de código y la posibilidad de implementar nuevos modos.
- **Curvas de volumen:** se realiza un análisis del control del volumen en el sistema operativo, tanto desde el punto de vista de interfaz de usuario como desde el punto de vista de un desarrollador de bajo nivel. Además, se implementan las mejoras que trae el cambio de versión de Android 6.0 a 7.1.1.
- **Rutas del audio:** se trata el tema más importante del proyecto, como es el encaminado y procesado del audio a lo largo del sistema operativo. Una vez se comprende dicho encaminamiento, se procede al diseño de nuevas rutas que solventen algunos de los problemas que se han encontrado durante este proyecto.
- **Conclusiones:** se detalla la consecución de los distintos objetivos fijados y las conclusiones obtenidas. Además, se proponen líneas futuras de desarrollo que serían interesantes una vez se ha estudiado la situación actual del audio.

Capítulo 2

Análisis

En este apartado se tratará la evolución del sistema operativo Android a lo largo de su historia, tanto en la implantación en el mercado como en el desarrollo de nuevas funcionalidades [1]. Se busca ofrecer una visión general de las posibilidades que permite desarrollar sobre este sistema operativo. Por otra parte, se pretenden observar los cambios que ha habido con respecto al tratamiento del audio en el sistema con el paso de las diferentes versiones y dar una visión más específica de la situación sobre la versión actual, Android 7.1 Nougat, que es sobre la que se ha desarrollado gran parte de este proyecto.

2.1 Evolución del sistema operativo Android

El sistema operativo Android, pese a lo que muchos puedan creer, no es un desarrollo original de Google Inc., sino que esta adquirió en julio de 2005 una pequeña empresa llamada Android Inc. que se encargaba de desarrollar software para teléfonos móviles. Fue esta empresa, al amparo de Google, la que comenzó a trabajar en un sistema operativo para móviles basado en el kernel de Linux.

El 5 de noviembre de 2007 la Open Handset Alliance, una asociación de compañías de la que Google forma parte y que se dedica a desarrollar estándares abiertos para dispositivos móviles, presentó Android, una plataforma para dispositivos móviles desarrollada sobre la versión 2.6 del kernel de Linux.

La versión 1.0 o también conocida como Apple Pie (las versiones de este sistema van por orden alfabético y tienen siempre el nombre de un postre) fue lanzada el 23 de septiembre de 2008. El 9 de febrero de 2009 fue presentada la versión 1.1, Banana Bread. Ninguna de estas dos versiones llegó a ser comercial.

La primera versión comercial fue la 1.5 Cupcake lanzada en ese mismo año el 30 de abril. Fue en esta versión en la que se incorporaron mejoras como: soporte para Bluetooth, teclado predictivo, y la posibilidad de grabar y reproducir video. Con la versión 1.6 Donut lanzado también en 2009 se incorporan: soporte para resoluciones

Wide Video Graphics Array (WVGA), mejoras en el mercado de aplicaciones de Android, y múltiples mejoras a nivel de interfaz.

Por aquel entonces Android era un sistema muy inestable, al que le faltaba optimización a nivel de hardware, así como soporte para diferentes estándares de conectividad, de ahí que cada pocos meses se presentará una versión nueva. Para tratar de solventar estas carencias se presentaron las versiones 2.0/2.1 Éclair y 2.2 Froyo que añaden soporte para: Bluetooth 2.1, mayores tamaños de pantalla y resoluciones, HTML5 y JavaScript V8, añaden las actualizaciones automáticas para el mercado de aplicaciones, y muchas otras mejoras con el objetivo de optimizar tanto la interfaz de usuario como el sistema operativo a más bajo nivel.

La versión 2.3 Gingerbread fue presentada en diciembre de 2010 y supuso un gran paso adelante en cuanto a estabilidad del sistema se refiere, incorporando: soporte para Near Field Communication (NFC) y para llamadas Voice Over Internet Protocol (VoIP), administrador de energía, de descargas y de tareas, soporte nativo para múltiples cámaras, y nuevos efectos de audio. Cabe destacar que con esta versión Android superó a iOS en cuota de mercado con un 27% y se encontraba sólo por detrás de BlackBerry OS.

Las versiones 3.0/3.1/3.2 Honeycomb fueron lanzadas inicialmente en febrero de 2011 y se centraban únicamente en mejorar la compatibilidad del sistema operativo Android en el formato tablet.

No fue hasta la versión 4.0 Ice Cream Sandwich cuando se unificó el sistema para todos los dispositivos móviles. Entre las mejoras incorporadas tenemos: soporte para la multitarea, la implantación de un único *framework* para facilitar el desarrollo, soporte para que la interfaz pueda ser manejada por la Graphics Processor Unit (GPU), botones virtuales, y un gestor de tráfico de datos de internet. Con esta versión, Android se convierte en el sistema operativo para dispositivos móviles con mayor cuota de mercado.

Durante las siguientes versiones 4.1/4.2/4.3 Jelly Bean destaca la incorporación del asistente Google Now [2]. Ya en octubre de 2013 se presenta Android 4.4 KitKat, que no supone una gran revolución, pero sí que trae la mayor estabilidad al sistema hasta la fecha [3].

Dicha revolución sí que llegó con la siguiente versión, 5.0/5.1 Lollipop, en noviembre de 2014 [4]. A día de hoy se trata de la versión que más cambios ha introducido en el sistema: una completa renovación visual con la incorporación de Material Design que pretende unificar la estética de Android mediante una guía de diseño, modos de prioridad en las notificaciones, funciones de ahorro de energía, incorporación de Bluetooth Low Energy (BLE), compatibilidad con dispositivos de 64 bits, reducción de la latencia de audio, y un largo etcétera. Pero esto también trajo de vuelta la inestabilidad al sistema que no se solventó hasta la versión 6.0 Marshmallow en octubre de 2015 [5]. Además, incorporó: Google Now On Tap, que utiliza al asistente Google Now para proporcionar información de lo que está en ese momento en pantalla, soporte para sensores de huellas, un gestor de permisos mucho más

amplio y un gestor energético inteligente llamado Doze. Con estas versiones, Android empieza a estabilizarse en una cuota de mercado en torno al 87 %, muy lejos del segundo, 12 % de iOS.

Tras esto se llega a las versiones actuales 7.0/7.1 Nougat lanzadas en agosto de 2016 [6]. Como principales mejoras incorporan soporte para multiventana y para realidad virtual con Daydream. Se trata de una versión, que como hizo Android 4.4, viene a estabilizar el sistema operativo de manera definitiva tras los cambios introducidos en las versiones anteriores.

En marzo de este mismo año Google ha presentado la versión de Android 8.0, aún sin nombre, para desarrolladores. Aún no están confirmadas las mejoras definitivas que incorporará esta versión, pero sí que se ha asegurado que seguirá la línea de las últimas versiones.

Finalmente, destacar el que ha sido desde sus inicios uno de los grandes problemas de Android como es la distribución de las distintas versiones en el mercado actual. Esto es un inconveniente para los desarrolladores, tanto de alto nivel, que deben asegurar la compatibilidad de sus aplicaciones para diferentes versiones de la Application Programming Interface (API), como de bajo nivel, que tienen más difícil hacer compatibles sus dispositivos con las actualizaciones del sistema operativo. Actualizar un dispositivo no depende únicamente del fabricante, sino también de que su proveedor del System on Chip (SoC) haga compatible su desarrollo. Debido a esto, la implantación de las nuevas versiones de Android se produce paulatinamente. En la siguiente tabla se puede observar cómo se encuentra la situación actual [7]:

Versión	Nombre	API	Distribución
2.3.3-2.3.7	Gingerbread	10	1 %
4.0.3-4.0.4	Ice Cream Sandwich	15	0.8 %
4.1.x		16	3.2 %
4.2.x	JellyBean	17	4.6 %
4.3.x		18	1.3 %
4.4	KitKat	19	18.8 %
5.0		21	8.7 %
5.1	Lollipop	22	23.3 %
6.0	Marshmallow	23	31.2 %
7.0		24	6.6 %
7.1	Nougat	25	0.5 %

Tabla 2.1: Distribución de versiones Android en mayo de 2017

2.2 Situación del audio sobre el sistema operativo Android

Con respecto a la forma de tratar el audio y las posibilidades que proporciona Android es destacable la estabilidad en la que se encuentra con el paso de las últimas versiones sin grandes novedades en este apartado y mejorando donde debía hacerlo.

2.2.1 Cambios en las últimas versiones

Las primeras versiones de Android desde la primera API publicada, ya incorporaba las funciones básicas para poder realizar llamadas, grabar audios, reproducir música y otros muchos usos convencionales.

Originalmente se tenía clasificado el audio según tres tipos: normal, tono de llamada y en llamada. A partir de la API 11, con Android 2.3, se incorpora el soporte para llamadas VoIP y con él un cuarto modo de audio denominado en comunicación, usado para clasificar el audio durante una llamada VoIP. En la versión más actual, Android 7.1.1, se siguen manteniendo estos cuatro modos de audio. Este tema se aborda más en profundidad en el capítulo 4.

Otro añadido destable tiene lugar en la versión 2.1 donde se añade la diferencia entre la grabación de audio mientras se está grabando un vídeo o si por el contrario se trata únicamente de una grabación de voz. Este añadido se realiza en las denominadas fuentes de audio, entre las que destacan: por defecto, grabación de audio en vídeo, micrófono, voz en llamada, reconocimiento de voz, etc. Como se ha comentado anteriormente, en la API 11 se incluye el soporte para llamadas VoIP y con él también la fuente de audio de voz en comunicación para este caso de uso. En una de las últimas versiones, Android 7.0, se ha incorporado la fuente de audio sin procesar que permite mejorar la latencia de manera considerable.

Con respecto al problema de la latencia en Android, este ha sido uno de los más destacados y que más se ha intentado solucionar desde Android 4.4, portando la API OpenSL de manera parcial. Con la versión 5.0 y 6.0 se consigue reducir el tiempo del rutado de audio por el sistema a través del uso de búferes más pequeños y de una nueva característica para peticiones de audio profesional con latencias en torno a 20 milisegundos, ya existía una característica de baja latencia que conseguía a los 50 milisegundos.

Además de la mejora en la latencia, con la versión 5.0 se incluyeron: el soporte para datos en punto flotante, compatibilidad con frecuencias de muestreo de 96 kHz, ya eran compatibles las de 44.1 y 48 kHz, y para la resolución de 24 bits por muestra, frente a los 16 bits por muestra que ya se soportaban. Por su parte, Android 6.0 además de continuar optimizando la latencia del audio, incorporó compatibilidad con el protocolo Musical Instrument Digital Interface (MIDI).

2.2.2 Situación actual sobre Android N

El salto de Android 6.0 a la versión 7.0 ó 7.1 no ha traído grandes cambios a nivel de audio.

Es destacable, eso sí, lo que es una tendencia en las últimas versiones, que es el uso de ficheros XML para la descripción de la configuración, sustituyendo a ficheros escritos en C++ habitualmente. En relación al audio, se ha incorporado la descripción de las curvas de volumen para los distintos casos de uso en diferentes ficheros XML, lo que permite al desarrollador sustituir dichos ficheros sin necesidad de recompilar el código. Este cambio se aborda más en profundidad en el capítulo 5.

Profundizando algo más sobre la estructura actual del audio en Android, se pueden diferenciar cinco capas [8]: el *framework* a nivel de aplicación, la Java Native Interface (JNI), el *framework* nativo, la Hardware Abstraction Layer (HAL) y el Kernel de Linux. En la siguiente imagen se puede observar dichas capas:

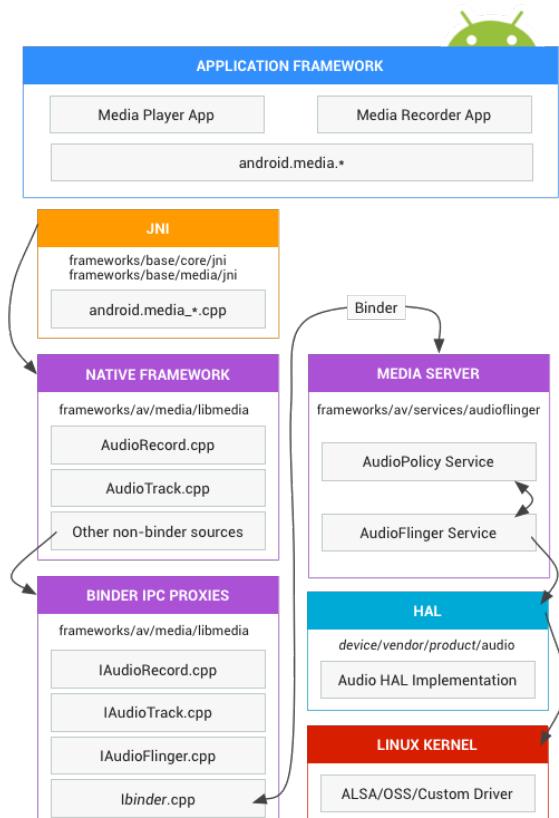


Figura 2.1: Capas del audio en Android.

- *Framework* a nivel de aplicación: es el código desarrollado por el programador de aplicaciones en alto nivel. Utiliza las API para interactuar con el hardware de audio.
- JNIs: esta capa se encarga de traducir las peticiones por parte de la aplicación, programada en Java, a peticiones al código nativo de Android, escrito en C y C++.
- *Framework* nativo: es la capa intermedia del código Android. Se compone de tres grandes bloques: el primero se encarga de mandar las distintas órdenes para reproducir o grabar audio; el segundo describe la comunicación entre componentes y se encarga de hacer de interlocutor entre los otros dos bloques; y el tercero se encarga de abrir flujos de datos de entrada o salida, del acceso a los dispositivos, manejo del volumen, prioridades, manejar eventos, etc. En definitiva, esta capa incluye toda la política de audio, cómo se interpreta y por dónde se debe ruta el audio

en función de como se quiera interpretar y procesar.

- HALs: define una interfaz estándar que el *framework* nativo utiliza para comunicarse y configurar el hardware. En esta capa se implementan las rutas necesarias para cumplir la política de rutado y se configuran los módulos en función de cómo se ha interpretado el audio en capas superiores. Siendo más específicos, es aquí dónde se decide por cual topología del ADSP y por cuales elementos hardware, relacionados con el audio, pasa el flujo de datos.
- Kernel de Linux: en esta capa se encuentran los controladores de audio necesarios para el uso del hardware de cada dispositivo. En Android, el controlador de audio utilizado, al igual que en Linux, es la Advanced Linux Sound Architecture (ALSA). Otras posibles opciones son utilizar el Open Sound System (OSS) o un controlador propio.

Por último, aunque en el código base de Android no haya habido cambios significativos, a más bajo nivel Qualcomm, el proveedor de los SoC de los terminales con los que se ha trabajado en este proyecto. Este módulo ha incorporado mejoras en el uso del ADSP, el cual nos permiten un procesado del audio más efectivo y una mayor variedad en los efectos aplicados. El uso del ADSP y las posibilidades que este nos permite se estudian más a fondo en el capítulo 6.

Capítulo 3

Entorno de trabajo

Durante este capítulo se recopilarán todas las herramientas de interés con las que he trabajado durante este proyecto, con el objetivo que los capítulos posteriores se tenga una visión general de la aplicación que tienen.

3.1 Código base sobre el que se desarrolla

El código base sobre el que se ha desarrollado el proyecto es el código de Android optimizado por parte de la empresa BQ.

Es destacable que, pese a no introducir BQ muchos cambios sobre el código nativo, el código sin compilar tiene un peso de unos 100 GB.

Por tanto, en su gran mayoría dicho código proviene de parte de Google, el nativo de Android, y por parte de Qualcomm, los controladores necesarios para el uso del hardware. Qualcomm es el fabricante del SoC de los dispositivos con los que se ha trabajado. Respecto a esto último, hay parte de dicho código que viene precompilado por parte de Qualcomm, para evitar posibles modificaciones por parte de los desarrolladores.

3.1.1 Estructura del código

El código Android se estructura de manera muy similar al diagrama de capas visto en la Figura 2.1. Recordar que la primera de las capas hace referencia al código de la aplicación que este siendo utilizada, y por tanto no se incluye dicha capa en el código.

Se tienen diferentes carpetas que equivalen a cada una de las capas:

- *frameworks*: incluye tanto las capas superiores como las intermedias. Por un lado, se encuentra la JNI programada en Java en la carpeta base. Por otro

lado, la otra carpeta que nos es relevante en este proyecto es av, la cual incluye la política de audio en su totalidad.

- hardware: incluye la capa superior de la HAL. En ella encontramos la carpeta qcom cuyo desarrollo es parte de Qualcomm y en la cual se incluye toda la configuración del hardware en función de los distintos casos de uso. Incluye, junto con el *framework*, la mayor parte del código que se ha modificado durante la realización de este proyecto.
- vendor: incluye la capa inferior de la HAL. En ella se encuentran todos los controladores propietarios de Qualcomm.
- kernel: como ya se ha comentado, Android está basado en el kernel de Linux, y es aquí dónde dicha modificación se encuentra.
- device: aquí se incluyen ficheros propios de cada dispositivo, como puede ser el de la configuración de las curvas de volumen, o los ficheros de configuración de su ADSP.

Por supuesto, el código es mucho más extenso, pero con respecto al tratamiento del audio en el sistema operativo Android, estas serían las carpetas más importantes.

Debido a esta extensión, la compilación local sería inviable si cada vez que quisésemos compilar hubiese que hacerlo de todo el código. Por esa razón, se utiliza la herramienta Make, una herramienta de gestión de dependencias existentes en el código fuente que facilita su compilación. Para que esta herramienta sea útil es necesaria la presencia de ficheros Makefiles, los cuales establecen dichas dependencias entre ficheros. De esta manera, si queremos compilar un conjunto limitado de ficheros, habrá que buscar el Makefile del que dependan y ejecutar la herramienta Make desde ese directorio, proporcionando librerías en lugar de una nueva versión del *firmware*.

3.2 Programas de utilidad para el análisis y diseño

El fabricante del SoC de los dispositivos con los que se ha trabajado, Qualcomm, proporciona software propio dedicado al análisis y configuración del hardware que fabrican. De esta manera, relacionados con el tema del audio, se han utilizado los siguientes programas:

- Qualcomm Product Support Tool (QPST): proporciona un servidor automático entre un lenguaje, u otro programa, y un puerto del ordenador, al que conectamos el dispositivo móvil. Nos permite analizar y configurar el dispositivo en tiempo real. Es compatible con el resto de software de Qualcomm.
- Qualcomm Audio Calibration Tool (QACT): proporciona una interfaz gráfica que nos permite visualizar y modificar la calibración de las diferentes to-

pologías, los distintos caminos que puede seguir el audio, que existen en el ADSP. Tiene dos modos de uso, un modo sin conexión, en el que los cambios se guardan en ficheros de configuración que posteriormente hay que cargar en el teléfono, y un modo en tiempo real, en el cual podemos ver y calibrar la topología que se está aplicando en cada momento. Para que sea posible utilizar el modo en tiempo real es necesario que el dispositivo esté conectado por medio del QPST.

- Qualcomm Extensible Diagnostic Monitor (QXDM): aunque su uso en el apartado del audio está muy limitado, permite obtener flujos de datos y trazas informativas en diferentes puntos del camino que sigue el audio a bajo nivel. Estos conjuntos de datos se deberán procesar posteriormente, pues el formato con el que te proporciona la información es propietario de Qualcomm.
- Qualcomm CDMA Analysis Toolkit (QCAT): como se ha comentado en el programa anterior, el formato obtenido únicamente es interpretable por parte de Qualcomm, que nos proporciona este software con el objetivo de poder obtener ficheros de audio analizables y reproducibles a través de los datos obtenidos con QXDM. Además, es un programa de análisis estadístico, proporcionando información del número de trazas obtenidas en cada punto, el tiempo entre trazas, etc.
- Adobe Audition: es el programa utilizado por parte del departamento de audio de la empresa BQ, para el análisis de los distintos ficheros de audio. Es propiedad de Adobe. En el caso de este proyecto, se ha utilizado para analizar los ficheros de audio obtenido mediante el programa QCAT. Destacar que se trata de un programa con un gran número de herramientas, sobre todo dedicadas a la edición de audio profesional. Sin embargo, durante la realización de este proyecto se ha usado con un enfoque más analítico.

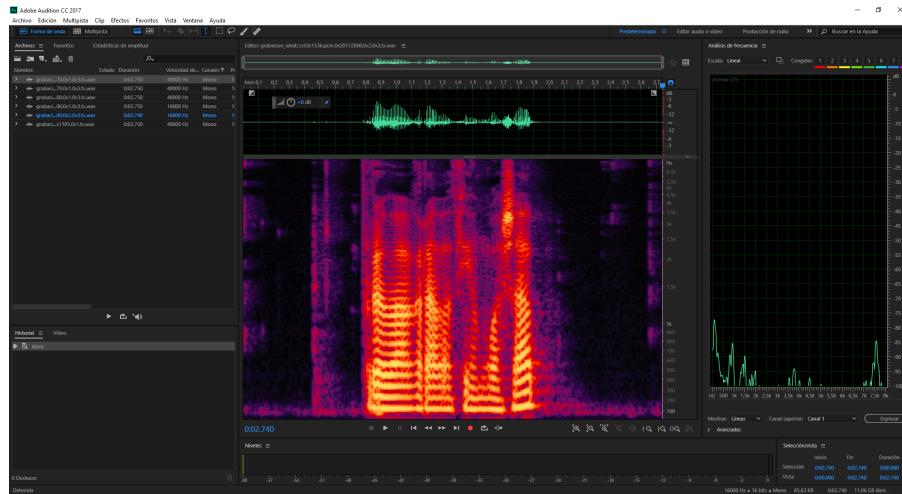


Figura 3.1: Página inicial de Adobe Audition.

- Android Debug Bridge (ADB): no es un programa de Qualcomm, sino que es la herramienta que proporciona Google para poder conectarnos al de manera remota, mediante comandos desde el ordenador. Esta herramienta proporciona diferentes acciones en dispositivos, como la instalación de librerías y la depuración mediante trazas.
- *Fastboot*: tiene un uso similar al ADB. Sirve para cambiar el *firmware* del dispositivo desde un modo dedicado para ello. Los cambios suelen ser completos, no como en el ADB donde sobre un mismo *firmware* se cambian librerías.

Para poder realizar todos los desarrollos de este proyecto, es necesario que el dispositivo tenga desbloqueado el gestor de arranque, que permite poder modificarle el *firmware*. Además, se debe tener activada la depuración por Universal Serial Bus (USB), que nos permitirá conectarlos al dispositivo de manera remota. Todos estos cambios se pueden realizar desde el apartado de ajustes del teléfono.

3.3 Otros recursos utilizados

Como ya se ha comentado, este proyecto está al amparo de la empresa Mundo Reader S.L., cuyo nombre comercial es BQ, la cual trabaja con distintas herramientas en su día a día. Con el objetivo de familiarizarse al máximo con la metodología que allí se sigue, se han utilizado dichos recursos durante la realización de este proyecto. Cuales son y el uso que se le han dado se explica a continuación:

- Jenkins: se trata de un servidor de integración continua, gratuito y abierto. Permite a los desarrolladores compilar sus proyectos en servidores remotos, de una manera más rápida que si lo hicieran en local. Se basa en un sistema de colas, para mantener en espera una compilación hasta que un servidor quede libre.

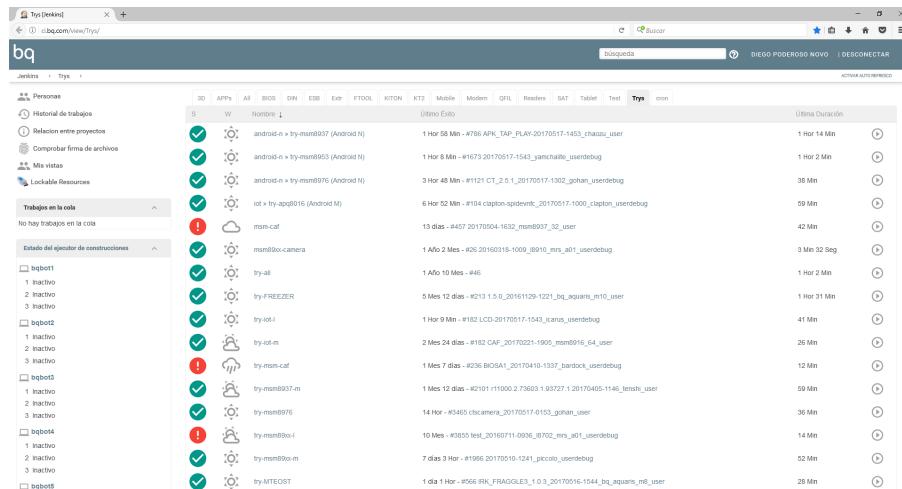


Figura 3.2: Página inicial de Jenkins.

- Gerrit: es un repositorio donde se desarrollan los proyectos de automatización. Los desarrolladores publican su código que tiene que ser aprobados por el resto de compañeros y pasar pruebas de compilación ejecutadas en Jenkins.
- Confluence: es un software de colaboración de contenidos, propiedad de Atlassian. De esta manera, cada vez que desarrollas alguna nueva funcionalidad o analizas algún punto de interés, se debe subir a esta plataforma una breve documentación de lo realizado que es accesible y editable por parte del resto de compañeros.
- JIRA: permite planificar y supervisar las distintas tareas de un departamento, así como indicar las horas dedicadas a cada tarea por parte de cada trabajador. El objetivo es poder realizar un seguimiento ordenado sobre el estado en que se encuentra cada una de las tareas, si están finalizadas o si ha surgido algún problema, así como saber quienes están al cargo de dicha realización, facilitando la interacción entre ellos en el caso de no pertenecer al mismo grupo de trabajo. También es propiedad de Atlassian, y la integración con Confluence es total.

Capítulo 4

Modos de audio

En este capítulo se explicarán que son y para qué se utilizan los distintos modos de audio existentes en el sistema operativo Android. Además, se explicará la implementación de nuevos modos de audio y se evaluará su posible implementación en dispositivos comerciales.

4.1 ¿Qué son los modos de audio en Android?

El sistema operativo Android se divide en distintas capas, como se ha visto en la figura 2.1. El programador de alto nivel, el desarrollador de aplicaciones, únicamente tiene acceso a la capa superior del sistema. Esto se debe a que el desarrollador se basa en las API que publica Google para programas sus aplicaciones, sin tener información de que es lo que esas API hacen a más bajo nivel. Por tanto, debe tener recursos a su disposición para que en las capas inferiores el audio se interprete como él quiera.

Con este fin existen las API, que proporcionan al programador estos recursos. Los modos de audio se incluyen en dichas API desde la primera versión. El objetivo de estos modos es clasificar el audio en función de su uso. Los modos de audio existentes en la API 25 [9], son:

- Modo normal: en el código se declara como MODE_NORMAL. Es el modo de audio por defecto. Es el que se utiliza en la reproducción de contenido multimedia, sonidos del sistema o alarmas. Además, es el utilizado por defecto en tonos de llamada VoIP.
- Modo tono de llamada: en el código se declara como MODE_RINGTONE. Es el utilizado cuando se reproduce un tono de llamada tradicional, Global System for Mobile communications (GSM).
- Modo en llamada: en el código se declara como MODE_IN_CALL. Es el utilizado para indicar que se está en una llamada GSM.

- Modo en comunicación: en el código se declara como MODE_IN_COMMUNICATION. Es el utilizado para indicar que se está en una llamada VoIP o en una videollamada. Es el único modo que no está presente en la primera versión de la API, se incorpora en la versión 11.
- Modo actual: en el código se declara como MODE_CURRENT. Sirve para referirse al modo actual de audio.
- Modo no válido: en el código se declara como MODE_INVALID. Sirve para clasificar como no válido el audio.

Los dos últimos modos de audio no se utilizan habitualmente, sino que suelen indicar errores.

Estos modos de audio se encuentran declarados en el fichero audio.h del sistema.

```
typedef enum {
    AUDIO_MODE_INVALID      = -2,
    AUDIO_MODE_CURRENT      = -1,
    AUDIO_MODE_NORMAL        = 0,
    AUDIO_MODE_RINGTONE      = 1,
    AUDIO_MODE_IN_CALL       = 2,
    AUDIO_MODE_IN_COMMUNICATION = 3,

    AUDIO_MODE_CNT,
    AUDIO_MODE_MAX           = AUDIO_MODE_CNT - 1,
} audio_mode_t;
```

Figura 4.1: Declaración de los modos de audio.

El uso de un modo de audio u otro depende del desarrollador de la aplicación. El flujo de ejecución en el resto de capas del sistema operativo es el siguiente:

1. Comprobación del modo seleccionado por la aplicación mediante el uso de métodos de obtención, de esta manera, en cada una de las capas se sabe que modo de audio se está usando y se aplicará la política de audio correspondiente.
2. Aplicación de la política de audio a casos de uso particulares. Por ejemplo, si se termina de aplicar el modo de audio en llamada, de manera automática se pasa al modo de audio normal.
3. Elección del uso de los modos de audio por parte del desarrollador de bajo nivel. Se puede hacer que el sistema interprete un caso de uso, con un modo de audio elegido por la aplicación, como un modo de audio distinto, que puede ser cualquiera de los otros o uno propio del desarrollador. En el siguiente apartado se explica este uso más en profundidad.

4.2 Implementación de un nuevo modo de audio para tono de llamada VoIP.

Esta implementación se ha realizado sobre la versión de Android 6.0, Marshmallow. Esto se debe a que fue la primera parte del proyecto, que tuvo lugar antes de que se actualizasen los dispositivos a la versión 7.0, Nougat. Pese a ello, su implementación sobre la nueva versión del sistema operativo no varía.

Las llamadas VoIP tienen un modo de audio propio, en comunicación. Sin embargo, los tonos de llamada de estas llamadas VoIP no tienen un modo de audio dedicado, sino que usan el modo de audio normal.

4.2.1 Implementación del modo de audio.

Antes de la implementación de un nuevo modo de audio, el primer desarrollo ha consistido en la utilización de un modo de los ya existentes. Se ha seguido este orden para comprender primero las asociaciones de los modos de audio, y que así resultase más sencillo la implementación de uno nuevo. De esta manera, en vez de usar el modo de audio por defecto se utiliza el modo tono de llamada cuando recibamos una llamada VoIP. Esto implica que se interprete de la misma manera un tono de llamada GSM y uno VoIP.

Saber cuando se trata de un tono de llamada VoIP es posible debido a la existencia de otra forma de clasificación del audio en el código. No solo existen los modos de audio, sino que también existen los tipos de flujos [9]. La declaración de los tipos de flujos se realiza también en el fichero audio.h:

```
typedef enum {
    AUDIO_STREAM_DEFAULT      = -1,
    AUDIO_STREAM_MIN          = 0,
    AUDIO_STREAM_VOICE_CALL   = 0,
    AUDIO_STREAM_SYSTEM        = 1,
    AUDIO_STREAM_RING          = 2,
    AUDIO_STREAM_MUSIC         = 3,
    AUDIO_STREAM_ALARM         = 4,
    AUDIO_STREAM_NOTIFICATION  = 5,
    AUDIO_STREAM_BLUETOOTH_SCO = 6,
    AUDIO_STREAM_ENFORCED_AUDIBLE = 7,
    AUDIO_STREAM_DTMF           = 8,
    AUDIO_STREAM_TTS            = 9,
    AUDIO_STREAM_ACCESSIBILITY = 10,
    AUDIO_STREAM_REROUTING     = 11,
    AUDIO_STREAM_PATCH          = 12,
    AUDIO_STREAM_PUBLIC_CNT     = AUDIO_STREAM_TTS + 1,
    AUDIO_STREAM_FOR_POLICY_CNT = AUDIO_STREAM_PATCH,
    AUDIO_STREAM_CNT             = AUDIO_STREAM_PATCH + 1,
} audio_stream_type_t;
```

Figura 4.2: Declaración de los flujos de audio.

Además de los modos de audio y los tipos de flujos de datos, existen otras formas

de clasificación que no serán abordadas en este proyecto. Los tipos de flujos de datos permiten seleccionar la curva de volumen concreta, esto se aborda con mayor profundidad en el capítulo 5.

Una vez se han introducido los flujos de datos, se pueden aprovechar estos para realizar la comparación. En el fichero MediaPlayer.java, que se utiliza para controlar la reproducción de audio y vídeo, cuando se inicia la reproducción se comprueba si el flujo de datos está clasificado como timbre, AUDIO_STREAM_RING. Si es así, se modifica el modo de audio a MODE_RINGTONE.

Pero de esta manera, al acabar de sonar el tono de llamada pueden darse dos situaciones. Si se contesta la llamada el modo de audio se cambiará a MODE_IN_COMMUNICATION. Pero si no se contesta, el modo que se quedaría es MODE_RINGTONE. Para que vuelva al modo por defecto, en el método que para la reproducción, se debe volver a fijar dicho modo.

El siguiente paso en el desarrollo ha sido la implementación de un modo propio. Para ello, es necesario declarar un nuevo modo de audio en las distintas capas del *framework*.

Se ha creado un nuevo modo de audio denominado MODE_RINGTONE_IP. Hay que declararlo tanto a nivel de JNI como de *framework* nativo.

<pre>AUDIO_MODE_RINGTONE_IP = 4, public static final int MODE_RINGTONE_IP = AudioSystem.MODE_RINGTONE_IP;</pre>	<pre>(a) audio.h</pre>	<pre>(b) AudioManager.java</pre>
---	------------------------	----------------------------------

Figura 4.3: Declaración de MODE_RINGTONE_IP.

Tras esto, únicamente es necesario sustituir MODE_RINGTONE por MODE_RINGTONE_IP en la implementación realizada en MediaPlayer.java.

A la hora de compilar la nueva implementación, es recomendable realizar una compilación completa del código. Esto se debe a que se han modificado diferentes partes. Por un lado, el fichero audio.h se encuentra en el directorio de sistema. Por otro, el fichero AudioManager.java y MediaPlayer.java se encuentran en el JNI.

Para realizar este proceso de una manera más rápida, se ha hecho uso de la herramienta Jenkins, añadiendo las modificaciones en el repositorio de Gerrit. Más información sobre la función de estas herramientas en 3.3.

Una vez se tiene el nuevo *firmware* descargado en el ordenador, se le debe dar permisos de ejecución al fichero que se encarga de sustituirlo en el dispositivo. Además, es necesario ejecutar el fichero con permisos de superusuario. Tras ejecutarlo, el dispositivo entrará en el modo textifastboot y comenzará a realizar los cambios necesarios.

4.2.2 Pruebas y problemas en su uso.

Una vez modificado el *firmware* del dispositivo, se ha procedido a comprobar si se realiza de manera correcta la asociación del nuevo modo de audio.

Se han realizado dos pruebas:

1. Llamada VoIP con la aplicación de Skype: el dispositivo A tiene la implementación realizada. Se realiza una llamada con la aplicación de Skype desde un dispositivo B al dispositivo A. Cuando el dispositivo A la recibe, comienza a reproducir el tono. Los resultados son satisfactorios. Se aplica el modo de audio MODE_RINGTONE_IP sin ningún tipo de problema. En la siguiente imagen se observa una traza del dispositivo que indica que modo de audio se está aplicando:

```
audio_hw_primary: adev_set_mode: mode 0
audio_hw_primary: adev_set_mode: mode 1
audio_hw_primary: adev_set_mode: mode 4
audio_hw_primary: adev_set_mode: mode 0
audio_hw_primary: adev_set_mode: mode 3
audio_hw_primary: adev_set_mode: mode 0
```

Figura 4.4: Trazas Skype con MODE_RINGTONE_IP.

Dichas traza muestran que se está en el modo por defecto, el cero. Llega una llamada de Skype y se pone el modo de tono de llamada VoIP. Una vez que se contesta, se pasa al modo en comunicación. Finalmente, al colgar se vuelve al modo por defecto. Este comportamiento es el esperado.

2. Llamada VoIP con la aplicación de Hangouts: el dispositivo A tiene la implementación realizada. Se realiza una llamada con la aplicación de Hangouts desde un dispositivo B al dispositivo A. Cuando el dispositivo A la recibe, comienza a reproducir el tono. En este caso los resultados no han sido los esperados. Cuando se realiza la llamada y se establece el nuevo modo de audio, la aplicación se cierra automáticamente. La captura de pantalla del dispositivo, con el mensaje de error, se puede observar a continuación:

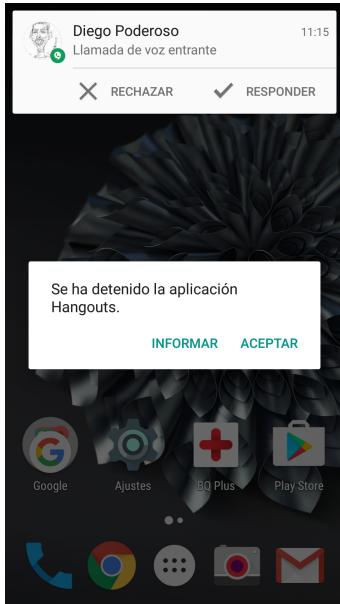


Figura 4.5: Mensaje de error de Hangouts con MODE_RINGTONE_IP.

Este problema sólo se ha reproducido con la aplicación de Hangouts. Cabe destacar, que esta aplicación está diseñada por Google y por tanto es un indicativo de la incompatibilidad de crear nuevos modos de audio.

Como conclusiones de este apartado sacamos que, pese a su fácil implementación, no es conveniente el uso de modos de audio propios. Esto tiene sentido, ya que los modos de audio se incluyen en las API para los desarrolladores de alto nivel. Y si se modifican dichas API, sin notificárselo a los desarrolladores de las aplicaciones, esto será una fuente importante de futuras incompatibilidades.

Capítulo 5

Curvas de volumen

En este capítulo se explicará el funcionamiento de las curvas de volumen en Android. Además, se abordarán los cambios que han tenido lugar con el cambio de versión, de 6.0 Marshmallow a 7.0 Nougat, implementándose y realizando los ajustes necesarios de dichas curvas.

5.1 ¿Qué son las curvas de volumen?

Las curvas de volumen marcan como se atenuará o aumentará el audio según el usuario modifique el volumen de su dispositivo.

Existen múltiples curvas de volumen, una por cada tipo de audio que vaya a reproducirse por cada clase de dispositivo. Un ejemplo de esto es que existirá una curva de volumen que controle el volumen de las notificaciones cuando suenen por el altavoz, y habrá otra que lo controle cuando suenen por los auriculares.

Para poder entender dicha clasificación es necesario entender los distintos flujos de audio que puede haber en el sistema, ya comentados en la figura 4.2. Además, es necesario comprender los tipos de dispositivos que requieren curvas de volumen propias. Los dispositivos que tendrán relación con las curvas de volumen son los de salida, no los de entrada, ya que son los que reproducen el audio. La declaración de los distintos tipos de dispositivos tiene lugar en el fichero audio.h del sistema:

```

AUDIO_DEVICE_OUT_EARPIECE           = 0x1,
AUDIO_DEVICE_OUT_SPEAKER            = 0x2,
AUDIO_DEVICE_OUT_WIRED_HEADSET      = 0x4,
AUDIO_DEVICE_OUT_WIRED_HEADPHONE    = 0x8,
AUDIO_DEVICE_OUT_BLUETOOTH_SCO      = 0x10,
AUDIO_DEVICE_OUT_BLUETOOTH_SCO_HEADSET = 0x20,
AUDIO_DEVICE_OUT_BLUETOOTH_SCO_CARKIT = 0x40,
AUDIO_DEVICE_OUT_BLUETOOTH_A2DP     = 0x80,
AUDIO_DEVICE_OUT_BLUETOOTH_A2DP_HEADPHONES = 0x100,
AUDIO_DEVICE_OUT_BLUETOOTH_A2DP_SPEAKER = 0x200,
AUDIO_DEVICE_OUT_AUX_DIGITAL       = 0x400,
AUDIO_DEVICE_OUT_HDMI               = AUDIO_DEVICE_OUT_AUX_DIGITAL,
AUDIO_DEVICE_OUT_ANLG_DOCK_HEADSET   = 0x800,
AUDIO_DEVICE_OUT_DGTL_DOCK_HEADSET   = 0x1000,
AUDIO_DEVICE_OUT_USB_ACCESSORY     = 0x2000,
AUDIO_DEVICE_OUT_USB_DEVICE        = 0x4000,
AUDIO_DEVICE_OUT_REMOTE_SUBMIX      = 0x8000,
AUDIO_DEVICE_OUT_TELEPHONY_TX       = 0x10000,
AUDIO_DEVICE_OUT_LINE               = 0x20000,
AUDIO_DEVICE_OUT_HDMI_ARC          = 0x40000,
AUDIO_DEVICE_OUT_SPDIF              = 0x80000,
AUDIO_DEVICE_OUT_FM                 = 0x100000,
AUDIO_DEVICE_OUT_AUX_LINE          = 0x200000,
AUDIO_DEVICE_OUT_SPEAKER_SAFE      = 0x400000,
AUDIO_DEVICE_OUT_IP                 = 0x800000,
AUDIO_DEVICE_OUT_BUS                = 0x1000000,
AUDIO_DEVICE_OUT_PROXY              = 0x2000000,

```

Figura 5.1: Declaración de los dispositivos de salida.

Como no sería mantenible tener curvas de volumen para cada uno de estos dispositivos, pues son demasiados, estos se agrupan en categorías. De esta manera, se tendrá una curva de volumen para cada par de valores, en función del flujo de audio y de la categoría del dispositivo. La declaración de las cuatro categorías de dispositivos se realiza en el fichero Volume.h, ya orientado plenamente al control del audio:

```

enum device_category {
    DEVICE_CATEGORY_HEADSET,
    DEVICE_CATEGORY_SPEAKER,
    DEVICE_CATEGORY_EARPIECE,
    DEVICE_CATEGORY_EXT_MEDIA,
    DEVICE_CATEGORY_CNT
};

```

Figura 5.2: Declaración de las categorías de dispositivos.

También en este fichero se lleva a cabo la asignación de los distintos dispositivos de salida a cada una de las posibles categorías, mediante el siguiente método:

```

static device_category getDeviceCategory(audio_devices_t device)
{
    switch(getDeviceForVolume(device)) {
        case AUDIO_DEVICE_OUT_EARPIECE:
            return DEVICE_CATEGORY_EARPIECE;
        case AUDIO_DEVICE_OUT_WIRED_HEADSET:
        case AUDIO_DEVICE_OUT_WIRED_HEADPHONE:
        case AUDIO_DEVICE_OUT_BLUETOOTH_SCO:
        case AUDIO_DEVICE_OUT_BLUETOOTH_SCO_HEADSET:
        case AUDIO_DEVICE_OUT_BLUETOOTH_A2DP:
        case AUDIO_DEVICE_OUT_BLUETOOTH_A2DP_HEADPHONES:
            return DEVICE_CATEGORY_HEADSET;
        case AUDIO_DEVICE_OUT_LINE:
        case AUDIO_DEVICE_OUT_AUX_DIGITAL:
            return DEVICE_CATEGORY_EXT_MEDIA;
        case AUDIO_DEVICE_OUT_SPEAKER:
        case AUDIO_DEVICE_OUT_BLUETOOTH_SCO_CARKIT:
        case AUDIO_DEVICE_OUT_BLUETOOTH_A2DP_SPEAKER:
        case AUDIO_DEVICE_OUT_USB_ACCESSORY:
        case AUDIO_DEVICE_OUT_USB_DEVICE:
        case AUDIO_DEVICE_OUT_REMOTE_SUBMIX:
        default:
            return DEVICE_CATEGORY_SPEAKER;
    }
}

```

Figura 5.3: Asociación de las categorías de dispositivos.

Los distintos tipos de dispositivos quedan agrupados en las siguientes categorías:

- Auricular: únicamente se incluye en esta categoría el auricular del teléfono.
- Cascos: en esta categoría se incluyen tanto los cascos conectados por cable, mediante un conector de audio analógico *jack* de 3.5mm, como los que se conectan de manera inalámbrica, según la especificación Bluetooth.
- Dispositivos externos: se incluyen aquellos que se conectan a través del puerto USB, mediante el protocolo High-Definition Multimedia Interface (HDMI).
- Altavoz: se incluyen tanto el altavoz propio del teléfono, altavoces conectados mediante Bluetooth, los sistemas de conexión Bluetooth de los coches, dispositivos conectados por USB mediante el protocolo MIDI, y dispositivos conectados de manera inalámbrica mediante Wireless Fidelity (WiFi).

Una vez se ha explicado como se clasifican las distintas curvas de volumen, falta explicar como se definen.

Una curva de volumen, en el sistema operativo Android, está compuesta por un conjunto de puntos. Estos puntos deben seguir la siguiente estructura:

```

class VolumeCurvePoint
{
public:
    int mIndex;
    float mDBAttenuation;
};

```

Figura 5.4: Definición de un punto de la curva de volumen.

En su definición podemos observar que los puntos se definen con dos valores. Por un lado tenemos el índice el cual nos marca la posición del punto en el eje x. Por otro lado, tenemos la atenuación en decibelios (dB) que implicará situar el volumen en ese punto, dicha atenuación se corresponde con el eje y.

La manera que tiene el sistema de definir una curva, a raíz de un conjunto de puntos configurables por parte del desarrollador, es mediante el uso de la interpolación lineal entre puntos.

La interpolación lineal consiste en tratar los segmentos definidos entre dos puntos como una recta. De esta manera, si nuestra curva tiene cuatro puntos, tendremos un total de tres posibles segmentos. En estos segmentos, la atenuación aumenta o disminuye de manera lineal. La pendiente de la recta dependerá de lo cerca que se encuentren los puntos que definen el segmento, según el primer parámetro de su definición, y de la diferencia de atenuación que haya entre ellos, marcada por el segundo parámetro.

Pero, como ya se ha comentado antes, el volumen lo fija el usuario. La relación, entre las curvas definidas en el sistema y la interfaz de volumen que se encuentra el usuario, se encuentra definida en la JNI. La interfaz de usuario proporciona una barra de sonido para modificar el volumen. Dicha barra está definida mediante un número diferente de puntos en el fichero AudioService.java como se muestra a continuación:

<pre> private static int[] MAX_STREAM_VOLUME = new int[] { 10, // STREAM_VOICE_CALL 7, // STREAM_SYSTEM 7, // STREAM_RING 25, // STREAM_MUSIC 7, // STREAM_ALARM 7, // STREAM_NOTIFICATION 15, // STREAM_BLUETOOTH_SCO 7, // STREAM_SYSTEM_ENFORCED 7, // STREAM_DTMF 15 // STREAM_TTS }; </pre>	<pre> private static int[] MIN_STREAM_VOLUME = new int[] { 1, // STREAM_VOICE_CALL 0, // STREAM_SYSTEM 0, // STREAM_RING 0, // STREAM_MUSIC 0, // STREAM_ALARM 0, // STREAM_NOTIFICATION 0, // STREAM_BLUETOOTH_SCO 0, // STREAM_SYSTEM_ENFORCED 0, // STREAM_DTMF 0 // STREAM_TTS }; </pre>
--	--

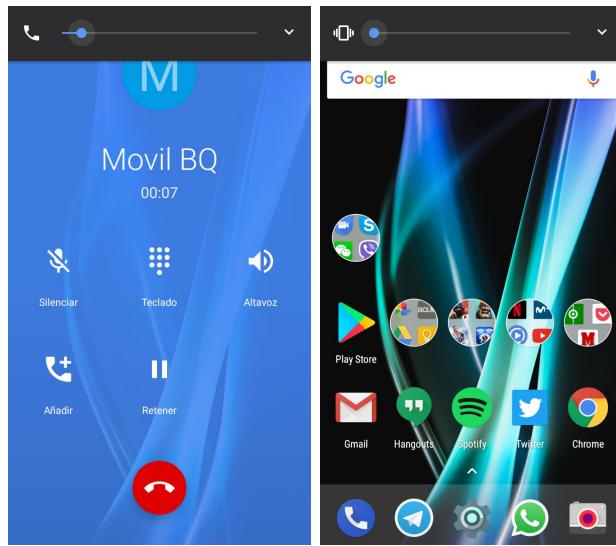
(a) Volumen máximo.

(b) Volumen mínimo.

Figura 5.5: Declaración del control de volumen en la interfaz de usuario.

De esta manera se define para cada tipo de flujo de audio una barra de control del

volumen. El límite inferior de la barra de volumen será habitualmente cero, la barra completamente a la izquierda. Pero, puede quererse fijar un volumen mínimo que resulte audible, para ello se selecciona un uno. De esta manera, nunca se alcanzará la atenuación máxima, ya que está asociada a la posición más baja de la barra de volumen. Un ejemplo de esto es el volumen en las llamadas, el cual no se puede llegar a silenciar, como si ocurre en el volumen del sistema:

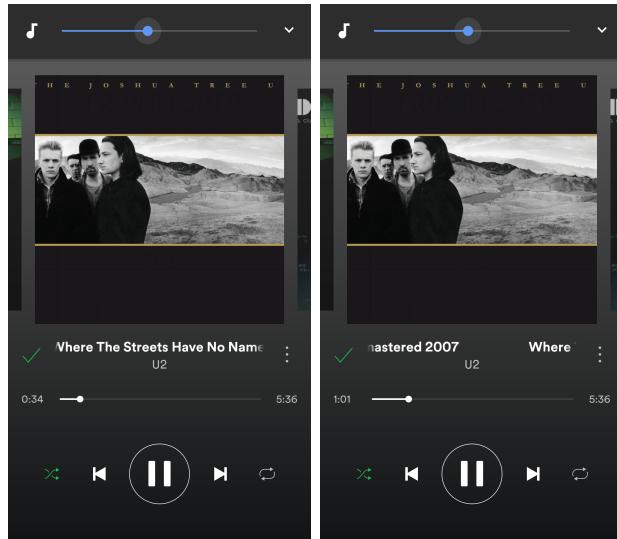


(a) Volumen mínimo de una llamada.
(b) Volumen mínimo del sistema.

Figura 5.6: Comparación de volumen mínimos.

Por otra parte, el número de saltos que hay en cada barra de volumen dependerá de la diferencia entre el límite inferior de la barra de volumen y el límite superior. Por ejemplo, en el flujo de música, que sirve para cualquier reproducción multimedia, se define un volumen mínimo de cero y se puede aumentar hasta un total de veinticinco veces.

La interfaz de las barras de volumen de cada uno de los flujos son iguales en longitud. Por tanto, cuanto mayor sea la distancia entre el volumen mínimo y máximo, menor será el cambio de la barra al subir o bajar el volumen. A continuación se muestra una captura para comparar el aumento de la barra de volumen que controla la música y la que controla los sonidos del sistema, al pulsar una vez en el botón de subir volumen:



(a) Volumen de la música original. (b) Volumen de la música aumentado.



(c) Volumen del sistema original. (d) Volumen del sistema aumentado.

Figura 5.7: Comparación de barras de volumen de la interfaz de usuario.

Como se puede observar, el cambio en la barra de usuario al aumentar el volumen del sistema es mucho mayor al cambio al aumentar el de la música. Esto implicará que el salto en las curvas definidas en el sistema también será mayor.

La relación entre la barra de control de la interfaz de usuario y las curvas de volumen ha cambiado ligeramente con el cambio de versión de Android M a N. Las implicaciones de estos cambios, así como la relación anteriormente comentada, se explicarán en el siguiente apartado.

5.2 Diferencia entre Android M y Android N

Las principales diferencias entre ambas versiones, en relación al audio, se encuentran en la manera que tienen ambas de definir las curvas de volumen. Tanto las curvas de volumen por defecto, como el método de interpolación lineal, han cambiado. Por tanto, este apartado consistirá en aplicar dichos cambios, pues aunque se haya cambiado de versión no se habían aplicado, y explicar las diferencias entre ambas.

5.2.1 Android M

En Android Marshmallow, la implementación de las curvas de volumen se realiza en el lenguaje de programación C++. En el fichero Gains.cpp se encuentran definidas por un lado las curvas y, por otro, la asociación de estas a cada uno de los casos de uso, como se muestra a continuación:

```
const VolumeCurvePoint
Gains::sDefaultVoiceVolumeCurve[Volume::VOLCNT] = {
    {0, -42.0f}, {33, -28.0f}, {66, -14.0f}, {100, 0.0f}
};
const VolumeCurvePoint
Gains::sSpeakerVoiceVolumeCurve[Volume::VOLCNT] = {
    {0, -24.0f}, {33, -16.0f}, {66, -8.0f}, {100, 0.0f}
};
const VolumeCurvePoint
Gains::sDefaultMediaVolumeCurve[Volume::VOLCNT] = {
    {1, -58.0f}, {20, -40.0f}, {60, -17.0f}, {100, 0.0f}
};
```

Figura 5.8: Definición curvas de volumen Android M.

Como se puede observar, la definición de las curvas de volumen está basada en la declaración de cuatro puntos: uno inicial, uno final, y dos intermedios. Es obligatorio definir los cuatro puntos para su correcto funcionamiento. El primer número es el índice y el segundo es la atenuación en dB que tendrá esa curva en ese punto.

La asociación de dichas curvas de volumen a cada pareja de flujo de audio y categoría de dispositivo es la siguiente:

```
const VolumeCurvePoint *Gains::sVolumeProfiles[AUDIO_STREAM_CNT]
    [DEVICE_CATEGORY_CNT] = {
    { // AUDIO_STREAM_VOICE_CALL
        Gains::sDefaultVoiceVolumeCurve, // DEVICE_CATEGORY_HEADSET
        Gains::sSpeakerVoiceVolumeCurve, // DEVICE_CATEGORY_SPEAKER
        Gains::sSpeakerVoiceVolumeCurve, // DEVICE_CATEGORY_EARPIECE
        Gains::sDefaultMediaVolumeCurve // DEVICE_CATEGORY_EXT_MEDIA
    },
};
```

Figura 5.9: Asociación curvas de volumen Android M.

En la imagen se muestran cuatro curvas de volumen, una por cada categoría de dispositivo, todas ellas asociadas al caso de que se trate de un flujo de audio de llamada. Esto permite por ejemplo, que si suena una llamada por el altavoz, tenga asociada una curva de volumen, y si suena una llamada por los cascos, tenga asociada otra curva de volumen.

En el mismo fichero, Gains.cpp, se encuentra el método que relaciona la barra de volumen de la interfaz de usuario, con las curvas de volumen aquí descritas. Además en este método se aplica la interpolación lineal para obtener la atenuación a partir de un índice no definido.

Por un lado, la transformación de índice de la interfaz de usuario a un índice de la curva de volumen se realiza de la siguiente forma:

$$n^{\circ} \text{pasos} = 1 + \text{indiceMaxCurva} - \text{indiceMinCurva} \quad (5.1)$$

$$\text{indiceEnCurva} = n^{\circ} \text{pasos} * \frac{\text{indiceEnIU} - \text{indiceMinIU}}{\text{indiceMaxIU} - \text{indiceMinIU}} \quad (5.2)$$

El resultado de la operación 5.2 se evaluará para ver en qué segmento de la curva cae. Al haber definido cuatro puntos, habrá cinco posibles segmentos: inferior al índice mínimo, entre el mínimo y el segundo punto, entre el segundo y el tercero, entre el tercero y el índice máximo, y superior al índice máximo.

En el caso de ser inferior al índice mínimo, el valor de atenuación es una macro definida en Volume.h que equivale a una atenuación máxima de -758dB. Si fuese superior al máximo, la atenuación mínima serán 0dB. Esto dependerá del índice mínimo y máximo de cada curva. Si empieza en 0 y acaba en 100 existirá la limitación superior, volumen máximo de 0dB independientemente del volumen máximo fijado en la curva. Sin embargo, si empieza en 1 y acaba en 100 existirá la limitación inferior, volumen mínimo fijado a -758dB independientemente del volumen mínimo fijado en la curva. Esta limitación ha causado bastantes problemas, pues el volumen máximo/mínimo proporcionado no se correspondía con el definido en la curva.

Para el resto de segmentos, se realiza una interpolación lineal para obtener la atenuación:

$$dBPorPaso = \frac{\text{atenuacionMaxSeg} - \text{atenuacionMinSeg}}{\text{indiceMaxSeg} - \text{indiceMinSeg}} \quad (5.3)$$

$$\text{atenuaciondB} = \text{atenuacionMinSeg} + (\text{indiceEnCurva} - \text{indiceMinSeg}) * dBPorPaso \quad (5.4)$$

De esta manera se obtiene la atenuación en dB para una posición de la barra de volumen en la interfaz de usuario.

Si queremos declarar una nueva curva de volumen, la definimos y asociamos en el fichero Gains.cpp. Además, será necesario declararla junto a las demás en el fichero Gains.h.

```

const VolumeCurvePoint
Gains::sMediaMaxVolumeCurve[Volume::VOLCNT] = {
    {0, -30f}, {33, -20f}, {66, -10f}, {100, 0.0f}
};

{ // AUDIO_STREAM_MUSIC
    Gains::sDefaultMediaVolumeCurve, // DEVICE_CATEGORY_HEADSET
    Gains::sMediaMaxVolumeCurve, // DEVICE_CATEGORY_SPEAKER
    Gains::sDefaultMediaVolumeCurve, // DEVICE_CATEGORY_EARPIECE
    Gains::sDefaultMediaVolumeCurve // DEVICE_CATEGORY_EXT_MEDIA
},

```

(a) Definición de la curva.

(b) Asociación de la curva.

Figura 5.10: Implementación de una nueva curva de volumen en Android M.

La curva se asocia al caso de uso de reproducción multimedia por el altavoz. Esta curva de volumen, comparada con la que se asociaba anteriormente, tiene un volumen mínimo más alto, y es lineal. Esto quiere decir, que aumenta su volumen siempre igual independientemente del segmento en el que caiga.

Para aplicar estos cambios es necesario compilar el código desde el textitframework nativo. Esto genera librerías, que hay que añadir al sistema del dispositivo mediante la herramienta ADB.

Para modificar las librerías del dispositivo, hay que conectarse a él como superusuario. Después, se habilita escritura en el sistema. Finalmente, se suben las librerías necesarias a la ruta del sistema indicada en la compilación. Al reiniciar el dispositivo los cambios se habrán aplicado.

5.2.2 Android N

En Android Nougat la declaración y asociación de las curvas de volumen ha cambiado, usando el lenguaje de programación XML en lugar de C++.

Para habilitar este cambio, es necesario incluir una opción de compilación en el Makefile de configuración del microcontrolador [10]. Para ello, es necesario saber que procesador lleva el dispositivo con el que estamos trabajando. Se debe añadir la siguiente línea:

```
USE_XML_AUDIO_POLICY_CONF := 1
```

Figura 5.11: Aplicación del nuevo formato de curvas de volumen.

Una vez realizado dicho cambio, las curvas de volumen y los métodos de cálculo de Android M dejarán de usarse. Se empiezan a usar los siguientes ficheros:

- default_volume_tables.xml: fichero en el que se definen las curvas de volumen que se vayan a utilizar en más de un caso de uso.
- audio_policy_volumes.xml: fichero en el que se asocian las curvas de volumen. En cada caso de uso, se puede utilizar una curva de volumen ya definida o definir un conjunto de puntos, sin llegar a declarar la curva.

- `audio_policy_configuration.xml`: fichero que se encarga de definir los formatos y frecuencias de muestreo soportadas. Entre otras funciones, incluye las curvas de volumen definidas en los dos ficheros ya comentados.

Como ya se ha comentado, otra diferencia con la versión anterior es el hecho de que no sea necesario declarar todas las curvas de volumen, pudiéndose definir en cada caso de uso como un conjunto de puntos.

Otra diferencia importante es la posibilidad de definir curvas de volumen con un número de puntos distinto de cuatro. Por tanto, se pueden definir curvas con dos puntos, lo que equivaldría a una recta, y curvas con un gran número de puntos, que nos permiten más precisión a la hora de que se aplique una atenuación u otra en cada punto.

Además, la atenuación ahora se define en milibelios (mB), a diferencia de la anterior versión que se definía en dB. Esto permite trabajar con números enteros, en lugar de con decimales, lo que resulta mucho más eficiente.

Un ejemplo de declaración de una curva con dos puntos y otra de cuatro, al igual que en la anterior versión, es el siguiente:

```
<reference name="SILENT_VOLUME_CURVE">
    <point>0, -9600</point>
    <point>100, -9600</point>
</reference>
<reference name="DEFAULT_SYSTEM_VOLUME_CURVE">
    <point>1, -2400</point>
    <point>33, -1800</point>
    <point>66, -1200</point>
    <point>100, -600</point>
</reference>
```

Figura 5.12: Definición curvas de volumen Android N.

Estas curvas pueden asociarse en el fichero `audio_policy_volumes.xml`. Pero también se pueden definir un conjunto de puntos, sin llegar a declarar la curva. Un ejemplo de esto se ve a continuación:

```
<volume stream="AUDIO_STREAM_SYSTEM" deviceCategory="DEVICE_CATEGORY_HEADSET">
    <point>1, -3000</point>
    <point>33, -2600</point>
    <point>66, -2200</point>
    <point>100, -1800</point>
</volume>
<volume stream="AUDIO_STREAM_SYSTEM" deviceCategory="DEVICE_CATEGORY_SPEAKER"
        ref="DEFAULT_SYSTEM_VOLUME_CURVE"/>
```

Figura 5.13: Asociación curvas de volumen Android N.

En este caso, para el caso de uso de los sonidos del sistema reproduciéndose por unos auriculares, se describen cuatro puntos que marcarán su curva de volumen.

Sin embargo, para estos mismos sonidos, al reproducirse por el altavoz se asocia una curva de las curvas ya definidas.

La última diferencia la encontramos en el método que calcula la atenuación en dB a partir de la barra de sonido de la interfaz.

A la hora de realizar los cálculos para saber en qué segmento de la curva cae el índice proporcionado por la interfaz, se realiza de igual manera que la indicada en la ecuación 5.2. Tras esto, se sigue asociando a uno de los posibles segmentos.

Lo que si que cambia es la limitación de volumen máximo que existía en Android M. Ahora, independientemente de los índices, el volumen máximo se corresponde con el definido en la curva. No sucede esto con el volumen mínimo, ya que se sigue manteniendo el hecho de que, si la curva comienza en un índice distinto de cero, la atenuación máxima será -758dB.

Una vez obtenido el segmento y comprobado que no estamos en ninguno de los casos mencionados, la interpolación lineal se realiza de la misma manera que la indicada en la ecuación 5.4.

Al no estar aplicado este cambio en las curvas de volumen, ha sido necesario crear y ajustar cada curva de volumen para que siguiese los perfiles de las utilizadas en Android M.

La ventaja principal que supone aplicar este cambio, es que al estar definidas las curvas de volumen y su política en ficheros XML no es necesario compilar cada vez que queramos realizar algún cambio. Se puede directamente sustituir el fichero XML existente el sistema del dispositivo por el nuevo, mientras se mantenga la nomenclatura. Para realizar esta sustitución se hace uso de la herramienta ADB.

El proceso es similar al ya comentado en Android M. La principal diferencia es que aquí se suben los ficheros y no las librerías compiladas.

En la versión de Android Nougat, Google ha introducido un mecanismo de verificación para desarrolladores. Si el teléfono tiene un *firmware* que nunca antes ha sido modificado, antes de nada, es necesario deshabilitar dicho mecanismo para que el sistema pueda ser modificado. Esto únicamente podrá realizarse en *firmwares* de desarrollo.

Capítulo 6

Rutas del audio

En este capítulo se explicará el rutado del audio tanto a nivel *software*, como a nivel *hardware*. Se abordarán temas como el procesado del audio, que es dependiente del camino que se escoja, como la configuración de dicho procesado y la asociación de nuevas rutas. Por tanto, se entrará en detalle a explicar como configurar el ADSP y como evaluar los resultados de dichas configuraciones.

6.1 Rutado en el código

Para explicar todo esto, es necesario tener claras las diferencias que existen en Android sobre el rutado a nivel de código. Una parte del código se encargará de rutar el audio por el camino del ADSP, y otra parte se encargará de rutarlo por los distintos módulos *hardware*.

Para empezar, la selección de un camino u otro se realiza a nivel de HAL. Esto implica que estamos a un nivel más bajo del que se había trabajado hasta ahora.

En el siguiente diagrama se pueden observar los diferentes bloques por los que se ruta el audio en función de lo que indiquen algunos ficheros de configuración:

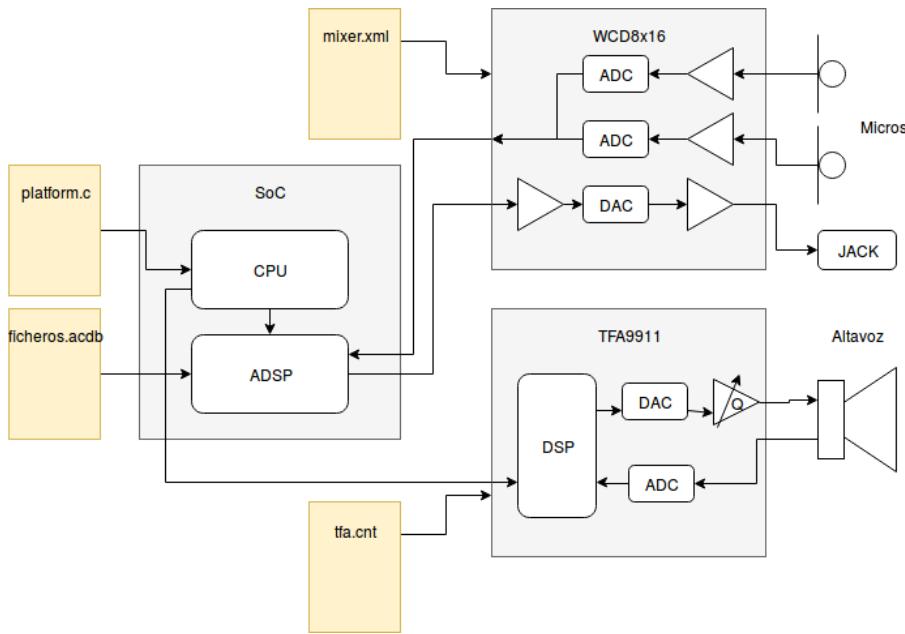


Figura 6.1: Esquema del rutado del audio a bajo nivel.

- **platform.c:** fichero del código que se encarga de la lógica de rutado. Para cada caso de uso asocia una topología, un camino del ADSP, y un camino del codec de audio, que puede ser el WCD8x16 o el TFA9911.
- **ADSP:** se encarga del procesado digital de la señal de audio. Sus topologías estarán configuradas según unos ficheros en el sistema, los ficheros Audio Calibration Database (ACDB). No incluye lógica de rutado.
- **WCD8x16:** es el códec de audio de Qualcomm. Se encarga del rutado y procesado del audio al más bajo nivel. Su configuración se realiza mediante un fichero mixer.xml. Incluye, por tanto, lógica de rutado. Recibe el audio de los micrófonos, lo procesa y se lo envía al ADSP. También, recibe el audio del ADSP y se encarga de sacarlo por los auriculares, mediante el conector de audio analógico de 3.5mm.
- **TFA9911:** es un códec de audio dedicado exclusivamente para el altavoz del dispositivo. Incluye su propia lógica de rutado y su propio ADSP. También se encarga del rutado y procesado al más bajo nivel. Se configura mediante un fichero tfa.cnt que configura diferentes perfiles de sonido para el altavoz.

6.1.1 Rutado a nivel de DSP

Como ya se ha comentado, en la HAL existe un fichero platform.c que es el encargado de la lógica de rutado del audio. Este fichero, en función de las características de la petición que reciba, habilitará un camino u otro.

En el fichero platform.h se declaran todos los tipos de dispositivos. Estos dispositivos llevarán asociados una ruta del ADSP y una ruta del códec de audio. Por tanto, para

un sonido por el mismo altavoz, pueden existir muchos dispositivos para aplicarse en diferentes casos de uso.

Se declaran dos tipos de dispositivos. Por un lado, se encuentran los dispositivos asociados con la salida del sonido, la reproducción. Por otro lado, se encuentran los dispositivos asociados con la entrada de sonido al sistema, la captación de audio. La declaración de estos dispositivos se realiza en el fichero platform.h de la siguiente manera:

```
enum {
    SND_DEVICE_NONE = 0,
    SND_DEVICE_MIN,
    SND_DEVICE_OUT_BEGIN = SND_DEVICE_MIN,
    SND_DEVICE_OUT_HANDSET = SND_DEVICE_OUT_BEGIN,
    SND_DEVICE_OUT_SPEAKER,
    SND_DEVICE_OUT_SPEAKER_HQ,
    SND_DEVICE_IN_BEGIN = SND_DEVICE_OUT_END,
    SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC = SND_DEVICE_IN_BEGIN,
    SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC_SECONDARY,
    SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC_EXTERNAL,
    SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC_AEC,
    SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC_NS,
    SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC_AEC_NS,
    SND_DEVICE_IN_HANDSET_DMIC,
```

(a) Dispositivos de reproducción.

(b) Dispositivos de captación.

Figura 6.2: Declaración de dispositivos para cada ruta.

La lista de dispositivos declarados es muy grande, existiendo más dispositivos que rutas. Normalmente, cada dispositivo que se declara sirve para un caso particular. Aunque, en la realidad, muchos de los dispositivos se asocian a diferentes situaciones, ya que no sería mantenible configurar tantas topologías del ADSP, ni rutas en el códec de audio.

En el fichero platform.c es donde se asocia cada uno de estos dispositivos con una topología y un camino del códec de audio. La asociación a nivel de ADSP se realiza mediante unos números que identifican cada una de las topologías. De este modo, para asociar los dispositivos anteriormente declarados se haría así:

```
static int acdb_device_table[SND_DEVICE_MAX] = {
    [SND_DEVICE_NONE] = -1,
    [SND_DEVICE_OUT_HANDSET] = 7,
    [SND_DEVICE_OUT_SPEAKER] = 14,
    [SND_DEVICE_OUT_SPEAKER_HQ] = 14,
    [SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC] = 4,
    [SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC_SECONDARY] = 4,
    [SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC_EXTERNAL] = 4,
    [SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC_AEC] = 106,
    [SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC_NS] = 107,
    [SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC_AEC_NS] = 108,
    [SND_DEVICE_IN_HANDSET_DMIC] = 41,
```

(a) Dispositivos de reproducción.

(b) Dispositivos de captación.

Figura 6.3: Asociación de topologías para cada dispositivo.

Pero hasta ahora estos dispositivos sólo se han declarado y configurado, falta seleccionarlos en cada caso de uso. Para ello, existen dos métodos de obtención del dispositivo, uno para salida y otro para entrada de audio.

En estos métodos se hace uso de todas las características de las peticiones del audio. Estas pueden ser: los modos de audio ya comentados en el capítulo 4, los dispositivos por los que vaya a sonar o captar el audio, los tipos de flujos de audio, etc. En función de todo lo anterior y muchas otras características de las peticiones, se asocian los dispositivos.

El método encargado de la selección del dispositivo de salida se denomina platform_get_output_snd_device. El método encargado de la selección de los dispositivos de entrada se denomina platform_get_input_snd_device. Destacar que se trata de métodos muy largos, con unas doscientas líneas de código, y con una lógica muy enrevesada. Por tanto, no son métodos muy mantenibles.

Pero las topologías del ADSP no dependen únicamente del dispositivo asociado, también dependen del tipo de aplicación. Esto es un identificador, que en función del tipo de petición, asociará una topología u otra, para un dispositivo seleccionado.

En el fichero platform.c se definen los tipos por defecto tanto para recepción, encargada de la reproducción de sonido, como para transmisión, encargada de la captación de sonido. Su declaración y asociación se puede observar a continuación:

```
#define DEFAULT_APP_TYPE_RX_PATH 0x11130
#define DEFAULT_APP_TYPE_TX_PATH 0x11132
```

Figura 6.4: Tipos de aplicación por defecto.

La asociación de dichos tipos se realiza, también, en el fichero platform.c en función de si se trata de una petición de recepción o de transmisión. Además, para el caso de recepción, otros tipos de aplicación se pueden asociar. Esta asociación se realiza en el fichero de la HAL audio_output_policy.conf, pero por lo general, los casos por defecto son los que se utilizan.

Cabe destacar que en el caso de estar tratando con una llamada de voz, y que el código la interprete correctamente, los tipos de aplicación no se utilizan. Sólo se utilizan en los casos de reproducción o de grabación de audio.

Teniendo todo esto en cuenta, el rutado hacia una topología del ADSP se haría correctamente.

6.1.2 Rutado a nivel de *hardware*

Tras pasar por el ADSP, el audio tiene que ir por un camino físico hasta el dispositivo que se encargará de reproducirlo.

Este camino, como ya se ha comentado, se selecciona con el fichero mixer.xml, el cual contiene los diferentes caminos existentes en el *hardware*.

La selección de uno de estos caminos también se realiza en el fichero platform.c. Se asocia a uno de los dispositivos, de manera similar a los identificadores del ACDB.

Al igual que en ese caso, hay que asociar tanto para dispositivos de salida como de entrada:

```
static const char * const device_table[SND_DEVICE_MAX] = {
    [SND_DEVICE_NONE] = "none",
    [SND_DEVICE_OUT_HANDSET] = "handset",
    [SND_DEVICE_OUT_SPEAKER] = "speaker",
    [SND_DEVICE_OUT_SPEAKER_HQ] = "speaker_hq",
    [SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC] = "handset-mic",
    [SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC_SECONDARY] = "handset-secondary-mic",
    [SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC_EXTERNAL] = "handset-mic-ext",
    [SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC_AEC] = "handset-mic",
    [SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC_NS] = "handset-mic",
    [SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC_AEC_NS] = "handset-mic",
    [SND_DEVICE_IN_HANDSET_DMIC] = "dmic-endfire",
```

(a) Dispositivos de reproducción.

(b) Dispositivos de captación.

Figura 6.5: Asociación de rutas *hardware* para cada dispositivo.

Una vez seleccionado el tipo de dispositivo se aplicará la ruta definida en el fichero mixer.xml.

Este fichero se compone de tres partes:

- Configuración inicial: en esta zona se definen los valores por defecto que tendrán los diferentes elementos *hardware*. Se definen los estados en reposo de: líneas, buses, amplificadores, multiplexores, filtros, conversores, etc.
- Configuraciones específicas: en esta zona se definen configuraciones más específicas en función de los requisitos de latencia, el uso del HDMI, el uso de la radio Frecuencia Modulada (FM), el uso del Bluetooth, etc.
- Configuraciones de cada dispositivo: en esta zona es dónde se definen las distintas rutas para cada dispositivo. Muchos de ellos utilizan las mismas configuraciones.

Un ejemplo de ruta para los dispositivos SND_DEVICE_OUT_HANDSET y SND_DEVICE_IN_HANDSET_MIC queda definido de la siguiente forma:

```
<path name="handset">
  <ctl name="RX1 MIX1 INP1" value="RX1" />
  <ctl name="RDAC2 MUX" value="RX1" />
  <ctl name="RX1 Digital Volume" value="84" />
  <ctl name="EAR PA Gain" value="POS_6_DB" />
  <ctl name="EAR_S" value="Switch" />
</path>
```

(a) Dispositivo de reproducción.

```
<path name="handset-mic">
  <ctl name="ADC1 Volume" value="4" />
  <ctl name="DEC1 MUX" value="ADC1" />
  <ctl name="IIR1 INP1 MUX" value="DEC1" />
</path>
```

(b) Dispositivo de captación.

Figura 6.6: Definición de rutas *hardware*.

Esto asocia a unas etiquetas ciertos valores. A más bajo nivel, al nivel del *kernel*, estos valores se interpretan y se escribe en los registros necesarios.

En el caso del dispositivo de reproducción, que está asociado a la reproducción por el auricular del teléfono, se transmite el audio por el camino RX1, configurándose un volumen, una ganancia del amplificador y configurando que el sonido salga por el auricular, para lo cual se da a la etiqueta EAR_S el valor Switch.

Esto nos permite abstraernos de la lógica a nivel de registros, con el uso de un lenguaje de programación y una topología más simple.

Se puede consultar el valor de cada etiqueta en tiempo real. Para ello, es necesario tener conectado el dispositivo al ordenador vía USB. Se hace uso de las herramientas ADB y del comando tinymix. Además, con este comando también sera posible la modificación en tiempo real de las etiquetas.

En la siguiente imagen se puede observar como se consulta el valor del amplificador del auricular y se modifica, produciéndose una bajada de volumen:

```
# tinymix "EAR PA Gain"
EAR PA Gain:    POS_1P5_DB      >POS_6_DB
# tinymix "EAR PA Gain" "POS_1P5_DB"
# tinymix "EAR PA Gain"
EAR PA Gain:    >POS_1P5_DB      POS_6_DB
```

Figura 6.7: Modificación de la ganancia del auricular en tiempo real.

El valor, cuando se está escuchando un audio por el auricular en el móvil, es de una ganancia de 6dB, pero mediante el comando tinymix se puede forzar a que baje a 1.5dB.

Como caso particular, falta por comentar el altavoz. Este altavoz tiene un códec de audio propio, por tanto para que se rute correctamente ha de añadirse, para todos los dispositivos que vayan a reproducirse por ahí, las siguientes líneas en el fichero audio_hw.c:

```
platform_set_snd_device_backend(SND_DEVICE_OUT_SPEAKER, "smpa", "QUIN_MI2S_RX");
platform_set_snd_device_backend(SND_DEVICE_OUT_VOICE_SPEAKER, "smpa", "QUIN_MI2S_RX");
platform_set_snd_device_backend(SND_DEVICE_OUT_RING_SPEAKER, "smpa", "QUIN_MI2S_RX");
platform_set_snd_device_backend(SND_DEVICE_OUT_SPEAKER_HQ, "smpa", "QUIN_MI2S_RX");
platform_set_snd_device_backend(SND_DEVICE_OUT_SPEAKER_AND_HEADPHONES, "spkhph-smpa", "QUIN_MI2S_RX-and-PRI_MI2S_RX");
```

Figura 6.8: Rutado por el códec de audio del altavoz.

De esta manera, para cada dispositivo relacionado con el altavoz, se asocia una nueva etiqueta que hará que el audio se rute por el códec TFA9911 en lugar de por el WCD8x16.

6.2 Configuración del DSP a través del programa QACT

La configuración del ADSP únicamente es posible realizarla mediante el programa QACT. Este programa sólo funciona en el sistema operativo Windows, por tanto para realizar esta implementación se trabajará con dicho sistema.

Este programa permite dos tipos de conexión:

- Modo sin conexión: permite editar los ficheros ACDB sin tener conectado el dispositivo, siempre que los tengamos en el directorio local del ordenador. En este modo se permite, no sólo la configuración, sino también la creación y asociación de nuevas topologías. Tras editar los ficheros, será necesario cargarlos en el teléfono.
- Modo con conexión: permite realizar la configuración de los ficheros ACDB que se encuentran en el dispositivo. También permite observar que topología se aplica en tiempo real y modificarla. Los cambios realizados en tiempo real no serán permanentes. Para poder utilizar este modo, es necesario estar conectado mediante el programa QPST al ordenador.

En la página principal del programa se puede observar que hay tres desplegables que seleccionan el caso de uso que se muestra:

- Caso de uso del audio: puede ser grabación, reproducción o voz. Cada dispositivo debe ser de una de estas clases.
- Dispositivo: se selecciona entre un conjunto de dispositivos, que serán los que tengan asociados el identificador que se asocia en el rutado del código, como se muestra en la figura 6.3. Se pueden añadir, modificar y eliminar dispositivos.
- Frecuencia de muestreo: cada caso de uso puede ser configurado para cada una de las frecuencias de muestreo que soporta.

Además, se puede observar que una ruta se divide en tres áreas, con distintas topologías en cada área. Estas áreas son:

- Audio Front End (AFE): sólo una topología de esta área puede ser asociada a cada dispositivo.
- Common Object Post Processing (COPP): se asocia una topología de esta área para cada tipo de aplicación en cada dispositivo.
- Per Object Post Processing (POPP): se asocia una topología distinta de esta área para cada tipo de aplicación, siendo común para todos los dispositivos. Es común para todos los dispositivos.

Cada topología se compone de módulos ordenados. Estos módulos realizan distintos procesados y se pueden configurar seleccionándolos. Existen módulos de: filtrado, amplificación, supresión de ruido, compresión multibanda, muestreo, generación de ruido, potenciación de bajos, ecualización, etc.

6.2.1 Modos de diseño disponibles

Este programa permite diferentes modos de modificar el ADSP, estos son:

- Ajustar los módulos aplicados: se pueden configurar los módulos aplicados a cada topología, siempre que la topología esté asociada a un caso de uso. Hay módulos que únicamente permiten ser activados o desactivados, pero otros,

como los algunos filtros o compresores, permiten una configuración mucho más precisa.

- Reordenar los módulos de una topología aplicada: se pueden cambiar el orden en el que se aplican los módulos de procesado.
- Cambiar la topología aplicada: se pueden modificar la topología que se quiere aplicar en cada área. Habrá que tener en cuenta que si las cambiamos en la AFE se cambiará para todo el tipo de dispositivo, y si la cambiamos en la POPP será común para todos los tipos de dispositivos. Por esa razón, los cambios más habituales se suelen hacer en la COPP en función del tipo de aplicación. Las topologías a aplicar en un área tienen que pertenecer a esa área en concreto.
- Crear una nueva topología: se puede crear desde cero una nueva topología. Se deben seleccionar los módulos de procesado que incluirá y el orden de estos. Sobre las topologías ya creadas no se pueden añadir nuevos módulos. Además, debe seleccionarse el área al que pertenecerá. Se debe tener en cuenta que, en las áreas COPP y POPP, se distingue entre topologías orientadas al uso en llamadas y entre el resto de topologías. Tras esto, podrá aplicarse al caso de uso que queramos.
- Crear un nuevo tipo de dispositivo: se puede crear desde cero un nuevo dispositivo, al que habrá que asociar un nuevo identificador tanto a nivel de ADSP como a nivel de código. Se debe configurar lo siguiente:
 - Categoría del dispositivo: si se aplicará dicho dispositivo a un caso de uso de Bluetooth, Auricular, HDMI, Cascos, Altavoz o General.
 - Identificador del dispositivo: es necesario definir el mismo identificador a nivel de ADSP y a nivel de código, para que pueda rutarse por el nuevo dispositivo que se está creando.
 - Frecuencias de muestreo soportadas por el dispositivo.
 - Configuración del canal: hay que definir si el dispositivo se va a aplicar a un canal mono, estéreo o de un mayor número de canales.
 - Dirección: indicar si el dispositivo se va a usar para recepción o para transmisión. Si el dispositivo se va a aplicar a un caso de uso de llamada, además, será necesario definirlo como un par nuevo de dispositivos junto con otro de recepción o transmisión, según sea el dispositivo que se ha diseñado. Para que, cuando se rute por él, se apliquen ambos caminos.
 - El número de bits por muestra que el dispositivo soporta.
 - Topologías utilizadas: se debe asociar una topología del área AFE y una topología por cada tipo de aplicación, del área COPP. Además, habrá que asociar una topología de voz del área COPP, que no depende del tipo de aplicación.

- Retardos: para cada frecuencia de muestreo se puede indicar un retardo a aplicar.
- Crear nuevos tipos de aplicación: se pueden crear nuevos tipos de aplicación y asociarles una topología de POPP. Este nuevo tipo será necesario declararlo y asociarlo en el código, como se ha visto con los tipos de aplicación por defecto.

Una vez se ha realizado alguna modificación de las indicadas anteriormente, en los ficheros ACDB será necesario cargar estos ficheros en el sistema del teléfono. Para ello, deben obtenerse permisos de superusuario, habilitar la escritura del sistema, y sustituir los ficheros ACDB existentes por los nuevos. Finalmente, para que se apliquen los cambios, es necesario reiniciar el dispositivo.

6.3 Análisis de la salida de las áreas del DSP a través del los programas QXDM y QCAT

En esta sección se explicará las posibilidades que ofrece el fabricante Qualcomm para depurar a nivel de ADSP y códec de audio. Ambas capas, al ser propietarias de Qualcomm, se encuentran muy protegidas. Por tanto, una forma sencilla de obtener información es mediante su *software*.

El programa QXDM nos permite obtener trazas de los diferentes flujos de información que pasan por ciertos puntos. Para poder hacer uso de este programa, el dispositivo tiene que estar conectado al ordenador mediante el programa QPST.

Este programa permite obtener trazas para muchas aplicaciones, para configurar que las que se quieren obtener son las trazas de audio es necesario en cuales puntos se pueden sacar. Se realiza una distinción entre las trazas obtenibles en una llamada, y las trazas obtenibles en el resto de casos de uso:

- Trazas en llamada: se pueden obtener en los puntos indicados posteriormente. El número hexadecimal es un identificador que será el que haya que configurar en el QXDM.
 - [0x1586]: trazas entre el área de AFE y el códec de audio.
 - [0x158A]: trazas a la entrada y salida del COPP en transmisión, y sólo a la salida en recepción.
 - [0x158B]: trazas a la entrada y salida del POPP.
 - [0x1804]: trazas entre el área de POPP y los Core Voice Drivers (CVD) en transmisión.
 - [0x1805]: trazas entre el área de POPP y los CVD en recepción.
 - [0x14D2]: trazas del Asynchronous Packet Router (APR) del ADSP.

- [0x14D0]: trazas del Multimode Voice Services (MVS) o Voice Services (VS).
- [0x7143]: trazas del MVS a la pila de protocolo del módem.
- [0x1009]: trazas del VS a la pila de protocolo del módem.
- [0x7144]: trazas de la pila de protocolo del módem al MVS.
- [0x100A]: trazas de la pila de protocolo del módem al VS.

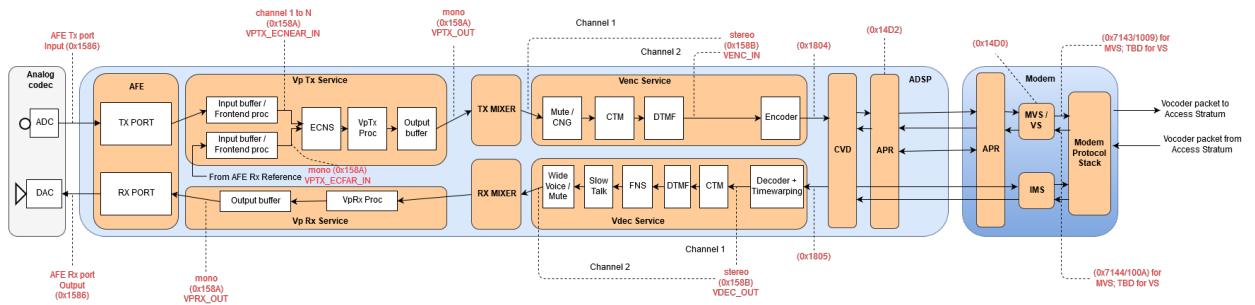


Figura 6.9: Puntos posibles donde obtener trazas en una llamada.

- Trazas en el resto del audio: se pueden obtener en los siguientes puntos:

- [0x1586]: trazas entre el área de AFE y el códec de audio.
- [0x1532]: trazas entre el área de AFE y el área COPP en transmisión.
- [0x1533]: trazas entre el área de COPP y la matriz de transmisión.
- [0x1531]: trazas entre la matriz de recepción y el área COPP.
- [0x1534]: trazas entre la matriz de transmisión y el área POPP.
- [0x1530]: trazas entre el área POPP y la matriz de recepción.
- [0x1535]: trazas entre el área POPP y el codificador de audio.
- [0x152F]: trazas entre el descodificador de audio y el área POPP.
- [0x1536]: trazas a la salida del codificador.
- [0x152E]: trazas a la entrada del descodificador.

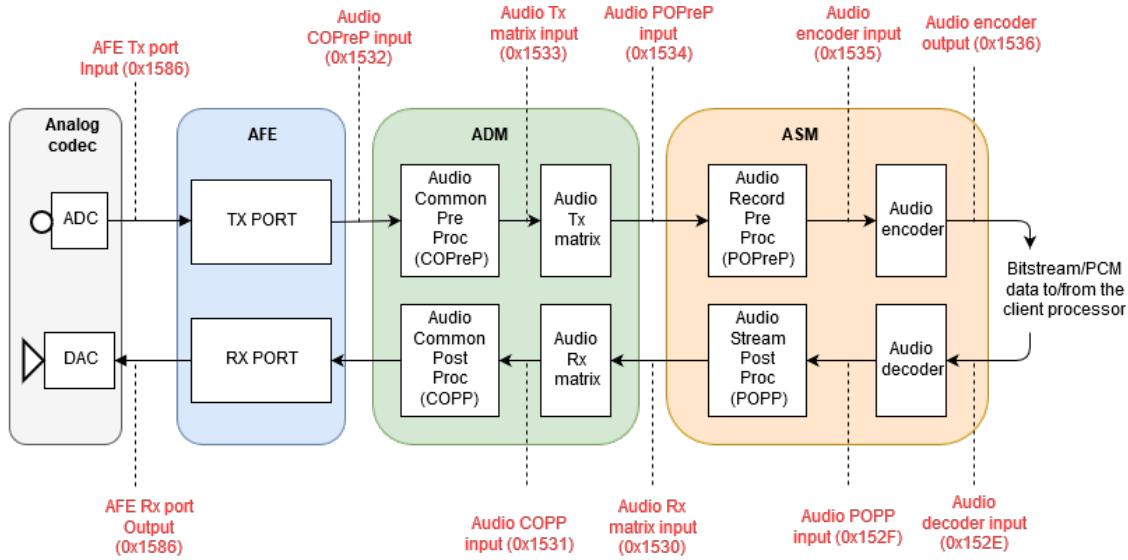


Figura 6.10: Puntos posibles donde obtener trazas para el resto de audio.

En función a estos puntos posibles, se deberá configurar en el programa QXDM una vista filtrada que proporcione las trazas en las que se está interesado. Una vez se tenga esta vista, se debe reproducir el caso de uso que se quiera capturar.

Una vez obtenidas las trazas, estas se encontrarán en un formato propietario de Qualcomm. Para poder interpretarlas será necesario utilizar el programa QCAT. Con este programa, se podrán obtener los flujos de audio, en formatos WAV o RAW, que se podrán analizar con cualquier programa de edición de audio. Se generarán al menos dos ficheros, uno por cada formato, por cada punto del que se han obtenido trazas. En los puntos comunes a transmisión y recepción, se diferenciará entre ambos caminos, creando dos ficheros distintos.

Además, este programa permite sustituir las trazas perdidas, rellenando en función del resto de trazas los huecos temporales que existan. De esta manera, se consigue una reconstrucción del audio completa en cada punto.

Como ya se ha comentado en la sección 3.2, el programa de edición de audio que se ha utilizado para el análisis de los ficheros de audio obtenidos ha sido Adobe Audition.

6.4 Diseño de nuevas rutas

En este apartado se aplicará lo explicado en las secciones 6.1, 6.2 y 6.3 para abordar algunos problemas que han surgido durante la realización de este proyecto y que tienen que ver con la configuración y asociación de rutas del ADSP.

6.4.1 Para la supresión de ruido en grabaciones

El problema es que las rutas del ADSP que se aplicaban en los casos de uso en que se iba a grabar un audio, ya sea con una aplicación de mensajería o con la propia aplicación de grabación del sistema, la supresión de ruido no estaba activa. Esto se debía a que, cuando lo estaba, tardaba en activarse unos segundos desde que se iniciaba la grabación. Por tanto, durante esos primeros segundos de grabación no se reducía el ruido ambiente, pero en el resto de grabación si que se reducía. Este efecto no era el deseado y por tanto se tenía desactivado el módulo encargado de ello.

Para solucionarlo se debe implementar una nueva topología que ya no tenga este problema. Esto se ha conseguido gracias al uso de una segunda versión del módulo de supresión de ruido el cual no produce dicho efecto, sino que permanece activo desde el principio.

Para identificar en cuales tipos de dispositivos habría que cambiar la topología aplicada, se ha observado el identificador del ACDB asociado cuando se graba un audio. Las condiciones evaluadas han sido:

- Al grabar un audio con la aplicación de mensajería Whatsapp: el identificador asociado es el número cuatro. Por tanto, en la lista de tipos de dispositivos existente en el ADSP, se busca el que tenga asociado el identificador número cuatro. En él, habrá que cambiar la topología asociada al tipo de aplicación por defecto de transmisión por la nueva topología creada.
- Al realizar una grabación mono con la aplicación Grabadora del sistema: el identificador asociado también es el número cuatro. Por tanto, el cambio anteriormente descrito es suficiente.
- Al realizar una grabación estéreo con la aplicación Grabadora del sistema: el identificador asociado es el número treinta y cuatro. De igual manera, se busca en la lista de dispositivos el que tenga asociado ese número. Se sustituye la topología asociada al tipo de aplicación por defecto de transmisión por una nueva topología. Esta topología ha de ser diferente, pues es grabación estéreo en lugar de mono, que es la que se había aplicado en los dos casos anteriores.
- Al realizar una grabación con cascos con cable que tengan micrófono incorporado: el identificador asociado es el número ocho. La topología que se pondrá será la misma que en los dos primeros casos, pues se trata de grabación mono.

Por tanto, ha sido necesario crear dos topologías, ambas añadidas al área de COPP. La nueva topología de grabación mono es la siguiente:

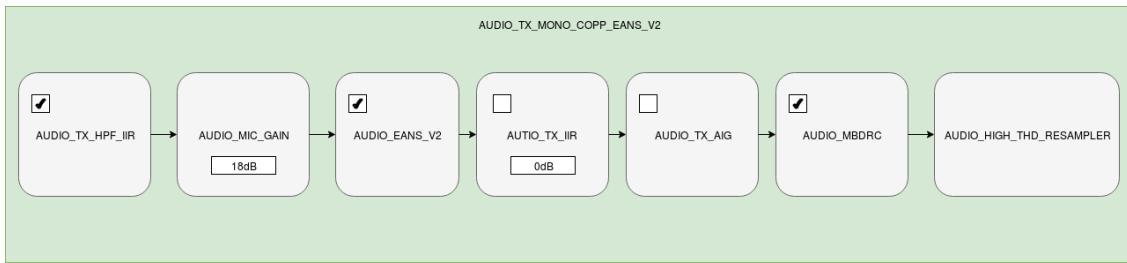


Figura 6.11: Nueva topología de grabación mono con supresión de ruido.

Se pueden observar como se aplica primero un filtrado paso alto. Posteriormente, se amplifica el sonido con una ganancia de 18dB. El siguiente módulo activo es la segunda versión del que suprime el ruido. El siguiente módulo activo es un compresor multibanda. Finalmente, se aplica un módulo que vuelve a muestrear a la salida del área.

La configuración de todos los módulos, a excepción del de supresión de ruido, se ha mantenido sin cambios con respecto a la antigua topología aplicada.

La nueva topología de grabación estéreo es muy similar a la anterior:

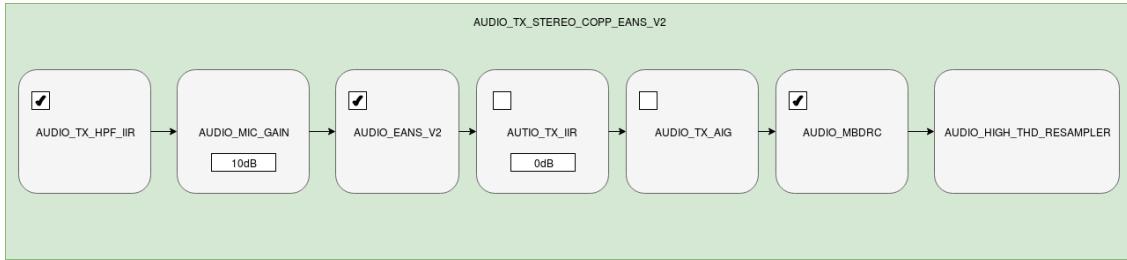


Figura 6.12: Nueva topología de grabación estéreo con supresión de ruido.

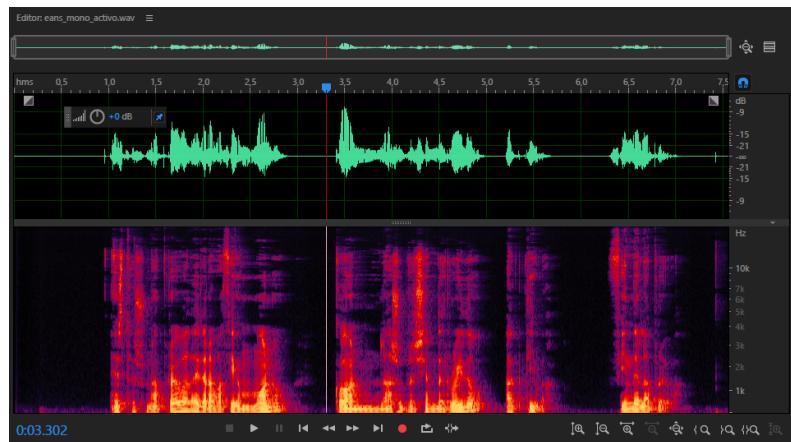
La principal diferencia la encontramos en el uso de dos canales en el tipo de dispositivo. Además, la ganancia aplicada es menor, 10dB, con el objetivo de no saturar el audio al grabarse desde dos micrófonos.

Tras realizar las modificaciones necesarias, se deben cambiar los ficheros ACDB del teléfono por los que tienen la nueva topología.

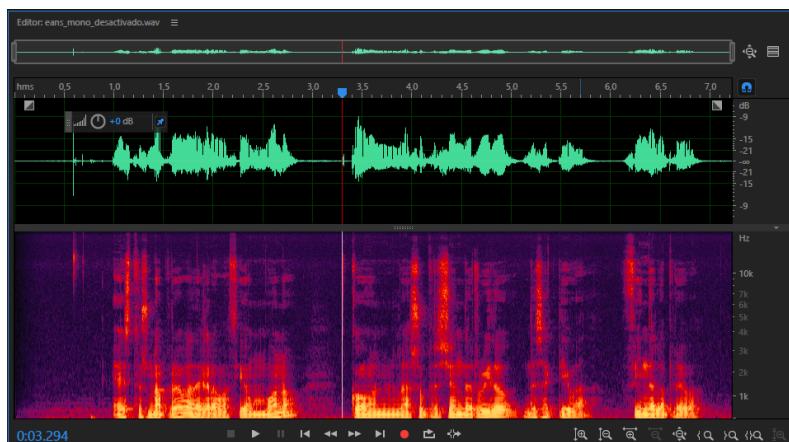
Una vez aplicados los cambios, se han realizado dos tipos de pruebas:

1. Comprobación de la topología aplicada: para todos los casos de uso, en los que se ha cambiado la topología aplicada, se comprueba, si conectando el dispositivo en tiempo real al programa QACT, se aplica la topología correspondiente en cada caso. Los resultados han sido todos satisfactorios, aplicándose las nuevas topologías en la grabación mono y estéreo tal y como se han configurado.

2. Mediante el programa Adobe Audition se comprueban los resultados de estas topologías: con la aplicación Grabadora realizamos una grabación mono antes de aplicar la nueva topología y después de aplicarla. Los resultados de ambos audios analizados con Audition son los siguientes:



(a) Con supresión de ruido activada.



(b) Con supresión de ruido desactivada.

Figura 6.13: Comparación de una grabación mono con y sin supresión de ruido.

Como se puede observar, cuando no se aplica la supresión de ruido, el ruido de fondo en todas las frecuencias es mucho más apreciable. Por tanto, se puede concluir que las nuevas topologías cumplen su función de manera satisfactoria.

6.4.2 Para el correcto funcionamiento de aplicaciones de llamadas VoIP

Las aplicaciones que utilizan llamadas VoIP suelen tener comportamientos erráticos. Teóricamente, cuando una llamada VoIP se establece, debería interpretarse como una llamada tradicional, al menos a nivel de ADSP, aplicando una topología de voz

que combine los caminos de recepción y transmisión. Esto nos permitiría utilizar módulos de procesado de la voz específicos para llamadas.

En la práctica esto puede no ocurrir en todas las aplicaciones debido a que el programador de la aplicación no realiza las peticiones necesarias, para interpretarse de ese modo. En varios casos se acaba interpretando como si se tratase de dos caminos separados y sin relación, uno que actúa como si grabase un audio y otro que lo hace como si estuviese en reproducción. Este comportamiento, aunque no es el ideal, es suficiente para que las llamadas se puedan mantener con un nivel y calidad de audio razonables.

El problema surge en dos aplicaciones de mensajería, Skype y Viber. Ambas sufren del problema comentado anteriormente. Como conseguir que se interpreten como llamadas no se puede forzar, sino que se debe realizar una petición por parte de la aplicación, se ha optado por la siguiente solución:

1. Crear nuevos tipos de dispositivos: se crean nuevos dispositivos en el ADSP que se configuran de igual modo a los dispositivos que se estaban aplicando para la reproducción y grabación de audio simultánea. Esto permite configurar las topologías del área COPP de ese dispositivo de manera que no afecten al resto de casos de uso. Si se mantuviesen los dispositivos aplicados anteriormente y se quisiesen configurar para las llamadas VoIP podría afectar este cambio a otros casos de uso. Se han creado un total de tres dispositivos:
 - Uno que se asociará a la reproducción por el auricular. Se le ha asociado el identificador 171.
 - Otro que se asociará a la reproducción por el altavoz, cuando la función manos libres esté activa. Se le ha asociado el identificador 172
 - Otro que se asociara a la grabación de audio cuando se esté reproduciendo por el auricular. Este dispositivo debe usar ambos micrófonos para la captación. Se le ha asociado el identificador 173.
 - Para el caso de la grabación de audio cuando se esté reproduciendo por el altavoz no será necesario crear un nuevo dispositivo, pues el que se aplica por defecto en las llamadas VoIP de Skype y Viber sólo se usa en ese caso. El identificador de este dispositivo es el 117.
2. Declarar nuevos SND.DEVICE: en el código se han declarado tres nuevos dispositivos, dos de salida y uno de entrada, a los que se asocian los identificadores anteriormente descritos. Además, hay que asociar una ruta *hardware*. En los dispositivos de recepción será la misma que tenían los anteriores dispositivos asociados, pero en el de transmisión se utilizará una que proporcione la grabación dual de los micros:

```
[SND_DEVICE_OUT_VOICE_HANDSET_EXTRA] = 171,
[SND_DEVICE_OUT_VOICE_SPEAKER_EXTRA] = 172, [SND_DEVICE_IN_VOICE_DMIC_EXTRA] = 173,
```

(a) Dispositivos de salida. (b) Dispositivo de entrada.


```
[SND_DEVICE_OUT_VOICE_HANDSET_EXTRA] = "voice-handset",
[SND_DEVICE_OUT_VOICE_SPEAKER_EXTRA] = "voice-speaker", [SND_DEVICE_IN_VOICE_DMIC_EXTRA] = "voice-dmic-ef",
```

(c) Dispositivos de salida. (d) Dispositivo de entrada.

Figura 6.14: Asociación de rutas del ADSP y del códec de audio para los nuevos dispositivos.

3. Seleccionar los nuevos SND_DEVICE: una vez declarados y asociados los nuevos dispositivos, se debe seleccionar cuando deben utilizarse. En los métodos platform_get_output_snd_device y platform_get_input_snd_device se sustituyen los dispositivos seleccionados anteriormente por la selección de los nuevos.
4. Para el caso de la reproducción por el altavoz en la función manos libres, se debe hacer uso del códec dedicado del altavoz, para ello en el fichero audio_hw.c indicamos que se rute por ahí:

```
platform_set_snd_device_backend(SND_DEVICE_OUT_VOICE_SPEAKER_EXTRA, "smpa", "QUIN_MI2S_RX");
```

Figura 6.15: Rutado del nuevo dispositivo de manos libres por el códec de audio propio del altavoz.

5. Hacer la HAL compatible a los nuevos dispositivos: se han añadido los nuevos dispositivos a las comparaciones en las que los anteriores dispositivos se incluían.
6. Compilar la HAL y sustituir las librerías generadas en el teléfono. Es necesario estar conectado como superusuario y hacer el sistema compatible a la escritura.
7. Sustituir los ficheros ACDB del teléfono por los que incluyen los nuevos dispositivos. Al reiniciar se tienen aplicados los cambios.

Para probar dichas implementaciones se ha realizado la misma prueba con ambas aplicaciones. Sobre un dispositivo A con la implementación realizada se ha realizado lo siguiente:

1. Conectado al dispositivo A mediante la herramienta ADB, desde un dispositivo B se ha realizado una llamada VoIP al dispositivo A. Al coger la llamada se comprueban los identificadores ACDB que se asocian en el dispositivo A, que son 171 y 173. Se pone el dispositivo A en modo manos libres y se vuelve a comprobar los identificadores, que son el 172 y el 117. Se vuelve a pasar al modo normal y se vuelven a comprobar los identificadores, que vuelven

a ser 171 y 173. Se finaliza la llamada. Los resultados han sido los esperados, aplicándose bien los identificadores que relacionan los dispositivos con las rutas del ADSP.

2. Con el dispositivo A conectado en tiempo real con el programa QACT, desde un dispositivo B se ha realizado otra llamada VoIP al dispositivo A. Al coger la llamada se comprueba si el camino aplicado tanto de recepción como de transmisión, en el dispositivo A, se corresponde con los identificadores ACDB. Se pone el dispositivo A en manos libres y se comprueba si los caminos aplicados se corresponden con los identificadores. Los resultados han sido los esperados, seleccionándose correctamente los caminos de recepción y transmisión que se han añadido nuevos en el ADSP.
3. Conectado al dispositivo A mediante la herramienta ADB, se realiza una llamada VoIP desde un dispositivo B al dispositivo A. Cuando se contesta se pone en modo manos libres y se comprueba mediante el comando tinymix la ganancia de ambos micrófonos. Esta ganancia, al estar utilizando ambos, debería estar puesta al mismo valor. Una captura de los valores durante la prueba se muestra a continuación:

```
# tinymix "ADC1 Volume"
ADC1 Volume: 4 (range 0->8)
# tinymix "ADC2 Volume"
ADC2 Volume: 4 (range 0->8)
# tinymix "ADC1 Volume"
ADC1 Volume: 6 (range 0->8)
# tinymix "ADC2 Volume"
ADC2 Volume: 4 (range 0->8)
```

Figura 6.16: Ganancia de los micrófonos en llamadas VoIP.

En la imagen anterior se puede comprobar como cuando el dispositivo A está en manos libres tienen el mismo valor, pero al cambiar al modo normal tiene un mayor valor el micro principal, que es el que está habilitado. El resultado, por tanto, es el esperado.

Capítulo 7

Conclusiones y futuro desarrollo

Antes de la realización de este TFG se había fijado como objetivo principal el diseño de nuevas estrategias de gestión del audio en los teléfonos móviles, que trabajan sobre el sistema operativo Android, sin limitarse a ninguna de las capas de dicho sistema operativo.

Para poder realizar dicho objetivo, se habían fijado distintos subobjetivos:

- Análisis del funcionamiento del audio en las distintas capas del sistema operativo: se han analizado las clasificaciones del audio en las capas superiores, JNI y *framework* nativo, tal y como se ha visto en la sección 4.1. Las capas intermedias, donde se realiza la implementación del volumen en Android, se han abordado en la sección 5.1. Las capas inferiores, la HAL y el *kernel*, se han analizado para comprender la forma en que se ruta el audio en Android, como se ha visto en la sección 6.1. Además, se ha analizado el rutado en el ADSP y las topologías aplicadas en los distintos casos de uso en las secciones 6.1.1 y 6.2.
- Detección de problemas o posibles mejoras en cada una de las capas: en el capítulo 4 se ha detectado que se interpreta de igual modo el tono de llamada de una llamada tradicional y de una VoIP. En el capítulo 5 se ha observado que los cambios que trae la versión de Android N, con respecto al audio, no estaban implementados. En el capítulo 6 se han observado problemas a la hora de aplicar procesados de supresión de ruido, también se han descubierto ciertas incompatibilidades en el funcionamiento de las llamadas VoIP.
- Implementación de las soluciones o mejoras: para diferenciar entre el tono de llamada de una llamada tradicional y una VoIP se ha implementado un nuevo modo de audio tal y como se describe en la sección 4.2.1. Se han habilitado las mejoras que trae Android N, con respecto a las curvas de volumen, requiriendo el ajuste de las nuevas curvas de volumen tal y como se tenía en Android M. Esta implementación se ha llevado a cabo en la sección 5.2. La implementación de una nueva topología de procesado en el ADSP, que resolviese los problemas del módulo de supresión de ruido, se ha realizado tal

y como se indica en la sección 6.4.1. Como última implementación, se han realizado nuevas rutas asociadas a las llamadas VoIP para solventar algunos de los problemas encontrados en su uso, esta implementación se explica en la sección 6.4.2.

- Realización de pruebas sobre las nuevas implementaciones: para cada una de las implementaciones anteriormente descritas se han realizado distintas pruebas. En la sección 4.2.2 se detallan los problemas obtenidos tras la implementación de un nuevo modo de audio. En la sección 5.2 no se ha observado ninguna incompatibilidad a la hora de aplicar la nueva implementación de curvas de volumen, manteniéndose, de cara al usuario, la misma funcionalidad. En la sección 6.4.1 se han realizado distintas pruebas del nivel de ruido en las grabaciones obtenidas con aplicaciones de mensajería y la aplicación nativa de grabación, comparando grabaciones realizadas cuando se tenía activa la nueva topología y cuando no lo estaba. En la sección 6.4.2 se han realizado llamadas VoIP con las aplicaciones que tenían ciertas incompatibilidades, además se ha comprobado el uso de la captación de audio estéreo en el caso de poner el dispositivo en manos libres durante la llamada.
- Conclusiones sobre los resultados obtenidos: como conclusión de la implementación de un nuevo modo de audio se obtiene que no es conveniente su realización, pues se estarán modificando las API sin advertir al desarrollador de aplicaciones. Con respecto a la nueva implementación de las curvas de volumen, permite modificaciones más rápidas, ya que no es necesario recompilar el código al cambiar los ficheros que ajustan las curvas. En cuanto a la nueva topología de supresión de ruido se han obtenido resultado muy satisfactorios, produciéndose una disminución considerable del ruido cuando se aplica. Por último, durante las llamadas VoIP la experiencia ha sido la esperada, con un nivel de volumen adecuado y una estabilidad de la llamada correcta. Además, la captación estéreo del audio durante una llamada se aplica únicamente cuando se está en el modo manos libres, como se pretendía.

Por tanto, se puede asegurar que se han cumplido todos los objetivo fijados tras la realización de este proyecto.

Como conclusiones generales se ha podido observar que las versiones del sistema operativo Android 6.0 y 7.1.1, que han sido con las que se ha trabajado, son versiones muy estables. Tal y como se ha visto en este proyecto, la mayoría de los problemas relacionados con el audio en Android provienen de ciertas incompatibilidades por parte del SoC a las peticiones del sistema, o por un uso incorrecto de las API por parte de los desarrolladores de aplicaciones.

Como desarrollo futuro, sería interesante estudiar más a fondo el problema de la latencia del audio en Android, aún demasiado alta y variable según para que caso de uso. Además, se está trabajando para encontrar la relación entre el fichero mixer.xml, que se encuentra en la HAL y se encarga de configurar las rutas del códec de audio, y la última capa del sistema, el *kernel* de Android, donde se realizan las escrituras en los registros de memoria necesarios.

Bibliografía

- [1] Ron Amadeo. The (updated) history of android. <https://arstechnica.com/gadgets/2016/10/building-android-a-40000-word-history-of-googles-mobile-os/>. Accedido: 2017-05-04.
- [2] Google. Jelly Bean 4.3. https://www.android.com/intl/en_us/versions/jelly-bean-4-3/. Accedido: 2017-05-04.
- [3] Google. KitKat 4.4. https://www.android.com/intl/en_us/versions/kitkat-4-4/. Accedido: 2017-05-04.
- [4] Google. Android 5.0, Lollipop. https://www.android.com/intl/en_us/versions/lollipop-5-0/. Accedido: 2017-05-04.
- [5] Google. Android 6.0, Marshmallow. https://www.android.com/intl/en_us/versions/marshmallow-6-0/. Accedido: 2017-05-04.
- [6] Google. Android 7.0 Nougat. https://www.android.com/intl/en_us/versions/nougat-7-0/. Accedido: 2017-05-04.
- [7] Android Developers. Dashboards. <https://developer.android.com/about/dashboards/index.html>. Accedido: 2017-05-04.
- [8] Android Source. Audio. <https://source.android.com/devices/audio/>. Accedido: 2016-12-15.
- [9] Android Developers. AudioManager API 25. <https://developer.android.com/reference/android/media/AudioManager.html>. Accedido: 2017-05-19.
- [10] Android Source. Configuring Audio Policies. <https://source.android.com/devices/audio/implement-policy>. Accedido: 2017-02-22.

Acrónimos

ACDB Audio Calibration Database. 32, 34, 37, 39, 42, 43, 46, 47

ADB Android Debug Bridge. 12, 28, 30, 36, 46, 47

ADSP Application Digital Signal Processing. vi, 8, 10, 11, 31–34, 36–39, 41, 42, 44–48

AFE Audio Front End. 37–40

ALSA Advanced Linux Sound Architecture. 8

API Application Programming Interface. 5–7, 14, 15, 19, 49

APR Asynchronous Packet Router. 39

BLE Bluetooth Low Energy. 4

COPP Common Object Post Processing. 37–40, 42, 45

CVD Core Voice Drivers. 39

dB decibelios. 23, 26, 27, 29, 30, 36, 43

FM Frecuencia Modulada. 35

GB Gigabytes. 1, 9

GPU Graphics Processor Unit. 4

GSM Global System for Mobile communications. 14, 16

HAL Hardware Abstraction Layer. 7, 8, 10, 31, 32, 34, 46, 48, 49

HDMI High-Definition Multimedia Interface. 22, 35, 38

JNI Java Native Interface. 7, 9, 17, 23, 48

mB milibelios. 29

MIDI Musical Instrument Digital Interface. 6, 22

MVS Multimode Voice Services. 40

NFC Near Field Communication. 4

OSS Open Sound System. 8

POPP Per Object Post Processing. 37–40

QACT Qualcomm Audio Calibration Tool. 10, 36, 43, 47

QCAT Qualcomm CDMA Analysis Toolkit. 11, 41

QPST Qualcomm Product Support Tool. 10, 11, 37, 39

QXDM Qualcomm Extensible Diagnostic Monitor. 11, 39, 41

SoC System on Chip. 5, 8–10, 49

TFG Trabajo de Fin de Grado. i, ii, 1, 2, 48

USB Universal Serial Bus. 12, 22, 36

VoIP Voice Over Internet Protocol. 4, 6, 14–16, 18, 44–49

VS Voice Services. 40

WiFi Wireless Fidelity. 22

WVGA Wide Video Graphics Array. 4