



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Realización de un Sistema de Gestión de  
Audio Digital para Espectáculos**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTA:**

**PEDRO FELIPE LA ROTTA SANTOS**



**DIRECTORA DE TESIS: DRA. FÁTIMA MOUMTADI**

**Ciudad Universitaria, México D.F.**

**Febrero de 2012**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## JURADO ASIGNADO

---

Dr. Francisco Javier García Ugalde, Presidente

Dra. Fátima Moumtadi, Vocal.

M.I. Juan Fernando Solorzano Palomares, Secretario.

Dr. Ignacio Flores Llamas, 1<sup>er</sup> Suplente.

Dr. Julio Cesar Tinoco Magaña, 2<sup>do</sup> Suplente.

## RESUMEN

---

En este trabajo se plantea modificar el actual esquema de conexión de una consola de gestión de audio para espectáculos, para poder transmitir la información de manera digital a través de una red de área local. Para esto es necesario que el micrófono sea el encargado de la conversión analógica digital y el programa de computadora que emule la consola de audio, con esto se aumenta la calidad el audio, se simplifica el sistema, se pierde menos potencia en el recorrido de las señales de audio y se elimina gran cantidad de cableado innecesario.

En el trabajo se reúnen los componentes básicos de la red para evitar saturación de información, se especifican los componentes y capacidades del micrófono para poder prestar los servicios necesitados y finalmente se realiza el programa encargado de emular a la consola de audio, diseñando la interfaz grafica y creando el código para que funcione el programa.

## AGRADECIMIENTOS

---

A la Universidad Nacional Autónoma de México que me brindo una formación académica de excelente calidad.

A mi familia, que estuvo a mi lado apoyando mi estudios y soportándome a mi.

A la maestra Fátima Moumtadi, por su valioso tiempo, sus consejos y alentarme a alcanzar mis metas.

## ÍNDICE GENERAL

---

<b>Jurado Asignado</b> .....	<b>2</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>3</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>4</b>
<b>Índice General</b> .....	<b>5</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>7</b>
<b>Objetivo</b> .....	<b>10</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>10</b>
<b>Definición del problema</b> .....	<b>10</b>
<b>Definición de la Solución:</b> .....	<b>11</b>
<b>Metodología</b> .....	<b>12</b>
<b>Capitulo I: Estado Actual de las Consolas de Audio</b> .....	<b>13</b>
<b>Capitulo II: Diseño de la Red para el Transporte de los datos</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1 ¿Por qué seleccionar una red de área local como base de nuestro sistema?</b> .....	<b>21</b>
2.1.1 Disponibilidad de los componentes .....	22
2.1.2 Expansión .....	22
2.1.3 Ancho de banda.....	23
2.1.4 Facilidades de interconexión y estudios previos .....	23
<b>2.2 Diseño de la red</b> .....	<b>25</b>
2.2.1 Estimación del ancho de banda necesario: .....	25
2.2.2 Elección de los componentes para la red: .....	27
<b>2.3 Capacidades y usos extra de la red</b> .....	<b>30</b>
<b>2.4 Manejo a distancia desde un equipo conectado a la misma red o a Internet</b> .....	<b>32</b>
<b>2.5 Conexión del sistema por medio de un punto de acceso inalámbrico</b> .....	<b>37</b>
<b>2.6 Simulación de la red conectada de forma alámbrica e inalámbrica</b> .....	<b>39</b>
<b>Capitulo III: Diseño del Micrófono</b> .....	<b>47</b>
<b>3.1 Características buscadas en el micrófono.</b> .....	<b>47</b>
<b>3.2 Componentes del Micrófono</b> .....	<b>49</b>
3.2.1 El convertidor analógico a digital (ADC) .....	49
3.2.2 El Micro controlador .....	55
3.2.3 El Controlador de Red .....	59
<b>3.3 Uso de “power over ethernet” (PoE) para la alimentación eléctrica a     distancia de los micrófonos.</b> .....	<b>62</b>

<b>Capitulo IV: Desarrollo del Programa Encargado de Emular la Consola</b>	
<b>Analógica .....</b>	<b>65</b>
<b>4.1 Componentes buscados en el programa .....</b>	<b>65</b>
<b>4.2 Creación de la ventana gráfica.....</b>	<b>68</b>
<b>4.3 Programación del Control de Volumen y Cambios desde la Interfaz Grafica:</b>	
.....	<b>72</b>
<b>4.4 Programación de la Mezcla de Canales y Ecualizador:.....</b>	<b>73</b>
4.4.1 Filtro Pasa Bajas.....	75
4.4.2 Filtro Pasa Banda .....	76
4.4.3 Filtro Paso Altas.....	78
4.4.4 Programación del Ecualizador .....	79
<b>4.5 Salida de Audio por las Bocinas.....</b>	<b>80</b>
<b>Resultados.....</b>	<b>82</b>
<b>Reducción de los Niveles de Ruido.....</b>	<b>82</b>
<b>Reducción de las Perdidas de Potencia.....</b>	<b>84</b>
<b>Sistema de Gestión de Audio .....</b>	<b>89</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>90</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>91</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

fig 1.	icrófono de Boudet, puede transmitir voz muy clara, sin alterar el tono y sin ruidos añadidos.....	M 10
fig 2.	onsola de mezcla RCA 76-B5 .....	C 10
fig 3.	onsola de mezcla y grabación Struder J37 4-track. ....	C 10
fig 4.	detalle del control de un canal de la consola Telefunken/Siemens 18-2 Custom. Obsérvese los bulbos al costado izquierdo de la imagen. ....	D 10
fig 5.	rimera consola de mezcla digital, la NEVE DSP1 .....	P 10
fig 6.	alculo correspondiente al ancho de banda necesario por canal.....	C 10
fig 7.	witch TL-SL1226, ideal para el sistema de 24 canales.....	S 10
fig 8.	witch TL-SL1351, ideal para el sistema de 48 canales.....	S 10
fig 9.	entajas de trabajar con un sistema de red de transporte de datos. ....	V 10
fig 10.	onfiguración del servidor VNC en la computadora donde se encuentra la consola.....	C 10
fig 11.	entana de inicio de VNC Viewer for Windows .....	V 10
fig 12.	onsola controlada desde una ubicación remota. ....	C 10
fig 13.	omponentes básicos del sistema inalámbrico. ....	C 10
fig 14.	isco Packet Tracer.....	C 10
fig 15.	onfiguración del switch .....	C 10
fig 16.	l switch configurado con los puertos requeridos.....	E 10
fig 17.	onexión de los diversos componentes al switch. ....	C 10
fig 18.	onexión de todos los componentes a simular del sistema. ....	C 10



fig 19.	.....	S
	elección de la cantidad de datos a enviar. ....	10
fig 20.	.....	R
	resultados obtenidos de la simulación.....	10
fig 21.	.....	C
	conexión a internet por medio de un modem ADSL. ....	10
fig 22.	.....	C
	configuración de la red y dispositivos para trabajar de forma inalámbrica. ....	10
fig 23.	.....	C
	configuración de seguridad del punto de acceso inalámbrico. ....	10
fig 24.	.....	C
	configuración de seguridad en los dispositivos. ....	10
fig 25.	.....	C
	correctas conexiones inalámbricas entre los componentes del sistema. ....	10
fig 26.	.....	C
	comprobación de la inviabilidad de conexiones inalámbricas sin el debido orden.....	10
fig 27.	.....	C
	componentes básicos buscados en el micrófono. ....	10
fig 28.	.....	C
	circuito encargado de adecuar la voz para el ADC. ....	10
fig 29.	.....	R
	realización y errores en el proceso de cuantización.....	10
fig 30.	.....	C
	chip ADC de Texas Instrument.....	10
fig 31.	.....	C
	componentes del micro controlador. ....	10
fig 32.	.....	P
	atigrama del controlador de red Realtek RTL8019AS.....	10
fig 33.	.....	E
	envío y recepción de la información y la corriente por el cable UTP. ....	10
fig 34.	.....	V
	ventana grafica para la programación en Xcode. ....	10
fig 35.	.....	P
	programa para la creación de la interfaz grafica del programa. ....	10
fig 36.	.....	E
	esquema de los componentes buscados en la interfaz. ....	10
fig 37.	.....	P
	primer boceto del programa que emula la consola.....	10
fig 38.	.....	R
	realización del logo en Illustrator. ....	10
fig 39.	.....	D
	diseño final de nuestra consola para cuatro canales. ....	10
fig 40.	.....	D
	descripción del método a utilizar.....	10

fig 41.	..... D
Diagrama del tratamiento de la señal.....	10
fig 42.	..... D
Diseño y respuesta en frecuencia del filtro paso bajas. ....	10
fig 43.	..... D
Diseño y respuesta en frecuencia del filtro pasa banda para frecuencias medias. ....	10
fig 44.	..... D
Diseño y respuesta en frecuencia del filtro pasa altas. ....	10
fig 45.	..... D
Diseño de la suma de diferencias para los diferentes filtros del proyecto .....	10
fig 46.	..... C
Componentes buscados a la salida del sistema. ....	10
fig 47.	..... D
Diagrama de conexiones de la bocina.....	10
fig 48.	..... C
Circuito equivalente a la conexión de la bocina.....	10
fig 49.	..... C
Comparación de pérdidas de los diferentes cables para bocinas.....	10
fig 50.	..... C
Comparación entre los cables de mayor cable para bocinas y el cable de red. ....	10

## OBJETIVO

---

Diseñar y realizar un sistema capaz de transmitir a través de una red de área local (LAN) las señales recibidas a través de micrófonos hasta una consola virtual central y procesarlas para su posterior reproducción a través de las bocinas del sistema de audio.

## INTRODUCCIÓN

---

### DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

---

En la actualidad, al momento de administrar los canales de audio en la realización de espectáculos musicales y conciertos, se utiliza una consola de audio, generalmente analógica, que controla de manera independiente cada uno de los canales de audio (uno por micrófono en escenario). Cada micrófono exige la existencia de un cable para su conexión a la consola, lo que genera problemas como la disminución de la potencia de la señal recibida debido a las pérdidas en la línea, la introducción de ruido y el gasto derivado del cableado mismo, ya que la consola está situada a 30 metros del escenario.

El proyecto plantea modificar el actual esquema de conexión, aumentando la ganancia en calidad, simplificando el sistema de audio y reduciendo los costos del sistema, a través de la eliminación de la gran cantidad de cable necesario para poder transportar todas las señales mediante la digitalización de la señal desde el micrófono y su envío utilizando una conexión de red Ethernet hacia la consola, a través de un switch al que se conectarán todos los micrófonos, la consola y las bocinas del sistema de audio; de esta manera sólo un cable viajaría de la consola al escenario.

Una segunda opción de realización de la solución considera una conexión inalámbrica, agregando al switch un punto de acceso inalámbrico (access point) y equipando al micrófono con una tarjeta de red inalámbrica.

Una segunda modificación al esquema actual de conexión lo constituye el uso de una consola virtual: una aplicación que permite manejar cada uno de los canales de audio emulando por completo las posibilidades de

ecualización y control del volumen que se tienen actualmente en equipo analógico. El software que se utilizará es una aplicación de distribución libre, lo que permite además eliminar el rubro de inversión en equipo. Una vez recibida la señal de cada canal en la consola, y después de su procesamiento, la señal será transmitida, nuevamente vía Ethernet, a las bocinas del sistema de audio.

El proyecto se limita a la aplicación de la solución en los límites de una red local, quedando como posible extensión del mismo el desarrollo de una aplicación que permitiera lograr el control de sistemas de audio remotos a partir de la manipulación de variables desde la interfaz de usuario de la aplicación mencionada.

---

### DEFINICIÓN DE LA SOLUCIÓN:

---

Al concentrar todos los servicios en la consola de mezcla de audio, que es actualmente donde se hace todo el trabajo de mezclado, se aumenta el costo, el peso y el precio, dejando a las consolas de buena calidad limitadas a los estudios de grabación.

La solución plantea la posibilidad de distribuir el elemento convertidor analógico a digital de la consola a cada micrófono, ganando con esto una consola mas ligera y la posibilidad de emularla por medio de una computadora.

El micrófono será el encargado de transferir los datos a un formato digital, el cual no pierde en ningún momento calidad, ya que envía la información por medio de una red de área local a la computadora y por esta misma red es enviada la información ya procesada a las bocinas de salida. Al manejar un micrófono inalámbrico que envíe la información por una red WiFi, tenemos las siguientes ventajas:

- Manejo de audio de forma inalámbrica y en formato digital.
- No se degrada el sonido en el envío a la consola.
- El enlace opera dentro de una banda de uso libre, cosa que nos libra de permisos y nos asegura un nivel bajo de ruido para evitar interferencias.
- Varios canales de audio por un mismo rango de frecuencias sin afectarse mutuamente.
- Disponibilidad de más bandas de frecuencias en caso de necesitar mas canales de audio.

Son estas características las que ayudan al sistema a ser mas eficiente que un sistema tradicional, también lo ayuda a bajar de precio, ya que los componentes para redes son mas baratos y fáciles de instalar y lo hace inmune a ruidos y perdidas de señal una vez digitalizada la voz.

La solución entonces es diseñar una red de área local que se encargue del transporte eficiente de los datos, el diseño de un micrófono que sea capaz de convertir la voz o el sonido de los instrumentos a formato digital y administre su envío por la red y finalmente, un programa en la computadora que sea capaz de emular la consola de audio física usada actualmente.

## METODOLOGÍA

---

Para la realización de la propuesta presentada, es necesario diseñar una interfaz que habrá de añadirse a los micrófonos analógicos, que permita digitalizar la señal recibida antes de enviarla a la consola; diseñar el sistema de red a utilizar; poner a punto el software de manipulación de canales (consola virtual) y realizar pruebas de la solución propuesta.

## CAPITULO I: ESTADO ACTUAL DE LAS CONSOLAS DE AUDIO

---

La necesidad de mezclar varios orígenes de audio se dio en el mismo momento que las grabaciones de audio se hicieron comerciales, dada la necesidad de controlar los niveles de sonido de determinadas fuentes.

Para poder conocer la historia del mezclado de audio, es necesario adentrarnos en la historia de las grabaciones de sonido como tal, iniciando con el siglo veinte, donde a principios del mismo, el hecho de escuchar la música era temporal y con la dificultad del viaje hasta su fuente, reduciendo el contacto de las personas con un mundo musical a unas cuantas oportunidades, dadas por celebraciones especiales (como fiestas civiles o eventos religiosos) o simplemente en eventos caros y reservados para las clases altas, como la opera y la música sinfónica.

Aunque los intentos por grabar y reproducir los sonidos datan del siglo XVII, no fue hasta finales del siglo XIX donde se pudo perfeccionar el dispositivo y ponerlo al alcance del publico. El fonógrafo cilíndrico fue el precursor del sonido grabado, siendo el primer dispositivo practico de grabación y reproducción de sonido.

Con el advenimiento de la grabación del audio, se dio el fenómeno de poder introducir el sonido a las casas, ahora no era el usuario el que iba a la fuente, era la fuente el que iba al usuario. Gracias a este radical cambio los sistemas de grabación y reproducción de música tuvieron un gran auge a principios del siglo pasado y dieron inicio a una gigantesca industria de música grabada.

Gracias a la llegada de nuevas técnicas de grabación, como fue el hecho de poder contar con discos, en lugar de cilindros, se fue mejorando paulatinamente la calidad del sonido, en parte por las mejoras técnicas hechas en los materiales necesarios para la reproducción del sonido, con estas mejoras llegaron los discos de laca (que después fuera sustituido por vinil) y agujas para la reproducción hechas con una gran gamma de materiales, como el acero, pequeñas espinas de madera y llegando a cristales, como el zafiro. Los discos tenían una vida útil determinada, la cual dependía del uso dado y de la técnica utilizada para su reproducción.

Sin consolas de mezcla, se producían ciertos efectos indeseados, debido a los pobres métodos de grabación, ya que solo se podía grabar de forma

acústica y directa, los problemas relacionados variaban, desde problemas con las respuestas en frecuencias de algunas bandas (las bandas medias pueden ser grabadas a diferencia de bandas bajas y altas, donde el sonido no es grabado); hasta algunos problemas con instrumentos no funcionales para esta tecnología, como es el caso del violín.

Una vez más existió una revolución en el género, cuando se introdujo al mercado la grabación del sonido por medio eléctrico, esto significaba que al inicio del proceso existía un dispositivo que cambiaba los impulsos mecánicos de la voz por una señal de voltaje (transductor), este dispositivo, llamado micrófono y la electrónica desarrollada hasta el momento permitió el uso de nuevos componentes en el proceso de grabación como la contraparte del micrófono, la bocina o parlante, una mesa de mezcla y componentes de amplificación de la señal.

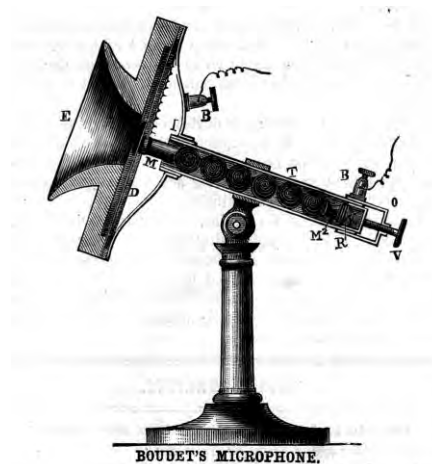


Figura 1. Micrófono de Boudet, puede transmitir voz muy clara, sin alterar el tono y sin ruidos añadidos.

La electrónica del momento permitía, por medio del "Audion" una tríodo basado en un tubo de vacío (bulbo), amplificar una señal eléctrica débil, este elemento también se aplicó para las líneas telefónicas de larga distancia y fue la base de los sistemas electrónicos de audio hasta la invención e implementación del transistor<sup>1</sup>.

Es en esta etapa, cuando las transmisiones de radio comercial comienzan, gracias a desarrollos coetáneos, como el receptor heterodino y su versión mejorada, el receptor superheterodino. Con los avances logrados ya era

---

<sup>1</sup> (Coleman 2003)

posible la transmisión de radio con una amplia zona de cobertura y una calidad de audio bastante buena de música y voz. También es aquí cuando comienza el desarrollo de las consolas de mezcla para audio en vivo, ya que son las estaciones de radio las primeras en tener dificultad con la mezcla de las voz en cabina de locutores y entradas de audio pre-grabadas con música.

La primera mezcladora y grabadora del mercado fue marca Ampex, empresa creada a finales de la segunda guerra mundial con la finalidad de venderle a la milicia motores pequeños y generadores. Al acabar la guerra, la empresa se entera de una maquina grabadora en cinta magnética alemana, la Magnetophon. Después de ver la demostración de la maquina, la directiva de la empresa tomo la decisión de cambiar el rumbo y dedicarse a la grabación en cinta, diseñando y manufacturando grabadores en cinta con calidad profesional. Al poco tiempo la empresa se da cuenta de la necesidad de agregar un mezclador de sonido a sus productos y así logra colocarse en poco tiempo como empresa líder en grabación en cinta dentro del mercado de televisión, radio, industrias de grabación e inclusive dentro de la milicia, para la cual trabajaba en un inicio<sup>2</sup>.

A finales de los años 50's, aparecieron mezcladoras pequeñas para radio estaciones, estas "pequeñas" mezcladoras tenían capacidad para manejar hasta ocho canales independientes, en este caso no se contaban con elementos para manipular la señal, consistía solamente en controles de volumen independientes para cada canal. Dentro de estas consolas encontramos la RCA 76-B5, la cual fue usada ampliamente por radio estaciones.

---

<sup>2</sup> (Ampex Corporation 2011)





Figura 2. Consola de mezcla RCA 76-B5.

Posteriormente, ya hacia los años 60's del siglo pasado, comenzaron a aparecer maquinas de cinta con varias pistas, estas maquinas se limitaban a variar los niveles de cada pista para hacer la mezcla, estas mezcladores generalmente eran de cuatro u ocho pistas. El fabricante suizo "Struder" se encargaba de hacer equipos de audio profesional desde 1948, fabricando equipos con configuraciones de 4, 8 y 16 pistas, siendo en 1964 cuando salió al mercado la consola de mezcla "Struder J37 4-track tape recorder", la cual fue considerada como el máximo ejemplo en calidad y fue elegida por Los Beatles para grabar su álbum Sgt. Pepper en 1967<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> (Harman Inc. 2011)



Figura 3. Consola de mezcla y grabación Struder J37 4-track.

El proceso de mezclado se realizaba con cintas magnéticas, es decir, se efectuaba una grabación, la cual se almacenaba en una cinta magnética que posteriormente era leída y mezclada con otras cintas, de esta manera se puede decir que el mezclado era parte de post producción.

Las últimas consolas cuyo funcionamiento se basa en bulbos ya incluían controles para adecuar la señal y contrarrestar efectos de respuesta en frecuencia no planas, es decir, estas ya incluían un pequeño ecualizador, así como paneles desmontables independientes por cada canal, lo que facilitaba su mantenimiento y remplazo de piezas, estas consolas ya incluían componentes para poder mezclar en vivo y ser utilizadas para espectáculos. Dentro de esta categoría tenemos la consola de mezcla fabricada por Telefunken y Siemens, con referencia 18 – 2 custom, la cual tenía la capacidad de mezclar hasta 16 canales sin necesidad de recurrir a cintas magnéticas.

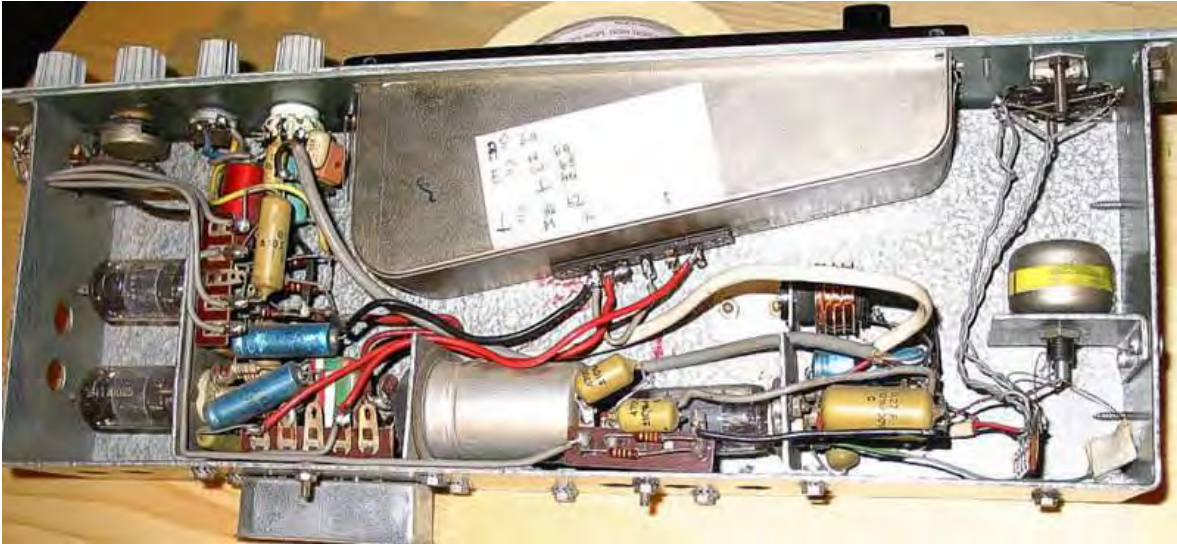


Figura 4. Detalle del control de un canal de la consola Telefunken/Siemens 18-2 Custom. Obsérvese los bulbos al costado izquierdo de la imagen.

El desarrollo de consolas mezcladoras se disparó vertiginosamente desde el desarrollo del transistor, ya que la electrónica sufrió un avance gigantesco con este componente y las consolas de audio integraron todos los elementos tecnológicos disponibles para aumentar el número de canales y la fidelidad del sonido. De esta manera para los años 70's salieron consolas capaces de manejar hasta 32 canales de audio de forma independiente, así como con varios buses internos para poder manejar varias sumas de señales.

La electrónica de estado sólido permitió tener consolas de mezclado más pequeñas, y fue este el momento en donde las consolas salieron de los estudios de grabación y estaciones de audio para poder ofrecer servicios en conciertos y espectáculos.

El siguiente gran paso de las consolas de audio, fue el procesamiento digital de la señal, con los avances de la electrónica y procesadores cada vez más rápidos, fue cuestión de tiempo para que apareciera un procesador digital de señales al precio necesario para que el producto tenga un éxito comercial y con el poder de procesamiento necesario para hacer el trabajo de mezcla y ecualización de canales. De esta manera, en el año de 1982 salió al mercado la primera consola de audio digital, la Neve DSP1. Esta consola fue descrita como la primera consola multipropósito, ya que gracias al estar programada en base a un DSP, se puede cambiar la configuración y reprogramarla para que preste diferentes servicios, como la grabación de música proveniente de varios

canales, como para la post producción o simplemente para la transmisión en vivo de la señal<sup>4</sup>.

El concepto desarrollado para esta consola fue el de crear una gran zona de procesamiento, la cual se puede configurar como sea requerido por el usuario, de esta manera el procesamiento de las señales (que incluyen los ecualizadores) es realizada bajo una arquitectura de 24 bits y el software encargado de la mezcla utiliza 32 bits, de tal manera que el rango dinámico del sistema se estima en unos 132dB. Este valor esta muy por encima del rango dinámico manejado por una consola de audio analógica. Además de estas características, el usuario podía elegir entre cuatro configuraciones diferentes, dependiendo de la aplicación en donde se deseaba trabajar, con tan solo cambiar un disquete<sup>5</sup>.



Figura 5. Primera consola de mezcla digital, la NEVE DSP1.

Un nuevo problema apareció con la llegada de las consolas digitales, dado el tiempo que toma muestrear y cuantizar la señal, procesarla, sumarla y por ultimo convertirla a una señal analógica de nuevo, se introdujo un tiempo de retardo inexistente en las consolas analógicas. Este

---

<sup>4</sup> (IBS: *The Organisation for Sound Professionals* 2010)

<sup>5</sup> (Neve Electronics International 1983)

tiempo de retardo puede oscilar entre 1.5 y 10 ms, dependiendo de la consola en cuestión y de las funciones que estén activadas, es decir, un canal ecualizado es mas lento que un canal sin ecualizar. Este efecto es casi imperceptible para el publico o para la salida por parlantes, pero es un poco molesto cuando se utiliza como retroalimentación para el artista.

Aunque la NEVE DSP1 no tuvo tanto éxito debido al alto precio que tenia y a su falta de flexibilidad operacional, además de la competencia por parte de consolas analógicas diseñadas para áreas específicas del mercado; sin duda marco una nueva dirección para las consolas de audio, ya que introdujo calidad e incluyo el manejo por computadora para las consolas.

Las consolas para los estudios siguieron evolucionando, mezclándose cada vez mas con las computadoras, de esta manera se introdujeron avances computacionales como la grabación en disco duro dentro de la computadora para su posterior exportación a casete y finalmente a mediados de los 90's, la computadora Apple PowerMac introdujo la suficiente potencia de procesamiento para la grabación de audio profesional en el hardware de una computadora común.

Actualmente las consolas profesionales de sonido para estudios son todas digitales, siendo el corazón de la mayoría un DSP, estas consolas tienen un precio bastante elevado, siendo en promedio 8 000 dólares por una consola de 16 canales. Es por este motivo y por el gran tamaño de estas consolas, que no se utilizan para eventos, ya que es complicado su transporte a diferentes lugares. Las características de las consolas de audio profesionales actuales son<sup>6</sup>:

- Tamaño de muestra de 24 bits
- 16, 32 o 48 entradas para micrófonos (mono)
- 4, 6 u 8 entradas de línea (estéreo)
- Sobre muestreo en todas las entradas
- Incluyen entradas USB (control y reproducción) y Ethernet (solo control)

Es importante tomar en cuenta estos datos a la hora de hacer una consola de audio que se quiera vender para su aplicación en un mercado amplio, ya que es la competencia contra la cual se va a trabajar.

---

<sup>6</sup> (Yamaha Pro Audio 2011)

Por el motivo del precio y del tamaño, estas consolas están excluidas de los eventos en vivo (excepto para sitios fijos), donde el sonido se maneja por medio de consolas pequeñas, las cuales carecen de un procesamiento digital de la información. Esto significa que se agrega ruido al canal y el sonido pierde fidelidad en el proceso de mezclado.

De manera semejante al avance causado por la Apple PowerMac a la hora de grabar el 100% de la pista con formato digital en los estudios de sonido, puede llegar a ser un gran avance el contar con un sistema de sonido que incluya las características positivas de las consolas de grabación profesionales, agregando un bajo precio y una gran portabilidad como es el caso de las consolas utilizadas actualmente para espectáculos en vivo con sistemas analógicos.

Esto se puede lograr por medio de la computadora, ya que incluye las entradas y poder de procesamiento de las consolas profesionales, solo hace falta diseñar componentes externos como el micrófono, que se encargue de la conversión de analógico a digital de la señal y finalmente todos los componentes se pueden unir por medio de una red de área local.

## CAPITULO II: DISEÑO DE LA RED PARA EL TRANSPORTE DE LOS DATOS

---

### 2.1 ¿POR QUÉ SELECCIONAR UNA RED DE ÁREA LOCAL COMO BASE DE NUESTRO SISTEMA?

---

Aunque al inicio las redes de área local solo se utilizaban para interconectar computadoras, las aplicaciones que se le ha dado a esta tecnología ha logrado aumentar de manera significativa la cantidad de dispositivos que es posible conectar, de esta manera tenemos dispositivos como cámaras, celulares, televisores y para nuestro caso de aplicación, utilizamos micrófonos y parlantes conectados a la red para la transmisión de sonido.

La elección de trabajar bajo una red se da principalmente por la posibilidad de expansión, el ancho de banda disponible, la disponibilidad y precio de los componentes y por las facilidades de interconexión y estudios realizados sobre estas redes.

---

### 2.1.1 DISPONIBILIDAD DE LOS COMPONENTES

---

Debido al gran auge que ha tenido la utilización de redes dentro de las oficinas, casas y escuelas, es posible encontrar tanto el cable (UTP cat 5) como los conectores requeridos, que en este caso son los conectores llamados como RJ-45, en sitios de electrónica y comercios de partes eléctricas.

También es importante mencionar, que el proceso de ensamble de las terminales del cable (ponchado), es mas fácil de hacer en un cable de red que en un cable de audio actual. La diferencia radica que para terminar el cable de red solo es necesario introducir los cables en el orden estipulado por la norma TIA/EIA-568-B.1-2001, la cual en su apartado T568B nos indica el orden a seguir en la colocación de los alambres del par trenzado que compone el cable. Para poder terminar el cable de sonido, actualmente es necesario pelar los cables, introducirlos en el conector, soldarlos adentro del conector y por ultimo sellar la entrada del conector, proceso que es mas difícil y tedioso que simplemente "ponchar" as terminales al cable de red.

---

### 2.1.2 EXPANSIÓN

---

Para poder agregar dispositivos a una red de área local, bajo el esquema que se quiere trabajar, basta con conectar un dispositivo a el switch mas cercano, con esto se garantiza la correcta inclusión del dispositivo a la red. La única precaución necesaria es no exceder la longitud máxima del cable, la cual es de 100 metros, si se excede esa cantidad, es probable que haya problemas en la transmisión de los datos.

De la misma forma, para agregar mayor cobertura a la red, o para poder agregar otro switch y de esta manera conectar mas dispositivos; solo basta con conectar un cable de red entre los dos switches, para este caso es necesario utilizar un cable con un orden distinto de los cables en la punta, en este caso se conoce como un cable cruzado o cross-over, donde el orden de los alambres en una punta cumple con el orden especificados en el apartado T568A y la otra punta cumple con el apartado T568B de la norma TIA/EIA-568-B.1-2001.

Aunque parece que la red, bajo este esquema, puede crecer infinitamente, es necesario ver la velocidad disponible de los enlaces, ya que la información que circula por el enlace va creciendo de acuerdo a el numero de micrófonos conectados en cada switch. También es importante la tabla de direcciones del switch, ya que si se llena nos da problemas a la hora de enviar la información.

---

### 2.1.3 ANCHO DE BANDA

---

Si queremos transportar varios canales de información, es necesario tener el ancho de banda para poder transportarlos al mismo tiempo, esta necesidad se vuelve mas apremiante a la hora transmitir la información sin codificar, ya que la información se manda sin comprimir, de esta manera tenemos que por cada canal de voz, muestreado a 96KHz y 24 bits (para mas información acerca de la selección de no codificación y la velocidad de muestreo, ver la sección del desarrollo del micrófono), se generan 2.27Mbps, la información de esta manera se reúne en el switch y de ahí se envía a la consola central, de esta manera tenemos que un enlace Fast Ethernet, el cual maneja 100Mbps, puede trasportar hasta 41 canales de audio.

---

### 2.1.4 FACILIDADES DE INTERCONEXIÓN Y ESTUDIOS PREVIOS

---

Al escoger un sistema basado en una red con protocolos IP, nos permite conocer datos validos de estudios y resultados anteriores en cuanto a telefonía IP concierne, que se asemeja bastante a nuestro sistema, de esta manera podemos manejar ciertos parámetros e información ya manejada para la telefonía, como podrá ser tiempos de retraso máximos, tamaño de los paquetes y mas adelante, ventajas a la hora de codificar la información.

Al contar con una red basada en IP, tenemos la posibilidad de interconectarla con la Internet sin ningún cambio de equipos ni trabajo extra, ya que las dos redes manejan los mismos protocolos, el único cambio sería la adición de un router si se quiere compartir la conexión con toda la red.



De esta manera también podemos manejar el sistema sobre redes ya existentes sin cambiar los componentes de estas.

---

## 2.2 DISEÑO DE LA RED

---

Para diseñar la red es importante tomar a consideración el número de señales que se quieren transmitir, ya que de eso depende la infraestructura necesaria para la red.

El número de conexiones a soportar también es limitante del sistema, ya que el switch solo soporta determinado número de conexiones, es decir, tiene un número limitado de puertos a los cuales conectar los micrófonos.

Una limitación importante es el ancho de banda que necesitamos, ya que al agregar servicios y más dispositivos (micrófonos o bocinas) aumenta la cantidad de bits a transmitir, de este modo se puede llegar a saturar el canal de información, este problema se presenta en la conexión del switch con la consola, ya que es en este punto donde la información se concentra y ocupa un ancho de banda mayor.

A la hora de tomar una decisión para el diseño de la red, se opta por un ancho de banda muy grande para la consola central, ya que esto la posibilidad de expandir el sistema aumentando el número de unidades conectadas, como micrófonos y bocinas, o dar la posibilidad de agregar nuevos servicios, como video sobre IP o tener una conexión a internet para el acceso remoto o bajar información.

---

### 2.2.1 ESTIMACIÓN DEL ANCHO DE BANDA NECESARIO:

---

Para poder asegurar que todos estos servicios pueden ser dados de manera simultánea, sin que uno afecte el comportamiento del otro, es necesario hacer el cálculo de la información que se va a manejar, más un estimado de los servicios agregados que se pueden incluir.

Cada canal de audio se va a transmitir sin codificar (como se vera más adelante esto se hace para mejorar el desempeño de la consola) de tal forma que va a necesitar un ancho de banda grande. La señal del audio se muestrea con una frecuencia de 96 KHz y cada muestra se representa con 24 bits de información, de esta manera se tiene un ancho de banda calculado de 2 304 000 bits por segundo. A este valor falta agregarle la cabecera IP, de tal forma que la tasa real es más alta.

La cabecera IP se compone de 192 bits, así que esta información se le tiene que poner a cada paquete, lo que supone elevar la tasa de transmisión de cada canal. Para nuestro caso empaquetamos varias muestras a la vez, para no tener que enviar 96000 paquetes por segundo (en este caso sería mayor la información enviada por las cabeceras, que la propia información de audio); de esta manera agrupamos las muestras en grupos de 256 por cada paquete, así tenemos que:

- 24 bits por muestra.
- 256 muestras por paquete IP ( $24 \text{ bits} \times 256 = 6144 \text{ bits}$  o 768 bytes)
- Las muestras agrupadas más el encabezado IP ( $6144 \text{ bits} + 192 \text{ bits} = 6336 \text{ bits}$ )
- Ahora se le agrega el encabezado para Ethernet ( $6336 \text{ bits} + 18 \text{ bits} = 6354 \text{ bits}$ )
- Agrupando en secciones de 256, las 96000 muestras ocupan 375 paquetes
- Con estos datos obtenemos la velocidad real ( $6354 \text{ bits} \times 375 = 2382750 \text{ bits}$ ).



Figura 6. Cálculo correspondiente al ancho de banda necesario por canal.

La tasa real de transmisión queda finalmente en 2 382 750 bits por segundo.

Se escoge una agrupación de 256 muestras por paquete, por la limitación que es impuesta por la máxima unidad de transferencia (MTU por sus siglas en inglés), ya que limita el tamaño de un paquete IP que va a ser transportado por Ethernet a un tamaño máximo de 1518 bytes, si excede este tamaño será fragmentado después. De esta manera ganamos control sobre el sistema al asegurar que las 256 muestras continuas van a llegar en un solo paquete. Con la fragmentación escogida nos da paquetes de 792 bytes.

Otra limitante es dada por el tiempo de voz que se puede transmitir en cada paquete, ya que para el envío de voz sobre IP, lo recomendable es

que un máximo de 120ms de voz sea enviado por cada paquete IP<sup>7</sup>, en este caso, se envían 2.66ms.

---

### 2.2.2 ELECCIÓN DE LOS COMPONENTES PARA LA RED:

---

Ya que conocemos el ancho de banda necesario por canal, procedemos a calcular el número de canales de audio que soporta una conexión de red bajo el estándar Ethernet 100baseTx.

Sabemos que esta conexión nos ofrece un canal full dúplex con un ancho de banda de 100 Mbps<sup>8</sup>, de esta manera establecemos que por un solo canal podemos transportar hasta 41 canales de audio en cada sentido.

El problema es cuando necesitamos mas de esos 41 canales o agregamos servicios extra como video o acceso a internet, los cuales nos consumen un ancho de banda mayor, que tiene que ser compartido con los 41 canales.

Como uno de los objetivos del proyecto es dejar una red a la cual se le pueden aplicar mas servicios, así como una futura expansión en el sistema del sonido, el cual puede contener mas de 41 canales de audio, se tomo la decisión de entablar la comunicación entre el switch y la consola de audio por medio de un enlace Gigabit Ethernet (1000baseT), el cual puede manejar una tasa de datos 10 veces mayor que el estándar anterior, de esta manera tenemos una capacidad para manejar 418 canales de audio o hacer una combinación entre audio, internet y video, sin riesgo de saturar el enlace entre el la consola central y el switch.

Al revisar los requerimientos vemos que necesitamos un switch con un numero aproximado de 24 canales (para los sistemas chicos) y de 48 o mas para los sistemas grandes, el numero de conexiones dependen de los requerimientos del lugar de operación. En ambos casos es necesario que se cuente con un enlace que trabaje bajo el estándar Gigabit Ethernet para asegurar el ancho de banda suficiente con la consola central. La velocidad de los otros puertos no es limitante, ya que se manejan puertos con Fast Ethernet (100 Mbps) en los switch actuales.

Con base a estos requerimientos encontramos los siguientes productos que se ajustan a las necesidades del sistema:

*Para el sistema de 24 canales:*

---

<sup>7</sup> (Hersent, Petit, & Gurle, 2005)

<sup>8</sup> (IEEE 802.3, 2008)

El switch de la marca TP-LINK, con numero de referencia TL-SL1226 nos da a posibilidad de tener hasta 24 conexiones a una velocidad de 100 Mbps y dos puertos con una velocidad de 1000 Mbps<sup>9</sup>, de esta manera nos aseguramos de tener el amplio canal de datos para conectar la consola y nos da la posibilidad de conectar una extensión al sistema por medio del otro puerto Gigabit Ethernet disponible.

El precio del switch es de aproximadamente 64 dólares<sup>10</sup>.



Figura 7. Switch TL-SL1226, ideal para el sistema de 24 canales.

*Para el sistema de 48 canales:*

Para el sistema de 48 puertos, tenemos un switch de la misma marca, pero con referencia TL-SL1351, el cual tiene la capacidad para las 48 conexiones y además tres puertos para conexiones con estándar Gigabit Ethernet, estos puertos van a ser útiles a la hora de extender la red, ya que nos da la posibilidad de conectar mas switches, así como conectar un servidor de video sin sacrificar el ancho de banda disponible para la consola de sonido. Este modelo también nos da la posibilidad de trabajar con un enlace de fibra óptica, ya que viene con un puerto SFP incluido, esto nos da la ventaja de poder ubicar la consola mas lejos del switch<sup>3</sup>.

El precio de este modelo oscila por los 145 dólares<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup> (TP - LINK, 2010)

<sup>10</sup> (Wifi Stock, 2011)



Figura 8. Switch TL-SL1351, ideal para el sistema de 48 canales

Para poder hacer el cableado, es necesario contar con cable UTP cat 5, esto se debe a la elección de velocidades a trabajar, ya que la norma estipula que para la conexión 100BaseTx es necesario contar con este tipo de cable. La categoría del cable también puede ser mejor, es decir una categoría 6, pero en este caso es innecesario invertir en un producto mas caro para obtener el mismo resultado.

Para el enlace a la consola, la cual tiene una velocidad mayor y no utiliza el estándar mencionado antes, también se puede utilizar el mismo cable, ya que el estándar 1000BaseT, el cual es utilizado por el enlace de mayor velocidad, también admite la transmisión por este tipo de cable.

El precio de este componente es bajo, llegando a encontrar bobinas con 305 metros a 700 pesos, con lo que obtenemos un costo aproximado de 2.3 pesos por metro.

Los conectores que usaremos son conectores RJ-45, estos conectores no tienen nada en especial y se pueden llegar a conseguir a un costo 100 conectores por 100 pesos, por lo que sale a dos pesos pochar los dos extremos del cable.

## 2.3 CAPACIDADES Y USOS EXTRA DE LA RED

---

Al basar el sistema en una red de área local y al trabajar bajo los estándares de Ethernet, no solo brindamos la oportunidad de manejar la información del sonido, si no que también le damos plataforma a todos los demás servicios que manejan protocolos IP y trabajan sobre redes Ethernet, de esta manera brindamos una plataforma para cámaras de video, transporte de datos y acceso a internet, todo a través de una sola infraestructura.



Figura 9. Ventajas de trabajar con un sistema de red de transporte de datos.

Para poder trabajar con video, es importante tener en cuenta el ancho de banda que es requerido, en este caso es necesario codificar la información para obtener un ancho mas aceptable; actualmente el estándar en la industria es el códec H.264, el cual nos permite codificar video y poder transmitirlo a bajas tasas de transmisión<sup>11</sup>, aun así el ancho

---

<sup>11</sup> (Hersent, Petit, & Gurle, 2005)

de banda es grande al ser comparado con otras aplicaciones, como la voz.

Para poder transmitir video de alta definición, es decir, hablamos de la resolución conocida como fullHD (1920x1080), es necesario contar con un ancho de banda de 10 Mbps; para un canal con una resolución menor, en este caso la resolución va a ser VGA, el cual es el estándar en muchas cámaras, el ancho de banda se reduce a 2Mbps.

Es muy probable que si se quiere manejar video, se piense en la utilización de una computadora dedicada a este, ya que el manejo del mismo es mas pesado y consume mas recursos, haciendo lenta a la computadora que maneja el audio. De todas maneras es importante recalcar que si se puede utilizar una sola computadora para las dos cosas.

Una ventaja del sistema es que se puede configurar de muchas maneras, es decir, si se quiere manejar varios canales de video de alta definición, se puede dejar reservado el puerto 1000baseT para la computadora que maneja el video, de esta manera se le asegura el mayor ancho de banda al video y tener la consola de sonido conectada a un puerto 100BaseTX, aunque en este caso existe la limitante de manejar solamente 41 canales de audio.

Para conectar la red a Internet no se presenta problema alguno por dos motivos, el primero son las bajas velocidades de transmisión provistas por los ISP actualmente, lo cual limita la velocidad de datos que se transmiten por la red, de esta manera solo representa la perdida de un canal de audio hacia la consola, y la segunda es que el sistema esta basado en un estándar compatible con las técnicas necesarias para poder compartir una conexión a internet dentro de una red de área local.

Lo único necesario en este caso, es conectar el router a un puerto libre del switch, de esta manera queda conectada toda la red a internet y haciendo posible el monitoreo o envío de información al exterior, dando la posibilidad de transmitir el concierto en vivo.

Al basar el sistema en un sistema de red, también nos brinda la oportunidad de utilizar componentes instalados anteriormente, así como dejar la instalación hecha para ser usada después como parte de una red de datos de una oficina, casa o el salón donde se va a hacer el evento.



## 2.4 MANEJO A DISTANCIA DESDE UN EQUIPO CONECTADO A LA MISMA RED O A INTERNET

---

En la actualidad se presentan varios inconvenientes con la movilidad del sistema, es decir, una vez que la consola esta instalada en un sitio, es imposible mover los controles o hacer algún cambio desde otro punto, como el escenario o el lugar donde esta el publico. Esto supone el problema de necesitar de dos personas o mas a la hora de calibrar los dispositivos.

Debido a los micrófonos, las bocinas, el sistema en general y el lugar del evento, es imposible tener una respuesta en frecuencia plana, es por esa razón que se requiere de calibrar los dispositivos antes del espectáculo, en este proceso una persona prueba el micrófono, y decide que cambios hacer a la ecualización del canal, también se procede de la misma manera para cambiar el volumen.

De esta manera es necesario que alguien este permanentemente en la consola, para realizar los cambios necesarios a la hora de alterar volumen y ecualización, lo que queremos es que esta persona se pueda mover, de tal forma que pueda ir a arreglar problemas sin tener que descuidar la consola.

La solución del problema es crear la forma para que el encargado del sistema, pueda modificar los valores de audio desde un dispositivo remoto, ya sea otra computadora o un dispositivo móvil.

Para esto existen dos maneras de hacerlo, la primera consiste en instalar un servidor VNC en la consola, el cual nos permite ver la interfaz grafica desde otro dispositivo y nos permite transmitir de vuelta los eventos del ratón y el teclado, de esta manera nos permite un control completo de la computadora a distancia. La segunda manera es mediante el diseño de una interfaz grafica que nos permita cambiar los parámetros del programa, de esta manera solo se envían los cambios realizados a los parámetros del sistema, es decir, solo se envía la información variante en cuanto a volumen de los canales, ecualización y propiedades respecto a la salida. Esta solución es la ideal para los dispositivos móviles como celulares o tablets.

En ambos casos toda la información de los canales de audio es procesada en la consola y desde afuera solo se cambian los parámetros del

programa, sin llegar a conocer los datos de audio o realizar procesamiento alguno.

Para el manejo remoto del sistema, es necesario una conexión a la red, tener el servidor VCN instalado en la consola y una versión cliente del sistema instalado en la computadora que se va a utilizar como control remoto. Para la conexión a la red se puede conectar la computadora con la que se va a manejar a un puerto libre en el switch que esta ubicado en el escenario, con eso es suficiente.

La computadora que se utiliza para el control remoto no tiene que ser nada especial, de hecho al no procesar las señales nos sobra con una netbook, ya que solo la utilizamos para conectarnos al servidor VNC de la consola de audio y mover los parámetros manualmente.

En la practica nos puede servir cualquier programa que sirva para VNC, de hecho al ser un protocolo abierto puede ser una pareja distinta de cliente servidor.

Si programamos la consola para ser usada en un entorno de Linux, además de proveer un sistema operativo confiable y gratis, este ya viene integrado con un servidor VNC, en el caso de programarla para Mac OSX, también se incluye el servidor VNC; de esta forma que solo seria cuestión de activarlo tanto en Linux como en Mac Os.

Para activarlo el Mac OS es necesario ir a preferencias del sistema y en la opción de compartir, habilitar el uso de compartir pantalla, esto solo da acceso limitado, para el manejo total a distancia es necesario activar la casilla de gestión remota y permitir la conexión por medio de VNC.



Figura 10. Configuración del servidor VNC en la computadora donde se encuentra la consola.

Lo que resta es encontrar un cliente VNC para la computadora que funge como control remoto (en este caso lo manejaremos desde una computadora con Windows). Hay algunos programas que salen con licencia freeware para que sea utilizado por quien quiera sin la necesidad de pagar derechos al creador, cualquier programa de estos es suficiente para terminar el control remoto. En este caso utilizamos el software "Real VNC Viewer Free Edition 4.1 for Windows", el cual es un programa totalmente gratis y nos permite tener acceso remoto a nuestra computadora desde la misma red o desde internet.



Figura 11. Ventana de inicio de VNC Viewer for Windows.

En este punto se tiene que introducir la dirección IP de la computadora donde esta el servidor, la cual vamos a manejar a distancia y se da click en OK, si tiene clave la computadora a la cual nos queremos conectar, nos la solicita en una ventana próxima y hecho esto se procede a entablar la conexión con la computadora a manejar:

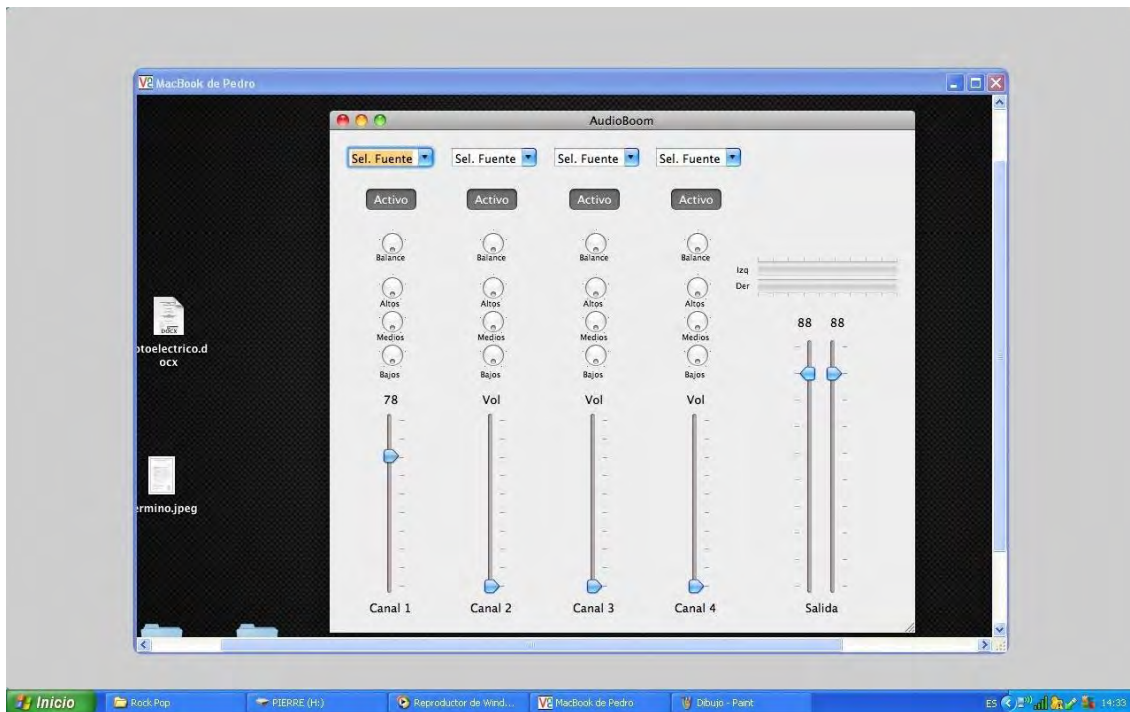


Figura 12. Consola controlada desde una ubicación remota.

El problema se complica al querer manejar el sistema desde un Tablet o un teléfono inteligente, ya que el limitado tamaño de la pantalla y la falta de teclado y ratón. Hace que sea necesario el diseño y la implementación de

una estrategia distinta a la de un VNC (aunque también es posible el uso de esta herramienta).

Para solucionar el problema se propone la elaboración de una aplicación que se comunique directamente con el programa encargado de simular la consola, de esta manera solo se alteran los valores propios de cada canal, sin la necesidad de enviar o recibir mas información que el estado actual del control (por ejemplo, la variable que maneja el control de volumen tiene el valor 6) y después de realizar el cambio en el dispositivo móvil, se envía de regreso el nuevo valor, para que sea sustituido dentro del programa (mismo ejemplo, ahora la variable tiene el valor 9).

Con esta solución evitamos el envío extra de información, como seria la interfaz grafica del programa que emula la consola, y solo enviamos la información que realmente importa.

Para la conexión de dispositivos móviles, se empraría una conexión inalámbrica, la cual se va a dar por un punto de acceso y se trabajara en el próximo sub capitulo.

Al tener la posibilidad de conectar todo el sistema a internet, nos da la opción de poder manejar el sistema a distancia, es decir: un operador que no se encuentra en el sitio puede modificar los parámetros de sonido. El fin de esta característica es dar mas flexibilidad a la hora de controlar el sistema y poder recibir tutorías o recomendaciones desde el exterior de la red; aunque en la practica es mucho mejor que el operador se encuentre presente, ya que debe de supervisar el sonido que sale de las bocinas y con ello determinar los cambios a realizar en el sistema.

Para poder conectase a la consola desde una ubicación remota es necesario contar con conexión a internet, ya sea que solo la computadora tenga la conexión, o que toda la red tenga la conexión, en ambos casos se deberá conocer la dirección IP dada por el ISP.

Si la conexión es exclusiva para la computadora con la consola, solo se debe colocar la dirección IP que tiene en el cliente VNC y ya se accede desde la otra computadora.

Si la conexión de internet se comparte con la red, es importante configurar el router, para que de la dirección publica a la computadora central o abrir los puertos para asegurar el paso de información hacia la consola.

## 2.5 CONEXIÓN DEL SISTEMA POR MEDIO DE UN PUNTO DE ACCESO INALÁMBRICO

---

Agregar compatibilidad con estándares de redes inalámbricas a nuestro sistema, nos va a ayudar a la hora del control por medio de un dispositivo móvil y para conectar micrófonos y otros dispositivos de forma inalámbrica, es decir, para poder eliminar los cables de los dispositivos conectados al sistema.

Ahora necesitamos decidir que sistema vamos a utilizar, por facilidad de dispositivos y por precio de los componentes, preferimos manejar el estándar publicado por la IEEE 802.11g, donde se establece una velocidad de transmisión de 54 Mbps para el canal inalámbrico<sup>12</sup>, de esta forma obtenemos un número máximo de 22 canales de audio sin compresión.

Si se requiere conectar un número superior de canales, es necesario utilizar la versión más reciente del estándar, el 802.11n, la cual nos eleva la velocidad de la red hasta 260 Mbps<sup>13</sup>, dando lugar a 109 canales de audio, el mayor inconveniente en este caso, es el elevado costo que tienen los componentes necesarios para manejar este estándar.

Para poder implementar esta técnica de acceso al sistema lo único necesario es agregar un punto de acceso inalámbrico al sistema, este se coloca en el switch y se configura para que tenga una seguridad WEP (es compatible con la mayoría de dispositivos) o WPA2 (ofrece una mayor seguridad). La configuración necesaria es bastante sencilla, ya que la mayoría de estos sistemas, tienen una interfaz gráfica para ser configurada por el usuario.

---

<sup>12</sup> (IEEE, 2003)

<sup>13</sup> (IEEE, 2009)



Figura 13. Componentes básicos del sistema inalámbrico.

Mediante la combinación de los tres sistemas, se puede lograr que el sistema funcione y este libre de cables en su operación.

El cambio mas grande es en el diseño de los micrófonos, ya que estos tiene que incluir ahora una tarjeta de red inalámbrica y una antena, la cual se puede diseñar para estar dentro del micrófono. También elimina la posibilidad de alimentar al micrófono por medio del cable Ethernet (PoE), estos puntos se ven con mas detalle en el diseño del micrófono.

## 2.6 SIMULACIÓN DE LA RED CONECTADA DE FORMA ALÁMBRICA E INALÁMBRICA

---

Para simular el comportamiento de la red, tanto de forma alámbrica como inalámbrica, vamos a utilizar el programa creado por Cisco, llamado Cisco Packet Tracer, el cual fue creado para la enseñanza de configuraciones en equipos Cisco.



Figura 14. Cisco Packet Tracer.

Primero iniciamos con el switch, que va a ser el encargado de juntar todas las señales y enviarlas a la consola, en este caso podemos adecuar el switch a nuestras necesidades, de esta manera agregamos solo los puertos que usaremos para la simulación:



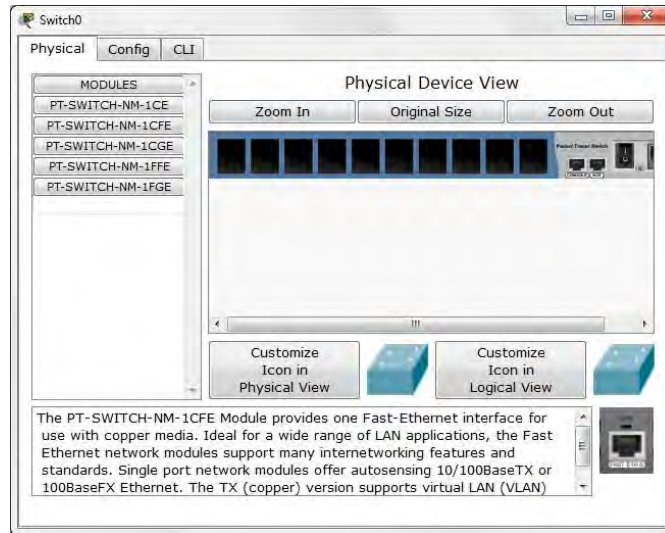


Figura 15. Configuración del switch

El programa nos da la posibilidad de incluir puertos de diferentes velocidades, por lo que agregamos un puerto Gigabit Ethernet para la conexión con la consola y los nueve restantes con puertos Fast Ethernet, para conectarle dispositivos como micrófonos y bocinas.

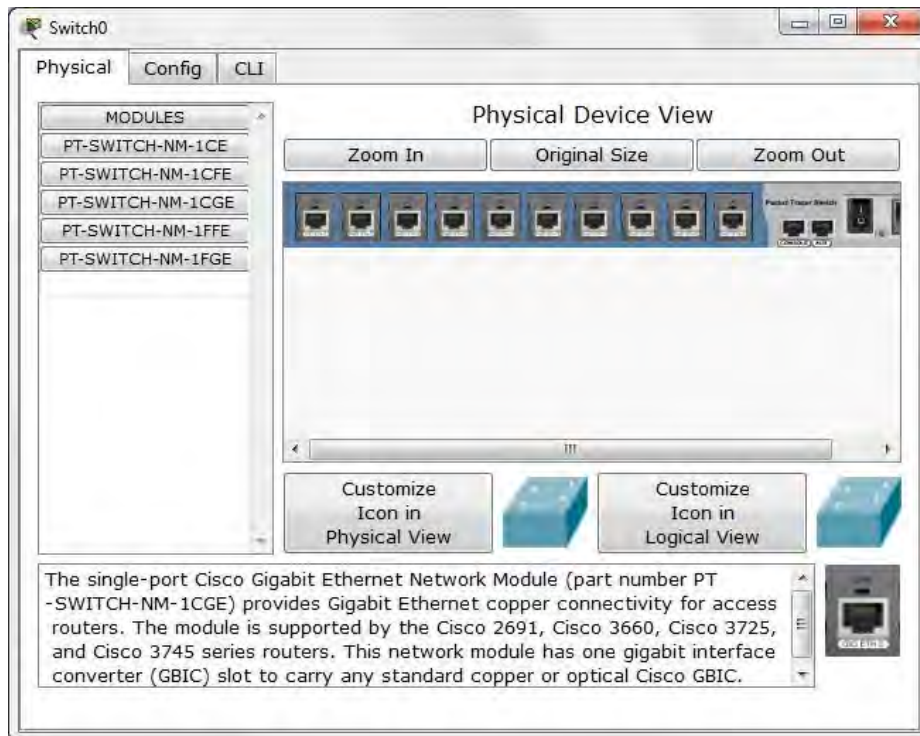


Figura 16. El switch configurado con los puertos requeridos.

Una vez hecho esto procedemos a conectar los diferentes dispositivos (micrófonos y bocinas) y probamos que exista comunicación entre ellos, con la herramienta ping:



Figura 17. Conexión de los diversos componentes al switch.

Una vez que revisamos la existencia de comunicación entre los dispositivos, podemos proceder a aumentar el numero de canales y colocar las bocinas para tener flujo de datos en las dos direcciones, así como poner una mayor saturación de datos, para poder ver si existe perdidas de datos por un ancho de banda insuficiente. Para el estudio del sistema se colocó una estación de control, desde donde se tomaron las mediciones.

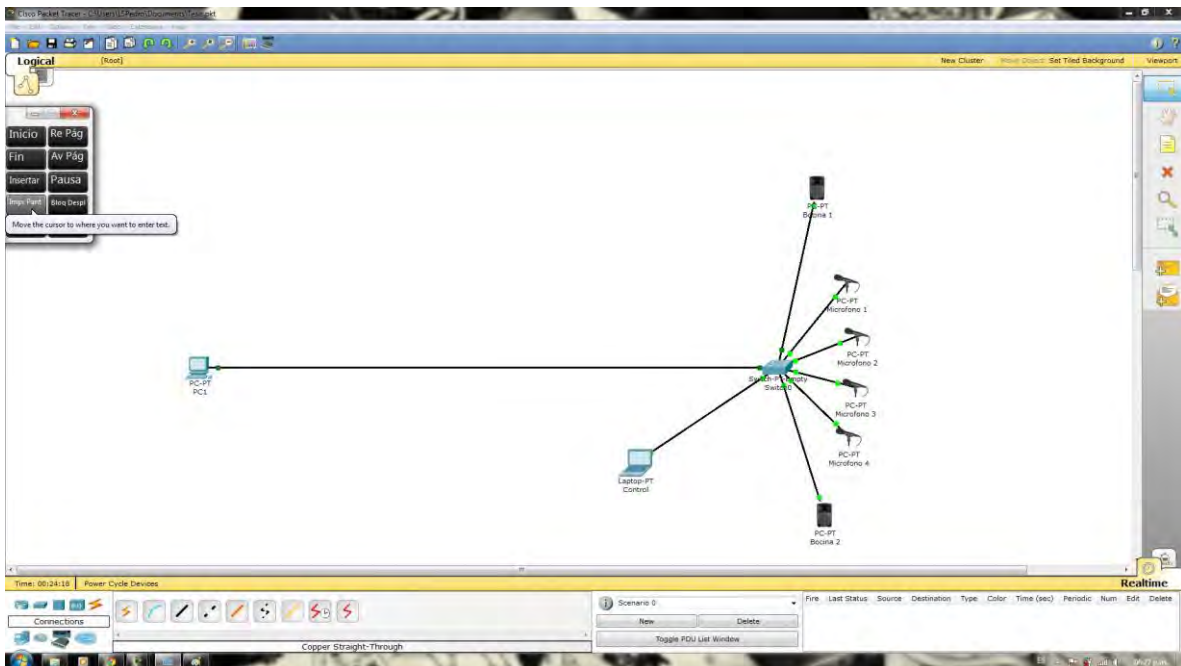


Figura 18. Conexión de todos los componentes a simular del sistema.

En este caso, la velocidad de datos se calcula por el número de bits enviados por el número de iteraciones por segundo, en este caso, elegimos el tamaño de paquetes máximo (15 000) e iteraciones cada 0.1 segundos:

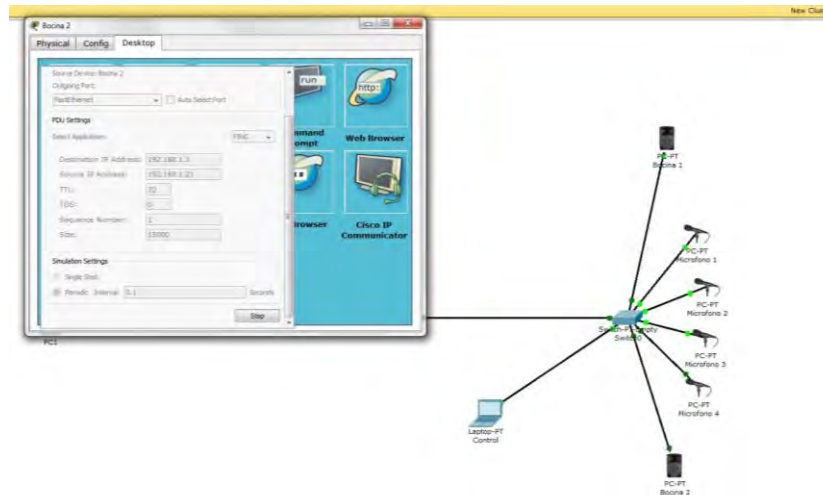


Figura 19. Selección de la cantidad de datos a enviar.

De esta manera obtuvimos un flujo de datos de 15 Mb, la cual excede la tasa esperada y nos da la posibilidad de simular el sistema en condiciones mas pesadas que las normales de operación. Utilizamos la herramienta "ping" ya que queríamos obtener los datos del tiempo que toma para el paquete llegar al servidor y el número de paquetes perdidos durante la simulación, de esta manera llegamos a los siguientes datos:

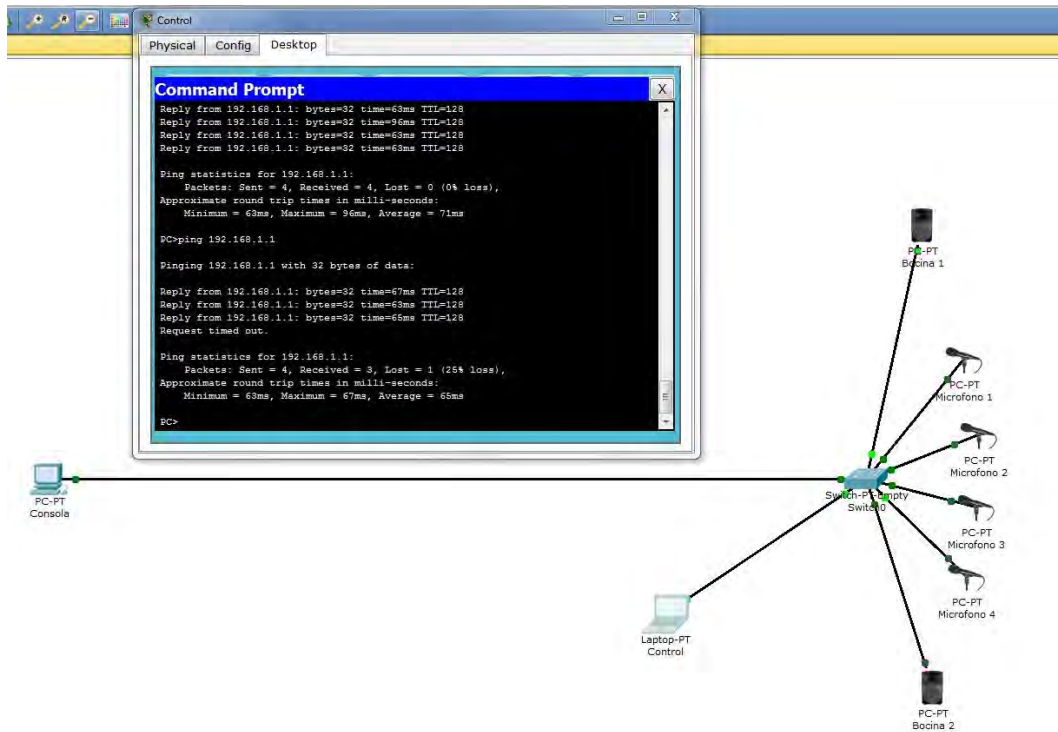


Figura 20. Resultados obtenidos de la simulación.

El tiempo promedio de los paquetes en llegar a la consola de sonido y en regresar una confirmación de llegada al equipo que lo envió, es de 68.57 ms, este es el tiempo de retraso de la voz causado por la red, desde el micrófono hasta salir por las bocinas. Este es un tiempo aceptable, ya que el retraso máximo aceptable es de 150 ms<sup>14</sup>.

Lamentablemente existe pérdida de paquetes, en este caso se perdió un paquete de cada ocho, lo que nos da un promedio de pérdida de 12.5%, esto es preocupante, ya que se puede llegar a escuchar cortada la voz. En realidad no se da explicación de por que ocurre la pérdida, pero es probable que se deba a que la consola no puede soportar tantas peticiones de ping o por saturación de la conexión con la consola.

También simulamos la opción de conectar la red a internet por medio de un modem DSL, de esta manera tenemos la posibilidad de trabajar en la consola remotamente y acceder a contenidos de “nubes” o servidores externos desde la consola de sonido:

<sup>14</sup> (Hersent, Petit, & Gurle, 2005)

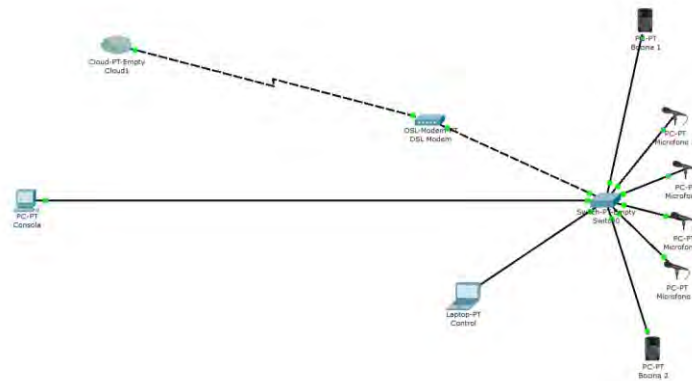


Figura 21. Conexión a internet por medio de un modem ADSL.

En este caso se requiere un proveedor de servicio de internet externo, la conexión de la línea telefónica hasta el modem y un cable UTP para conectar el modem con el switch. En este caso es necesario conectar el switch y el modem con un cable crossover, bajo esta modalidad la conexión solo puede ser usada por la computadora que funciona como consola; para poder compartir la conexión dentro de la red es necesario un router, que se encargue de realizar la conversión de direcciones internas a una dirección IP externa (NAT).

Además de esto tenemos la opción de conectar los dispositivos de forma inalámbrica, esto se logra con poner un punto de acceso inalámbrico en el sistema y adecuar a los micrófonos y a las bocinas con adaptadores de red inalámbricos, para esto se cambia la tarjeta de red de los dispositivos por una tarjeta con conectividad inalámbrica:



Figura 22. Configuración de la red y dispositivos para trabajar de forma inalámbrica.

Para evitar intrusos en nuestra red, que puedan saturar o interferir con el sistema, es necesario proteger la red con una clave de acceso y un cifrado de datos; en este caso elegimos una clave WPA2 – PSK cuya clave de acceso es “seguridad” y los datos tienen un cifrado AES. El SSID de la red es “audio”.

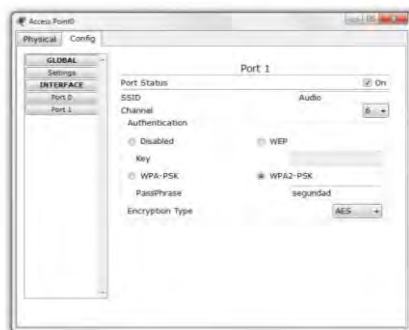


Figura 23. Configuración de seguridad del punto de acceso inalámbrico.

La información del SSID y la clave para su acceso necesita ser introducida en todos los dispositivos que vamos a manejar, ya que solo así puede ser posible la conexión:



Figura 24. Configuración de seguridad en los dispositivos.

Una vez configurados los dispositivos la conexión se establece automáticamente y procedemos a comprobar que existe visibilidad entre ellos, por medio de la herramienta ping:

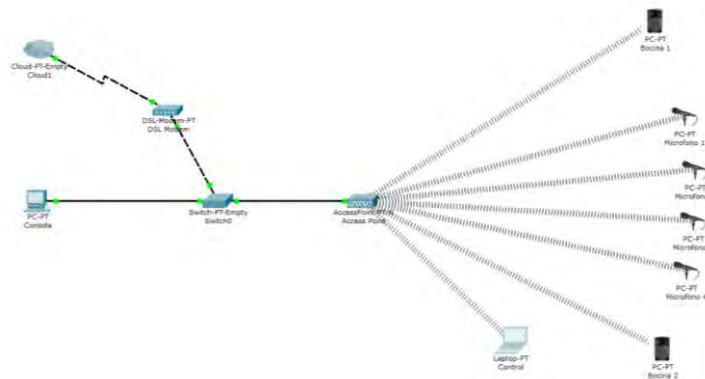


Figura 25. Correctas conexiones inalámbricas entre los componentes del sistema.

Al comprobar que si existe, procedemos a ver el numero de paquetes perdidos al estar utilizando el sistema a su máxima capacidad, nótese que la máxima capacidad del sistema es mayor que el ancho de banda de cada canal, por lo que resulta en la saturación del punto de acceso con solo un canal de audio:

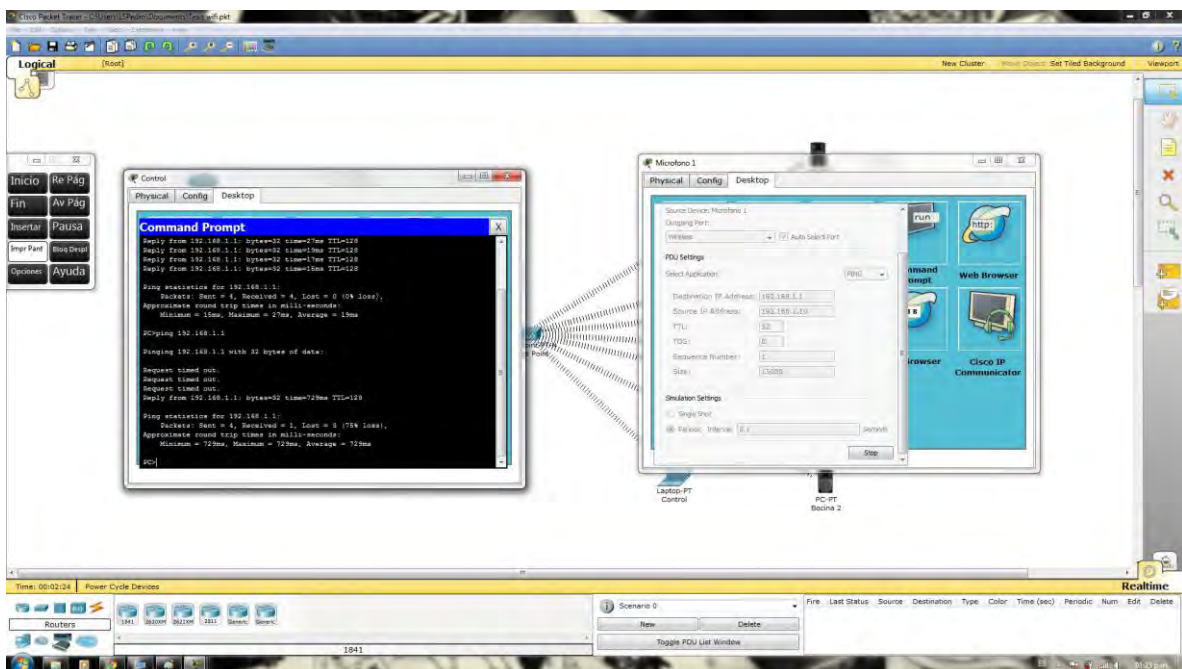


Figura 26. Comprobación de la inviabilidad de conexiones inalámbricas sin el debido orden.

## CAPITULO III: DISEÑO DEL MICRÓFONO

### 3.1 CARACTERÍSTICAS BUSCADAS EN EL MICRÓFONO.

El problema radica en la necesidad de tener un micrófono que pueda enviar la información de manera digital por medio de una red de área local y la inexistencia en el mercado de un micrófono que comparta estas características.

La meta es diseñar un micrófono que pueda capturar los sonidos con calidad, que pueda muestrear y cuantizar el sonido, que guarde la información de 256 muestras para ser empaquetadas y finalmente que pueda enviar la información por medio de un cable de Ethernet a una dirección IP destino fija, la cual sería la dirección de la computadora donde se ubica el emulador de la consola de audio.

En el diseño del micrófono se va a dar solo un pequeño esbozo de los componentes que se piensan incluir y como estos trabajarán. Para poder hacer que el micrófono cumpla con su función se requieren solo cuatro cosas, un adaptador de red, un micro controlador el cual se va a encargar de las operaciones de memoria y hacer los paquetes para ser enviados a través de la red, un convertor analógico a digital y por último un micrófono de entrada.

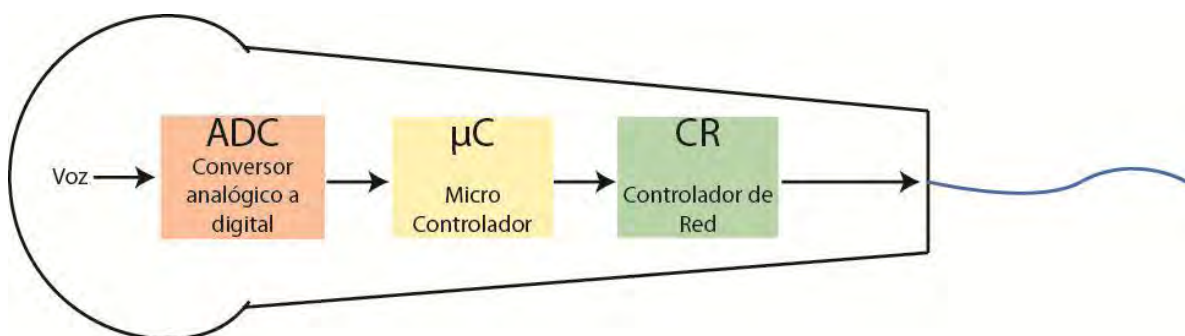


Figura 27. Componentes básicos buscados en el micrófono.

Dependiendo de la configuración final que tome el dispositivo, puede incluir dos o más partes en una sola, es decir, el micro controlador puede tener incluido el controlador de red o el convertor analógico a digital (o ambos). Para el diseño que vamos a hacer, acotaremos el tema a expresar los componentes básicos de forma independiente y explicaremos



por qué los utilizamos. No vamos a trabajar en la programación del micro controlador o de los componentes.

El micrófono se va a alimentar mediante el mismo cable de Ethernet, esto con el sistema llamado "Power over Ethernet" (PoE), para esto necesitamos un divisor de señal a la entrada del cable de red, de tal manera que los cables que transportan la corriente para el funcionamiento del micrófono sean desviados y sirvan como fuente de alimentación.

A la hora de diseñar un micrófono de capacidades inalámbricas, cambiaremos el controlador de Ethernet, por un adaptador de red inalámbrico y la alimentación se cambia a una pila incluida en algún lugar de la carcasa del micrófono.

## 3.2 COMPONENTES DEL MICRÓFONO

---

### 3.2.1 EL CONVERTIDOR ANALÓGICO A DIGITAL (ADC)

---

Este es un elemento clave en todos los sistemas digitales, ya que es el encargado de convertir la señal analógica a una señal digital, es decir, a una señal conformada por unos y ceros.

El proceso realizado por este convertidor es muy sencillo, lo único que hace es muestrear y cuantizar la muestras y tan solo tenemos que seguir unas reglas básicas para asegurar que la señal cuente con un buen nivel de calidad.

La información obtenida por este medio se envía sin codificar, ya que se envía la señal como PCM (pulse code modulation), tan solo es acomodada en paquetes para poder ser enviada por medio de una red que funciona en un estándar de paquetes IP.

Para captar la voz es necesario un micrófono, el cual va a ser el encargado de pasar las ondas mecánicas en el aire a impulsos eléctricos que serán manejados por el convertidor. Para esta etapa del proceso es necesario tener un micrófono confiable y buscar obtener de él una respuesta plana en frecuencia.

Por las características buscadas, la simplicidad y el precio se escogió un micrófono electret, ya que es fácil de encontrar, tiene un preamplificador incorporado, es sensible y el voltaje de alimentación puede oscilar entre los 2 y 20 volts, cosa que lo hace idóneo para nuestra aplicación.

Para obtener un nivel de la señal óptimo, es necesario introducir un etapa de amplificación antes de entrar al conversor analógico digital, esta amplificación se puede obtener con un amplificador operacional, ya que no necesitamos una gran corriente. El circuito de entrada ya se ha implementado para otras aplicaciones de voz por Texas Instruments<sup>15</sup>, de donde podemos obtener el diagrama de conexiones para el correcto funcionamiento de la captura de audio mostrado en la figura 28.

---

<sup>15</sup> (Texas Instruments 2001)

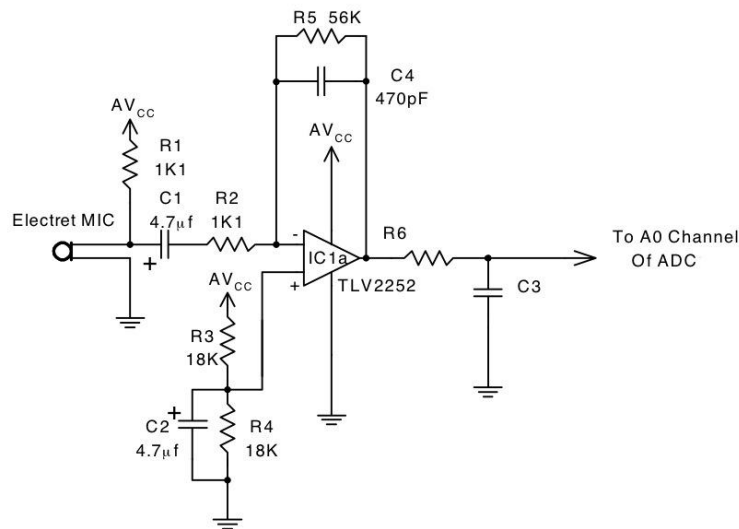


Figura 28. Circuito encargado de adecuar la voz para el ADC.

En el circuito viene integrado un pequeño filtro pasa bajas (conformado por R6 y C3), el cual lo utilizamos como filtro antialiasing antes de entrar al convertor analógico a digital y con esto evitar la pérdida de calidad de la señal. En nuestro caso el circuito estaría alimentado con los 5 volts que provee el sistema PoE.

### *Primer paso: El muestreo*

Para este paso lo que nos importa es conocer el número de muestras que se tienen que tomar de la señal, este número se expresa en muestras por segundo. La importancia de tomar un número mayor o menor de muestras se va a la hora de recuperar la información, ya que si se escoge un número por debajo del número mínimo, se crea un efecto llamado "aliasing", el cual nos deja con información ambigua en la zona de traslape y hace imposible su utilización.

Lo primero a tomar en cuenta a la hora de escoger un convertidor para nuestro proyecto, es la velocidad de muestreo, ya que esto nos va a determinar las frecuencias a las cuales va a operar nuestro micrófono.

La decisión de escoger la frecuencia máxima a la cual queremos trabajar es importante en nuestro sistema, ya que esto determina la frecuencia a la que se pierde la calidad del audio; si transmitimos solo voz por el sistema, la frecuencia máxima puede ser tomada como 4 000 Hz, pero un gran

inconveniente es que solo la voz tendría una calidad aceptable y al transmitir sonidos mas agudos se daña el audio.

Los 4 000 Hz son un limite muy pequeño para nuestro sistema, ya que nos limita a usar el micrófono para la voz y lo imposibilita para captar sonidos mas agudos, como son los que producen los demás instrumentos, entonces al hacer un micrófono con esa limitante, solo daríamos servicio a una pequeña parte de todo el repertorio musical.

La solución entonces es elevar la frecuencia máxima, en este caso la frecuencia máxima la tomamos como 20 000 Hz, lo cual es el limite superior de audición humana.

Ahora comenzamos a trabajar para encontrar una frecuencia mínima de muestreo, así que vamos a utilizar el teorema de muestreo de la señal:

$$T_s \leq \frac{1}{2f_m} \quad (1)$$

Como sabemos que el inverso de la frecuencia es el periodo (T), podemos despejar a la ecuación (1) y obtenemos que:

$$f_s \leq 2f_m \quad (2)$$

Como podemos ver, la ecuación (2) nos indica que la frecuencia mínima de muestreo debe ser por lo menos del doble de la frecuencia máxima para evitar el aliasing, esto se conoce como el criterio de Nyquist<sup>16</sup>.

De esta manera sabemos que la frecuencia mínima para el sistema es de 40 000 Hz. El problema en este caso es que el criterio de Nyquist nos pone exactamente en la frontera, donde funciona bien o deja de hacerlo, lo cual le exige una precisión grande al conversor, aumentado el precio de este.

---

<sup>16</sup> (Sklar 1988)

La solución a este problema es hacer un sobre muestreo (oversampling) de la señal, de esta manera trabajamos a una frecuencia de muestreo mayor a la requerida por el sistema de acuerdo a Nyquist, y tenemos mas muestras por segundo que las necesarias. La ventaja del sobre muestreo es que le permite a una señal alcanzar una calidad estipulada sin requerir mucha precisión de los componentes y de esta manera poder manejar componentes de menor precio<sup>17</sup>.

En la actualidad los sistemas de buena calidad (Blu-Ray, DVD, etc.) trabajan a frecuencias de muestreo de 96 000 Hz, de tal forma que se ha convertido en un estándar de la industria, por eso trabajaremos a esta frecuencia, además ciertas compañías que manufacturan ADC han demostrado una mayor calidad de sonido de conversores que corren a 96 Khz<sup>16</sup>.

Entonces debemos de buscar en el mercado un conversor que funcione para nuestro sistema que corra a esa velocidad.

### *Segundo paso: La cuantización*

Una vez que tenemos las muestras, el siguiente paso es darle un valor numérico a la amplitud de las muestras y expresar ese valor de forma digital, es la acción de ponerle valores discretos a un atributo variable que puede tomar una infinidad de valores.

El trabajo del cuantizador es colocar las muestras obtenidas en un intervalo el cual tiene asignado un valor fijo, de esta manera se obtiene un número fijo de valores para la muestra. El error de cuantización se define como la diferencia entre el valor asignado y el valor real de la muestra, este error se da generalmente como una relación señal ruido de cuatización ( $SNR_Q$ ). Como se puede intuir, se obtiene una mayor calidad de audio al poner mas niveles de cuantización en el sistema.

---

<sup>17</sup> (Watkinson 2001)

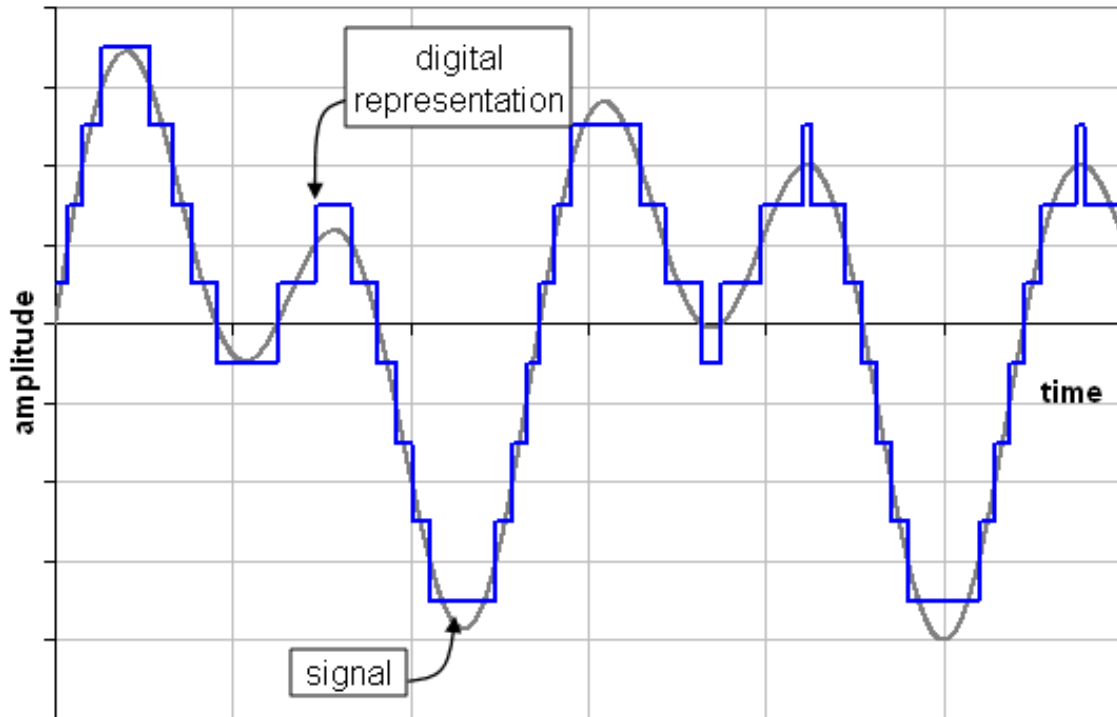


Figura 29. Realización y errores en el proceso de cuantización.

En la figura 28 se puede ver la suma del efecto de muestreo, que crea las mesetas de la representación digital de la señal, y los efectos de la cuantización de la señal, que es la parte encargada de darle ciertos valores discretos a la señal a lo largo de la amplitud.

El número de niveles de cuantización está dado por el número de bits que se utilizan para representarlos, de esta manera si tenemos 16 bits tendremos  $2^{16}$  (65 536) niveles disponibles para nuestro sistema.

En la industria se manejaban estándares de 16 bits, como es el caso del Compact Disk, pero esta configuración presenta problemas cuando el sonido tiene niveles muy bajos y muy altos de sonido, al existir cambios tan drásticos de amplitud, se presentan problemas para ajustar el sonido a los niveles dados por los 16 bits sin introducir mucho ruido, lo que hizo necesario la implementación de sistemas de 24 bits, es por esta razón que nuestro sistema contará con un ADC de 24 bits.

Ahora que ya tenemos un perfil del producto que necesitamos, el cual trabajará con una frecuencia de muestreo de 96 KHz y cada muestra con un largo de 24 bits, podemos buscar un circuito integrado que se adapte a

nuestras necesidades, para esto buscamos e internet ADC que se ajusten a los requerimientos y encontramos uno con las siguientes características:

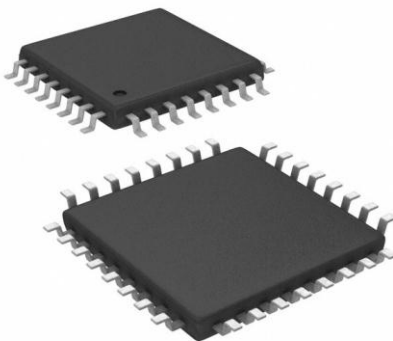


Figura 30. Chip ADC de Texas Instrument

Tabla 1. Características del chip a utilizar.

<b>Referencia</b>	PCM1851APJTR
<b>Marca</b>	Texas Instruments
<b>Categoría</b>	Integrated Circuits (ICs)
<b>Número de bits</b>	24
<b>Empaque</b>	32-TQFP, 32-VQFP
<b>Interface de datos</b>	I <sup>2</sup> C, Serial
<b>Almacenamiento</b>	Tape & Reel (TR)
<b>Tasa de muestreo (por segundo)</b>	96k
<b>Temperatura de operación</b>	-40°C ~ 85°C
<b>Fuente de voltaje</b>	Análogica y digital
<b>Cumplimiento de plomo</b>	Libre de plomo
<b>Cumplimiento RoHS</b>	Cumple con RoHS

Tenemos la ventaja de que el chip maneja varias interfaces de datos, lo que nos da la posibilidad de conectarlo casi cualquier micro controlador, para nuestro micrófono obtendremos los datos de manera serial y lo conectaremos directamente al BIU (Bus Interface Unit) de nuestro microcontrolador, otra cosa agradable es el precio, ya que la unidad solo cuesta 3.43 dólares<sup>18</sup>.

---

### 3.2.2 EL MICRO CONTROLADOR

---

En la actualidad los micro controladores se utilizan como el cerebro de un sin fin de dispositivos, desde módems y teléfonos hasta relojes y osciloscopios. Esto demuestra su gran versatilidad y nos da una idea de la posibilidad de colocarlo en el micrófono.

La idea de tener un micro controlador surge para resolver el problema del manejo de los datos provenientes del ADC.

Para poder enviar los datos a través de la red, toca agregar encabezados y empaquetar la información para que pueda llegar con éxito a su destino, así que necesitamos un dispositivo capaz de guardar la información suficiente para crear un paquete y después empaquetarla (agregando encabezados) y enviarla por medio del adaptador de red.

---

<sup>18</sup> (Digi-Key Corporation 2011)



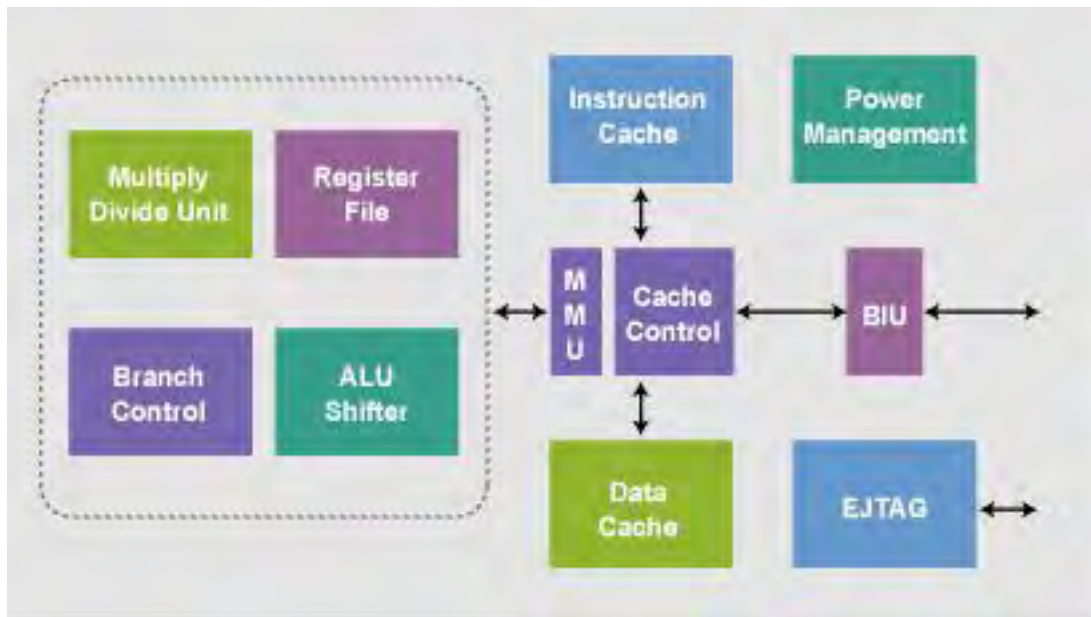


Figura 31. Componentes del micro controlador.

Los encabezados que vamos a trabajar pueden ser fijos o dinámicos, en el primer caso se llenan los espacios del encabezado con información predeterminada que permita su correcto envío. Para el segundo caso se puede agregar códigos de detección de errores, aunque es poco práctico, ya que al tratarse de la voz, no se pide una retransmisión del paquete.

Los datos se tienen que almacenar hasta llenar un paquete, en el capítulo 2 se propone que los paquetes estén conformados por 256 muestras, así que la memoria debe ser más grande que el tamaño de cada paquete, de esta manera necesitamos una memoria mayor a 6 144 bits (esta memoria solo es para los datos de audio, cualquier dato necesario para la ejecución del programa debe considerar un espacio de memoria extra).

La memoria con la que trabajan los microprocesadores pueden ser de tres tipos, una memoria ROM para el almacenamiento del programa (esta posiblemente sea una EEPROM por facilidades técnicas); una memoria RAM, donde se guardan las variables con la que trabajaremos, es en esta clase de memoria donde se guardaría la información de las muestras de audio para su empaquetamiento; y por último, una memoria EEPROM para el almacenamiento de las variables que no queremos que sean borradas ante la falta de suministro eléctrico (en este caso entraría la dirección IP del dispositivo y otras variables fijas). La mayoría de los micro procesadores ya tienen integrada alguna cantidad de memoria para el uso del programa, solo es necesario ver si el tamaño satisface nuestras

necesidades, en caso contrario se cuenta con puertos de expansión de memoria<sup>19</sup>.

Existen algunos micro controladores que ya incluyen un convertidor analógico digital, esto pueden ser bastante útiles, ya que nos ahorran un etapa del sistema descrito. El problema con estos convertidores incluidos es que no alcanzan la calidad que buscamos, como vimos queremos un sistema con una calidad espectacular y para ello necesitamos un ADC con una alta frecuencia de muestreo y una buena cantidad de bits por muestra, lamentablemente los sistemas actuales no nos brindan estas características dentro del micro controlador.

Ahora lo que buscamos es un procesador capaz de empaquetar los datos, para nuestro caso vamos a utilizar encabezados fijos, de esta manera la programación se simplifica y la carga de trabajo del microprocesador es mucho mas ligera, de esta manera podemos ajustarnos a un micro sencillo y bajar así los costos del sistema.

Dentro de esta mecánica del micro sencillo, vale la pena explicar por qué se escogió enviar la información sin codificar: Al codificar los datos se puede ahorrar ancho de banda, pero la operación de codificación esta hecha a base de operaciones matemáticas y transformadas, de esta manera se requiere cierto poder de procesamiento dentro del micrófono y de la computadora. La preocupación principal es dentro de la computadora, ya que ahí la información de los diversos canales se tiene que decodificar y presentar con calidad, cosa que se puede hacer bien para un número pequeño de canales, pero se complica demasiado para un numero alto de canales, pudiendo presentar retrasos grandes en el procesamiento y con originar un tiempo de retraso total del sistema mas alto de los valores aceptables.

Es por esto que se elige enviar la información sin codificar, ya que tenemos el ancho de banda suficiente y guardamos el poder de procesamiento de la consola para poder manejar mas canales de audio.

Sin embargo, esta puede ser una característica extra del sistema y se puede diseñar el micrófono con un micro capaz de hacer el procesamiento necesario para codificar la información y así poder trabajar con anchos de banda mas pequeños, útiles para redes inalámbricas donde el ancho de banda esta mas limitado.

---

<sup>19</sup> (Peatman 1988)

A continuación elegimos salir a la búsqueda de un micro que nos convenga, ya que uno demasiado grande además de elevar el precio, saldría desperdiciado y uno muy pequeño, puede que no nos cubra la carga de trabajo que necesitamos imponerle. De esta manera buscamos en internet (ya que los libros siempre están un poco atrasados al respecto) y encontramos microprocesadores de toda clase, por lo que refinamos la búsqueda y elegimos usar micros pequeños y de 32 bits, ya que algunas operaciones se pueden simplificar.

El escogido es un micro procesador marca MIPS, de referencia 4K<sup>tm</sup> core, el cual nos ofrece las siguientes ventajas:

- Hecho con tecnología de silicio, probada con cientos de implementaciones exitosas reduce el tiempo de lanzamiento al mercado y aumenta el éxito de primer paso.
- Basado en la arquitectura MIPS32 permite aplicaciones de vanguardia, con su alto rendimiento de 32 bits, de 5 etapas de pipelines.
- Sintetizable, configurable y portátil, incrementa la flexibilidad del sistema y la longevidad.
- Diseñada para facilitar la integración de SoC con un solo reloj, totalmente estático, diseño basado en flops.
- Rápido, un multiplicador de ciclo 32x16, soporta las funcionalidades básicas de DSP.
- EJTAG opcional, que simplifica y acorta el tiempo de depuración y de salida al mercado.
- Compatible con las tecnologías MIPS de 64 bits, lo que permite futuras actualizaciones del sistema.
- Con el apoyo de cientos de herramientas de desarrollo de terceras partes, software y aplicaciones para agilizar el tiempo de lanzamiento al mercado y un ciclo de diseño acertado.

El tamaño es importante al tratarse de un micrófono, ya que no podemos empaquetar un micro procesador que rebase las dimensiones del micrófono. De igual manera la potencia necesitada por el micro controlador es importante, ya que a mayor potencia, mayor calentamiento, cosa contraproducente en el micrófono, por esta razón nos fijamos en los datos suministrados por el fabricante para estos valores y podemos constatar que están en muy buenos rangos, ya que el consumo de potencia va de 1.3 a 2.2 mW/MHz (al requerir poco procesamiento, menor son los ciclos de reloj, necesitando menos potencia) y el área que

ocupa el chip es tan solo de 1,4 mm<sup>2</sup>, constatando de esta manera que si es posible su uso para el lograr el fin buscado<sup>20</sup>.

Dado que el uso que se le da al micro controlador es bastante pequeño (solo organiza memoria y empaqueta la información) se requiere de poca velocidad para lograr este fin, logrando un buen funcionamiento con un estimado de 1 MHz y lograr con esto un consumo energético bastante bajo.

Con este micro procesador queda totalmente cubierta nuestra necesidad del procesamiento de datos, ya sea solo empaquetando los datos sin comprimir o haciendo el procesamiento necesario para poder comprimir los datos y su respectivo empaquetamiento posterior.

---

### 3.2.3 EL CONTROLADOR DE RED

---

Tratándose de un sistema tan pequeño que tiene que caber en un micrófono, es importante poder tener componentes pequeños y de preferencia que puedan estar en la misma tarjeta que el resto de componentes, es por eso que descartamos el uso de una tarjeta de red del sistema y nos inclinamos a poner un controlador de red, el cual esta compuesto por un solo componente y puede ser conectado directamente a el puerto Ethernet del dispositivo.

Para poder lograr este objetivo tenemos el controlador RTL8019AS, de la marca Realtek, este dispositivo es un controlador de Ethernet Full-Duplex con la funcionalidad Plug and Play. Es un dispositivo que nos brinda muchas opciones de configuración y opciones de uso, cosa que vamos a desaprovechar un poco, ya que solo lo vamos a usar con un fin y su configuración será estática.

Este dispositivo nos ofrece un controlador integrado de Ethernet, el cual ofrece una solución simple a la implementación de un adaptador full dúplex y con funciones de energía, ya que tiene un control de tres niveles para el ahorro de energía y lo convierte en una buena elección para crear dispositivos energéticamente mas eficientes. Con la función de full dúplex se establece el envío y recepción de datos al mismo tiempo, cosa que vamos a desaprovechar, ya que la información que maneja el micrófono

---

<sup>20</sup> (MIPS Technologies 2011)

solo va hacia la consola y la información de regreso es nula. Aunque esta diseñado para su uso en computadores, también admite el uso de “jumpers” para su configuración, esta es la modalidad que vamos a utilizar nosotros, al no contar con un software en el micrófono encargado de la configuración del adaptador de red<sup>21</sup>.

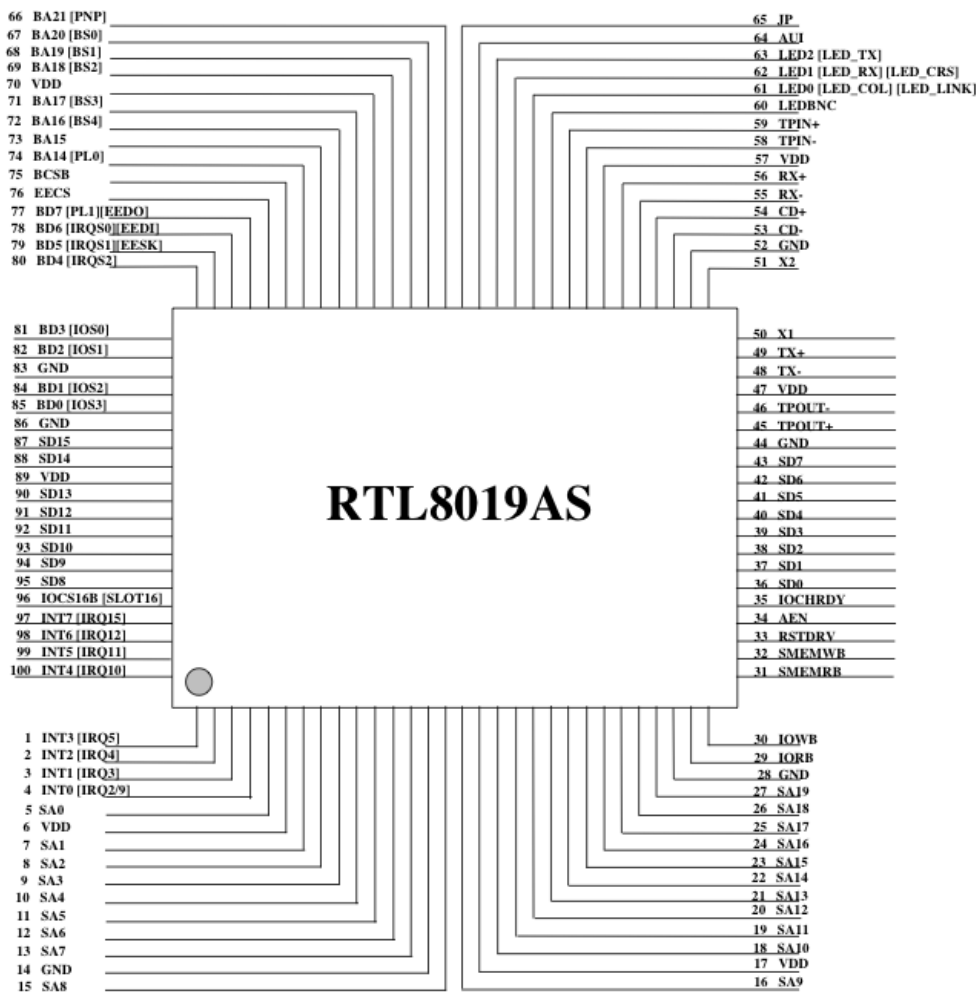


Figura 32. Patigrama del controlador de red Realtek RTL8019AS.

Aunque la configuración de este controlador puede verse un poco difícil, ya que tiene mas de 100 entradas y salidas, en realidad es sencilla, ya que varias de las entradas son conectadas a tierra o al voltaje de alimentación (12 en total) y muchas otras se van a dejar fijas, ya que las opciones que se

<sup>21</sup> (Realtek 2001)

manejan con estas entradas, no nos resultan útiles para el fin buscado. También tiene la posibilidad de manejar leds que nos indican el correcto funcionamiento del sistema, estos leds pueden ser colocados en ventanas hacia el exterior del micrófono, esto con el fin de saber si el micrófono está bien conectado.

Los pines importantes para nosotros son donde salen y entran los datos, tanto hacia el micro procesador, como hacia la red de área local. Los pines (se envía uno con los datos y otro con tierra como referencia) donde la información se envía hacia la red son 45 y 46, mientras que se recibe la información por el 59 y 58. La información que es recibida se envía por los pines 56 y 55 y la información que se desea transmitir se envía al pin 49 y 48<sup>20</sup>. La información viene directamente del micro controlador en forma serial, por medio de la unidad de interfaces de bus (BIU) de este último.

Las demás entradas y salidas se van a dejar en estado por default, algunas libres y otras conectadas a tierra o al voltaje positivo, de esta manera se dejan sin fijar ciertas características, como la dirección física, ciertas operaciones con la memoria y capacidades de reseteo del sistema.

Para el caso de una conexión inalámbrica del micrófono, es necesario sustituir toda esta parte por un adaptador de red inalámbrico, de esta manera la información que llega del micro procesador es enviada por un controlador de red inalámbrico hasta el punto de acceso, al llegar al punto de acceso la información es enviada por cable hasta la consola, como está planeado en el capítulo de la red de área local.

### 3.3 USO DE "POWER OVER ETHERNET" (POE) PARA LA ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA A DISTANCIA DE LOS MICRÓFONOS.

---

Todos los procedimientos que hemos vistos que se realizan en el micrófono necesitan de una fuente de alimentación para funcionar, de esta manera es imperativo tener una fuente de alimentación, ya sea en cada micrófono o una general para todos los micrófonos conectados.

El problema radica a la hora de adjuntar la alimentación al sistema, ya que una batería dentro del sistema significaría tener un límite de tiempo para la utilización del micrófono y por otro lado el uso de un cargador. Además para que se quiere tener batería si de todas formas el micrófono ya tiene un cable.

Otra manera de conectarlo sería por medio de un eliminador de baterías, pero en este caso se requiere de otro cable para la alimentación eléctrica del micrófono.

La solución entonces es alimentar al dispositivo por medio del mismo cable por el cual se transportan los datos, solución que ya se utiliza para poder alimentar puntos de acceso inalámbrico sin necesidad de conectarla a una fuente eléctrica en el lugar de su instalación. Esta solución se llama "Power over Ethernet" o simplemente PoE.

Al utilizar esta tecnología la energía necesaria para el uso del micrófono se envía por un par sobrante del cable UTP (ya que solo se utilizan dos pares para el envío y recepción, dejando libre otros dos) y la energía llega al micrófono sin contratiempos.

La parte del diseño del micrófono para adecuarlo a este sistema es sencilla, ya que el par de cables por el cual viaja la corriente son separados al momento de llegar a la fuente y los cables de datos son conectados al controlador de red del micrófono.

Donde se introduce la corriente al cable es la parte interesante de este diseño, ya que venden dispositivos que sirven como fuentes de alimentación o switchs con la capacidad de enviar la corriente, lamentablemente estos switchs solo son de ocho puertos y de velocidades

de 100 Mbps, de tal forma que son un poco pequeños para lo que estamos buscando en el diseño<sup>22</sup>.

La solución entonces es hacer nosotros mismos la fuente de voltaje, donde lo único que necesitamos es separar el par de cables por donde se va a enviar la corriente al dispositivo, antes de que llegue al switch y con una fuente de poder alimentar el dispositivo separador, para que de esa manera se alimenten los micrófonos necesarios sin necesidad de gastos extras.

La fuente de voltaje no necesita un amperaje grande, ya que la potencia eléctrica que necesitamos en el micrófono es bastante pequeña, dado que la corriente que circula en el dispositivo no llega a 100 mA

En este caso recordamos que la información de acuerdo con la norma TIA/EIA-568-B.1-2001, donde se establece el orden de los cables, se envía por los puertos 1 y 2 y se recibe por los puertos 3 y 6 (en el caso del switch se cambian estos valores para permitir el uso de un cable sencillo), por lo que solo se utilizan los cables verdes y los cables naranjas, donde cada par lleva la información en el sentido contrario. De esta manera podemos elegir los otros cables para el envío de corriente a través de ellos.

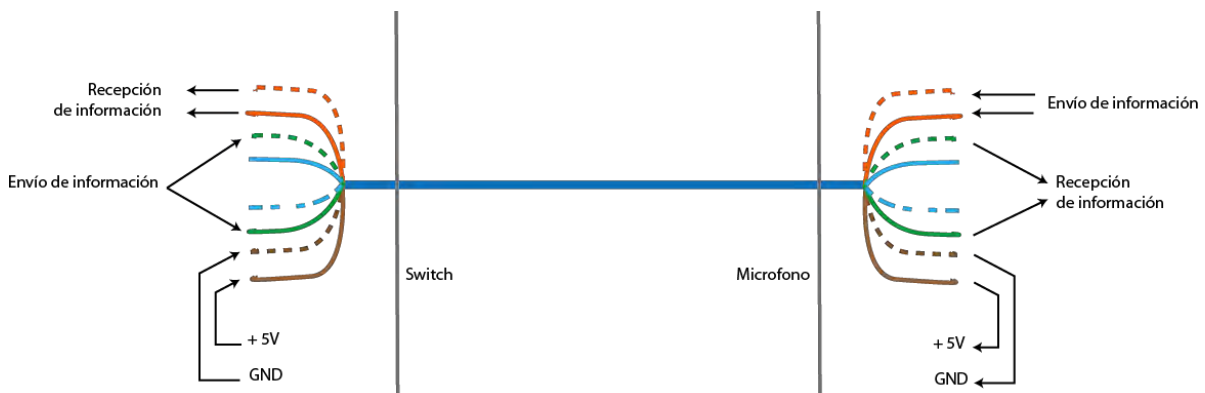


Figura 33. Envío y recepción de la información y la corriente por el cable UTP.

En este punto solo hace falta desviar los cables cafés del controlador de red del micrófono y del switch para evitar daños y conectarlo a la fuente

<sup>22</sup> (TP-LINK 2011)



de alimentación en el lado del switch y usar las terminales en el micrófono como tierra y el voltaje positivo.

Esta característica estaría deshabilitada para la conexión inalámbrica de los micrófonos, ya que al alimentar al micrófono por un cable dejaría de ser inalámbrico. Para solucionar este problema, se plantea el uso de pilas para alimentar eléctricamente al micrófono y tener la funcionalidad de poder mover el micrófono por donde haya cobertura de la red inalámbrica, sin riesgo de perder la calidad del audio.

## CAPITULO IV: DESARROLLO DEL PROGRAMA ENCARGADO DE EMULAR LA CONSOLA ANALÓGICA

---

### 4.1 COMPONENTES BUSCADOS EN EL PROGRAMA

---

La idea del proyecto es emular una consola de audio, así que es indispensable que el programa tenga los mismos componentes de una consola de audio analógica y además contar con la posibilidad de agregar funciones adicionales en el futuro, como sería el caso de agregar eco o entradas de sonido directamente desde la computadora, estas características se pueden hacer programando la consola.

Como requisito principal necesitamos un programa muy estable, ya que va a correr en espectáculos, donde es inadmisibles una falla en el sistema de sonido, por este motivo se escogió programar para la plataforma Mac OS X, ya que este sistema nos brinda la estabilidad necesaria para correr las aplicaciones y nos las herramientas de programación vienen integradas de manera gratuita con su sistema operativo.

Para emular una consola de audio necesita tener las mismas partes y controles que esta, de esta manera es necesario que cuente de manera independiente por cada canal de entrada con un control de volumen, controles de ecualización para compensación de las diferentes respuestas en frecuencia de los componentes, un control de ganancia para dar una cierta amplificación a la señal (que en nuestro caso va a quedar incluida en el control de volumen), un control de balance para elegir por que canal tiene salida la señal, un indicador de saturación del canal y por ultimo un botón que permita silenciar el canal de entrada.

Para el control de la salida es necesario un controlador de volumen por cada canal y un indicador visual del nivel de la señal.

Para poder configurar las entradas por cada canal, necesitamos usar una lista, en donde se muestren los micrófonos conectados y nos de la posibilidad de escoger uno u otro para cada canal. De manera similar es necesario colocar controles para que el usuario pueda escoger el dispositivo de salida del sonido, de tal manera que el sonido salga por los dispositivos correctos, pudiendo colocar mas de un dispositivo de salida.

El programa final va a estar programado en el lenguaje llamado Objective-C, pensado especialmente para Mac, este lenguaje de programación es

orientado a objetos y gracias a esto tiene muchos parecidos a Java<sup>23</sup>, factor que nos ayuda a la hora de hacer el código con elementos conocidos y para poder exportar el código. Para hacer la programación se utilizara el programa XCode, proporcionado por Apple gratuitamente con la compra del sistema operativo.

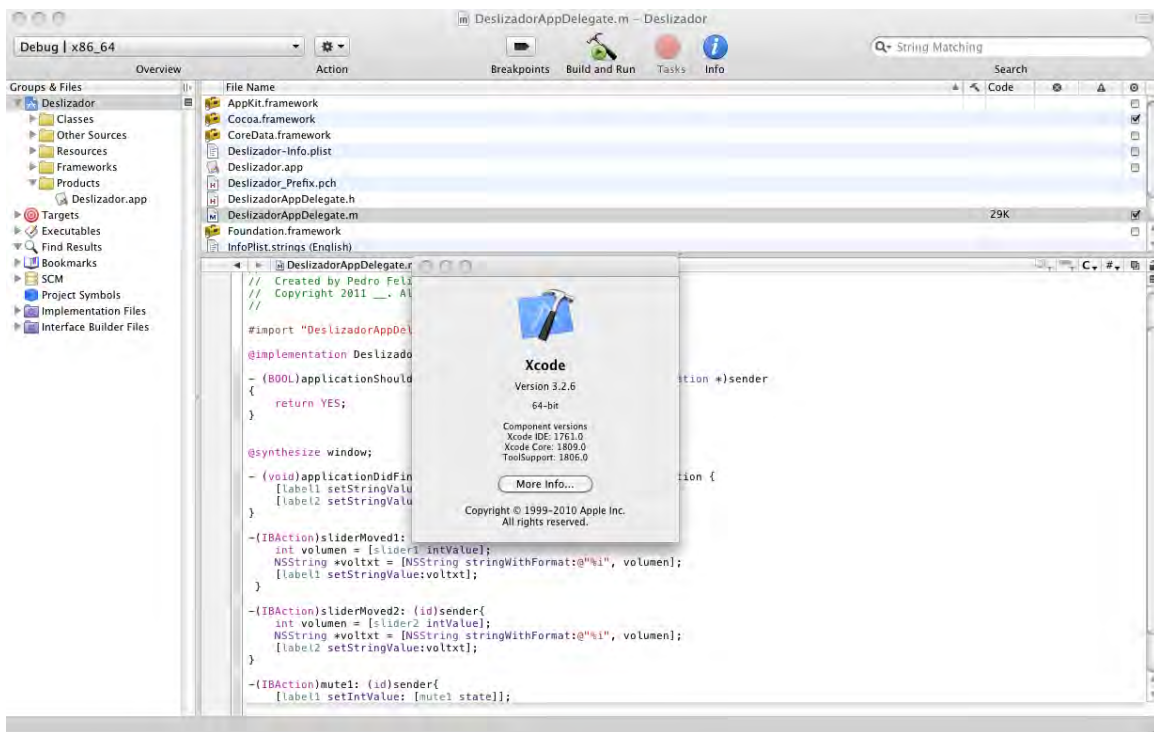


Figura 34. Ventana grafica para la programación en Xcode.

Este programa nos permite modificar los archivos de las clases y headers (archivos con terminación .m y .h) que creamos para poder hacer funcional el programa, también nos brinda la posibilidad de lanzar el programa necesario para la creación y edición de la ventana de nuestro programa, el cual se llama Interface Builder.

<sup>23</sup> (Altenberg, Clarke and Mouglin 2008)

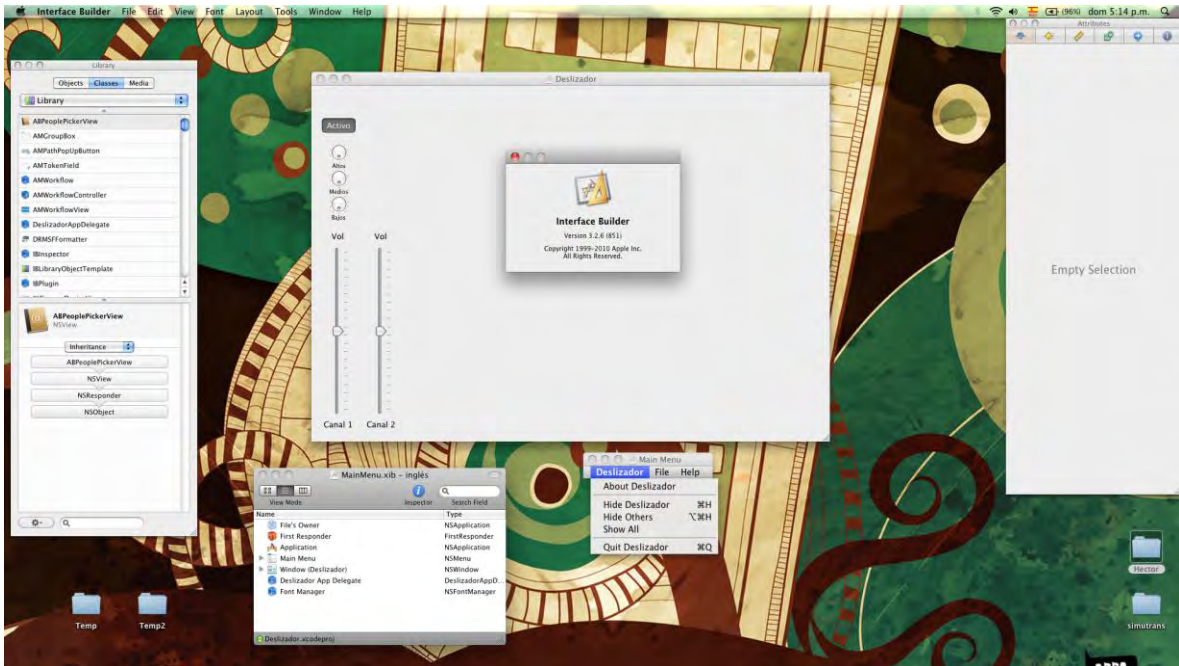


Figura 35. Programa para la creación de la interfaz grafica del programa.

En este programa nos podemos encargar de la elaboración de la ventana de nuestro programa, así como los menús y las opciones visuales, además de tener la oportunidad de crear clases y eventos dentro de estas desde la misma ventana.

Con las opciones brindadas por estos dos programas, ya estamos listos para poder comenzar a trabajar en el diseño y la implementación de nuestro programa.

## 4.2 CREACIÓN DE LA VENTANA GRÁFICA

Una vez que conocemos los componentes necesarios en la consola, comenzamos con el diseño de la ventana que va a tener el programa. Para asegurar la semejanza con una consola de audio analógica basamos el diseño en una consola real, además la semejanza con una consola real reduce el tiempo de aprendizaje para el usuario final.

De esta manera identificamos elementos claves, que son necesarios tener en nuestra consola y procedemos a establecer un diagrama esquemático de lo que necesitamos tener por cada canal de la consola.

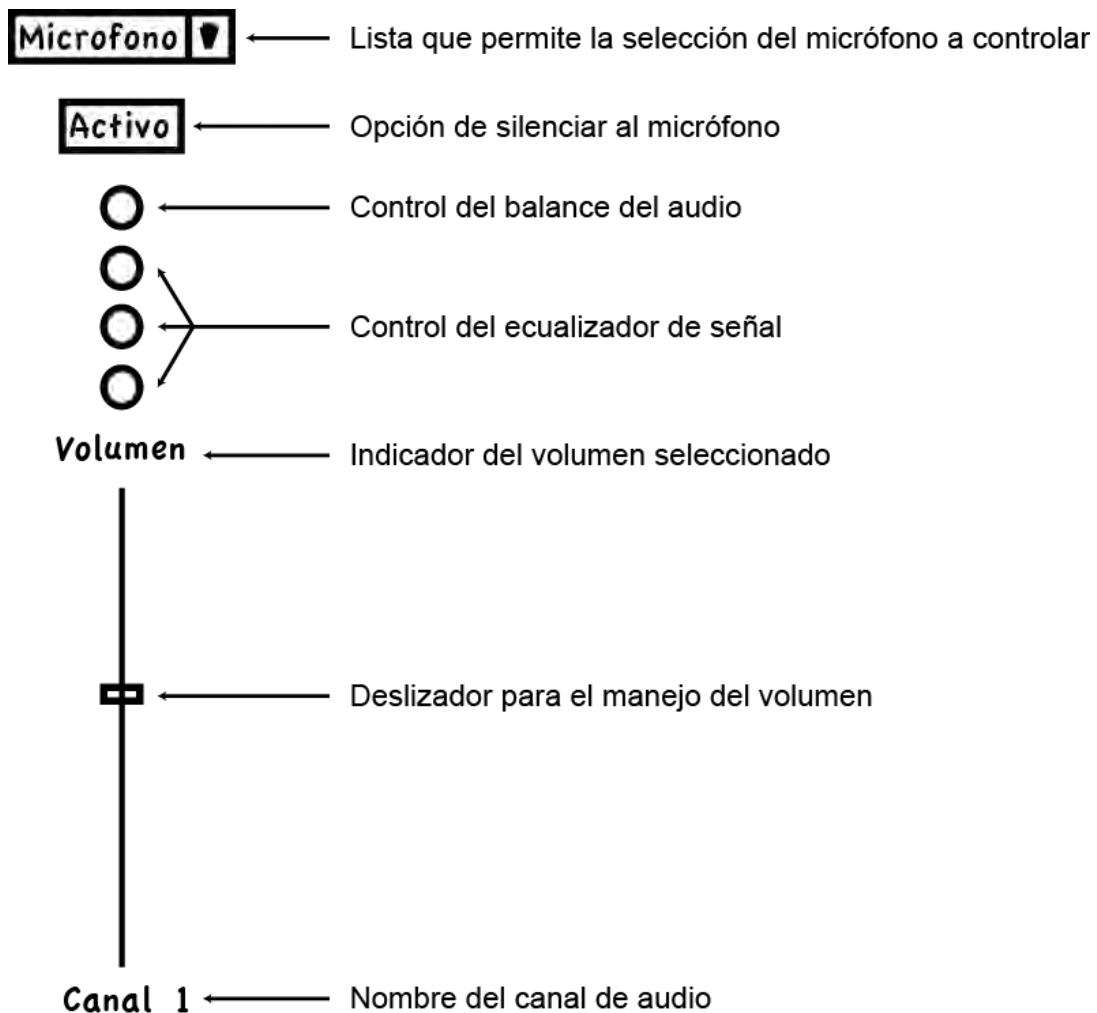


Figura 36. Esquema de los componentes buscados en la interfaz.

A continuación nos lanzamos a la programación de la interfaz grafica para poder determinar los elementos con los que íbamos a hacer nuestro programa y poder obtener una vista aproximada de cómo se verá el sistema.

Para poder realizar la ventana del programa utilizamos el programa Interface Builder, el cual nos proporciona ciertos elementos gráficos ya programados con anticipación, de tal manera que nos simplifica bastante las cosas a la hora de programar. Con base el diseño buscado, realizamos el programa y obtenemos una ventana que se asemeja bastante a nuestro boceto.



Figura 37. Primer boceto del programa que emula la consola.

Para poder personalizar el programa, decidí colocarle como nombre "AudioBoom", esto después de realizar una búsqueda en Google y ver que el nombre no ha sido usado para productos de software. Después de seleccionar el nombre era importante darle un logo en especial, para que

el cliente pueda distinguirlo de otros programas y de esta manera ganar reconocimiento visual de la marca.

El logo fue hecho en Adobe Illustrator CS5 e incorpora además del nombre, una bocina con ondas saliendo de esta para relacionar el programa con un software de manejo de audio.

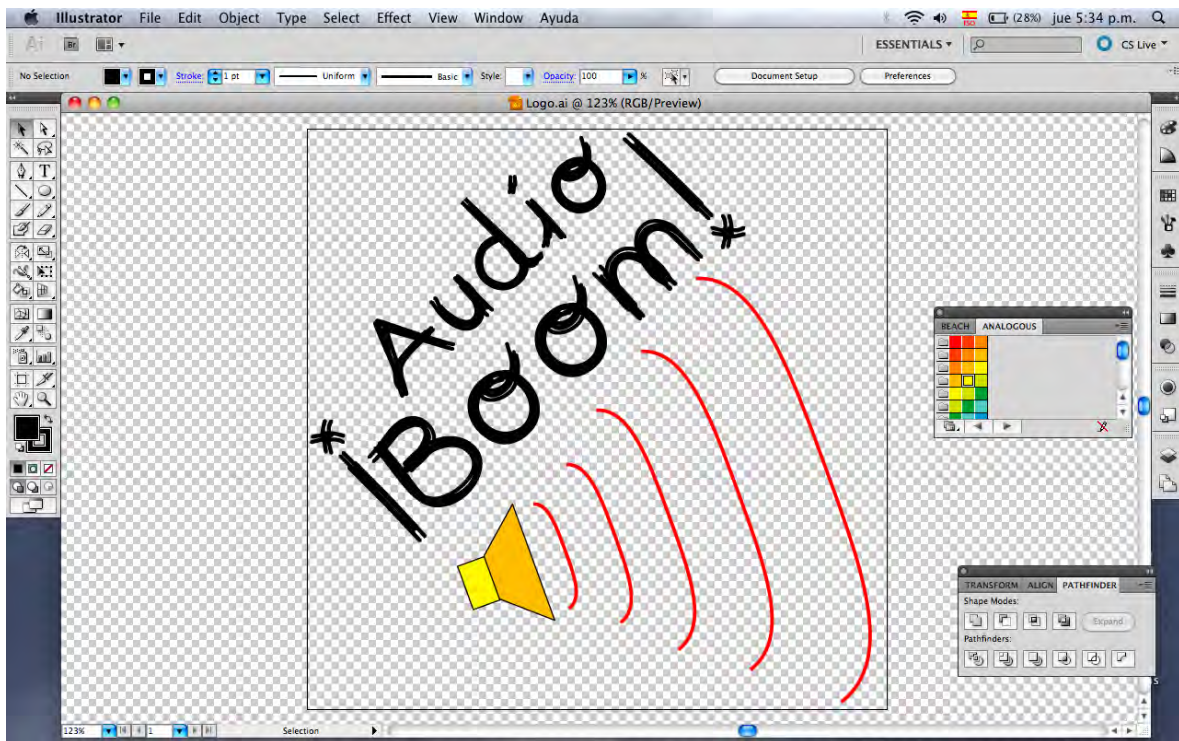


Figura 38. Realización del logo en Illustrator.

Una vez creado la interfaz grafica y los elementos de personalización, procedemos a crear nuestra clase y a declarar las acciones pertinentes para la clase, de tal manera que nos permita editar los parámetros del sonido que nosotros queremos, para esto es necesario manipular los archivos .h y .m creados al inicio del programa.

El próximo paso es crear la ventana con los componentes finales que va a tener nuestro programa, para esto contemplamos la opción de incluir cuatro canales de audio de entrada y un canal estéreo de salida.

Por cada canal incluimos los mismos componentes que en el primer diseño y obtenemos el resultado mostrado en la figura 38.



Figura 39. Diseño final de nuestra consola para cuatro canales.

Una vez desarrollada la interfaz grafica, procedemos a programar cada uno de los componentes del diseño.



### 4.3 PROGRAMACIÓN DEL CONTROL DE VOLUMEN Y CAMBIOS DESDE LA INTERFAZ GRAFICA:

---

El código de programación se divide en dos grandes partes, la primera es la encargada de los componentes de la interfaz grafica y los datos que se obtienen de esta, es en esta parte donde recuperamos los valores manejados por el usuario y devolvemos al usuario la información con los movimientos de los controles de la interfaz.

La segunda parte es la encargada de la mezcla de canales, la ecualización y el envío de la información al canal de salida.

Para la primera parte utilizamos un método por cada acción a realizar y alteramos una variable concerniente a toda la clase conforme la acción realizada por cada botón.

Los métodos utilizados para esta parte, se pueden ver de la siguiente manera:

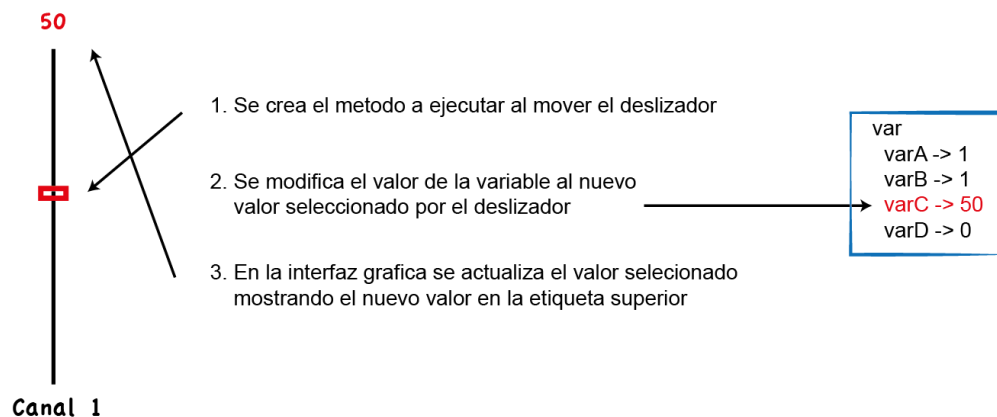


Figura 40. Descripción del método a utilizar.

El bloque de programación para los métodos de esta parte es el siguiente:

```
1) -(IBAction)sliderMoved1: (id)sender{
    vol1 = [slider1 intValue];
2)     NSString *voltxt = [NSString stringWithFormat:@"%i", vol1];
3)     [label1 setStringValue:voltxt];
}
```

Donde las líneas se pueden interpretar como:

1. Define el método de la clase, indica al programa que se ejecute este código al realizar el movimiento del deslizador de volumen correspondiente.
2. Cambia el valor de una variable del método, en este caso el valor del volumen se cambia, este valor se utilizara en la segunda parte del programa y servirá para modificar la amplitud de la señal de este canal.
3. Regresa la información al usuario de forma grafica, en la interfaz grafica se modifica una etiqueta para mostrar el valor actual del volumen de este canal.

Esta clase de código se implementa para los deslizadores del volumen, los controles del ecualizador y el control del balance del canal. Solo para los controles del volumen, se agrega el tercer paso, ya que para los otros no es necesario regresar la información del valor al usuario.

#### 4.4 PROGRAMACIÓN DE LA MEZCLA DE CANALES Y ECUALIZADOR:

En la segunda parte del código, se ejecuta la parte importante, que es el tratamiento de la señal, para lograr esto se siguen los siguientes pasos:

1. Se realiza la unión de los datos capturados por un micrófono a determinado canal.
2. Se multiplican las señales de audio que llegan por el volumen indicado para cada canal. En caso de estar desactivado el canal (mute) las señales de entrada se multiplican por cero, dando lugar a la anulación del sonido.
3. La señal se procesa por medio de los filtros del ecualizador para poder mejor su calidad.
4. Dependiendo del ajuste del balance, la señal se envía por un determinado canal o por los dos.
5. La suma de todos los canales es multiplicada por el valor de volumen maestro del sistema y se procede a enviar la señal por la red hasta las bocinas.



Figura 41. Diagrama del tratamiento de la señal.

Todo este procesamiento se va a ejecutar cada vez que llegue una muestra al canal en cuestión, de tal manera que si se tiene un canal libre, este no consume ningún recurso de procesamiento de la computadora.

Para poder implementar el ecualizador de tres canales en la consola, fue necesaria la introducción de tres filtros por cada canal, donde cada filtro se encarga de una banda de frecuencias.

Para el desarrollo de estos filtros se escogió la modalidad IIR (Infinite Impulse Response) y los filtros se desarrollaron por medio de Matlab y su herramienta FDATool.

Esta herramienta encuentra los coeficientes para los filtros deseados tan solo con poner las frecuencias de corte requeridas, las frecuencia de muestreo del sistema, el orden del filtro y por ultimo que clase de filtro queremos utilizar, así obtuvimos los coeficientes para los filtros requeridos.

Todos los filtros fueron ajustados como filtros Butterworth de cuarto orden y dos etapas, dando la posibilidad de tener un código corto y una calidad aceptable para las frecuencias de corte, donde la potencia de paso es la mitad de la potencia en la banda de transmisión, es decir, manejan los -3dB en las frecuencias de corte.

#### 4.4.1 FILTRO PASA BAJAS

Este filtro se encarga de la región baja del audio, está diseñado para tener una frecuencia de corte de 880 Hz:

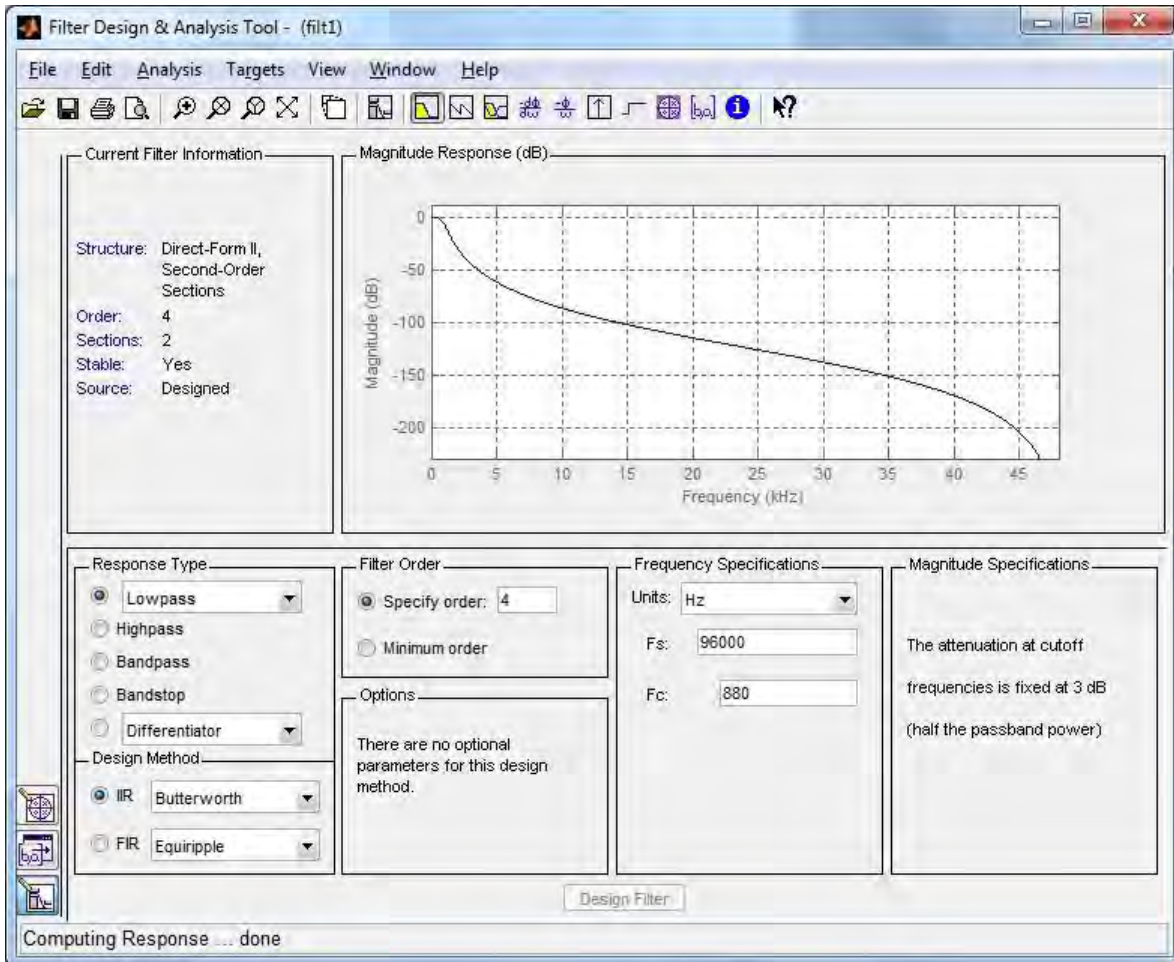


Figura 42. Diseño y respuesta en frecuencia del filtro paso bajas.

Los coeficientes obtenidos para este filtro están expresados en la siguiente matriz:

SOS matrix:

```
1 2 1 1 -1.9536471324152267 0.95689201824802606
1 2 1 1 -1.8958576999639873 0.89900660115988107
```

Donde la primera fila corresponde a los elementos del primer filtro y la segunda a los elementos del filtro posterior. De esta primera fila, las tres

primeras columnas corresponden a los elementos del numerador y las ultimas tres a los elementos del denominador. Podemos expresar esta matriz como dos ecuaciones de transferencia en z (3) y (4), una para cada sección del filtro:

$$H(z) = \frac{1+2z^{-1}+z^{-2}}{1-1.9536z^{-1}+0.9569z^{-2}} \quad (3)$$

$$H(z) = \frac{1+2z^{-1}+z^{-2}}{1-1.8958z^{-1}+0.8990z^{-2}} \quad (4)$$

---

#### 4.4.2 FILTRO PASA BANDA

---

Para poder filtrar las frecuencias medias de la voz, fue necesario utilizar un filtro pasa banda que se centre en las frecuencias medias, así que diseñamos un filtro con frecuencia de corte inferior de 880Hz y una frecuencia superior de 5000Hz:

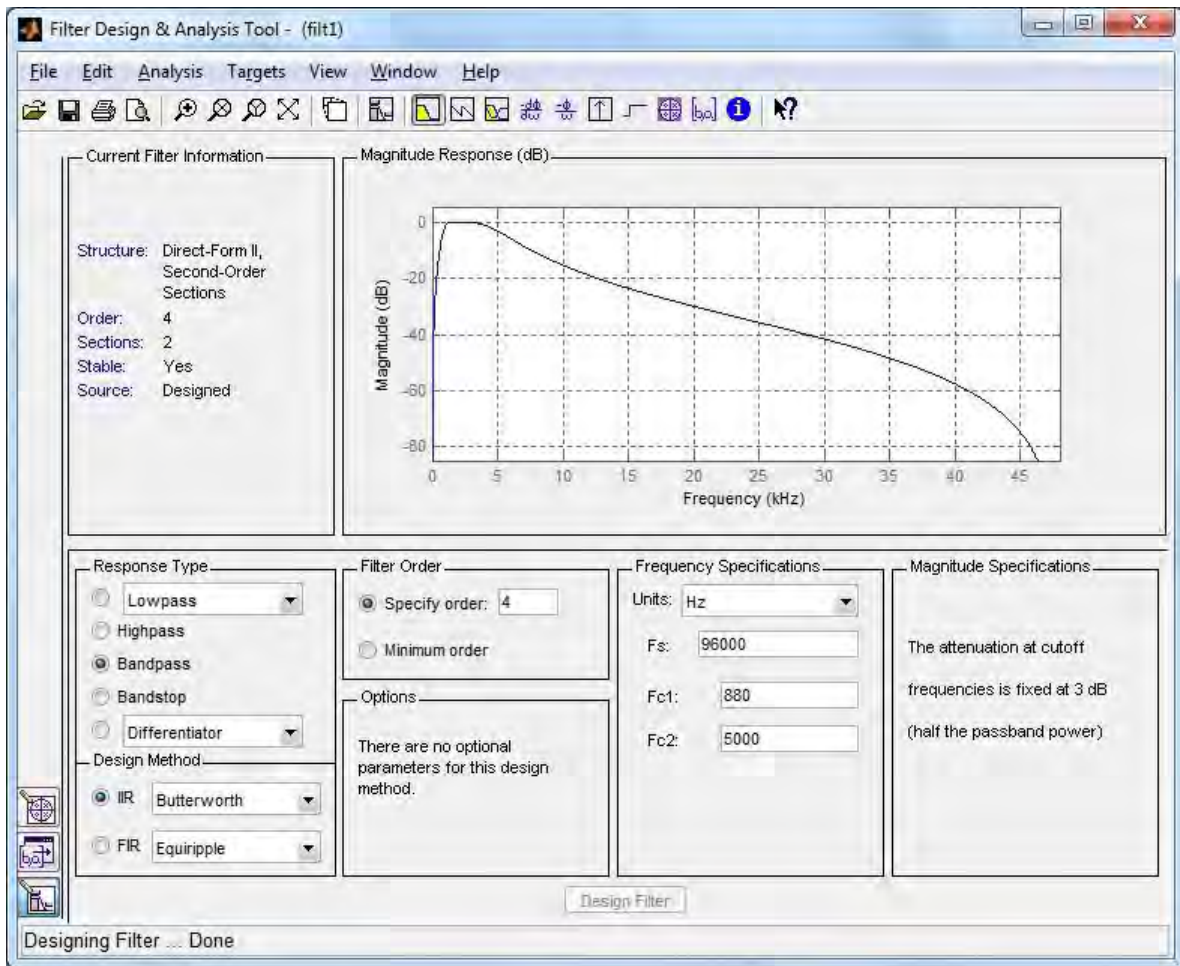


Figura 43. Diseño y respuesta en frecuencia del filtro pasa banda para frecuencias medias.

En este caso los coeficientes están dados por la matriz:

SOS matrix:

```
1 0 -1 1 -1.9286199706611717 0.93267604732883835
1 0 -1 1 -1.6592484503199194 0.73227524560661217
```

Y las ecuaciones de transferencia en el dominio de  $z$  son (5) y (6):

$$H(z) = \frac{1+0z^{-1}-1z^{-2}}{1-1.9286z^{-1}+0.9326z^{-2}} \quad (5)$$

$$H(z) = \frac{1+0z^{-1}-1z^{-2}}{1-1.6592z^{-1}+0.7322z^{-2}} \quad (6)$$

### 4.4.3 FILTRO PASO ALTAS

Para poder realizar el filtro de la banda de frecuencias superior, realizamos un filtro paso altas, en este caso la frecuencia de corte es 5000Hz y obtenemos el filtro con las siguientes características:

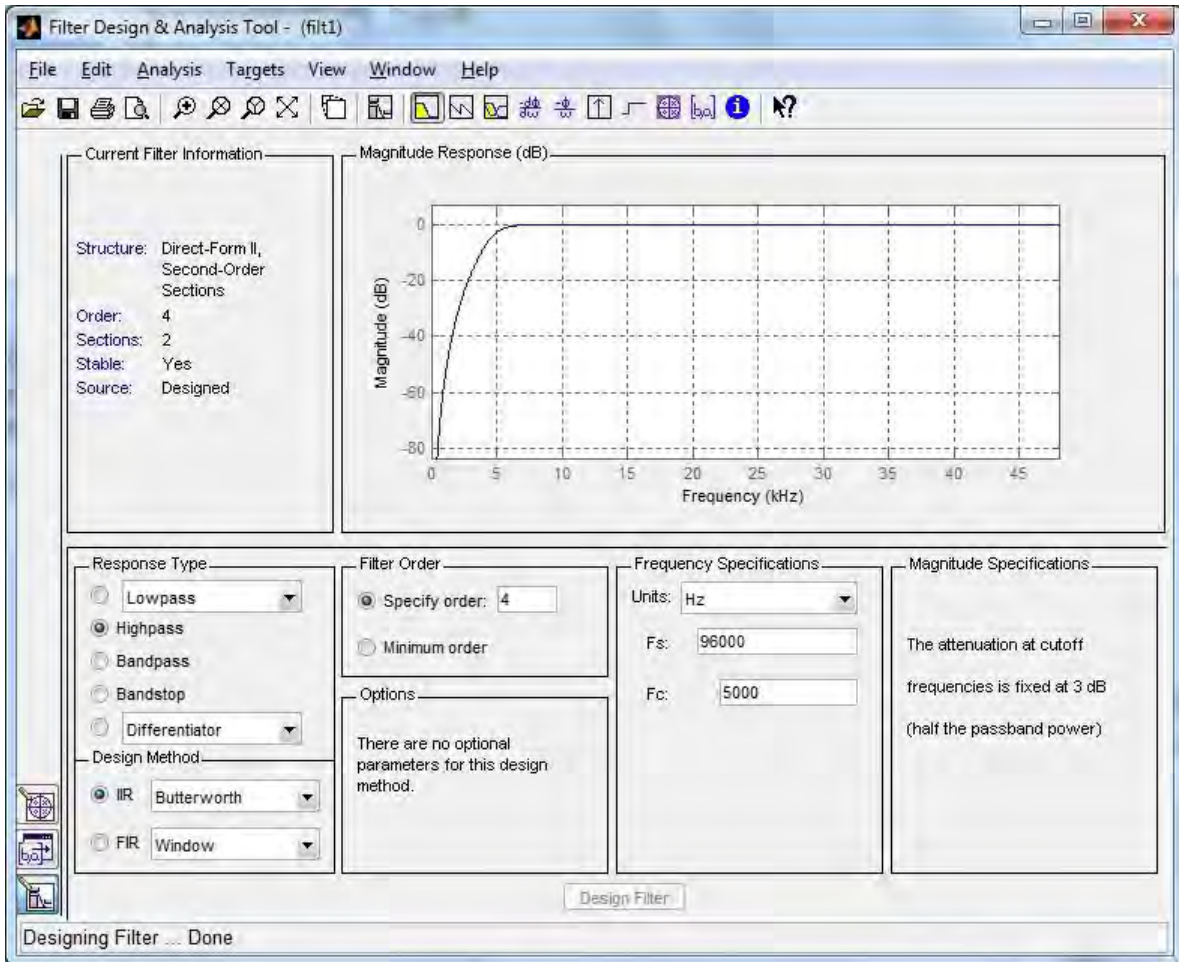


Figura 44. Diseño y respuesta en frecuencia del filtro pasa altas.

La matriz que muestra nuestros coeficientes es:

SOS matrix:

```
1 -2 1 1 -1.6864150849844293 0.78092874274009016
1 -2 1 1 -1.460217505426548 0.5420541177680368
```

Para este caso las ecuaciones de transferencia en el dominio z quedan de la siguiente manera (7) y (8):

$$H(z) = \frac{1-2z^{-1}+1z^{-2}}{1-1.6964z^{-1}+0.7809z^{-2}} \quad (7)$$

$$H(z) = \frac{1-2z^{-1}+1z^{-2}}{1-1.9602z^{-1}+0.5920z^{-2}} \quad (8)$$

#### 4.4.4 PROGRAMACIÓN DEL ECUALIZADOR

Una vez obtenidas las funciones de transferencia de todos los filtros, procedemos a realizar la ecuación en diferencias en el dominio del tiempo discreto para poder programarla. Para hacer esto vemos el diseño del filtro, ya que desde aquí es más fácil obtener la ecuación en diferencias.

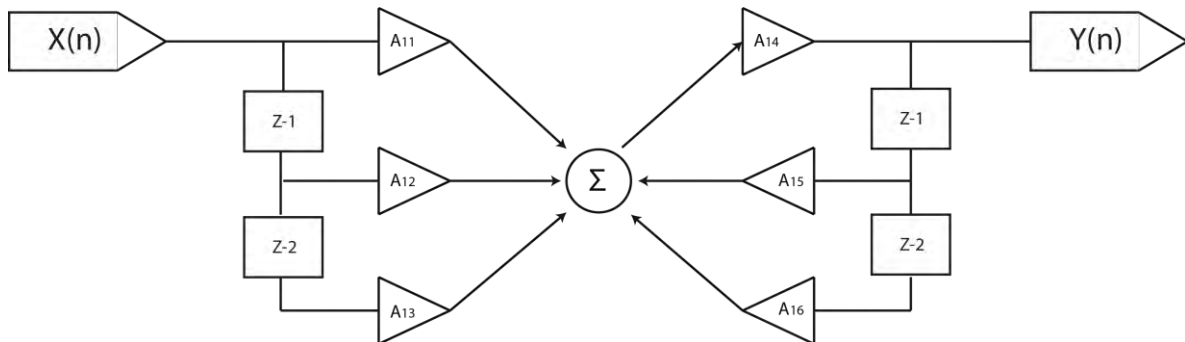


Figura 45. Diseño de la suma de diferencias para los diferentes filtros del proyecto.

En la imagen se puede observar los elementos de la matriz obtenida en Matlab y se puede llegar a un modelo general de ecuación de diferencias para ser programado:

$$Y(n) = A_{14} (A_{11}X[n] + A_{12}X[n-1] + A_{13}X[n-2] + A_{15}Y[n-1] + A_{16}X[n-2]) \quad (9)$$

Como resultado de la ecuación (9), tenemos la cadena a programar dentro de nuestro programa. Como el filtro está diseñado para tener dos secciones, la salida de esta primera parte va concatenada a la segunda parte del filtro, la cual tiene la misma estructura y solo se cambian los coeficientes, utilizándose los valores de la segunda columna de la matriz.



## 4.5 SALIDA DE AUDIO POR LAS BOCINAS

Una vez que el audio de los diferentes canales ha sido capturado, filtrado y mezclado por el programa, procedemos a enviar la señal correspondiente de salida a las bocinas.

Este paso se realiza de forma análoga a la entrada de la información, es decir, la señal de audio de salida es enviada a través de la red de área local hasta la bocina, donde se contará con un equipo especial que haga la función opuesta al micrófono y como paso intermedio un amplificador.

Como salida del programa obtenemos los datos sin comprimir, así que cada muestra va a ser de 24 bits y una velocidad de muestreo de 96 000 Hz, de manera que todos los cálculos realizados para conocer el ancho de banda de la señal para el micrófono, son iguales para la salida de audio, teniendo la oportunidad de manejar hasta 41 canales de salida, solo hace falta conectar bocinas e indicar al sistema hacia que dirección (o direcciones) IP debe de enviar la información de salida.

Una vez que la señal de audio llega a la bocina, se inicia el proceso para pasar la señal a un formato analógico que pueda ser trabajado por el amplificador y con ello obtener una salida de audio a un volumen razonable.

Para lograr esto es necesario que el sistema contenga un DAC y su controlador de red, el cual se puede configurar para desempaquetar los datos, haciendo innecesario el uso de un controlador. Al dejar de utilizar el controlador en la salida, se hace imposible el uso de alguna clase de codificación de la señal para ahorrar ancho de banda, ya que los datos no se pueden procesar para obtener la señal de salida original.

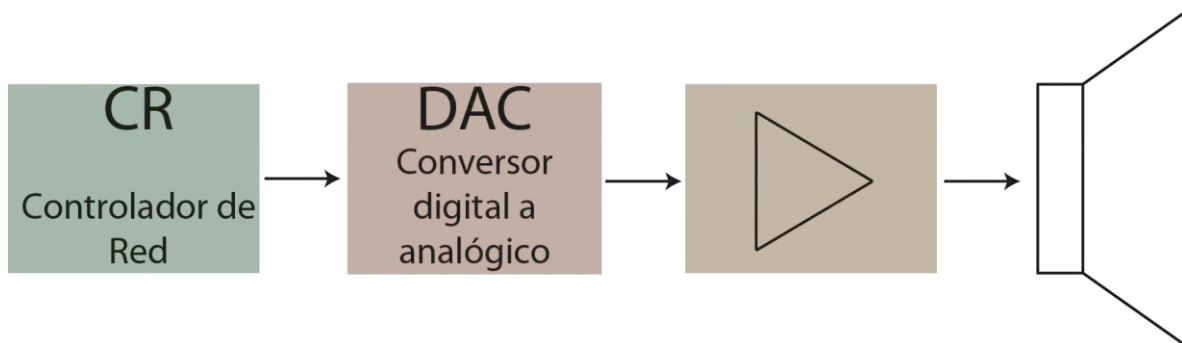


Figura 46. Componentes buscados a la salida del sistema.

Para este caso no es necesario contar con un conversor digital a analógico de 24 bits, siendo remplazado por uno de menor valor, siempre y cuando se haga la reducción en la consola y entendiendo que al hacer esto, se perdería cierta calidad en la señal. Este conversor es el encargado de transformar las señales digitales a su representación analógica, esta señal de salida es demasiado pequeña para ser reproducida por la bocina, lo que hace necesario el uso de un amplificador de potencia para la alimentación de la bocina.

El amplificador puede ser de cualquier clase, pero se buscara uno que tenga un consumo energético con pocas perdidas y tenga una buena respuesta para todas las frecuencias.

Todo este sistema de salida necesita tener alimentación eléctrica para poder funcionar, lamentablemente no se puede lograr una alimentación por medio del mismo cable Ethernet, ya que la cantidad de potencia necesitada supera la cantidad de potencia que se puede transferir por medio de este cable bajo la configuración PoE (Power over Ethernet). De llegar a contar con este sistema, solo es posible alimentar al controlador de red y el conversor digital a analógico.

Dada la necesidad energética del amplificador es conveniente contar con una fuente de alimentación cercana, es decir, una fuente de voltaje alterno o en su caso una batería. Aprovechando la necesidad de esta fuente de alimentación, todo el sistema receptor sacara su energía de ese punto, evitando complicar el sistema o sobre cargar el switch con componentes de PoE para las salidas de audio. Para poder lograr esto es necesario la alimentación del sistema por medio de un eliminador de baterías o adaptador de voltaje.

## RESULTADOS

---

### REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO

---

Es importante realizar la comprobación de los niveles de ruido de nuestro sistema, para ser comparados con los niveles de ruido de un sistema analógico actual, que es el sistema al que le vamos a hacer competencia.

Para poder establecer el nivel de ruido que introducimos a nuestra señal, es importante conocer el valor máximo de voltaje con el que vamos a trabajar, este valor está dado por la alimentación eléctrica del dispositivo, de esta manera, al tener un voltaje suministrado de 5 volts por medio de PoE, conocemos el valor máximo de la señal.

El otro factor importante para conocer el ruido introducido es el número de niveles de cuantización del sistema, en este caso utilizamos un ADC de 24 bits, de tal forma que tenemos  $2^{24}$  (16 777 216) niveles.

El error de cuantización se produce al forzar el redondeo de un valor arbitrario de la señal a el nivel de cuantización más cercano al punto.

De esta manera el nivel de cuantización puede ser descrito como el valor real de la señal más un error de cuantización.

$$x_q = x + e_q \quad e_q = x_q - x \quad (10)$$

Donde el error de cuantización máximo es  $q/2$ .

Para poder calcular el ruido introducido al sistema usaremos el SNR, donde se compara la potencia de la señal con la potencia del ruido:

$$SNR_q = \frac{\text{Potencia Señal}}{\text{Potencia Ruido Cuantización}} \quad (11)$$

La potencia de la señal está normalizada (se utiliza una resistencia de 1 ohm para que pase la señal), la señal es una onda senoidal con amplitud  $A$ , el valor pico es  $\frac{\pi A}{2}$  y la energía, con base a esos valores es  $\frac{A^2 T}{2}$ , de esta manera la potencia de la señal es:

$$2^{-2(\pi-1)} \times T^2 \quad (12)$$

Para calcular el valor de la potencia del ruido es necesario asociarlo con una variable aleatoria ( $e_q$ ). Para poder medir su potencia es necesario conocer su media o esperanza matemática ( $E\{e_q\}$ ) y su varianza ( $\sigma^2 e_q$ ).

Como sabemos que  $e_q$  es una variable aleatoria continua acotada en  $-\frac{q}{2} \leq e_q \leq \frac{q}{2}$ , uniformemente distribuida y de media nula, podemos afirmar que su varianza es igual a la potencia promedio.

La varianza es igual a:

$$\frac{q^2}{12} \quad (13)$$

De esta forma podemos calcular el SNRq:

$$SNR_q = 10 \log \left[ \frac{2^{2m} - 1}{3} \cdot \frac{q^2}{12} \right] = 10 \log [3 \cdot 2^{2m}] = 10 \log 3 + 20m \log 2 \quad (14)$$

$$SNR_q = 4.7712 + 6.02m \text{ [dB]} \quad (15)$$

Donde m es el numero de bits de cada muestra (en nuestro caso es 24) y finalmente obtenemos un valor para sistema de:

$$SNR_q = 4.7712 + (6.02 \cdot 24) = 149.2512 \text{ [dB]} \quad (16)$$

Este es valor total de ruido del sistema, ya que no hay otros componentes que afecten la calidad. Esta calidad se alcanza pagando el precio de tener un pequeño retraso de la voz, mientras el sistema envía la información a la consola, la procesa y la envía de regreso.

En el mercado actual tenemos consolas profesionales de mezcla que tienen ruido del orden de 82 dB, sin contar el ruido introducido por el sistema de cableado del micrófono a la consola<sup>24</sup>.

---

<sup>24</sup> (SOUNDCRAFT HARMAN INTERNATIONAL INDUSTRIES LTD. 2010)

## REDUCCIÓN DE LAS PERDIDAS DE POTENCIA

Para el cálculo de la potencia que se pierde al transmitir las señales por el cable, es necesario tomar en cuenta la resistencia que presenta el cable, la cual es ineludible.

Ahora surge la pregunta que clase de cable utilizar, ya que al variar el diámetro varía la resistencia y si queremos transmitir más potencia es necesario utilizar un cable con mayor diámetro de conductor, para esto utilizamos las diferentes categorías del calibre de cable marcado por los americanos en la norma AWG, la cual es la de mayor aceptación.

Los cables que se utilizan para la conexión de bocinas se seleccionan de acuerdo a la potencia que se quiere perder durante el transporte de la señal, se utilizan desde el calibre 14 al 22, siendo más comunes para alta potencia los calibres 14 y 16 (número de calibre de acuerdo a la AWG).

El diagrama de conexiones para el sistema de salida es el siguiente:

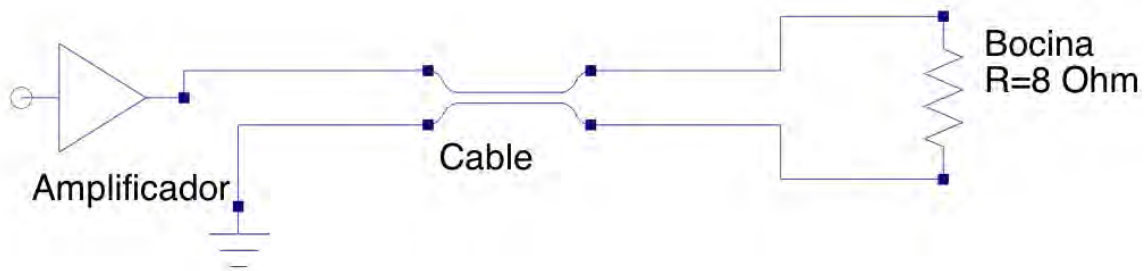


Figura 47. Diagrama de conexiones de la bocina.

El sistema de conexión se puede ver como un circuito en serie, donde la bocina va en el extremo del cable y este último actúa como un resistor debido a su resistencia interna, en este caso dejaremos por fuera la capacitancia del cable (factor que importa en la respuesta en frecuencia del sistema).

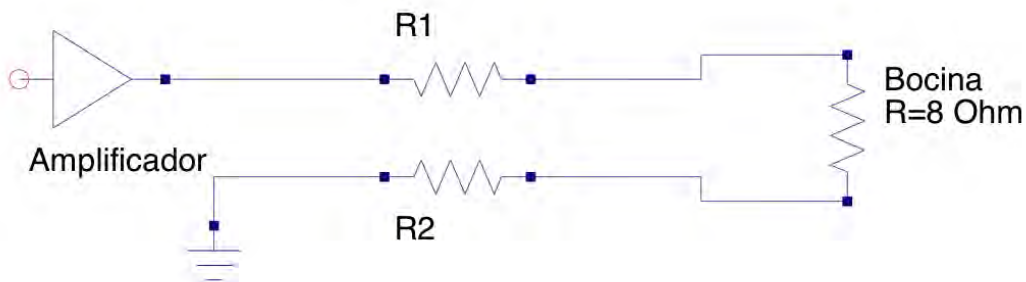


Figura 48. Circuito equivalente a la conexión de la bocina.

En este caso el valor de las resistencias R1 y R2 esta dado por la longitud y el grosor del cable, al tener cable con las mismas características de ida y vuelta, tenemos que R1 es igual a R2.

El índice que nos indica la cantidad de potencia que es aprovechada, se calcula como la relación entre la potencia utilizada por la bocina, entre la potencia suministrada por el sistema. Ahora para calcular la potencia utilizamos la siguiente formula:

$$P = I^2 R \quad (17)$$

De esta manera tenemos la potencia del cable y la potencia de la bocina:

$$P_{bocina} = I^2 R_{bocina} \quad (18)$$

$$P_{cable} = I^2 R_{cable} \quad (19)$$

Ahora obtendremos la relación entre la potencia suministrada y la potencia utilizada eficazmente:

$$\frac{I^2 R_{bocina}}{I^2 R_{bocina} + I^2 R_{cable}} = \frac{I^2 R_{bocina}}{I^2 (R_{bocina} + R_{cable})} = \frac{R_{bocina}}{(R_{bocina} + R_{cable})} \quad (20)$$

Podemos eliminar la corriente del numerador y denominador ya que al estar conectado el circuito en serie, la corriente que pasa por el cable es la misma que pasa por la bocina.

Esta relación nos indica el factor de potencia que es utilizada por el sistema, para poder manejar un resultado en decibeles es necesario aplicar el logaritmo al índice de uso de potencia:

$$Perdidas = 20 \log \left( \frac{R_{bocina}}{(R_{bocina} + R_{cable})} \right) \quad (21)$$

Para calcular el valor de la resistencia introducida por el cable, tomamos como referencia los valores dados por Condumex<sup>25</sup> para los conductores de cobre y hacemos los cálculos para los cables que son fabricados por esta empresa para conexiones de sonido. Los resultados de las perdidas se graficaron en la figura 48.

---

<sup>25</sup> Condumex, 2011.

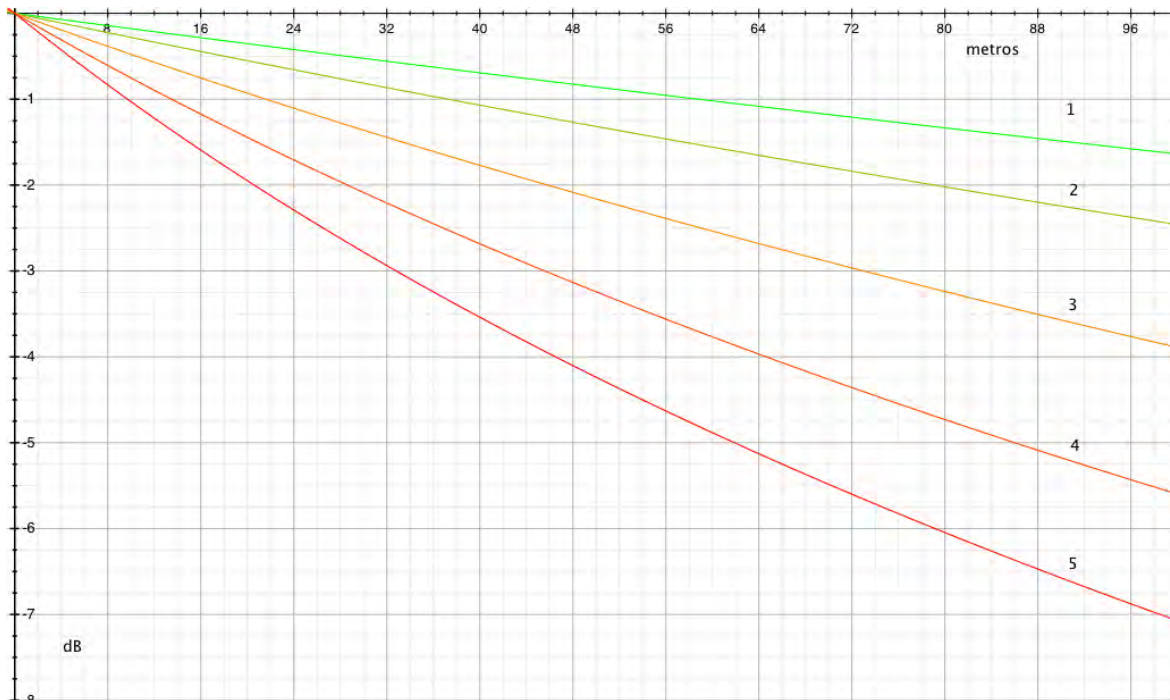


Figura 49. Comparación de pérdidas de los diferentes cables para bocinas.

Los cálculos se realizaron con las características encontradas para los cables:

1. Cables para bocina CL2R, para conexiones de bocinas de alta potencia, calibre AWG 14, marca Condumex, código 65601635.
2. Cables para bocina CL2R, para conexiones de bocinas de alta potencia, calibre AWG 16, marca Condumex, código 65601835.
3. Cables para bocina, con aislamiento de PVC transparente, calibre AWG 18, marca Condumex, código 720270.
4. Cables para bocina, con aislamiento de PVC transparente, calibre AWG 20, marca Condumex, código 720824.
5. Cables para bocina, con aislamiento de PVC transparente, calibre AWG 22, marca Condumex, código 720271.

Es importante ver que si dejamos de usar los cables de alta potencia, los cuales tienen un costo más elevado, la distancia de transmisión crítica, a la cual la potencia se ve reducida en más de un 2 dB, cae considerablemente.

La solución planteada dentro del diseño, es la eliminación de cables largos para transmitir la señal analógica ya amplificada, esto se logra acercando considerablemente el amplificador a la bocina y reducir con esto las pérdidas del cable.

Dentro del sistema diseñado, la señal de la consola se envía de forma digital por medio de un cable de red hasta el dispositivo encargado de convertir la

información a un formato analógico, el cual esta al lado del amplificador y pegado a la bocina, de esta manera las perdidas por el cable se limitan a ser casi imperceptibles, al tratarse de cables de máximo dos metros de longitud, en lugar de tener cables transportando señales de gran potencia desde la consola.

Otra ventaja obtenida es el distanciamiento que se puede lograr entre la consola de audio y las bocinas, pudiendo colocar bocinas en partes lejanas del lugar de espectáculos, ya que el cable de red alcanza hasta 100 metros, pudiendo ser extensible fácilmente.

La única desventaja de esto, es la necesidad de tener una fuente de alimentación en el lugar donde se instalan las bocinas, ya que el aparato encargado de convertir la señal digital a analógica y el amplificador de potencia consumen energía, cosa que se puede arreglar con una toma corriente.

El cable de red utiliza calibre 24 AWG, pero de acuerdo a la norma 802.3 – 2008 de la IEEE, donde se aborda el tema de Ethernet, la resistencia de carga para las tarjetas receptoras debe de ser de  $73\Omega$  o  $83\Omega \pm 1\%$ , lo cual nos da una relación de potencia aprovechada mayor que en el caso del audio, además los niveles a transmitir son mucho mas pequeños (el nivel máximo es 1315 mV) que la señal de audio, dando lugar a perdidas mas pequeñas<sup>26</sup>.

En la figura 49 se puede observar las perdidas en decibeles sufridas por el cable de red contra el cable de audio de alta potencia calibre 14 y las perdidas del cable de audio con aislamiento de PVC calibre 18.

---

<sup>26</sup> IEEE, 2008.



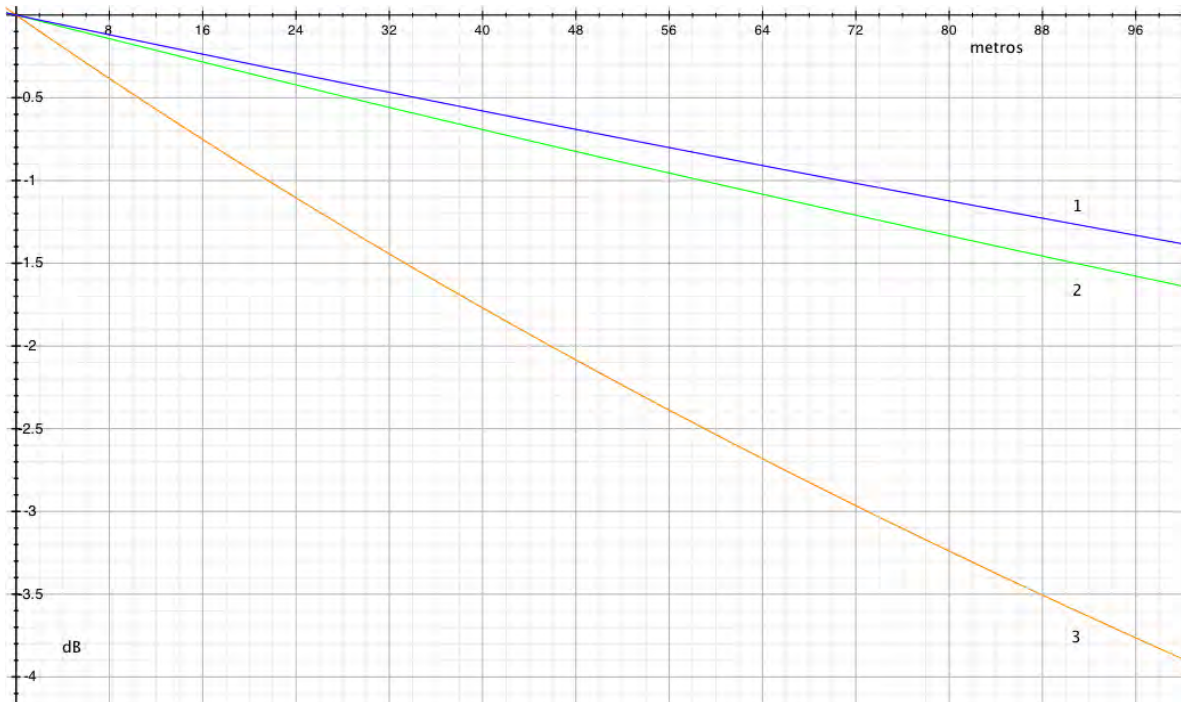


Figura 50. Comparación entre los cables de mayor cable para bocinas y el cable de red.

Donde los cables comparados son:

1. Cables para bocina CL2R, para conexiones de bocinas de alta potencia, calibre AWG 14, marca Condumex, código 65601635.
2. Cables para bocina, con aislamiento de PVC transparente, calibre AWG 18, marca Condumex, código 720270.
3. Cable Ultracat categoría 5e (UTP), calibre AWG 24, marca Condumex, código 66445872.

De esta manera se comprueba que al transmitir la información de forma digital mediante un cable de red y realizando la conversión a una señal analógica y la amplificación cerca de la bocina, se logra el ahorro energético buscado al inicio del trabajo.

## SISTEMA DE GESTIÓN DE AUDIO

---

El resultado del trabajo realizado es el planteamiento de un sistema completo de gestión de audio para espectáculos, el cual se puede utilizar para espectáculos móviles o fijos. En ambos casos la calidad que se maneja es estupenda, igualando la calidad conseguida en estudios de grabación.

La solución planteada incluye el diseño del micrófono para que pueda enviar la señal directamente por el cable de red; el diseño y pruebas de la red, asegurando el ancho de banda necesario para los diferentes canales y por último el diseño y elaboración de un programa de computadora encargado de la mezcla y ecualización de canales, así como su envío a las bocinas, las cuales cuentan con un sistema similar al del micrófono pero en sentido contrario.

Quedan cosas faltantes para la implementación del sistema, como la construcción de los micrófonos y el desarrollo de una aplicación que se encargue de la conexión de los micrófonos con el programa, es decir, una especie de puente, que una los datos que llegan del micrófono con el programa. De manera similar al programa se le puede agregar un gran número de funcionalidades extra, algunas de las cuales no están soportados por las consolas para espectáculos actuales, como ecos largos, reproducción de mp3 directamente desde la computadora o realizar difusión en vivo vía internet. También queda pendiente el manejo a distancia de la consola desde un dispositivo móvil.

A manera de producto del trabajo, se puede entregar los diseños del micrófono y la red, así como el programa funcionando que se encarga de mezclar y ecualizar los canales de audio.

## CONCLUSIONES

---

El objetivo del proyecto se pudo cumplir sin dificultad, ya que se pudo desarrollar todo el sistema de gestión de audio, desde la parte de captura de información en el micrófono, pasando por la parte de transporte de información por medio de la red de área local, siendo procesada y mezclada y por último su envío por la misma red para su salida por las bocinas.

Durante el desarrollo de los temas me di cuenta de la gran cantidad de opciones que están disponibles para un sistema así, siendo el sistema expresado en el trabajo solo un pequeño esbozo de todo lo que puede hacer. Las opciones para una expansión posterior son gigantescas, pudiendo incorporar video, sonido fijo o difusión de contenidos por medio de una red local, que al estar conectada a internet el alcance es global.

La única complicación que enfrenté, fue la imposibilidad de hacer el micrófono y la aplicación para el transporte de datos, el primero por la imposibilidad de tener y trabajar con el material y la segunda complicación fue por falta de conocimientos acerca de aplicaciones para el transporte de datos bajo el esquema de una red de área local.

## BIBLIOGRAFÍA

---

Coleman, Mark. *Playback: From the Vitrola to mp3, 100 Years of Musica, Machines and Money*. 2ª Edición. Cambridge: Da Capo Press, 2003.

Altenberg, Bert, Alex Clarke, y Philippe Mougín. *Become an Xcoder: Start Programming the Mac Using Objective-C*. Version 1.15. Cocoa Labs, 2008.

Ampex Corporation. *Ampex History*. 2011. <http://www.ampex.com/early-history-ampex/214-early-history-ampex1.html> (último acceso: 20 de Noviembre de 2011).

Digi-Key Corporation. *Digi - Key Parts*. 2011. <http://parts.digikey.com/1/parts/1546679-ic-adc-24bit-ser-96k-32tqfp-pcm1851apjtr.html> (último acceso: 22 de 09 de 2011).

Harman Inc. *Struder - [Struder at a Glance]*. 2011. <http://www.studer.ch/news/glance.aspx> (último acceso: 20 de Noviembre de 2011).

Hersent, Oliver, Jean-Pierre Petit, y David Gurle. *IP Telephony. Deploying voice over IP protocols*. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons LTD, 2005.

IBS: The Organisation for Sound Professionals. *DSP - 1 - IBS Compendium*. 9 de Marzo de 2010. <http://www.ibs.org.uk/audiocompendium/index.php?title=DSP-1> (último acceso: 20 de Noviembre de 2011).

IEEE. *Standar 802.11g - 2003*. New York, NY: IEEE, 2003.

—. *Standar 802.11n - 2009*. New York, NY: IEEE, 2009.

—. *Standar 802.3 - 2008*. New York, NY: IEEE, 2008.

MIPS Technologies. *MIPS Technologies*. 2011. <http://mips.com/products/cores/32-64-bit-cores/mips32-4k/#specifications> (último acceso: 26 de 09 de 2011).

Neve Electronics International. *DSP Digital Desk Brochure*. 1983.

Peatman, John. *Desing with Microcontrollers*. McGraw-Hill, 1988.

Realtek. *Specification RTL8019AS Full-Duplex Ethernet Controller with Plug and Play Function (RealPNP)*. Realtek, 2001.

SERVICIOS CONDUMEX, S.A. DE C.V, *Fichas técnicas de cables de audio*, México, 2011.

SERVICIOS CONDUMEX, S.A. DE C.V, *Fichas técnicas de cables para redes (LAN)*, México, 2011.

SERVICIOS CONDUMEX, S.A. DE C.V, *Fichas técnicas de características de conductores*, México, 2011.

Sklar, Bernard. *Digital Communications*. Los Angeles, California: Prentice Hall, 1988.

SOUNDCRAFT HARMAN INTERNATIONAL INDUSTRIES LTD. *4-BUS & 8-BUS PROFESSIONAL MIXING CONSOLES*. 2010.

Texas Instruments. *Solid State Voice Recorder Using Flash MSP430*. Dallas, Texas: Texas Instruments, 2001.

TP-LINK. *TP-LINK Power over Ethernet Switch*. 2011. <http://www.tp-link.com/en/products/details/?categoryid=233&model=TL-SF1008P> (último acceso: 27 de 09 de 2011).

TP - LINK. *TP - LINK*. 10 de 10 de 2010. <http://www.tp-link.com/mx/products/productDetails.asp?class=switch&content=spe&pmodel=TL-SL1117> (último acceso: 08 de 09 de 2011).

Watkinson, John. *The art of digital audio*. 3ª edición. Oxford: Focal Press, 2001.

Wifi Stock. *Wifi Stock*. 08 de 09 de 2011. [http://www.wifi-stock.com/details/tp-link\\_tl-sl1226.html](http://www.wifi-stock.com/details/tp-link_tl-sl1226.html) (último acceso: 08 de 09 de 2011).

Yamaha Pro Audio. *Mixers | Products | Yamaha*. 2011. <http://www.yamahaproaudio.com/global/en/products/mixers/> (último acceso: 20 de Noviembre de 2011).