

RAE

- 1. TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO DE SONIDO.
- 2. TITULO:** Diseño y construcción de un sistema de control para editores de audio con manejo de comunicación integrado.
- 3. AUTORES:** Julián David Rincón Ruiz y Andrés Felipe Osorio Jiménez.
- 4. LUGAR:** Bogotá D.C.
- 5. FECHA:** Julio de 2016.
- 6. PALABRAS CLAVE:** Superficie de control, DAW, microcontrolador, control de monitoreo, vúmetro, Protocolo MIDI, comunicación USB, Mackie Control, Mackie HUI, amplificador operacional, puente H, fuente de voltaje.
- 7. DESCRIPCION DEL TRABAJO:** El objetivo principal de este proyecto, es desarrollar e implementar un sistema de control para editores de audio y de comunicación funcional en seis plataformas de edición de audio.
- 8. LINEAS DE INVESTIGACION:** Línea de investigación de la USB: Diseño de dispositivos basados en audio (plan de desarrollo institucional 2009-2013).
- 9. METODOLOGIA:** El método de investigación que se uso es el método científico, mediante este proceso que se llevara a cabo para realizar este proyecto con base en el diseño y construcción de un dispositivo de control.
- 10. CONCLUSIONES:** Implementando protocolos universales de comunicación MIDI como lo son Mackie control y Mackie HUI es posible controlar la gran mayoría de softwares del mercado, a su vez, implementando una placa de circuito general para todas las etapas del prototipo, es posible optimizar la señal y reducir en gran cantidad el ruido de piso.

Diseño y construcción de un sistema de control para editores de audio con manejo de comunicación integrado

Andrés Felipe Osorio Jiménez

Julián David Rincón Ruiz

Universidad de San Buenaventura

Ingeniería de sonido

Bogotá

2016

Diseño y construcción de un sistema de control para editores de audio con manejo de comunicación integrado

Andrés Felipe Osorio Jiménez

Julián David Rincón Ruiz

Jurados:

Ing. Miguel Ángel Olivares

Físico. Felipe A. Vallejo PhD.

Universidad de San Buenaventura

Ingeniería de sonido

Bogotá

2016

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, junio de 2016

Contenido

Introducción	1
1 Planteamiento del problema	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Descripción y formulación del problema	4
1.3 Justificación	4
2 Objetivos de la investigación.....	5
2.1 Objetivo general	5
2.2 Objetivos específicos	5
3 Alcances y limitaciones	6
3.1 Alcances	6
3.2 Limitaciones	6
4 Metodología.....	7
5 Línea de investigación	8
6 Hipótesis y variables.....	9
6.1 Hipótesis	9
6.2 Variables	9
6.2.1 Independientes	9
6.2.2 Dependientes	9
7 Marco de referencia.....	10
7.1 Marco teórico	10
7.1.1 Fuente de alimentación lineal. (William H. Hayt, 2007).....	10
7.1.2 Superficie de control. (PreSonus, 2015)	10
7.1.3 Estación de monitoreo. (PreSonus, 2016).....	11
7.1.4 Vúmetro. (McKnight, 2006)	11
7.1.5 Universal serial bus. (Fundación Wikimedia, 2016)	12
7.1.6 Protocolo MIDI. (IEEE, 2000)	13
7.1.7 Microcontrolador. (Perez, 2007)	17
7.1.8 ATMEGA328. (Corporation, 2016).....	18
7.1.9 Arduino. (Arduino, Arduino , 2016).....	18

7.1.10	Arduino Nano. (Arduino, Arduino , s.f.).....	19
7.1.11	Ley de Ohm. (William H. Hayt, 2007).....	19
7.1.12	Ley de corriente de Kirchoff. (William H. Hayt, 2007)	20
7.1.13	Resistencia. (William H. Hayt, 2007).....	20
7.1.14	Transistor. (William H. Hayt, 2007).....	20
7.1.15	Resistencia variable. (William H. Hayt, 2007).....	21
7.1.16	Condensador. (William H. Hayt, 2007).....	21
7.1.18	Fader motorizado. (ALPS ELECTRIC CO., 2016).....	22
7.1.19	Puente H (Fundación Wikimedia, 2016)	22
7.1.20	DAW. (Fundación Wikimedia, 2016)	23
7.1.21	Amplificador Operacional. (Garcia Lopez & Gutiérrez Iglesias , 1991).....	26
7.1.23	Configuración inversora. (Garcia Lopez & Gutiérrez Iglesias , 1991).....	27
7.1.24	Configuración no inversora. (Garcia Lopez & Gutiérrez Iglesias , 1991).....	28
7.1.26	Configuración de seguidor. (Garcia Lopez & Gutiérrez Iglesias , 1991)	31
7.1.27	Circuito Comparador. (Fundación Wikimedia, 2016).....	31
7.1.28	Relevador. (Definicion.de, 2016)	33
7.1.29	Micrófono electret. (Reflexiona, 2013).....	34
7.1.30	Nivel de línea (CFP24, 2016).....	35
7.1.31	Nivel nominal (CFP24, 2016).....	35
7.1.32	Impedancias. (William H. Hayt, 2007)	36
7.1.33	Impedancia de entrada. (William H. Hayt, 2007).....	37
7.1.34	Impedancia de salida. (William H. Hayt, 2007).....	37
7.1.35	Lenguajes de programación. (Fundación Wikimedia, 2016)	37
7.2	Marco legal	39
7.2.1	Norma MIDI 1.0 (IEEE, 2000)	39
8	Desarrollo ingenieril	40
8.1	Diseño de la fuente de voltaje	42
8.2	Cálculo y diseño del vúmetro	44
8.3	Programación y montaje del arduino para la superficie de control	50
8.3.1	Programación de los botones.	54
8.3.2	Programación y conexión del puente H.	56
8.3.3	Sensor de tacto	60

8.3.4	Envío de mensajes MIDI.	61
8.3.5	Montaje de la PCB de la sección de la superficie de control.....	65
8.4	Desarrollo del sistema de manejo de comunicación integrado	68
8.4.1	Diseño sistema de entrada de señal.	68
8.4.2	Convertor estéreo mono.	74
8.4.4	Salidas balanceadas.	78
8.4.5	Amplificador de audífonos.	84
8.4.6	Sistema de comunicación Talkback.	88
8.5	Diseño de pruebas para medición de parámetros Técnicos.	90
8.5.1	Medición impedancia de entrada e impedancia de salida.....	90
8.5.2	Medición de la distorsión armónica	91
8.5.3	Medición de ruido de piso	92
8.5.4	Medición respuesta de frecuencia.....	92
9	Resultados.....	94
9.1	Montaje final de los circuitos impresos	94
9.1.1	Montaje del circuito correspondiente a la fuente de voltaje.....	94
9.1.2	Montaje y medición del vúmetro led.....	95
9.1.3	Placa de circuito principal.....	96
10	Análisis de resultados	114
10.1	Sistema de control estaciones digitales de trabajo	114
10.2	Impedancia de entrada e impedancia de salida.....	114
10.2.1	Impedancia de entrada.....	114
10.2.2	Impedancia de salida.	115
10.3	Distorsión armónica	116
10.4	Relación señal ruido	117
10.5	Ruido de piso.....	118
10.6	Respuesta en frecuencia.....	119
11.	Conclusiones	121
12.	Recomendaciones	123
13.	Bibliografía	124
14.	Anexos	127

Lista de Imágenes

Figura 1 Presonus FaderPort. Presonus (2007). Recuperado de http://www.presonus.com/products/FaderPort/media	11
Figura 2 Vúmetro indicador led.....	12
Figura 3 Clases de conectores (TELEVISION, 2014).....	13
Figura 4 Esquema de envío y recepción de datos MIDI.....	14
Figura 5 Esquema de envío y recepción de datos MIDI (J, s.f.).....	16
Figura 6 Estructura de un byte de datos (J, s.f.).....	16
Figura 7 Estructura de un micro-controlador.....	17
Figura 8 Vista frontal arduino nano. Arduino. Recuperado de https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano	19
Figura 9 Símbolo resistencia.....	20
Figura 10 Símbolo transistor PNP Y PNP	20
Figura 11 Símbolo resistencia variable.....	21
Figura 12 Símbolo condensador	21
Figura 13 ALPS. Fader motorizado marca Alps. Recuperado de http://www.alps.com/prod/info/E/image/Potentiometer/SlideMixers/RSN1M/RSN1M_D_50.GIF	22
Figura 14 Buttay C. Puente H. (2006). Recuperado de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f2/H_bridge_operating.svg/350px-H_bridge_operating.svg.png	23
Figura 15 Configuración diferencial.....	26
Figura 16 Configuración inversora.	28
Figura 17 Configuración no inversora.	29
Figura 18 Amplificador en configuración sumadora no inversora.	30
Figura 19 Configuración de seguidor de tensión.	31
Figura 20 Ejemplo circuito comparador con una tension de referencia de 2.5V.....	32
Figura 21 Esquema de un relevador.....	34
Figura 22 Micrófono electret. (Reflexiona, 2013).....	34
Figura 23 Diagrama de bloques prototipo planteado.....	41
Figura 24 Transformador toroide de 12, 0, 12 voltios	42
Figura 25 Esquema de la fuente de voltaje.	43
Figura 26 Esquema fuente de voltaje.....	44
Figura 27 Simulación de circuito comparador aplicado al Vúmetro	48
Figura 28 Esquema de la PCB del Vúmetro Led.....	50
Figura 29 Comparación de botones en los software de audio	51
Figura 30 Corte y serigrafía de la sección de superficie de control del dispositivo físico y canal.	52
Figura 31 Comparación barras de transporte del software.	53
Figura 32 Diagrama de bloques de la calibración del fader.....	53
Figura 33 Diagrama de bloques de la programación de los botones	55
Figura 34 Esquema de conexión de un botón.	56

Figura 35 Diagrama de bloques de la calibración del fader.....	57
Figura 36 Diagrama de bloques de la programación del movimiento del fader.....	58
Figura 37 Esquema de conexión del fader.....	59
Figura 38 Esquema de conexión del sensor de tacto.....	60
Figura 39 Diagrama de bloques de la programación del sensor de tacto.....	61
Figura 40 Circuito esquemático de la sección de superficie de control.....	66
Figura 41 Esquemático del acoplamiento de la interface MIDI al arduino.....	67
Figura 42 Diagrama esquemático control de comunicación.....	68
Figura 43 Configuración diferencial de entrada.....	69
Figura 44 Simulación del circuito diferencial de entrada.....	71
Figura 45 Sistema para control del relevador.....	72
Figura 46 Diagrama de bloques del código para activación de relevador.....	73
Figura 47 Circuito Sumador no inversor del dispositivo.....	74
Figura 48 Resultado de la suma de las señales.....	76
Figura 49 Esquema de división de señal.....	77
Figura 50 Esquema de división de señal para 3 salidas estéreo.....	78
Figura 51 Esquema de los relevadores de salida.....	79
Figura 52 Esquema del circuito que desbalancea la señal proveniente de la señal derecha R.....	80
Figura 53 Divisor de tensión o pad resistivo.....	81
Figura 54 Esquema circuito inversor de fase.....	82
Figura 55 Resultado simulación salida izquierda	Figura 56 Resultado
simulación salida derecha.....	83
Figura 57 Circuito sumador con seguidor de voltaje.....	85
Figura 58 Esquema de conexión de la etapa de amplificación de audífonos.....	85
Figura 59 Circuito amplificador no inversor.....	86
Figura 60 Señal amplificada de audífonos.....	87
Figura 61 Esquemático preamplificador micrófono electret.....	88
Figura 62 Diseño final del circuito impreso.....	89
Figura 63 Circuito representativo emulando un sistema en serie a un potenciómetro.....	90
Figura 64 Circuito representativo para hallar la impedancia de entrada del sistema.....	91
Figura 65 Circuito fuente de alimentación.....	94
Figura 66 Placa impresa del VU metro.....	95
Figura 67 Circuito principal.....	96
Figura 68 Circuito impreso principal, sección; control DAW.....	97
Figura 69 Recepción de datos MIDI al ordenador (Mackie Control).....	98
Figura 70 Recepción de datos MIDI al ordenador (Mackie HUI).....	98
Figura 71 Parámetros funcionando en REAPER	Figura 72 Parámetros funcionando en
REAPER (Transporte).....	99
Figura 73 Parámetros funcionando en CUBASE.....	100
Figura 74 Parámetros funcionando en CUBASE (transporte).....	100
Figura 75 Parámetros funcionando en LOGIC.....	100
Figura 76 Parámetros funcionando en NUENDO.....	101
Figura 77 Parámetros funcionando en NUENDO (transporte).....	101

Figura 78 Parámetros funcionando en SONAR en SONAR (transporte).....	Figura 79 Parámetros funcionando en SONAR (transporte).....	102
Figura 80 Parámetros funcionando en PRO TOOLS PRO TOOLS (transporte)	Figura 81 Parámetros funcionando en PRO TOOLS (transporte)	102
Figura 82 Circuito impreso principal, sección; control monitoreo integrado.		104
Figura 83 Señal de entrada balanceada.....		105
Figura 84 Señal resultante del amplificador diferencial		106
Figura 85 Señal de entrada a etapa de suma		107
Figura 86 Señal resultante de la suma.....		108
Figura 87 Señal de entrada a etapa final		109
Figura 88 Señal salida etapa final		109
Figura 89 Señal de entrada a etapa de audífonos		110
Figura 90 Señal de salida de los amplificadores de audífonos		111
Figura 91 Medición ruido de piso		119
Figura 92 Respuesta en frecuencia		120

Lista de tablas

Tabla 1 Especificaciones del sistema de transferencia USB (Fundación Wikimedia, 2016)	12
Tabla 2 Parámetros ideales de la configuración no inversora.....	27
Tabla 3 Parámetros ideales de la configuración no inversora.....	29
Tabla 4 Especificaciones de algunos amplificadores operacionales.....	32
Tabla 5 Resultados simulación de la fuente de voltaje	43
Tabla 6 Resultados medición simulación vúmetro led.	49
Tabla 7 Codigos del protocolo Mackie Control.....	62
Tabla 8 Códigos protocolo Mackie HUI.....	63
Tabla 9 Mensaje MIDI para botón "Play" (Mackie Control).....	64
Tabla 10 Mensaje MIDI para botón "Play" (Mackie HUI).....	64
Tabla 11 Mensaje MIDI para boton "Play" 2 (Mackie HUI).....	64
Tabla 12 Resultados simulación circuito desbalanceador	71
Tabla 13 Resultados simulación suma de señales.....	76
Tabla 14 Medición señales del balanceador	84
Tabla 15 Resultados simulación del amplificador de audífonos	87
Tabla 16 Resultados medición de la fuente de voltaje y transformador	94
Tabla 17 Resultados de medición de voltajes para el vúmetro led	95
Tabla 18 Comparación superfice de control	102
Tabla 19 Medición de los voltajes de entrada al dispositivo	105
Tabla 20 Resultado del circuito diferencial	106
Tabla 21 Valores de entrada a etapa de suma	107
Tabla 22 Resultado etapa de suma.....	108
Tabla 23 Amplitud de la señal que ingresa a la etapa final	109
Tabla 24 Voltaje de señales de salida de la ultima etapa.....	110
Tabla 25 Voltaje de entrada y salida de la etapa de audífonos	111
Tabla 26 Comparación parámetros técnicos análogos.....	112

Introducción

En los estudios de grabación, postproducción y mezcla es común encontrar dos sistemas de trabajo, los cuales están diseñados para generar simplicidad en los procesos que conlleva hacer una producción auditiva a su vez facilitando la interacción hombre-máquina. Sin embargo, muchos sistemas tienen algunas limitaciones en su plataforma de trabajo; es habitual encontrar un sinnúmero de interfaces de control que logran facilitar la ruta interna de monitorización en un estudio y a su vez es común encontrar sistemas que permiten controlar los sistemas de grabación y control de los hardware que se utilizan para el procesamiento de señales de audio llamadas estaciones digitales de trabajo D.A.W. por sus siglas en inglés *Digital Audio Workstation*. La principal limitación de estos sistemas, es que no es posible controlar estos dos procesos en un solo dispositivo, es decir, están limitados en tanto a la capacidad de monitorizar, a la comunicación y al uso de su estación digital de trabajo.

Es por eso que en este proyecto tiene como fin realizar un estudio el cual busca hacer la unión de dos dispositivos que vienen separados y también generar una universalidad en el control de las estaciones de trabajo digitales, con el fin de hacer un dispositivo que sea capaz de controlar varias estaciones digitales de trabajo y a su vez tenga la opción de controlar la comunicación y la monitorización de un estudio. Esto se plantea haciendo en primera medida un estudio general de las estaciones de trabajo viendo cuales son las necesidades principales a suplir, seguido a esto, se pretende por medio del protocolo MIDI establecer una comunicación con las estaciones de trabajo y por último diseñar e implementar un dispositivo que sea capaz de controlar las opciones anteriormente dichas y las cuales van a ser especificadas en la totalidad del proyecto.

1 Planteamiento del problema

1.1 Antecedentes

Michal Lech y Bozena Kostek, (2013), realizaron una investigación que fue motivada por la limitada versatilidad del ratón y el teclado de la computadora, así como por la influencia de la visualización de los canales de audio en la mezcla del sonido, el proyecto pone a prueba un sistema de mezcla de audio el cual es controlado por medio de gestos que se reconocen mediante una secuencia de video. Esta investigación es la principal referencia para el desarrollo del proyecto, debido a que demuestra que es posible implementar un control de parámetros desde la parte física mediante la interacción con un dispositivo. (Lech & Kostek, 2013)

Steve Milne, Phil Campbell, Scott Freshour, Rob Boyer, Jim McTigue y Martin Kloiber, (2006), describen el funcionamiento de una superficie de control de protocolo de aplicación que aborda el problema de aumentar la eficiencia de interfaz de usuario en las aplicaciones de software cada vez más complejas, este protocolo fue diseñado para tener un gran ancho de banda, alta resolución y una gran variedad de controles para proveer aplicaciones de software para poder ser usados en las consolas modernas de mezcla. Este artículo basa la investigación de la superficie de control en que es posible controlar parámetros de un editor de audio mediante un protocolo establecido. (Milne , y otros, 2006)

Hawkins, E. (2003), habla en su artículo de las múltiples posibilidades y opciones de superficies de control disponibles en el mercado, no importa cual es el flujo de trabajo del ingeniero, existen superficies de control con faders y perillas que pueden facilitar el trabajo. Éste artículo se enfoca en el funcionamiento de controles dedicados a la mezcla virtual y se relaciona

con el proyecto debido a que usa parámetros externos a los editores de audio para controlar los mismos. (E, 2003)

Michael Paul Stavrou, (1993), propone una táctica para diseñar interfaces de usuario demostrando como pueden crecer en ergonomía y eficiencia en la posibilidad del diseño. El diseño propuesto elimina controles multifuncionales y no requiere aplicaciones específicas extensas para controlar y tampoco una extensa aplicación de comandos específicos al igual que se plantea en el proyecto, se eliminaran controles excesivos de control de superficies. (Stavrou, 1993)

Nelson Rosas, Andres Caballero y Carlos Camargo, (2010) proponen un sistema de transmisión inalámbrica para el protocolo de comunicación MIDI, utilizando sistemas embebidos, el proyecto consiste en diseñar un sistema para realizar la transmisión por Wi Fi de protocolo MIDI, el cual utiliza herramientas de software libre y sistemas embebidos. Los mensajes MIDI son adquiridos por computador, el cual tiene la capacidad de interpretar los mensajes y traducirlos en notas musicales o cambios de control, este proyecto muestra que es posible utilizar sistemas externos para programar cambios de control mediante mensajes MIDI. (Rosas, Caballero, & Camargo , 2010)

Jhon Santana y Juan Zuleta (2011), plantean el diseño de una interfaz de control inalámbrica la cual está basada en un guante, el cual esta adecuado con una serie de componentes electrónicos como flexómetros para identificar los movimientos de los dedos, acelerómetros para identificar el cambio de la posición de la mano, un micro-controlador para interpretar y adecuar la señal de transmisión, al igual que el proyecto anterior, se puede concluir que es posible programar parámetros desde un microcontrolador para realizar acciones físicas que se reflejen en un sistema de edición de audio. (Santana & Zuleta , 2011)

1.2 Descripción y formulación del problema

Las superficies de control existentes en el mercado son una gran herramienta a la hora de facilitar el trabajo de edición, producción y postproducción, sin embargo, el gran problema de éstas, es que aunque manejan una gran variedad de estaciones de trabajo de audio, se ven limitadas en cuanto al control de comunicación y las que cuentan con éste se ven limitadas en el manejo de múltiples estaciones de trabajo.

¿Cómo universalizar múltiples estaciones de trabajo de audio con una superficie de control de un canal y control de comunicación integrado?

1.3 Justificación

Este proyecto plantea implementar una superficie de control y comunicación ya que es necesario unificar una superficie de control de un canal y un control de comunicación en el estudio que se pueda utilizar en una gran variedad de estaciones de trabajo, el control de comunicación se realizará de manera análoga, lo cual permitirá conectar cualquier salida de audio de una interface al prototipo, y la comunicación del microcontrolador con la computadora que se realizara mediante protocolo MIDI, eliminando el inconveniente que hay al no poder utilizar múltiples plataformas de trabajo con un solo dispositivo compacto.

2 Objetivos de la investigación

2.1 Objetivo general

Desarrollar e implementar un sistema de control para editores de audio y de comunicación funcional en seis plataformas de edición de audio.

2.2 Objetivos específicos

- ❖ Establecer el diseño físico, electrónico y programación del prototipo según su eficiencia de comunicación y manejo con las estaciones de trabajo.
- ❖ Desarrollar los parámetros técnicos del dispositivo, que permitirán enlazar la comunicación hombre-máquina.
- ❖ Evaluar el funcionamiento del dispositivo comparando aspectos de versatilidad y procesamiento de órdenes controladas, con dispositivos de características similares tales como: el faderport de presonus, big knob de mackie y el monitor station de presonus.

3 Alcances y limitaciones

3.1 Alcances

- ❖ El presente proyecto pretende unificar en una superficie de control el manejo de más de seis estaciones de trabajo y el control de comunicación en el estudio.
- ❖ Se establecerán los botones y funciones que hay en común entre las superficies de trabajo como por ejemplo play, pause, stop, movimiento de fader, entre otros.

3.2 Limitaciones

- ❖ El acceso a las estaciones de trabajo debido a sus condiciones para ser utilizadas de forma legal.
- ❖ Capacidad de memoria de almacenamiento en el microcontrolador

4 Metodología

El proceso que se llevara a cabo para realizar este proyecto, consiste en adquirir componentes de la mejor calidad teniendo en cuenta las necesidades de los ingenieros de sonido que van a usar este dispositivo en enfoques de producción de audio. El objetivo del proyecto es que a partir de un microcontrolador se puedan desarrollar herramientas que, mediante programación, logren el manejo de controles con protocolo MIDI, lo cual permitirá una interacción hombre-máquina más adecuada, brindando una mayor versatilidad en cuanto al administración de parámetros de control. Después de desarrollado el proyecto, se dará lugar a hacer una comparación del dispositivo con otros de funciones similares y de alta calidad, con lo cual se podrá comprobar que es posible lograr la universalización de controles para manejo de múltiples plataformas de edición de audio contando con una herramienta adicional que es la adecuada comunicación dentro del estudio mediante una estación de interacción entre el ingeniero, productor y músico. Los principales controles de manejo que se desarrollarán, se toman con base a encuestas realizadas a una población de 100 ingenieros de sonido dedicados al área de producción donde se identificaron las principales estaciones de edición de audio que se trabajan en el mercado y también de los controles comunes en todos los editores.

5 Línea de investigación

La facultad de Ingeniería de la Universidad de San Buenaventura tiene como línea de investigación el diseño de dispositivos basados en audio, el cual tiene en cuenta el plan de desarrollo institucional 2009-2013.

Es por esto que el proyecto, diseño y construcción de un sistema de control para editores de audio con manejo de comunicación integrado, está basado en dar solución a un problema el cual está enfocado a la línea de investigación propuesta por la universidad.

6 Hipótesis y variables

6.1 Hipótesis

Mediante la programación e implementación del protocolo MIDI, es posible universalizar varias estaciones de trabajo con un control de comunicación en un solo dispositivo.

6.2 Variables

6.2.1 Independientes

- ❖ Microcontrolador
- ❖ Interfaz de comunicación con la DAW.
- ❖ Comunicación USB (Universal Serial Bus)
- ❖ Estandarización de normas

6.2.2 Dependientes

- ❖ Adquisición de protocolo MIDI
- ❖ Manejo de parámetros electrónicos

7 Marco de referencia

7.1 Marco teórico

7.1.1 Fuente de alimentación lineal. (William H. Hayt, 2007)

Una fuente de voltaje, es aquella que se encarga de convertir la corriente alterna AC en una corriente continua que permite alimentar los diferentes circuitos electrónicos que se van a conectar. Una fuente de alimentación presenta en primer lugar un transformador, el cual es un dispositivo que permite adaptar niveles de tensión, es decir, reducir el voltaje que proviene directamente de una toma eléctrica a voltajes más reducidos mediante su tipo de construcción que consta de dos bobinas de material conductor enrollados en un núcleo cerrado de material ferromagnético pero que están aisladas eléctricamente. El circuito que se encarga de convertir la corriente alterna en continua recibe el nombre de rectificador y finalmente, consta de un circuito que permite disminuir el rizado del voltaje mediante un filtro hecho con un condensador.

7.1.2 Superficie de control. (PreSonus, 2015)

Una superficie de control es un dispositivo físico (hardware) con diferentes tipos de controles que permiten obtener manejo externo para trabajar con diferentes softwares de audio utilizando diferentes tipos de comunicación, usualmente mediante protocolo MIDI, estas superficies envían y reciben datos MIDI lo cual permite tener el control específico de un software de audio.



Figura 1 PreSonus FaderPort. PreSonus (2007). Recuperado de <http://www.presonus.com/products/FaderPort/media>

7.1.3 Estación de monitoreo. (PreSonus, 2016)

Una estación de monitoreo en audio, es un dispositivo electrónico o digital que permite controlar el flujo de señal de los puertos de salida de un dispositivo de audio, se usa habitualmente para tener diferentes referencias de monitoreo en el estudio y para tener control de comunicación entre el ingeniero y el músico.

7.1.4 Vúmetro. (McKnight, 2006)

El vúmetro es un dispositivo indicador, que permite mostrar el nivel de voltaje producido por una señal de audio, traducido a unidades específicas que designe el fabricante (dB, dBu, dBv, etc.). Esto hace posible tener una referencia visual de cómo se está comportando una señal de audio para poder ser utilizada de forma óptima. Los dispositivos indicadores de unidades suelen ser diodos led o agujas que reaccionan al voltaje.

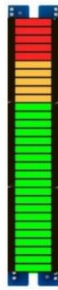


Figura 2 Vúmetro indicador led

7.1.5 Universal serial bus. (Fundación Wikimedia, 2016)

El Universal Serial Bus es un sistema de transferencia digital estándar en la industria tecnológica que define los conectores, cables y protocolos que se usan para conectar, comunicar y proveer de alimentación eléctrica entre computadoras, periféricos y otros dispositivos electrónicos.

El sistema tiene las siguientes especificaciones:

Tabla 1 Especificaciones del sistema de transferencia USB (Fundación Wikimedia, 2016)

Especificaciones	
Longitud Máxima	5 Metros
Voltaje Máximo	5 Voltios
Corriente Máxima	500 a 900mA
Señal de Audio	No
Señal de Video	No
Señal de Datos	Datos definidos por las especificaciones del dispositivo
Ancho de Banda	1,5/12/480/5.000 Mbit/s
Nro. Máximo de dispositivos	127
Protocolo	Serial
Cable	8 Hilos par trenzado en USB 3.0 y 4 en USB 1.x y 2.x
Pines	4 (1 alimentación, 2 datos, 1 tierra)

En la tabla 1, se muestran las especificaciones técnicas de un puerto USB y como es su forma de transferencia y construcción.

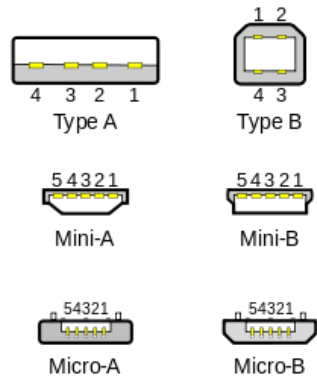


Figura 3 Clases de conectores (TELEVISION, 2014)

La figura 3, muestra los distintos tipos de conectores que puede usar el sistema de transferencia USB, todos se encargan de realizar la misma función, pero su distribución y tipo de puerto son diferentes, el pin 1 lleva 5 voltios de alimentación, el 2 lleva datos negativos, el pin 3 lleva datos positivos y el pin 4 es tierra.

7.1.6 Protocolo MIDI. (IEEE, 2000)

MIDI son las siglas en ingles de *Musical Instrument Digital Interface*. El mensaje MIDI es una secuencia de uno o más bytes los cuales constituyen un evento MIDI. Estos tipos de mensajes pueden ser NoteOn, NoteOff, Poly Aftertouch, Control Change, Chan Aftertouch, Pitch Bend, Program Change y System Message.

MIDI es un estándar tecnológico que se encarga de describir un protocolo, una interface digital y conectores que permiten que diferentes instrumentos musicales electrónicos, computadoras y diferentes dispositivos que tienen algún tipo de relación, se puedan conectar y comunicar entre ellos. Una conexión MIDI simple puede transmitir hasta 16 canales con información que puede estar conectados a diferentes dispositivos cada uno.

7.1.6.1 Conector MIDI. (IEEE, 2000)

Los cables terminan en un conector DIN 5 de 180°. Las aplicaciones estándar utilizan tan solo tres de los cinco pines con los que cuenta: tierra y un par de cables balanceados que permiten llevar una señal de 5 voltios. La configuración mencionada solo puede transportar mensajes en una dirección, es por eso que es necesario una comunicación de doble vía.

Para el óptimo funcionamiento de estos dispositivos, es recomendable utilizar opto acopladores, los cuales permiten que los dispositivos MIDI estén eléctricamente separados de otros conectores, esto ayuda a que no haya bucles de tierra y ayuda a proteger los equipos de picos de voltaje.

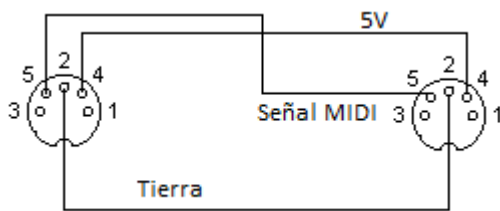


Figura 4 Esquema de envío y recepción de datos MIDI

En la figura anterior se muestra la disposición de los pines para los conectores MIDI para el envío y recepción de señales.

7.1.6.2 MIDI In. (IEEE, 2000)

El puerto MIDI IN permite recibir toda la información que es enviada desde otro dispositivo que envíe datos compatibles con MIDI, después de recibir la información, se envía al procesador de modulo y éste se encarga de decodificar los datos y los convierte en eventos reales.

7.1.6.3 MIDI out. (IEEE, 2000)

El puerto MIDI OUT permite enviar eventos MIDI que serán interpretados por un dispositivo compatible y este dispositivo realizara la acción que se le asigne.

7.1.6.4 Mensajes MIDI. (IEEE, 2000)

Los datos MIDI se conforman de 3 mensajes de 8 bits que se transmiten de manera serial a 31.25 Kbit/s. La tasa se escogió ya que es la división exacta de 1 MHz que es la velocidad a la que varios microprocesadores trabajan. El primer bit de cada mensaje es el que identifica si este es un byte de estado o un byte de datos, los siguientes 7 bits llevan la información. Es necesario adicionar un bit de inicio y otro de pausa a cada byte por motivos de sincronía, debido a esto, un mensaje MIDI requiere de diez bits para poder ser transmitido.

Existen cinco tipos de mensajes: “Channel Voice”, “Channel Mode”, “System Common”, “System Real-Time” y “System Exclusive”.

El mensaje Channel Voice transmite datos de performance en tiempo real mediante un solo canal. Uno de los mensajes más usados es “note-on” que contiene el número de nota MIDI que especifica el tono de la misma, el “velocity” indica con que fuerza se activó la nota y el número del canal, el mensaje “note-off” permite determinar cuándo una nota termina o se desactiva. El mensaje Channel Mode incluye los mensajes Omni/mono/poly mode on y off, también los mensajes que permiten restaurar los valores iniciales de los controladores. Los mensajes System no contienen los números de los canales y se reciben para cada dispositivo MIDI que se encuentre conectado. Los mensajes System Real-Time contienen datos que permiten sincronizar MIDI clock y Active Sensing.

Los System Exclusive (SysEx) son mensajes que permiten que los fabricantes creen sus propios mensajes que permiten controlar sus equipos de un modo más específico que el estándar MIDI.

7.1.6.5 Byte de estado. (IEEE, 2000)

El byte de estado es un byte de ocho bits, el cual tiene un bit inicial que siempre será 1. Está dividido en dos partes, la primera parte del byte, es decir los primeros cuatro bits, indican el tipo de mensaje que se envía ya sea un mensaje de voz y la segunda parte del byte, es decir, los cuatro últimos bits, indican que canal MIDI que se usará.

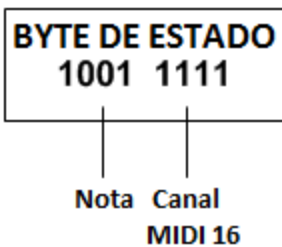


Figura 5 Esquema de envío y recepción de datos MIDI (J, s.f.)

7.1.6.6 Byte de datos. (IEEE, 2000)

El byte de datos consta de ocho bits, el cual tiene un bit inicial que siempre será 0, éste byte indica el valor del mensaje enviado anteriormente, es decir, si se envió una activación de nota, el byte de datos indicará que nota fue, hay un segundo byte de datos que indica el velocity de la nota. Es importante saber que al contar con ocho bits es posible obtener una resolución de $2^7=128$ valores.

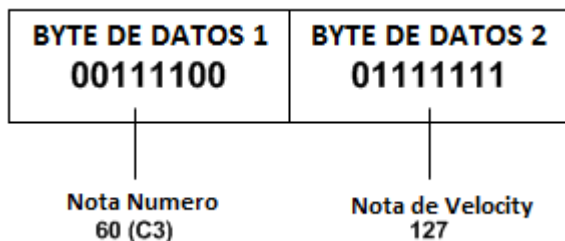


Figura 6 Estructura de un byte de datos (J, s.f.)

7.1.7 Microcontrolador. (Perez, 2007)

El microcontrolador es un circuito integrado, capaz de ser programado y tiene el potencial de realizar funciones que se encuentran grabadas en la memoria. Está formado por varios bloques funcionales que pueden realizar una operación determinada, tiene en su interior tres unidades de función que son: un computador, una memoria y unos periféricos de salida y entrada. Los micro controladores pueden usar mensajes de cuatro bits y logran hacer funcionar su reloj a frecuencias bajas como 4kHz con consumo de baja potencia.

Este sistema es capaz de interactuar con recursos disponibles en un microcomputador que es la unidad central de procesamiento, la memoria y los recursos de entrada y salida, a continuación, se muestra un diagrama de bloques de un microcontrolador:

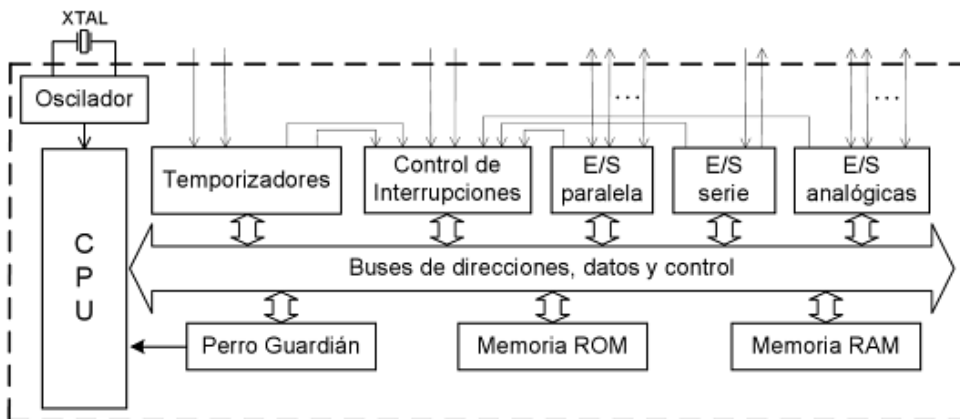


Figura 7 Estructura de un micro-controlador

Un micro-controlador (figura 7), dispone de un oscilador, el cual puede generar pulsos que logran sincronizar las operaciones internas, el oscilador puede ser del tipo RC, aunque por lo general es preferible que esté controlado por un cristal de cuarzo (XTAL) ya que genera una gran estabilidad en la frecuencia. La velocidad con la que se ejecutan las instrucciones del programa, tienen relación con la frecuencia de oscilación del micro-controlador.

7.1.8 ATMEGA328. (Corporation, 2016)

Es un circuito integrado microcontrolador de alto rendimiento que es basado en un tipo de arquitectura computacional RISC, combina 32 KB ISP flash una memoria que permite leer mientras escribe, 1KB de memoria EEPROM, 2 KB de SRAM, 23 líneas de entradas y salidas de propósito general, 32 registros de proceso general, tres temporizadores flexibles/contadores con modo de comparación, interrupciones internas y externas, programador USART, una interface serial orientada a byte de dos cables, SPI puerto serial, 6-canales 10-bit Conversor análogo/digital, oscilador interno y cinco modos de ahorro de energía.

7.1.9 Arduino. (Arduino, Arduino , 2016)

Arduino es una plataforma de hardware libre que está basada en una placa que cuenta con un microcontrolador y un entorno de desarrollo que fue diseñada para facilitar el uso de la creación de proyectos.

Este hardware funciona mediante un controlador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280 y Atmega8 debido a su versatilidad y bajo costo. El software por su parte cuenta con un entorno de desarrollo el cual implementa un lenguaje de programación Processing/Wiring y se programa desde el ordenador para que el dispositivo pueda controlar determinados componentes electrónicos.

La sintaxis que maneja arduino en su programación, es una versión de C y C++ y tiene diferencias con respecto al lenguaje de programación Processing. Ya que arduino está basado en C, C++ y el Processing en Java, se encuentran algunas diferencias en la forma de escribir estos lenguajes.

7.1.10 Arduino Nano. (Arduino, Arduino , s.f.)

El arduino nano es un tablero de circuito basado en el micro controlador ATmega328 o el ATmega168. Posee la misma funcionalidad del arduino Duemilanov pero en un empaque más pequeño, a su vez este sistema funciona con una conexión DC, pero sin el Jack, también trabaja con un puerto mini-b USB. Este diseño fue desarrollado por Gravitech.

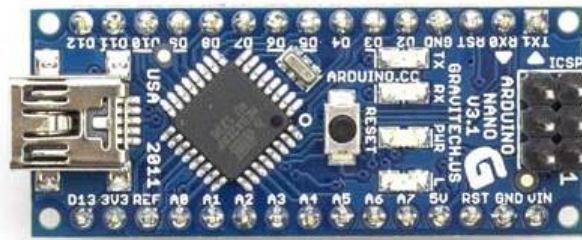


Figura 8 Vista frontal arduino nano. Arduino. Recuperado de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>

En la figura 8 se puede observar la foto de la vista frontal de un arduino nano, donde está incorporado el microcontrolador ATmega328 en montaje superficial, lo cual permite tener una mayor optimización del espacio en la tarjeta de circuitos.

7.1.11 Ley de Ohm. (William H. Hayt, 2007)

La ley de ohm establece que la intensidad de una corriente I que circula entre dos puntos de un circuito es directamente proporcional a la tensión eléctrica V entre esos dos puntos, a su vez posee un factor de proporcionalidad que es denominado resistencia R . Se representa mediante la siguiente ecuación:

$$V = I * R \quad (1)$$

En donde la V es el voltaje, I es la corriente y R es la resistencia.

7.1.12 Ley de corriente de Kirchoff. (William H. Hayt, 2007)

Esta ley se basa en la conservación de la energía y la carga de los circuitos eléctricos, en la cual se plantea que, en un nodo, todas las corrientes que entran son exactamente iguales a todas las corrientes que salen de la unión (nodo).

Para esto se plantea la siguiente ecuación:

$$\sum_{k=0}^n I_k = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0 \quad (2)$$

7.1.13 Resistencia. (William H. Hayt, 2007)

Una resistencia eléctrica es un componente electrónico, diseñado para introducir oposición eléctrica determinada entre dos puntos de un circuito electrónico. Están hechas de un material formado por carbón y otros elementos resistivos que permiten disminuir la corriente que pasa.



Figura 9 Símbolo resistencia

La figura muestra el símbolo de una resistencia para la diagramación y diseño esquemático de un circuito.

7.1.14 Transistor. (William H. Hayt, 2007)

Es un dispositivo eléctrico semiconductor que es utilizado para entregar una señal de salida con respecto a una señal de entrada, son utilizados comúnmente como amplificadores de señales, osciladores, conmutador o rectificador.

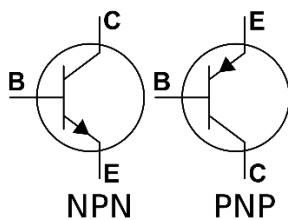


Figura 10 Símbolo transistor PNP Y PNP

7.1.15 Resistencia variable. (William H. Hayt, 2007)

Una resistencia variable es un componente electrónico, diseñado para introducir una oposición eléctrica determinada entre dos puntos de un circuito electrónico, a diferencia de una resistencia fija, en una resistencia variable o potenciómetro es posible controlar la intensidad de corriente que fluye por un circuito electrónico.



Figura 11 Símbolo resistencia variable

7.1.16 Condensador. (William H. Hayt, 2007)

Es un dispositivo electrónico pasivo que es capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico. Está fabricado mediante un par de superficies conductoras, normalmente en forma de láminas o placas en situación de influencia total, están separadas por un material dieléctrico o por el vacío. Estas placas al ser sometidas a una diferencia de potencial, adquieren una carga eléctrica positiva entre una y una carga eléctrica negativa entre otra, de esta manera la variación de carga total es nula.

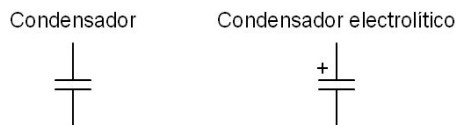


Figura 12 Símbolo condensador

7.1.17 Divisor de tensión. (William H. Hayt, 2007)

Un divisor de tensión o pad resistivo, consiste en un conjunto de resistencias que permiten atenuar el voltaje de una señal de entrada a un valor deseado, este valor se puede calcular en decibelios o en voltajes.

7.1.18 Fader motorizado. (ALPS ELECTRIC CO., 2016)

Un fader motorizado es un dispositivo que cuenta con un potenciómetro deslizable y un motor DC, este último mediante un sistema de pequeños engranajes permite que el potenciómetro se deslice de arriba hacia abajo cuando se activa.

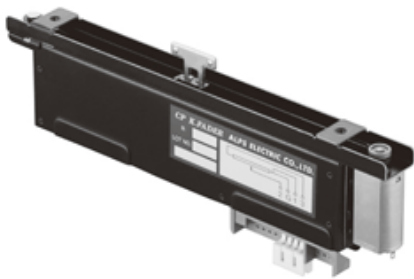


Figura 13 ALPS. Fader motorizado marca Alps. Recuperado de http://www.alps.com/prod/info/E/image/Potentiometer/SlideMixers/RSN1M/RSN1M_D_50.GIF

La imagen anterior muestra un fader motorizado de la marca alps.

7.1.19 Puente H (Fundación Wikimedia, 2016)

Es un circuito electrónico que permite que un motor DC gire en ambos sentidos (avance y retroceso). El puente H es un circuito integrado, pero también puede construirse mediante componentes discretos.

El concepto de puente H proviene de la representación gráfica de su circuito, éste se constituye de 4 interruptores que permiten interactuar con el flujo de la tensión sobre el motor para hacerlo mover en determinado sentido.

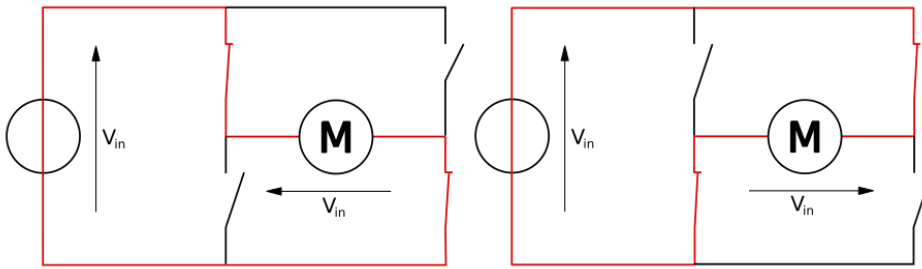


Figura 14 Buttay C. Puente H. (2006). Recuperado de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f2/H_bridge_operating.svg/350px-H_bridge_operating.svg.png

La figura 14 muestra el esquema que permite representar el flujo del voltaje en un puente H, en rojo se encuentra la dirección del motor en cada una de las posiciones del interruptor.

7.1.20 DAW. (Fundación Wikimedia, 2016)

DAW son las siglas en inglés de *Digital Audio Workstation* y es un sistema diseñado para grabar, editar y mezclar audio digital.

Hay cuatro tipos de generadores basados en música que se encuentran separados, sin embargo, actualmente se encuentran unidos en un solo sistema DAW. Los cuatro softwares basados en música son; secuenciadores midi, instrumentos virtuales, procesador de audio y editor de notación musical. Un instrumento virtual es un programa o un *plug-in* que recibe información midi y asigna diferentes sonidos. Y la notación musical simplemente es un editor de notas musicales las cuales permite poner y cambiar notas de una partitura e imprimirlas. La unión de todas estas funciones es lo que hace un software basado en una estación digital de audio.

7.1.20.1 Pro Tools. (Avid Technology, 2016)

Es una estación de trabajo de audio digital la cual funciona como plataforma de grabación de audio, también de su mezcla y edición de multipistas de audio y midi en donde es integrado el hardware y el software. Se considera que es un estándar en la industria de la ingeniería de sonido.

Esta estación de trabajo es propiedad de la empresa AVID, la cual también desarrolla software para el mercado de audio, lo cual genera en sus clientes una confiabilidad debido a su calidad y su fiabilidad.

7.1.20.2 Cubase. (All, 2016)

Cubase es una aplicación informática para la edición de audio y midi de forma digital, también de la secuencia de música. Esta estación de trabajo es creada por la marca Steinberg, quien la desarrollo principalmente para la plataforma Atari St, sin embargo con el tiempo se desarrolló también para Apple Macintosh y a mediados de los 90 también se elaboró una versión para Microsoft Windows.

Esta plataforma utilizaba un sistema operativo (MIDI Real-Time operating system) el cual tenía solo operación y funcionamiento en el propio sistema operativo y consistía en permitir varias operaciones MIDI al mismo tiempo y en tiempo real.

7.1.20.3 Logic Pro. (Inc, 2016)

Es un programa de edición de audio el cual funciona únicamente en la plataforma Mac OS. Este sistema fue desarrollado por C-Lab y fue adquirida por Apple en el 2002.

El sistema proporciona instrumentos virtuales, grabadores de audio, entre otros, los cuales están enfocados a la síntesis de audio. También permite la edición de efectos de sonido y mezcla

de dichos sonidos ayudándose de una serie de efectos, ecualizadores y plug-ins. También puede funcionar con protocolo MIDI y todas las funciones que esto conlleva.

7.1.20.4 Reaper. (workstation, 2016)

Por sus siglas en inglés, *Rapid Environment for Audio Production, Engineering and Recording*, es una estación digital de manejo de audio creada por Cockos; compañía creada en el 2004, a partir de un esfuerzo para construir software de calidad que beneficie a las personas en todo el mundo (Cockos, 2016). Este programa cuenta con una licencia en cierta medida libre de cargos para el usuario, en donde una ventana emergente explica los costos de las condiciones de uso.

Este programa funciona en las plataforma de Microsoft Windows y Mac Os, sin embargo también es funcional en la plataforma gratuita Linux con ayuda de un complemento Wine/Wine64.

7.1.20.5 Nuendo. (All, 2016)

Nuendo es un software para edición de audio producido y desarrollado por Steinberg, es utilizado para editar, mezclar y grabar audio, también es utilizado para la postproducción de audio como una estación digital de trabajo.

7.1.20.6 Sonar. (Cakewalk, 2016)

Es una estación digital de trabajo creada por la empresa Cakewalk en la cual se puede editar, modular y hacer postproducción de audio. Este editor de audio funciona a 64 bits de motor de reproducción de audio, así mismo funciona para la mezcla.

7.1.21 Amplificador Operacional. (Garcia Lopez & Gutiérrez Iglesias , 1991)

Un amplificador operacional es un dispositivo electrónico que presenta dos entradas y una salida. El valor de salida es la diferencia de sus dos entradas la cual se multiplica por un factor de ganancia G

$$V_{salida} = G \cdot (V_{(+)} - V_{(-)}) \quad (3)$$

Las características presentes en un amplificador operacional ideal constituyen la base de dos reglas que son fundamentales:

1. Nunca hay flujo de corriente hacia ninguna terminal de entrada
2. No existe ninguna diferencia de tensión entre las dos terminales de entrada

7.1.22 Configuración diferencial. (Garcia Lopez & Gutiérrez Iglesias , 1991)

Un amplificador operacional en configuración diferencial, es el encargado de amplificar la diferencia entre dos voltajes de entrada, pero elimina los voltajes comunes a éstas.

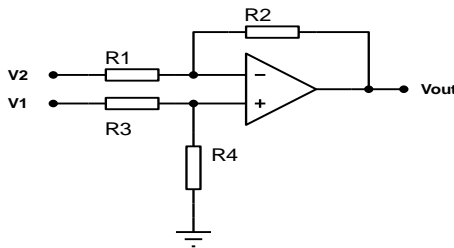


Figura 15 Configuración diferencial

En la figura anterior está el esquema de un amplificador operacional en configuración diferencial, la cual puede ser modelada mediante la siguiente ecuación:

$$V_{out} = (V1 - V2) \cdot \frac{R4}{R3} \quad (4)$$

Esto, expresado en términos de ganancia se representa de la siguiente manera

$$\frac{V_{out}}{V1-V2} = \frac{R4}{R3} \quad (5)$$

Donde V_{out} es el voltaje de salida del amplificador diferencial, V_1 y V_2 son las señales de entrada y R_3 y R_4 hacen parte de la red de resistencias del circuito, R_1 y R_2 se representan de la siguiente manera

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1} \quad (6)$$

Donde se pueden ver las equivalencias de la red de resistencias

7.1.23 Configuración inversora. (Garcia Lopez & Gutiérrez Iglesias , 1991)

Un amplificador operacional en configuración inversora, es el encargado de invertir una señal de entrada y es capaz de entregarle una ganancia de acuerdo a los valores de sus resistencias, la ganancia puede ser menor que uno, uno o mayor a uno. Tiene una impedancia de entrada que corresponde al valor de la resistencia de entrada, esto quiere decir, que tiene una baja impedancia de entrada comparada con una configuración seguidora o una configuración no inversora. La impedancia en su salida es pequeña, por lo tanto en el acople entre etapas hay una transferencia máxima de la señal a la salida.

Tabla 2 Parámetros ideales de la configuración no inversora

Parámetro	Ideal
Ganancia	$-\frac{R_F}{R_1}$
Impedancia de entrada	R_1
Impedancia de salida	Cero

La tabla anterior indica los parámetros ideales de una configuración no inversora que permiten hacer el análisis detallado de lo que se quiere obtener.

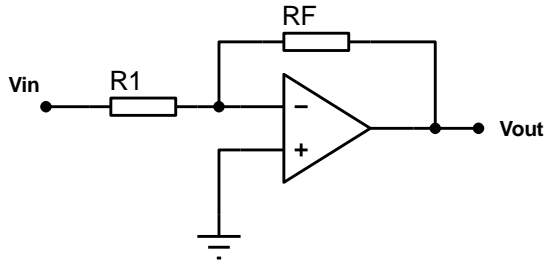


Figura 16 Configuración inversora.

En la figura 16 se muestra un amplificador operacional en configuración inversora, donde R1 indica la impedancia de entrada y RF es la resistencia de realimentación.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-R_f}{R_1} \quad (7)$$

En esta ecuación la ganancia de entrada ($\frac{V_{out}}{V_{in}}$), es negativa o invertida y depende exclusivamente de las dos resistencias, Rf y R1. La ganancia alta es resultado del uso de la retroalimentación de una parte del voltaje de salida para restar del voltaje de entrada. La retroalimentación de la salida a la entrada a través de Rf sirve para llevar el voltaje diferencial a cero o cerca a este. Debido a que el voltaje de la entrada no inversora es cero, la retroalimentación tiende a llevar a la entrada inversora a cero, por consiguiente, la entrada inversora y no inversora serán cero.

7.1.24 Configuración no inversora. (García López & Gutiérrez Iglesias , 1991)

Un amplificador operacional en configuración no inversora, no invierte la señal de salida, presenta una ganancia mayor o igual a uno, esto depende de los valores de las resistencias. La impedancia a la entrada es muy alta, esto quiere decir que hay una baja potencia y no presentará distorsión. A la salida tiene baja impedancia, esto permite que la totalidad de la señal llegue óptimamente.

Tabla 3 Parámetros ideales de la configuración no inversora

Parámetro	Ideal
Ganancia	$1 + \frac{R_F}{R_1}$
Impedancia de entrada	Infinito
Impedancia de salida	Cero

En la tabla 3 se muestran los parámetros ideales de una configuración no inversora que permiten hacer el análisis detallado de lo que se quiere obtener.

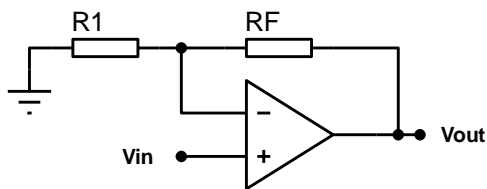


Figura 17 Configuración no inversora.

La figura 17 muestra un amplificador operacional en configuración inversora, donde R1 indica la ganancia del amplificador y Rf es la resistencia de realimentación.

Para el análisis se emplean las propiedades básicas del amplificador operacional ideal, obteniendo así la ganancia no inversora como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (8)$$

Donde Vo es el voltaje de salida, Vi el voltaje de entrada, R1 la resistencia que determina la ganancia y RF la resistencia de realimentación, la ganancia permite hacer el diseño del circuito que se va a usar dependiendo de lo que se busque a la salida de la configuración.

7.1.25 Configuración sumadora no inversora. (Garcia Lopez & Gutiérrez Iglesias , 1991)

Un amplificador operacional en configuración sumadora no inversora, es un tipo de configuración en la cual se pueden asignar múltiples entradas al pin no inversor del operacional. Cada entrada tiene su propia impedancia y a la salida solo hay una.

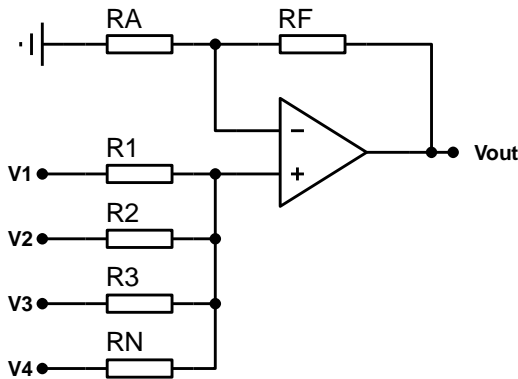


Figura 18 Amplificador en configuración sumadora no inversora.

La anterior figura muestra el esquema de un amplificador operacional en configuración sumadora no inversora, donde R1, R2, R3 y RN representan la impedancia de entrada de los dispositivos que se conecten, RF es la resistencia de realimentación y RA determina la ganancia de salida.

La ganancia de un circuito viene dada por los valores de sus componentes electrónicos, es decir de las resistencias, la ecuación que representa el voltaje de salida de un amplificador sumador viene dada por:

$$V_{out} = R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right) \quad (9)$$

En la cual Vout es el voltaje de salida, RF es la resistencia de realimentación, V1, V2, V3 y Vn corresponden a el voltaje de las señales de entrada, R1, R2, R3 y Rn corresponden a las resistencias de entrada de la configuración sumadora.

7.1.26 Configuración de seguidor. (Garcia Lopez & Gutiérrez Iglesias , 1991)

El amplificador en configuración de seguidor de tensión, como se muestra en la figura 22, es un circuito en el cual la señal de entrada es igual a la señal de salida, sin embargo, este circuito posee una alta impedancia a la entrada y baja impedancia a la salida, es por consiguiente que este dispositivo se utilice para realizar acoples de impedancia entre etapas.

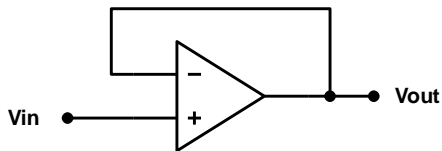


Figura 19 Configuración de seguidor de tensión.

La anterior figura muestra un amplificador operacional en configuración de seguidor de tensión donde la entrada inversora del amplificador se conecta con la salida.

Debido al corto circuito virtual, se supone que la corriente en la entrada no inversora es 0, por lo tanto, es igual en la entrada inversora, para lo cual se dice que el voltaje de entrada es igual al voltaje de salida. De ahí que al separar las corrientes de entrada y de salida por medio de la retroalimentación de V_{out} con respecto a la entrada inversora, se separen las corrientes y es por esto que se desacoplan las etapas.

7.1.27 Circuito Comparador. (Fundación Wikimedia, 2016)

Las configuraciones del circuito para un amplificador operacional, incluyen una conexión eléctrica entre la pata de salida y la pata de entrada inversora a lo que se le conoce como operación de lazo cerrado la cual permite entregar retroalimentación negativa. El lazo cerrado es el método usual para utilizar un amplificador operacional como amplificador, debido a que permite aislar el comportamiento del circuito de las variaciones de ganancia que entrega una configuración en lazo abierto que se generan debido a los cambios de temperatura o defectos de fábrica

del componente. Sin embargo, existe una gran cantidad de aplicaciones donde la utilización de una configuración de lazo abierto es una ventaja. Los dispositivos que fueron diseñados para ser usados en las aplicaciones se conocen como comparadores, debido a que están diseñados de una forma diferente a un amplificador operacional tradicional con la finalidad de mejorar la velocidad cuando están funcionando en lazo abierto.

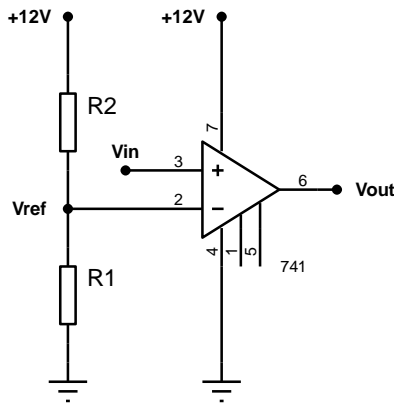


Figura 20 Ejemplo circuito comparador con una tension de referencia de 2.5V.

El esquema de la figura 20, muestra un ejemplo de un circuito comparador simple donde se usa un amplificador operacional muy común como lo es el 741 donde R1 y R2 son resistencias de calibración, Vref es el voltaje resultante de esa calibración, Vin es el voltaje de entrada y Vout el voltaje de salida, todo esto funcionando con un voltaje de 12V.

Tabla 4 Especificaciones de algunos amplificadores operacionales

Numero de parte	UA741	LM324	LF411	AD549K	OPA690
Descripción	Uso general	Quad (cuatro dispositivos de baja potencia)	Entrada JFET de bajo arrastre, compensación baja	Corriente de polarización entrada ultrabaja	Amp-Op de frecuencia de video de banda ancha
Ganancia en Lazo abierto A	$2 \cdot 10^5 V/V$	$10^5 V/V$	$2 \cdot 10^5 V/V$	$10^6 V/V$	2800 V/V
Resistencia de Entrada	2 MΩ	-	1 TΩ	10 TΩ	190 KΩ
Resistencia de Salida	75 Ω	-	~ 1 Ω	~ 15 Ω	-

Corriente de polarización de entrada	80 nA	45 nA	50 pA	75 fA	3 uA
Tensión de compensación de entrada	1.0 mV	2.0 mV	0.8 mV	0.150 mV	±1 mV
Razón de rechazo de modo común (CMRR)	90 dB	85 dB	100 dB	100 dB	65 dB
Velocidad de Termino	0.5V /us	-	15 V /us	3 V /us	1800 V/us

No es necesaria una diferencia de tensión demasiado grande entre terminales de entrada para lograr llevarlo al punto de saturación. A decir verdad, se necesita una tensión de entrada diferencial tan pequeña como la tensión de alimentación dividida entre A que es aproximadamente $\pm 120 \mu V$ en el caso de la figura 6.35a y $A = 10^5$. En la figura 6.35b se muestra la salida distintiva de un circuito comparador, en el cual la respuesta varía entre el valor positivo y negativo que presenta la saturación, sin que llegue a haber una región de amplificación no lineal. Es por esto que una salida positiva de 12 V del comparador indica una tensión de entrada 12 V menor que la tensión de referencia, mientras que la salida negativa de 12 V indica una tensión de entrada mayor que la referencia. Es posible lograr un comportamiento opuesto si se conecta la tensión de referencia en la entrada inversora.

7.1.28 Relevador. (Definicion.de, 2016)

Un relevador es un interruptor que funciona magnéticamente, es decir, es un sistema que se activa o desactiva cuando un electroimán es inducido por una corriente eléctrica. Al activar éste electroimán se genera una conexión entre los terminales del interruptor.

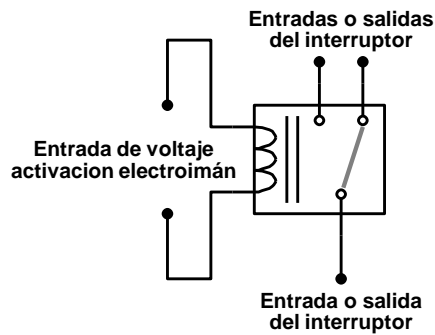


Figura 21 Esquema de un relevador

El esquema anterior es de un relevador donde se encuentran las entradas de voltaje de activación del electroimán y las entradas y salidas asignables del interruptor, de esta forma es posible activar un interruptor de forma controlada. De igual manera al inducir alguna corriente de la bobina del imán, es importante tener en cuenta la resistencia de la bobina puesto que ésta activa el relevador. El voltaje y la resistencia de entrada para activar el relevador nos informa que nivel debe tener la señal para activarlo.

7.1.29 Micrófono electret. (Reflexiona, 2013)

El micrófono electret es una variación de un micrófono de condensador el cual utiliza un electrodo conformado por lo general de policarbonato de flúor. También es un material dieléctrico estable el cual está permanentemente con una carga eléctrica estática.

Son micrófonos con un patrón polar omnidireccional, poseen una sensibilidad de -44 ± 2 dB a una frecuencia = 1KHz, $1\text{Pa } 0\text{dB} = 1\text{V/Pa}$.



Figura 22 Micrófono electret. (Reflexiona, 2013)

La figura 26 muestra el encapsulado de un micrófono electret.

7.1.30 Nivel de línea (CFP24, 2016)

El nivel de línea, es la resistencia específica que maneja una señal de audio y se utiliza para transmitir el audio entre dispositivos análogos tales como dispositivos reproductores de CD y DVD, televisores, mesas de mezcla y amplificadores de audio.

Diferente al nivel de línea, se encuentran señales de audio más débiles, estas señales se pueden encontrar en micrófonos y señales más fuertes habitualmente encontradas en auriculares y altavoces. La amplitud de las señales, depende de la tensión de salida del dispositivo, teniendo en cuenta también su impedancia.

Los dispositivos electrónicos actuales relacionados con audio, tienen un conector que indica donde se deben conectar niveles de línea tanto de entrada como de salida. La salida de línea entrega una señal de audio y la de entrada la recibe.

7.1.31 Nivel nominal (CFP24, 2016)

El nivel nominal es el nivel de tensión óptimo donde trabaja un equipo de audio, es decir donde su ruido de piso es considerablemente bajo, pero aún tiene un buen rango dinámico donde actuar sin llegar a distorsionar. El voltaje nominal y la tensión de referencia dependen del nivel de línea que se esté utilizando. Aunque es sabido que los niveles nominales varían, solo dos tensiones de referencia son comunes: voltios decibelios para aplicaciones de consumo y decibelios descargados para aplicaciones profesionales.

La tensión de referencia que se usa para el decibelio-voltio es de 1 voltio rms, esta es la tensión que se requiere para producir un milivatio de energía mediante una carga de 1 Kilo-ohmio. El decibelio descargado tiene una tensión de referencia que es el voltaje necesario para producir 1mW de potencia, a través de una carga de 600 ohmios.

El nivel nominal más conocido para equipos de consumo, es de -10 dBV, y el nivel nominal más común en equipos profesionales es de +4 dBu.

Si expresamos en términos absolutos, una señal a -10dBV equivale a una señal de onda sinusoidal con una amplitud pico de 0.447 voltios, o 0,316 voltios RMS. Una señal de +4dBu equivale a una señal de onda sinusoidal con amplitud pico de 1.737 voltios, o cualquier señal 1,228 voltios RMS.

7.1.32 Impedancias. (William H. Hayt, 2007)

Debido a que los cableados de salida y entrada de línea por lo general son cortos en comparación con la longitud de onda de una señal en un cable, los efectos de líneas de transmisión pueden ignorarse y no necesitan un acople de impedancia. Por otro lado, los circuitos de línea tienen como principio un puente de impedancia, en donde una salida típica tiene una impedancia de 100 a 600 ohmios, los valores más leves son comunes en equipos modernos. Las entradas por el contrario tienen una impedancia más alta, alrededor de 10 Kilo-ohmios o más.

La ley de Ohm especifica que $v(t) = R * i(t)$, por lo tanto al aplicar la transformada de Laplace tenemos que $V(s) = R * I(s)$, así se encuentra la relación entre la tensión y la corriente en el dominio de la frecuencia, de tal manera que R representa la relación dando como resultado:

$$Z(s) = \frac{V(s)}{I(s)} = R \quad (10)$$

Debido a que la ecuación anterior está en el dominio de la frecuencia, es necesario entender a la relación como la impedancia.

7.1.33 Impedancia de entrada. (William H. Hayt, 2007)

La impedancia de entrada de una red eléctrica hace referencia a la impedancia que hay antes de una fuente de energía conectada a dicha red, es decir, la impedancia de entrada es el circuito equivalente de Thévenin de una red eléctrica modelada en un circuito de resistencia-bobina (RL) o un circuito de resistencia-condensador (RC).

Generalmente en los sistemas de audio, los amplificadores tienen una impedancia mucho mayor que la impedancia de salida de la fuente a la cual se entra. El acople de las impedancias determina una reducción considerable del ruido y a su vez al hacer coincidir las impedancias de la carga y de la fuente, genera una máxima transferencia de energía.

7.1.34 Impedancia de salida. (William H. Hayt, 2007)

La impedancia de salida se encuentra por los 100 Ohmios y su tensión puede llegar a 2 voltios pico a pico con el nivel de referencia de -10 dBV en 10 Kohm.

Al igual que la impedancia de entrada, la impedancia de salida de un circuito es un equivalente de Thévenin el cual suministra una corriente la cual se puede modelar como una fuente de voltaje ideal en serie con una impedancia. Este modelo ayuda a analizar la caída de corriente que hay entre etapas y circuitos.

7.1.35 Lenguajes de programación. (Fundación Wikimedia, 2016)

Un lenguaje de programación es un lenguaje que está basado en la utilización de símbolos primitivos, para poder expresar procesos que pueden ser llevados a cabo por maquinas. Hay varios paradigmas de programación.

Un paradigma de programación provee y determina la estructura con la cual se fabrica un programa o subprograma, a su vez esto puede conllevar a que diferentes paradigmas resulten en

diferentes estilos de programación y en múltiples formas de programar. Cualquier lenguaje de programación está basado en uno o más paradigmas.

Es necesario entender por lo tanto que hay varios paradigmas:

- El paradigma imperativo, es aquel que se basa en la programación por secuencias de instrucciones y o comandos los cuales pueden alterar el estado de un programa, la mayoría de lenguajes de máquinas está basada en este paradigma.
- El paradigma declarativo, es un paradigma el cual no resuelve tareas paso por paso, sino que describe como se realiza un proceso, es decir, que declara las propiedades por las cuales se puede llegar a una solución en particular.
- El paradigma estructurado, es aquel que se divide por procedimientos y funciones que pueden o no comunicarse entre sí, esta clase de programación tiene la capacidad de ser controlada por secuencias, selecciones e iteraciones.
- El paradigma orientado a objetos, es el que está basado en el desarrollo de un estado y luego opera objetos. Esta clase de paradigma resuelve la programación comunicando objetos a través de mensajes, es de las formas de programar más sencillas debido a la reutilización de códigos y la sencillez con la que se puede solucionar problemas.
- El paradigma funcional, está diseñado para que pueda establecer una tarea por medio de la realización de funciones matemáticas y evita cambiar y declarar datos, es decir, está diseñada con base en la aplicación de funciones y la interacción entre ellas, mas no en la secuencia de funciones y tareas y la ejecución de comandos.
- El paradigma lógico está basado en la definición de reglas lógicas con el fin de utilizar un motor de búsqueda para resolver un problema planteado como una pregunta.

Los paradigmas mencionados anteriormente no son los únicos que se encuentran en los entornos de programación, más sin embargo son los más utilizados.

7.2 Marco legal

7.2.1 Norma MIDI 1.0 (IEEE, 2000)

La norma MIDI nace en el año 1983, ya que había necesidad de unir conceptos de construcción de instrumentos musicales electrónicos que contaran con tecnología digital.

Terminando los '70 los sistemas digitales se desarrollaron con gran velocidad y se cambió el diseño de los instrumentos, cuando se habla de sistemas digitales se quiere decir que tienen una estructura similar a una computadora debido a que cuentan con un microprocesador, memorias y códigos binarios cada uno con un significado específico.

Para realizar el diseño de un sistema digital, es importante codificar todos los controles a manejar, cuando se habla de codificar, se refiere a asignar a cada variable un código binario de tal forma que quede representada por el mismo, debido a que un computador solo interpreta códigos binarios.

8 Desarrollo ingenieril

Esta sección del documento explica cómo se construye el dispositivo y la programación pertinente para la comunicación con las distintas estaciones de trabajo (DAW), además se plantean las diferentes pruebas para evaluar el funcionamiento del dispositivo. Para dar una explicación más clara, se puede ver el siguiente diagrama de bloques el cual muestra las etapas del diseño, desarrollo y medición de la superficie de control con estación de monitoreo.

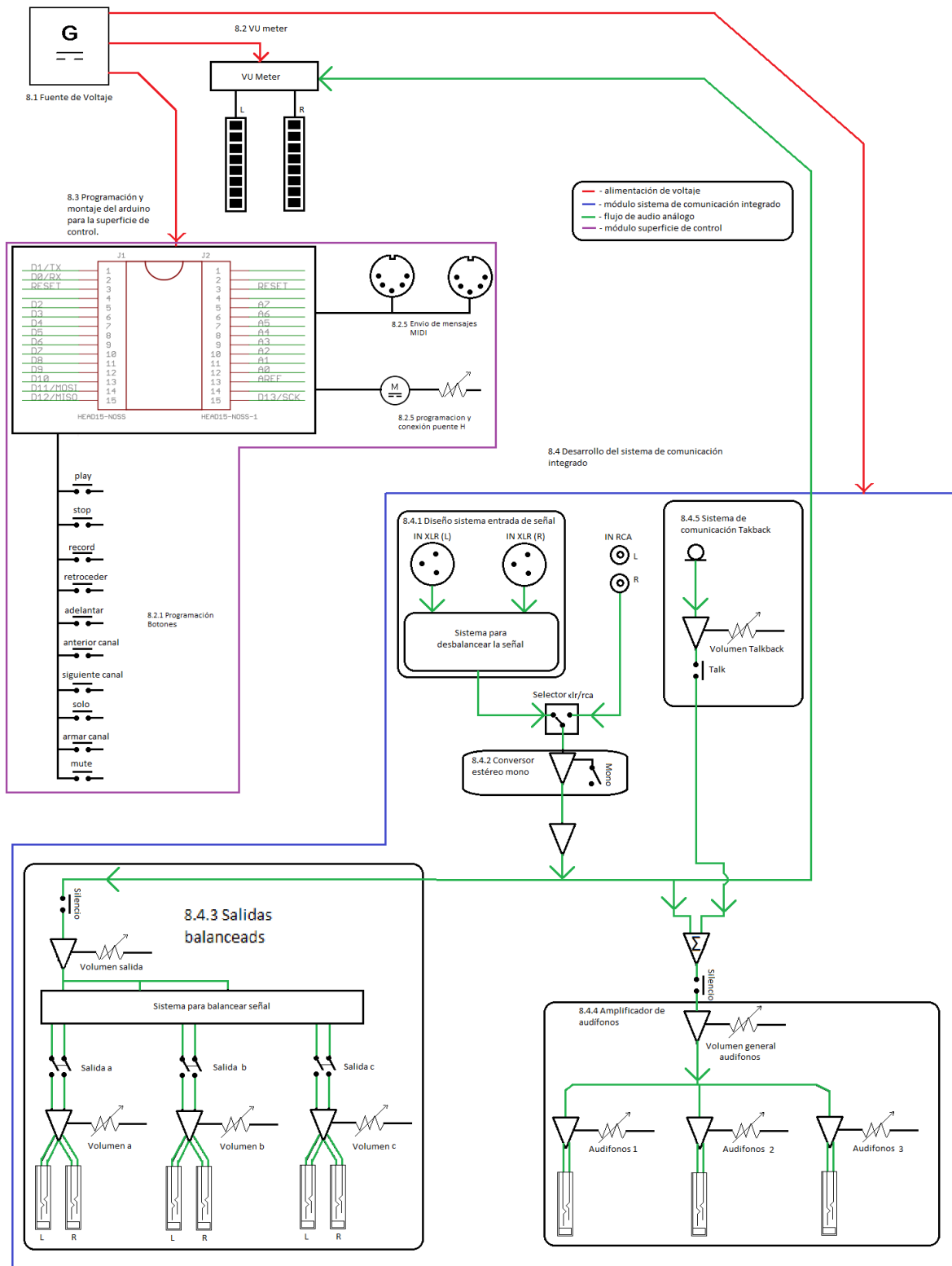


Figura 23 Diagrama de bloques prototipo planteado.

8.1 Diseño de la fuente de voltaje

La fuente de alimentación es la primera etapa de todo el dispositivo, es por eso que debe contar con componentes que garanticen el buen funcionamiento de la distribución del voltaje y la corriente a todo el dispositivo, para la fuente de voltaje se implementó un transformador toroidal hecho a la medida es decir se construyó con indicaciones específicas de voltaje y corriente, una vez construido el transformador, se procede a hacer el diseño de la fuente que alimentará todos los dispositivos electrónicos en este caso: 12 voltios, -12 voltios y 10 voltios. Los doce voltios positivos y negativos, se encargarán de alimentar todos los amplificadores operacionales y los dispositivos que necesiten voltajes positivos y negativos, los 10 voltios se encargan de alimentar el puente H que permite el movimiento del fader motorizado. Otros dispositivos como el arduino, utilizan los 12 voltios positivos de la fuente para funcionar, aunque un arduino funciona con 5 voltios, éste cuenta con un regulador interno de 5 voltios que garantiza éste voltaje.



Figura 24 Transformador toroide de 12, 0, 12 voltios

El transformador toroidal de la figura 24, se utiliza para alimentar el dispositivo, éste fue construido bajo parámetros específicos, en este caso 2 líneas de voltaje de 12 voltios cada una y una de 0 voltios (Tierra) y corriente de 2 amperios, para garantizar el óptimo funcionamiento de todos los componentes del dispositivo.

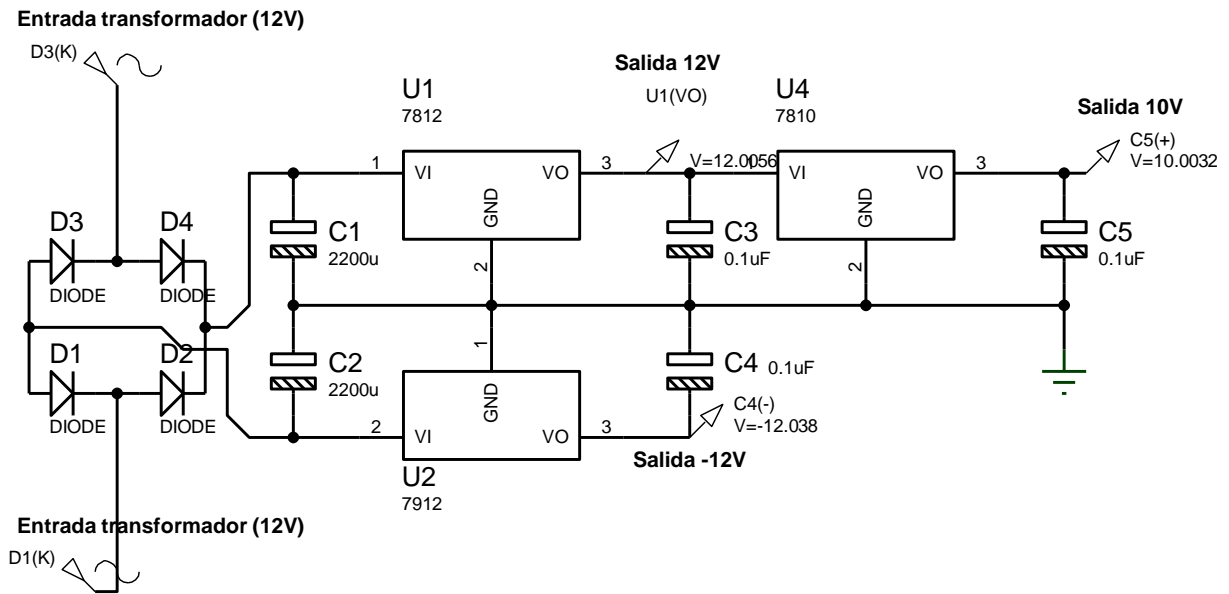


Figura 25 Esquema de la fuente de voltaje.

En la figura 25 se muestra el esquemático del circuito de la fuente de poder y su respectiva simulación, se implementaron los reguladores de voltaje 7812, que entrega 12 voltios, el 7912, que entrega -12 voltios, el LM2937ET-1° que entrega 10 voltios a 500mA.

Tabla 5 Resultados simulación de la fuente de voltaje

Parametro	Voltaje Simulacion [V]
Voltaje desde transformador	12, 0, 12
Voltaje de salida del regulador 7812	12.0056
Voltaje de salida del regulador 7912	-12.038
Voltaje de salida del regulador LM2937ET-1°	10.0032

La tabla anterior presenta los resultados de la medición de los voltajes de la fuente mediante la simulación. En el caso del voltaje de salida se utiliza un regulador LM2937et-1, y es diferente al regulador de salida 7810 de la figura 25 puesto que el software Proteus no contiene la simulación para el regulador que aparece en la tabla 5.

Después de realizar las respectivas simulaciones y montaje físico en el software de diseño y montaje proteus, para corroborar las mediciones, se procede a realizar el diseño de la PCB en la cual se pondrán todos los elementos correspondientes para el adecuado funcionamiento del prototipo.

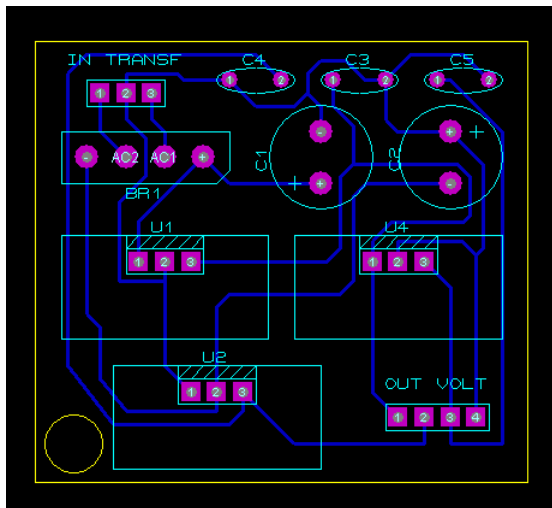


Figura 26 Esquema fuente de voltaje..

El circuito impreso de la figura 26, corresponde a la fuente de voltaje en donde cada regulador tiene un espacio adecuado para su respectivo disipador, esto debido a que los reguladores convierten parte de la energía en calor, lo cual puede afectar el buen funcionamiento del dispositivo.

8.2 Cálculo y diseño del vúmetro

Para el desarrollo del vúmetro primero se analizaron los voltajes que se manejan en los estudios profesionales para así tener certeza de los valores que indican los diodos led. Una vez teniendo claros los valores que se van a utilizar, es necesario utilizar un circuito comparador lo cual permitirá distribuir el voltaje a los leds según el diseño. En este prototipo se utilizaron ocho diodos led distribuidos de la siguiente manera: -20, -10, -7, -4, -2, 0, +2,+4 dBu, empezando en -20 dBu debido a que el ruido de piso del sistema está por debajo y la señal real se empezaría a

visualizar después del valor ya mencionado y como valor máximo +4dBu para determinar un nivel de referencia profesional y no profesional. Para estos valores se debe hacer la conversión a voltaje lo que permitirá ajustar los valores de las resistencias que permiten el paso del voltaje hacia los leds para que se activen en determinados niveles, esto se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$V = V_0 \cdot 10^{\frac{Lv}{20}} \quad (11)$$

Donde L_v es el nivel en dBu y V_0 es el voltaje de referencia, es decir, 0.7746 voltios.

Teniendo en cuenta esto, se procede a hallar el valor en voltios para cada valor de dBu:

- Para +4 dBu:

$$V = 0.7746 \cdot 10^{\frac{4}{20}} \quad (12)$$

$$V = 1,227 \text{ voltios} \quad (13)$$

- Para +2 dBu:

$$V = 0.7746 \cdot 10^{\frac{2}{20}} \quad (14)$$

$$V = 0,975 \text{ voltios} \quad (15)$$

- Para 0 dBu:

$$V = 0.7746 \cdot 10^{\frac{0}{20}} \quad (16)$$

$$V = 0,774 \text{ voltios} \quad (17)$$

- Para -2 dBu:

$$V = 0.7746 \cdot 10^{\frac{-2}{20}} \quad (18)$$

$$V = 0,615 \text{ voltios} \quad (19)$$

- Para -4 dBu:

$$V = 0.7746 \cdot 10^{\frac{-4}{20}} \quad (20)$$

$$V = 0,488 \text{ voltios} \quad (21)$$

- Para -7 dBu:

$$V = 0.7746 \cdot 10^{\frac{-7}{20}} \quad (22)$$

$$V = 0,346 \text{ voltios} \quad (23)$$

- Para -10 dBu:

$$V = 0.7746 \cdot 10^{\frac{-10}{20}} \quad (24)$$

$$V = 0,245 \text{ voltios} \quad (25)$$

- Para -20 dBu:

$$V = 0.7746 \cdot 10^{\frac{-20}{20}} \quad (26)$$

$$V = 0,077 \text{ voltios} \quad (27)$$

Luego de tener la conversión a voltaje es necesario calcular el valor de las resistencias, las cuales enviaran el voltaje al amplificador operacional que actuará como circuito comparador. La corriente de referencia es 1mA y los amplificadores operacionales LM324 se alimentan con 12 y -12 voltios, teniendo en cuenta esto y el diagrama de un circuito comparador, es posible hallar los valores de las resistencias en cada entrada inversora de los amplificadores operacionales.

Para el cálculo de las resistencias se empieza operando las diferencias de voltaje entre las entradas inversoras de los operacionales empezando desde la resistencia que va a tierra como se muestra en la figura 20. La diferencia de voltaje entre el punto de tierra y el voltaje de referencia (V_{ref}), determinara el valor de la resistencia del primer led, es decir, del led que indica -20 dBu, esta operación se hace con la ley de ohm mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{V1-V2}{I} \quad (28)$$

Donde R es el valor de la resistencia que se necesita hallar, V1 es en este caso la tierra, V2 es el valor correspondiente en voltaje de -20 dBu, es decir, 0.077 voltios, I es la corriente de referencia que es de 1mA, teniendo estos datos es posible hallar el valor de la resistencia:

$$R_{-20 \text{ dBu}} = \frac{0-0.077v}{1mA} \quad (29)$$

$$R_{-20 \text{ dBu}} = 77 \text{ ohmios} \quad (30)$$

El proceso para hallar las resistencias que corresponden a los otros niveles de dBu es el mismo, a continuación, se presentan los resultados para cada resistencia:

- Resistencia para -10 dBu:

$$R_{-10 \text{ dBu}} = \frac{0.077v-0.245v}{1mA} \quad (31)$$

$$R_{-10 \text{ dBu}} = 168 \text{ ohmios} \quad (32)$$

- Resistencia para -7 dBu:

$$R_{-7 \text{ dBu}} = \frac{0.245v-0.346v}{1mA} \quad (33)$$

$$R_{-7 \text{ dBu}} = 101 \text{ ohmios} \quad (34)$$

- Resistencia para -4 dBu:

$$R_{-4 \text{ dBu}} = \frac{0.346v-0.488v}{1mA} \quad (35)$$

$$R_{-4 \text{ dBu}} = 142 \text{ ohmios} \quad (36)$$

- Resistencia para -2 dBu:

$$R_{-2 \text{ dBu}} = \frac{0.488v-0.615v}{1mA} \quad (37)$$

$$R_{-2 \text{ dBu}} = 127 \text{ ohmios} \quad (38)$$

- Resistencia para 0 dBu:

$$R_{0\text{ dBu}} = \frac{0.615v - 0.774v}{1mA} \quad (39)$$

$$R_{0\text{ dBu}} = 159\text{ ohmios} \quad (40)$$

- Resistencia para +2 dBu:

$$R_{+2\text{ dBu}} = \frac{0.774v - 0.975v}{1mA} \quad (41)$$

$$R_{+2\text{ dBu}} = 201\text{ ohmios} \quad (42)$$

- Resistencia para +4 dBu:

$$R_{+4\text{ dBu}} = \frac{0.975v - 1.227v}{1mA} \quad (43)$$

$$R_{+4\text{ dBu}} = 252\text{ ohmios} \quad (44)$$

Al final es necesario implementar una resistencia de calibración la cual se adaptará hasta que los voltajes en cada terminal inversora sea lo más cercano posible al valor planteado.

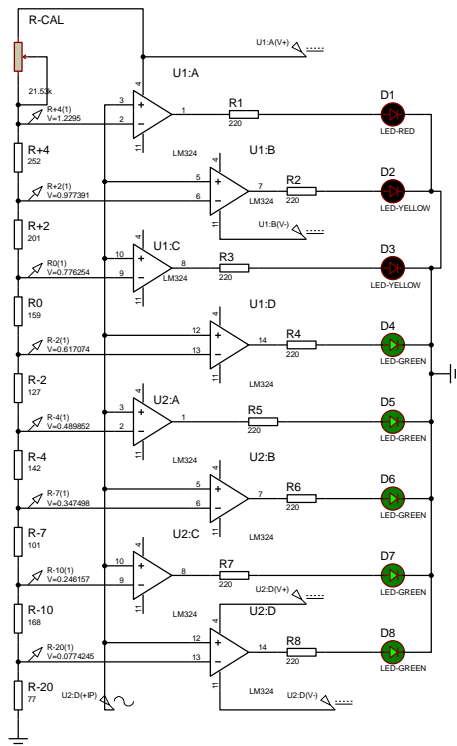


Figura 27 Simulación de circuito comparador aplicado al Vúmetro

En la figura 27 se observa el circuito correspondiente al vúmetro, donde se analiza el voltaje de activación para cada diodo led.

Tabla 6 Resultados medición simulación vúmetro led.

Valores en [dBu]	Resultados simulación en [V]
+4	1.229
+2	0.977
0	0.776
-2	0.617
-4	0.489
-7	0.347
-10	0.246
-20	0.077

En la tabla anterior se muestran los voltajes exactos que se generan mediante las resistencias, debido a que es difícil encontrar resistencias con esta exactitud en el mercado, se implementan trimmers, los cuales son resistencias variables de precisión de un tamaño adecuado para un dispositivo electrónico pequeño, de esta manera se logra una gran exactitud en el dispositivo físico. Una vez realizada la simulación se procede a hacer el diseño de la pcb donde se ponen todos los dispositivos electrónicos.

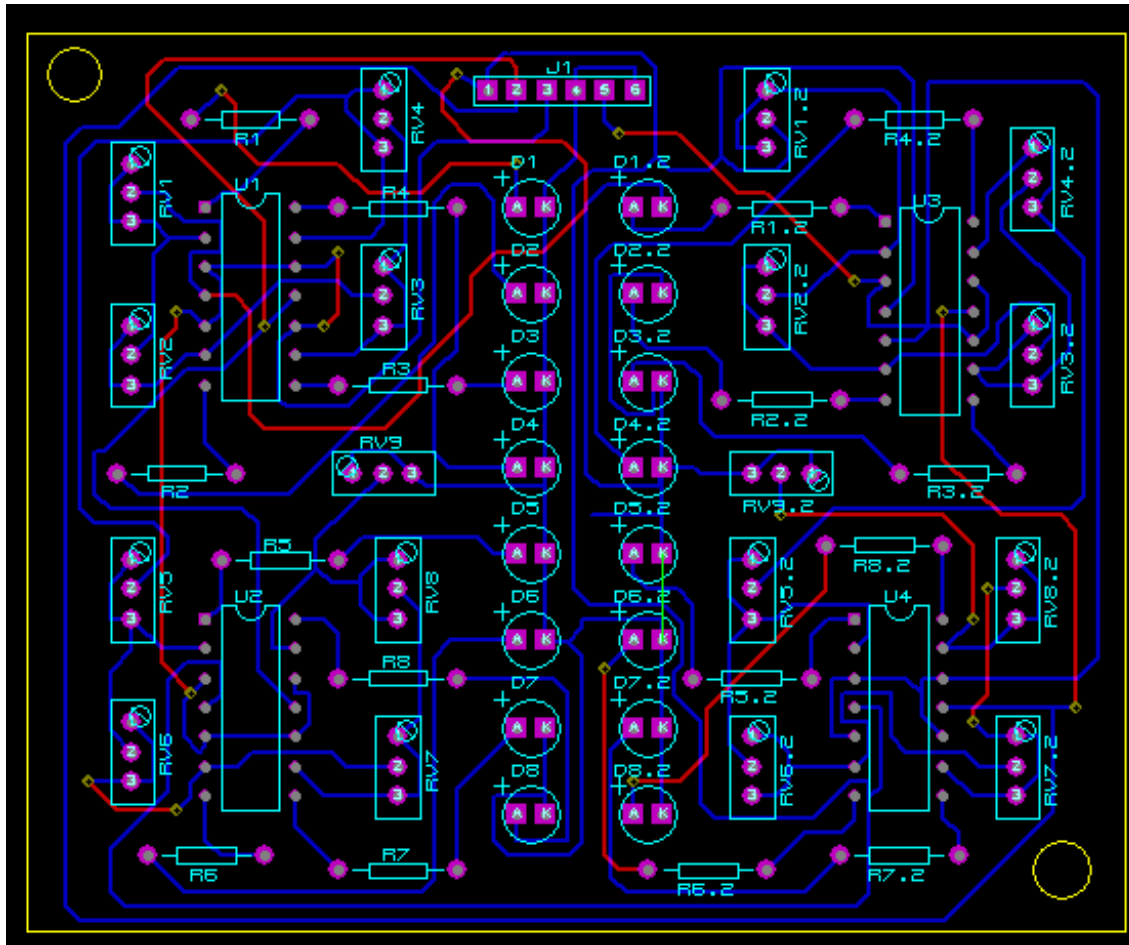


Figura 28 Esquema de la PCB del Vímetro Led.

Las medidas en este caso del posicionamiento de los diodos led es de crucial importancia, ya que debe coincidir visualmente con la escala que se planteó desde un comienzo, también facilita el diseño de la carcasa debido a la exactitud de las medidas.

8.3 Programación y montaje del arduino para la superficie de control

En esta sección, se mostrará detalladamente la conexión y programación de la superficie de control, para poder determinar con que botones contará el prototipo planteado, es necesario analizar cada uno de los diferentes softwares y encontrar las funciones comunes en cada uno de ellos.

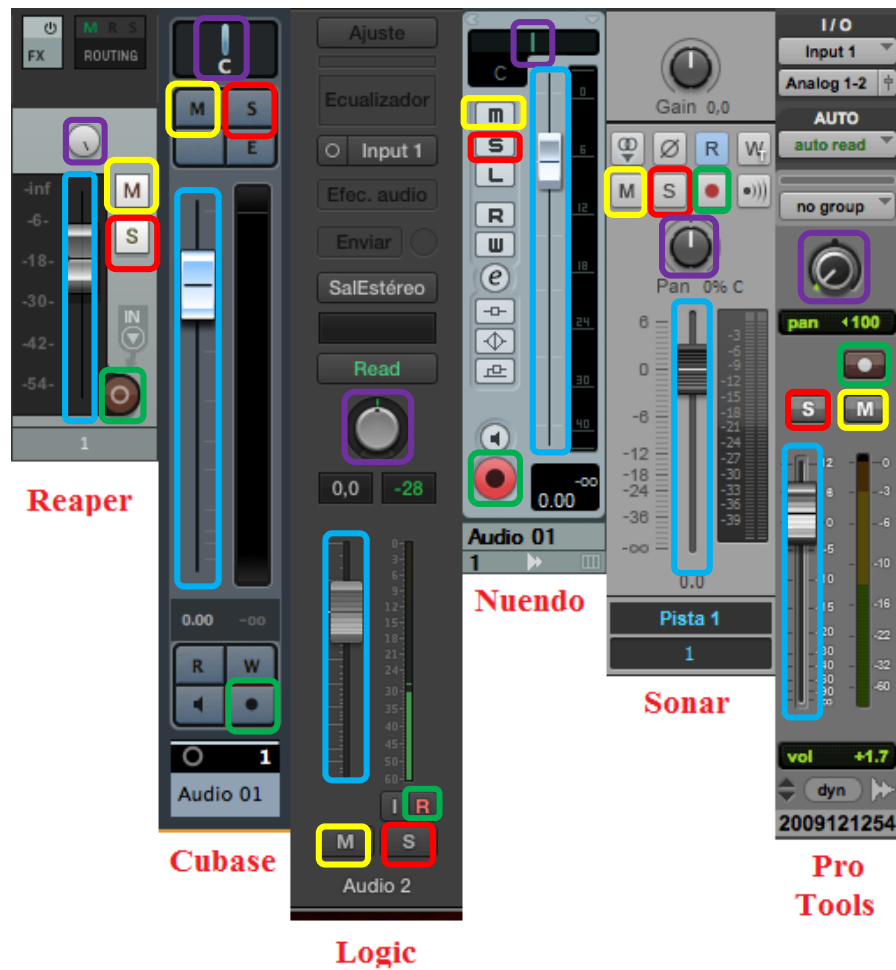


Figura 29 Comparación de botones en los software de audio

La comparación de los parámetros equivalentes de cada una de las estaciones de trabajo de audio se muestran en la figura anterior donde se encuentran los siguientes recuadros; el recuadro amarillo representa el botón de silencio, el recuadro rojo representa el botón de solo, el recuadro verde representa el botón de activación de grabación en el canal, el recuadro morado representa el encoder que permite hacer el paneo y el recuadro azul representa el potenciómetro deslizable que permite controlar el volumen del canal.

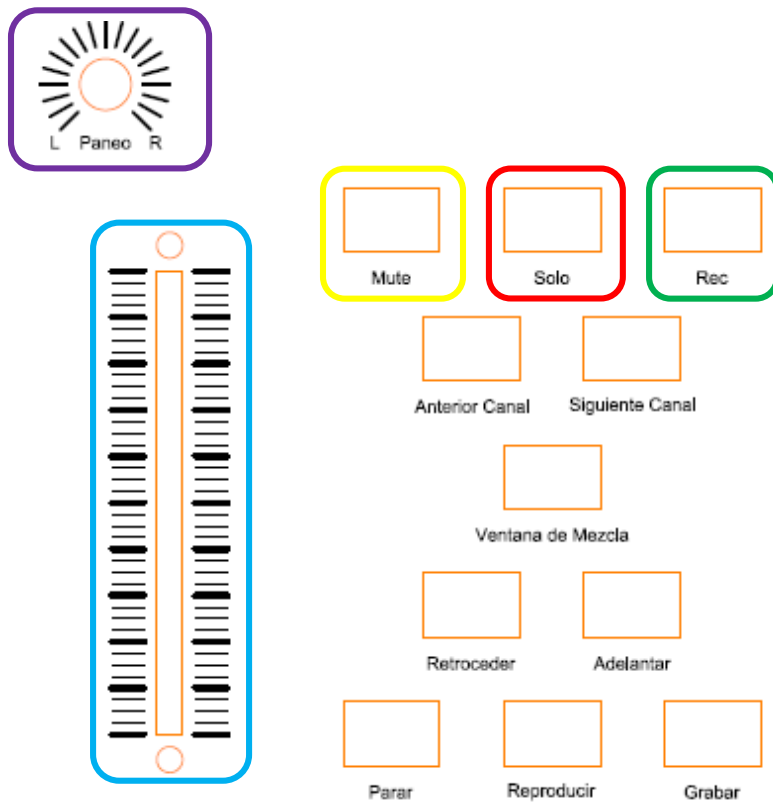


Figura 30 Corte y serigrafía de la sección de superficie de control del dispositivo físico y canal.

En la figura 30 se muestra el diseño correspondiente a los cortes y serigrafía de la sección que controla la superficie de control, este diseño se hizo de acuerdo a las medidas de los componentes y realizando el análisis de los botones y parámetros equivalentes en cada uno de los softwares propuestos. Los colores representan las mismas secciones mostradas en la figura 29.



Figura 31 Comparación barras de transporte del software.

En la figura 31 se comparan los parámetros de la barra de transporte en las estaciones digitales de trabajo de audio. En color amarillo se muestra el botón para retroceder, el rojo el botón de adelantar, el verde el botón de parar, el azul el botón de reproducir y en morado el botón de grabación.

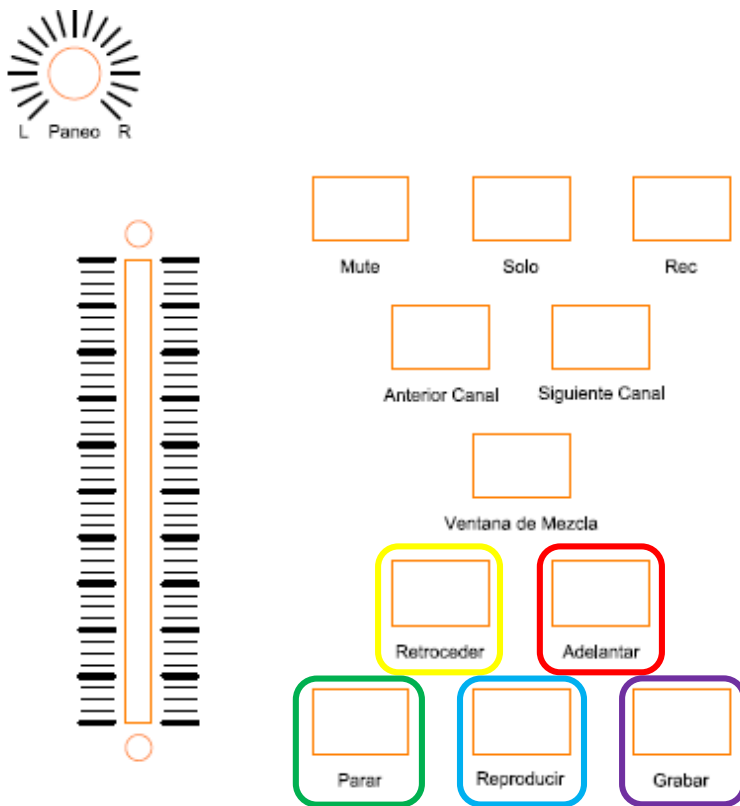


Figura 32 Diagrama de bloques de la calibración del fader

La figura 32 muestra el corte y la serigrafía del dispositivo físico, los recuadros exhiben la sección de la barra de transporte del software, los colores representan las mismas secciones mostradas en la figura 31.

Adicionalmente se muestran los botones de cambio de canal y ventana de mezcla, este último no es funcional en todas las estaciones digitales de trabajo.

8.3.1 Programación de los botones.

Un botón permite realizar una acción específica que se le asigne mediante la programación en el software arduino. Cuando el botón está abierto, es decir cuando no está presionado no habrá ningún tipo de conexión entre sus dos terminales, por otro lado cuando el botón está cerrado, es decir, cuando está presionado habrá una conexión entre sus dos pines. En el caso que el botón está abierto, se garantiza que haya un valor de 0 voltios o LOW debido a la resistencia conectada a tierra y cuando el botón está cerrado, se tendrá un valor de 5 voltios o HIGH, debido a la conexión del botón a la salida de 5 voltios del arduino.

HIGH y LOW son dos instrucciones que usa el software arduino para detectar los cambios en este caso de un botón. La programación de todas las secciones del código se representará mediante diagramas de flujo que muestran de manera general y clara cada uno de los procesos a los cuales se asignaron.

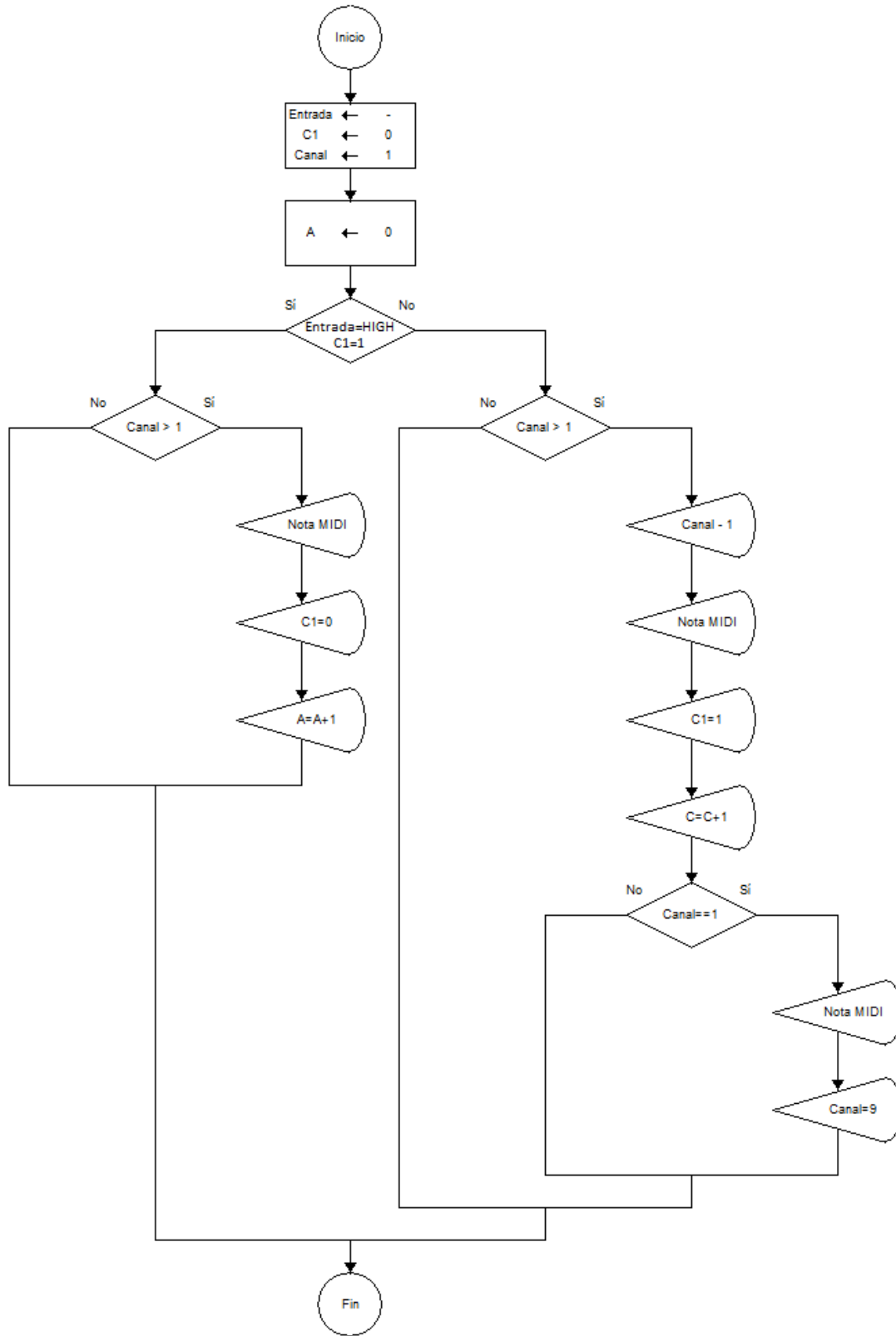


Figura 33 Diagrama de bloques de la programación de los botones

El diagrama anterior indica que el botón conectado a la entrada analógica 1 del arduino está en su valor HIGH, se enviara un mensaje MIDI de desactivación de nota, que viene indicado por la sentencia Serial.write y cuando está en LOW enviará otro tipo de mensaje MIDI en este caso una activación de nota.

La programación anteriormente planteada, será la misma para cada botón del prototipo de control, sin embargo varía debido al tipo de mensaje que se desea enviar a la estación digital de trabajo.

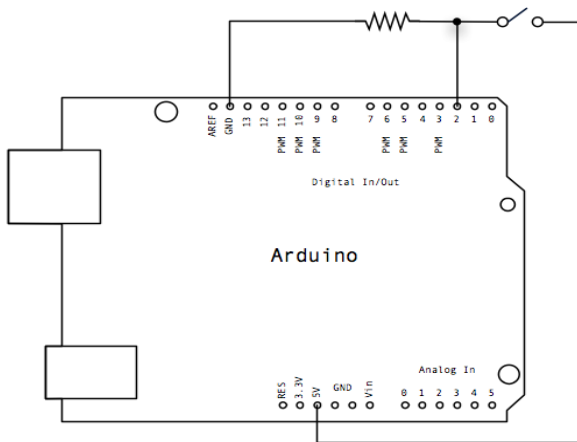


Figura 34 Esquema de conexión de un botón.

En la figura 34 se muestra el esquema de conexión de los botones del arduino, cada botón está conectado y programado de la misma manera, lo que cambia es el tipo de mensaje MIDI que se envía.

8.3.2 Programación y conexión del puente H.

El puente H permite controlar el fader en su movimiento vertical hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de la programación mediante mensajes MIDI. El fader se mueve a la posición indicada desde la estación digital de trabajo mediante el motor DC que se encuentra acoplado al sistema.

Antes de proceder a enviar y recibir datos a través del software, es necesario que el fader, al ser un potenciómetro deslizable, sea calibrado, lo cual se logra subiendo al limite el potenciómetro deslizable para así conocer el valor máximo que va a ser leído por el arduino y después el valor mínimo para saber el menor valor. La siguiente figura muestra el diagrama lógico para la programación de la calibración.

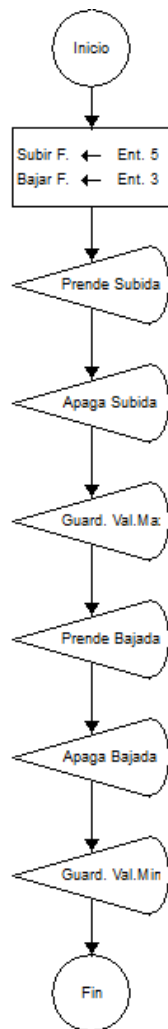


Figura 35 Diagrama de bloques de la calibración del fader

En este diagrama se muestra como calibrar el fader, el proceso consiste en activar el motor mediante los puertos físicos del arduino 3 y 5, el puerto 5 envía datos para mover el motor en un

sentido lo cual logra mover el potenciómetro deslizante y luego apagarlo, obteniendo el dato del valor máximo en una variable y el puerto 3 envía datos para mover el motor en sentido contrario para bajar el potenciómetro deslizante, desactivándolo y finalmente tomar el valor mínimo posible que puede entregar el potenciómetro y guardarlo en otra variable.

Después de haber sido calibrado el fader y haber obtenido los valores máximo y mínimo del potenciómetro, (Valor mínimo ideal: 0, valor máximo ideal: 1023), se procede a la obtención de datos desde el software que se esté manejando, el arduino interpretará estos valores y los enviará al motor, el cual ubicará el potenciómetro deslizante en la posición equivalente en el software, esto se explica en el siguiente diagrama de bloques:

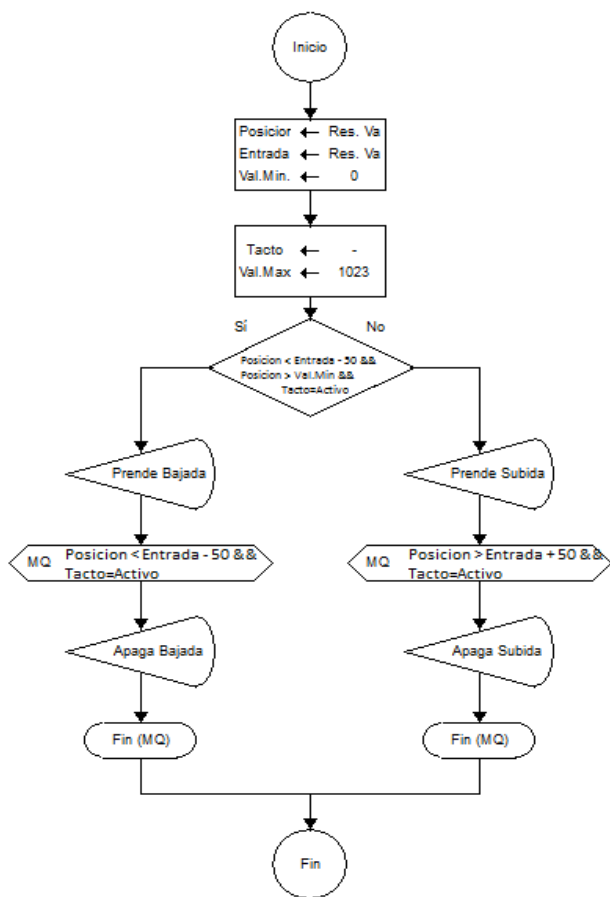


Figura 36 Diagrama de bloques de la programación del movimiento del fader

La figura 36 muestra cómo se reciben datos mediante el software y se posiciona físicamente el potenciómetro deslizable, el proceso consiste en realizar una comparación entre valores de entrada físicos del potenciómetro y valores MIDI extrapolados a valores equivalentes a un potenciómetro, y así activar el motor y desactivarlo hasta donde se necesite.

El código indica la activación del motor DC mediante el puente H y éste hace que el potenciómetro deslizable se mueva hacia su punto máximo, de esta manera se guarda este valor en una variable y luego el potenciómetro deslizable se dirige hacia abajo mediante el motor y toma el valor mínimo guardándolo en otra variable, esto permite hacer las comparaciones para la recepción de datos y así posicionar el fader en el lugar exacto que se envía desde la estación digital de trabajo. El siguiente diagrama (figura 37) representa la conexión del fader con el arduino.

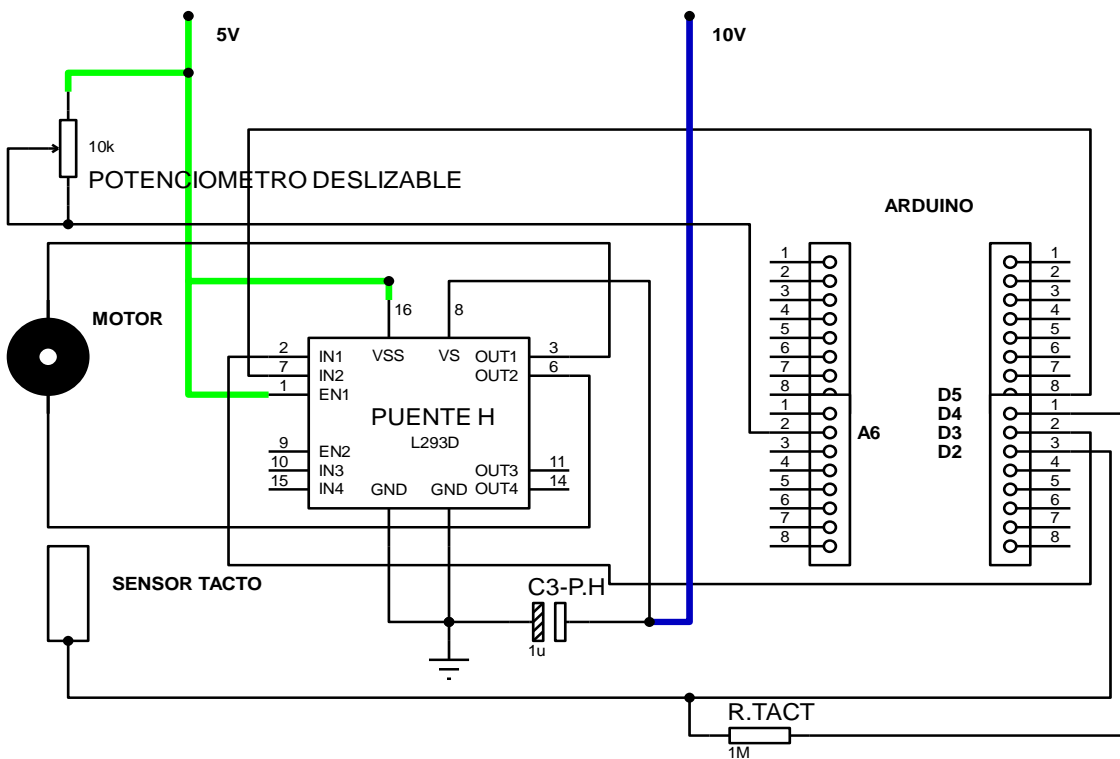


Figura 37 Esquema de conexión del fader.

El diagrama de conexión del puente H planteado en la figura anterior, se hace según su datasheet, D2, D3, D4, D5 hace referencia a los puertos digitales del arduino encargados de enviar datos al puente H y de la sensibilidad del fader y A6 es la entrada analógica del arduino encargada de recibir datos del potenciómetro deslizable.

8.3.3 Sensor de tacto.

Mediante la librería CapacitiveSensor es posible detectar si se está tocando cierto dispositivo y es posible controlar el umbral mediante el cual va a empezar a actuar este sensor. El siguiente es un diagrama donde se muestra como es la conexión desde el sensor de tacto al arduino.

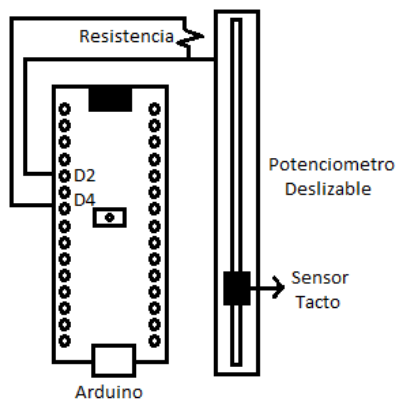


Figura 38 Esquema de conexión del sensor de tacto.

La librería CapacitiveSensor detecta sensibilidad, esto permite que se realice una diferencia en el sensor de tacto y la resistencia lo cual activa la función que se haya programado. Mediante el umbral, es posible determinar qué tan sensible va a ser al tacto. A continuación, se muestra el código que permite hacer la activación.

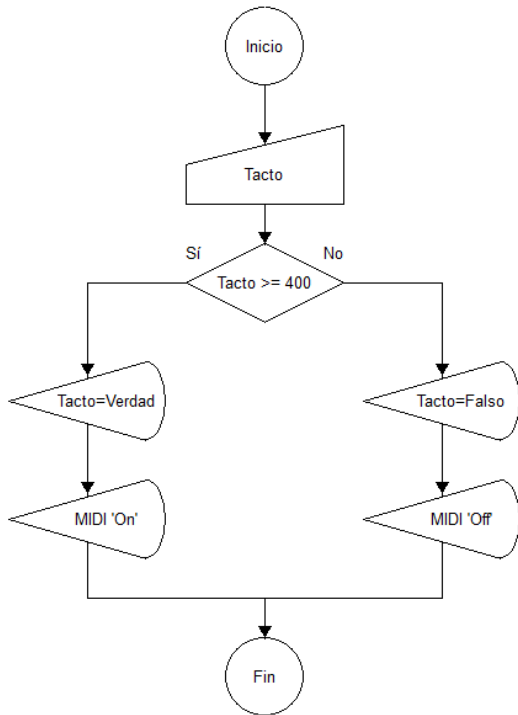


Figura 39 Diagrama de bloques de la programación del sensor de tacto.

En el código se puede observar que cuando el sensor está siendo tocado, envía un mensaje de activación de nota lo que permite activar el envío de notas MIDI al ordenador, cuando se deja de tocar envía un mensaje de desactivación de nota y deja de enviar datos MIDI.

8.3.4 Envío de mensajes MIDI.

Para el envío de mensajes MIDI, se utiliza el protocolo Mackie Control, esto se hace con el fin de que sea compatible en múltiples estaciones digitales de trabajo de audio, en el caso de Protolos, es necesario utilizar otro tipo de códigos, ya que manejan mensajes exclusivos del sistema, en este caso Mackie HUI. A continuación, se muestran dos tablas con los códigos correspondientes al protocolo Mackie Control y Mackie HUI, en estos protocolos, se manejan controles por capas de ocho canales, para poder cambiar la capa de ocho canales, es necesario enviar un código de cambio de banco establecido en el protocolo.

Tabla 7 Codigos del protocolo Mackie Control

Nota MIDI	Función	Nota Hexadecimal	Nota MIDI	Función	Nota Hexadecimal
0 ~ 7	Rec 1-8	0 ~ 7	76	Deshacer	4C
8 ~ 15	Solo 1-8	8 , 9, A, B, C, D, E, F	77	Buscador	4D
16 ~ 23	Mute 1-8	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17	78	Detalle	4E
24 ~ 31	Selección 1-8	18, 19, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F	79	Rehacer	4F
32 ~ 39	V-Selección 1-8	20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27	80	BTA	50
40	Track E/S	28	81	Dibujar	51
41	Envio	29	82	Marcadores	52
42	Panoramica	2A	83	Seguir	53
43	Plugins	2B	84	Anterior marcador	54
44	Pagina anterior	2C	85	Siguiente marcador	55
45	Pagina siguiente	2D	86	Loop	56
46	Banco abajo	2E	87	Punch in	57
47	Banco arriba	2F	88	Punch out	58
48	Canal izquierdo	30	89	Home	59
49	Canal derecho	31	90	Final	5A
50	Flip	32	91	Retroceder	5B
51	Retorno	33	92	Adelantar	5C
52	Nombre/valor	34	93	Stop	5D
53	Tipo de muestra	35	94	Play	5E
54 ~ 69	F1 - F16	36, 37, 38, 39, 3A, 3B, 3C, 3D, 3E, 3F, 40, 41, 42, 43, 44, 45	95	Record	5F
70	Shift	46	96	Cursor Arriba	60
71	Opcion	47	97	Cursor Abajo	61
72	Control	48	98	Cursor Izquierda	62
73	Command/alt	49	99	Cursor Derecha	63
74	View Arr	4A	100	Zoom	64
75	Toggle Detail	4B	101	Anular	65

Tabla 8 Códigos protocolo Mackie HUI

Zone	Port 0	Port 1	Port 2	Port 3	Port 4	Port 5	Port 6	Port 8
00	fader	select	mute	solo	auto	v-sel	insert	rec/rdy
01	fader	select	mute	solo	auto	v-sel	insert	rec/rdy
02	fader	select	mute	solo	auto	v-sel	insert	rec/rdy
03	fader	select	mute	solo	auto	v-sel	insert	rec/rdy
04	fader	select	mute	solo	auto	v-sel	insert	rec/rdy
05	fader	select	mute	solo	auto	v-sel	insert	rec/rdy
06	fader	select	mute	solo	auto	v-sel	insert	rec/rdy
07	fader	select	mute	solo	auto	v-sel	insert	rec/rdy
08	ctrl/clt	shift/ad	editmode	undo	alt/fine	option/a	edittool	save
09	mix	edit	transprt	mem-loc	status	alt		
0a	<- chanl	<- bank	chanl ->	bank ->				
0b	output	input	pan	send e	send d	send c	send b	send a
0c	assign	default	suspend	shift	mute	bypass	recrdyal	
0d	down	left	mode	right	up	scrub	shuttle	
0e	talkback	rewind	fast fwd	stop	play	record		
0f	<rtz	end>	on line	loop	qck pnch			
10	audition	pre	in	out	post			
11	input 3	input 2	input 1	mute	discrete			
12	output 3	output 2	output 1	dim	mono			
13	0	1	4	2	5	.	3	6
14	enter	+						
15	7	8	9	-	clr	=	/	*
16	timecode	feet	beat	rudesolo				
17	plug in	pan	fader	sendmute	send	mute		
18	trim	latch	read	off	write	touch		
19	phase	monitor	auto	suspend	create	group		
1a	paste	cut	capture	delete	copy	separate		
1b	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8/esc
1c	ins/para	assign	select 1	select 2	select 3	select 4	bypass	com- pare
1d	fs/rlay1	fs/rlay2	click	beep				

En las tablas 7 y 8, se muestran los códigos correspondientes a los protocolos Mackie Control y Mackie HUI respectivamente.

Para el envío y recepción de mensajes MIDI en el protocolo Mackie Control, se debe hacer activación y desactivación de nota, seguido de los códigos establecidos en la tabla 7, completando así la codificación MIDI para este protocolo. Para el protocolo de comunicación Mackie HUI se deben enviar dos datos MIDI; el primer dato consta de la ubicación de la “Zona” que hace referencia funciones como: Selección de canal, funciones de transporte, entre otras, el segundo dato consta de la ubicación de un “Puerto” el cual determina la selección de funciones específicas como: Mute, Solo, Rec, entre otras.

Tabla 9 Mensaje MIDI para botón "Play" (Mackie Control)

Tipo de byte	Codificación dato MIDI			
	Binario	Hexadecimal	Decimal	Parametro
Byte de estado	10010000	90	144	Canal/Nota On
Byte de datos 1	01011110	5E	94	Nota (Boton Play)
Byte de datos 2	01111111	7F	127	Velocity

En la tabla anterior se muestra el mensaje MIDI enviado por el botón play, este mensaje corresponde a la activación del mismo.

Tabla 10 Mensaje MIDI para botón "Play" (Mackie HUI)

Dato MIDI 1	Codificación			
	Binario	Hexadecimal	Decimal	Parametro
Byte de estado	10110000	B0	176	Canal/Control Change
Byte de datos 1	00001111	0F	15	Control Change (Zona)
Byte de datos 2	00001110	0E	14	Velocity

Tabla 11 Mensaje MIDI para boton "Play" 2 (Mackie HUI)

Dato MIDI 2	Codificación			
	Binario	Hexadecimal	Decimal	Parametro
Byte de estado	10110000	B0	176	Canal/Control Change
Byte de datos 1	00001111	0F	15	Control Change (Puerto)
Byte de datos 2	01000100	44	68	Velocity

En las tablas 10 y 11, se muestra la estructura de envío del mensaje MIDI del botón de play mediante el protocolo Mackie HUI, en este caso se puede ver que se envían dos datos MIDI.

8.3.5 Montaje de la PCB de la sección de la superficie de control.

En la sección de la superficie de control, se hizo el montaje de todas las entradas físicas en la PCB, en las cuales se encuentran distribuidos los botones, el puente H, el encoder y el fader. Teniendo en cuenta los esquemáticos de cada uno de estos componentes que ya se explicaron previamente, se procede a hacer el montaje respectivo en la PCB, las entradas análogas 0, 1, 2, 3, 4, 5 y las entradas digitales 8, 9, 10, 11, 12, 13 se utilizan para la conexión de botones a los cuales se les asigna determinada función mediante la programación del arduino (play, stop, solo, mute, entre otras). Las entradas digitales 6 y 7 se utilizan para la recepción de datos del encoder que asignaran valores al paneo de las estaciones digitales de trabajo. Las entradas digitales 2 y 4 se asignan al envío y recepción de datos del sensor de tacto que se encuentra en el fader. Finalmente, la entrada análoga 6 enviará los datos del potenciómetro deslizable a la estación digital de trabajo y la entrada 3 y 5, que se asignaron como salidas, se encargarán de enviar datos al motor DC que se encuentra en el fader, esto hará que se pueda posicionar el potenciómetro deslizable donde se requiera.

A continuación, se presentará el circuito esquemático de la sección de la superficie de control, donde se puede observar más detalladamente el proceso de conexión de cada uno de los componentes electrónicos que aquí se implementan.

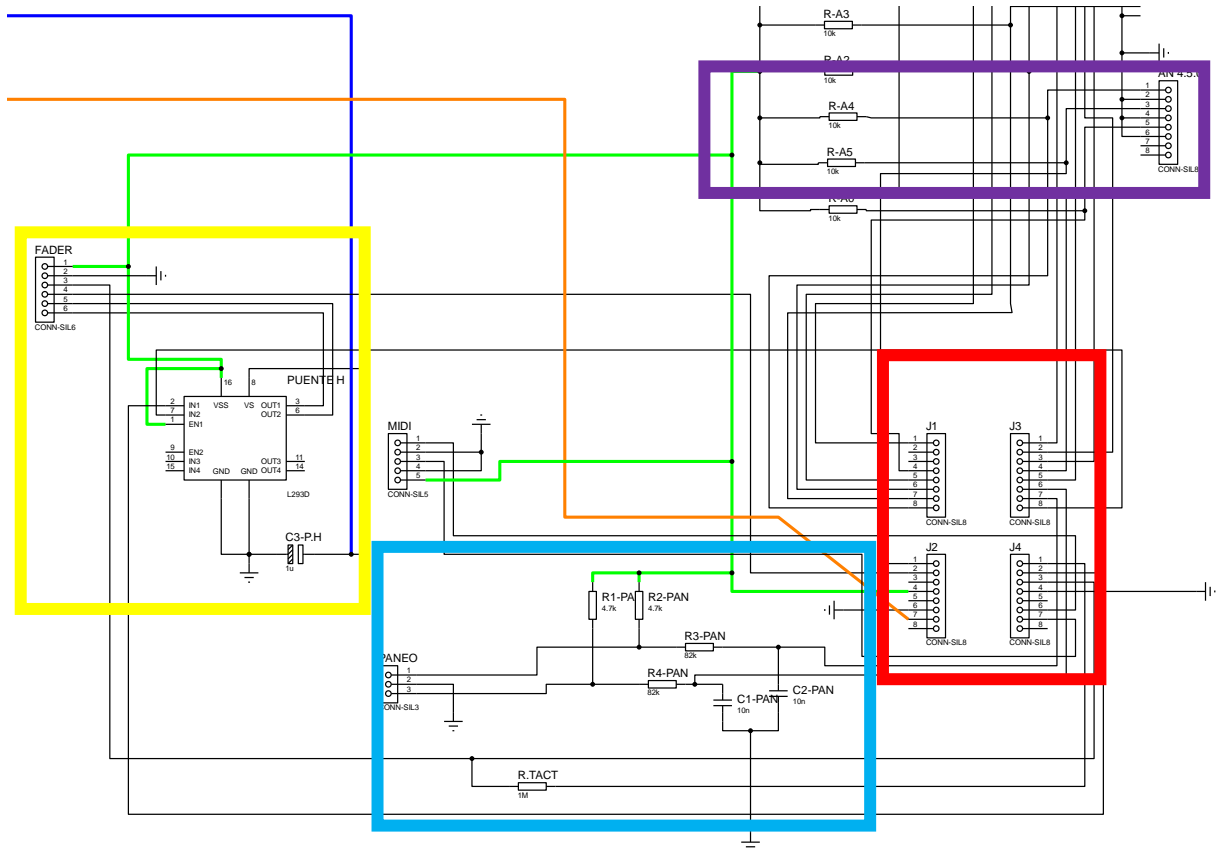


Figura 40 Circuito esquemático de la sección de superficie de control.

En la figura 40 se puede observar un esquema general de la sección de la superficie de control. En el recuadro amarillo, se muestra el diagrama de conexión del puente H con el integrado L293D. En el recuadro azul, se muestra la sección del circuito para el encoder. En el recuadro morado, se muestra la sección de conexión de los botones y en el recuadro rojo los conectores que permiten acoplar el arduino a la PCB y que de esta manera quede fijo. Las líneas de colores indican el voltaje de alimentación que se le está entregando a cada una de las secciones, las líneas verdes indican una entrega de voltaje de 5V, las de color naranja indican una entrega de 12V y la azul indica una entrega de voltaje de 10V.

Para lograr la comunicación desde el arduino al computador, es necesario conectar los pines de recepción y envío de datos, es decir los puertos TX y RX del arduino, a una interface MIDI, en este caso se usó una interface genérica MIDI con las funciones básicas de envío y recepción de datos ya que el objetivo es que esta sea reconocida por el ordenador y haga el enlace de los códigos para ser recibidos en las estaciones digitales de trabajo. Para realizar la unión del arduino a la interface, es necesario utilizar un circuito extra que garantiza el acoplamiento entre los dos dispositivos.

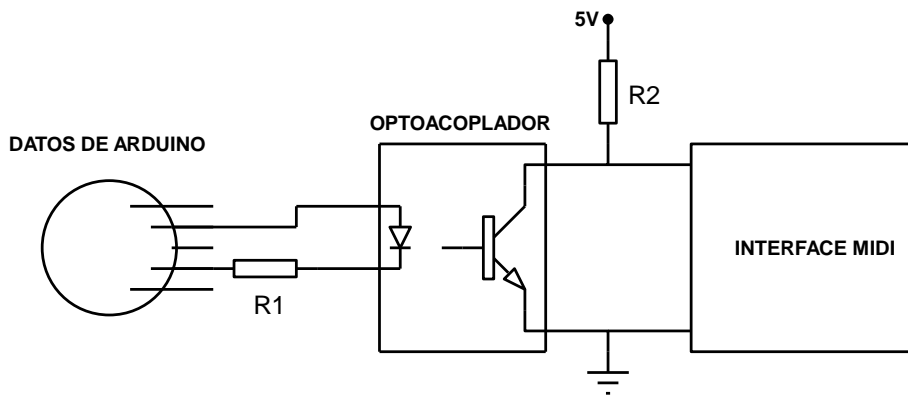


Figura 41 Esquemático del acoplamiento de la interface MIDI al arduino

El esquema de la figura 41 muestra el circuito acoplador que se debe usar para la correcta recepción y envío de datos en la interface MIDI, este circuito acoplador ya se encuentra integrado en la interface MIDI, por lo cual no es necesario realizar un montaje adicional en la PCB para que pueda funcionar.

8.4 Desarrollo del sistema de manejo de comunicación integrado

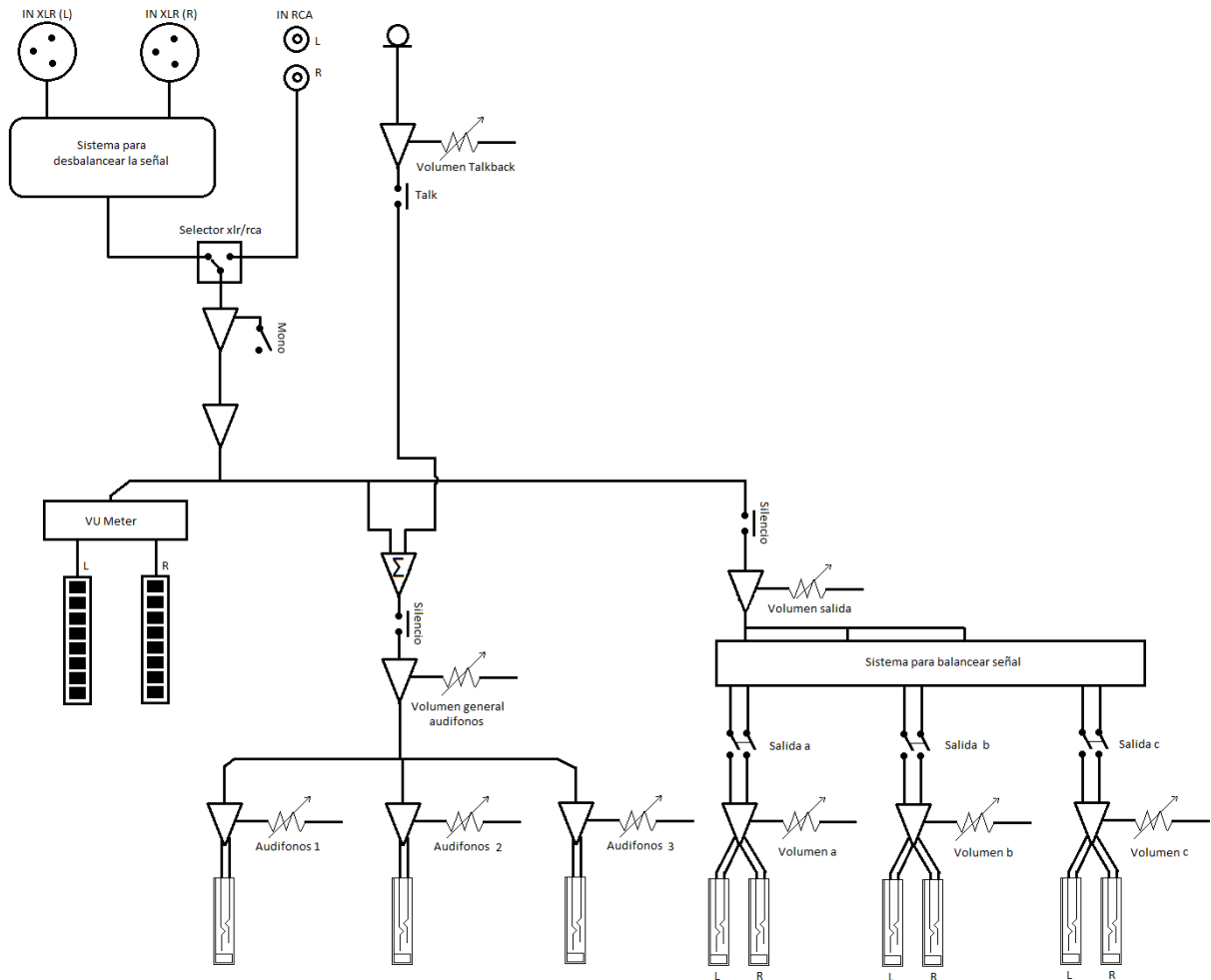


Figura 42 Diagrama esquemático control de comunicación

8.4.1 Diseño sistema de entrada de señal.

Para poder desarrollar el sistema de manejo de comunicaciones, es necesaria la implementación de un dispositivo de entrada, el cual debe desbalancear la señal que llega al prototipo, debido a que una señal balanceada consta de dos hilos conductores en los cuales uno de ellos porta una señal en fase y el otro hilo porta una señal en contrafase (línea desfasada 180° con respecto a la señal en fase), es necesario sumarlas en fase para obtener solo una señal, esto con el propósito de ser manipulada de una mejor manera.

Para realizar este sistema, hay que tener en cuenta que las salidas de audio de la mayoría de interfaces son balanceadas. Para desbalancear la señal, se debe realizar un procesamiento de señal, el cual consiste en utilizar la configuración diferencial de amplificadores operacionales, esta configuración se puede observar en la figura 15. La configuración diferencial es utilizada para este fin debido a que es un sistema capaz de sumar la diferencia de dos señales que ingresan, esto es posible debido a la propiedad de tensión de entrada diferencial nula.

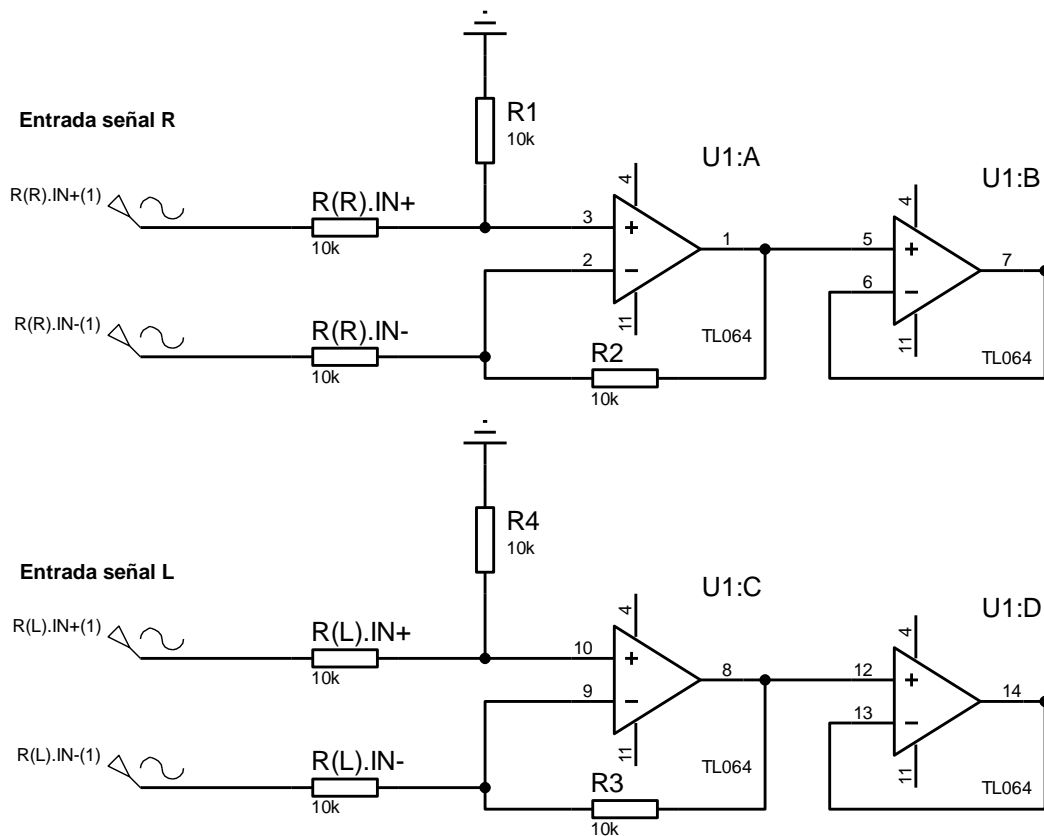


Figura 43 Configuración diferencial de entrada.

En la figura 43 se observa la configuración del circuito diferencial para las entradas L y R de la estación de monitoreo, esto permite desbalancear la señal de audio y poder realizar los procesos sobre ella, en este caso se escogieron resistencias de 10kΩ que determinan la impedancia de entrada.

Como se puede observar se tienen todas las resistencias del mismo valor, lo que convierte a este amplificador diferencial en un amplificador restador simple, esto significa que usa ambas entradas: la inversora y la no inversora, con ganancia 1 V/V para producir una salida igual a la diferencia entre las entradas, es decir, que invierta la señal negativa de entrada y la sume con la positiva, esto se puede ver en la siguiente ecuación para el amplificador restador:

$$V_{out} = V(R+) - V(R-) \quad (45)$$

Donde V_{out} es el voltaje de salida de la señal resultante de la operación del amplificador diferencial, $V(R+)$ es el voltaje de entrada de la señal R y $V(R-)$ es el voltaje de entrada de la señal R con inversión de fase, asumiendo un voltaje RMS de 1.23 voltios y el mismo voltaje en la otra entrada pero con inversión de fase, la ecuación queda así:

$$V_{out} = 1.23 - (-1.23) \quad (46)$$

$$V_{out} = 1.23 + 1.23 \quad (47)$$

$$V_{out} = 2.46 \quad (48)$$

En el resultado se muestra la suma de los dos voltajes de entrada pero a $V(R-)$ se le puso un signo negativo, esto indica que su fase está invertida, por consiguiente, el resultado es el doble de la amplitud de la señal de entrada, esto representa que la señal de audio ya no está balanceada, esto se realiza con el fin de procesar una sola señal y no dos como se tendría que hacer sin este tipo de configuración, pues trabajar sobre una señal balanceada implica el uso de más componentes electrónicos que pueden afectar la calidad de la señal de salida.

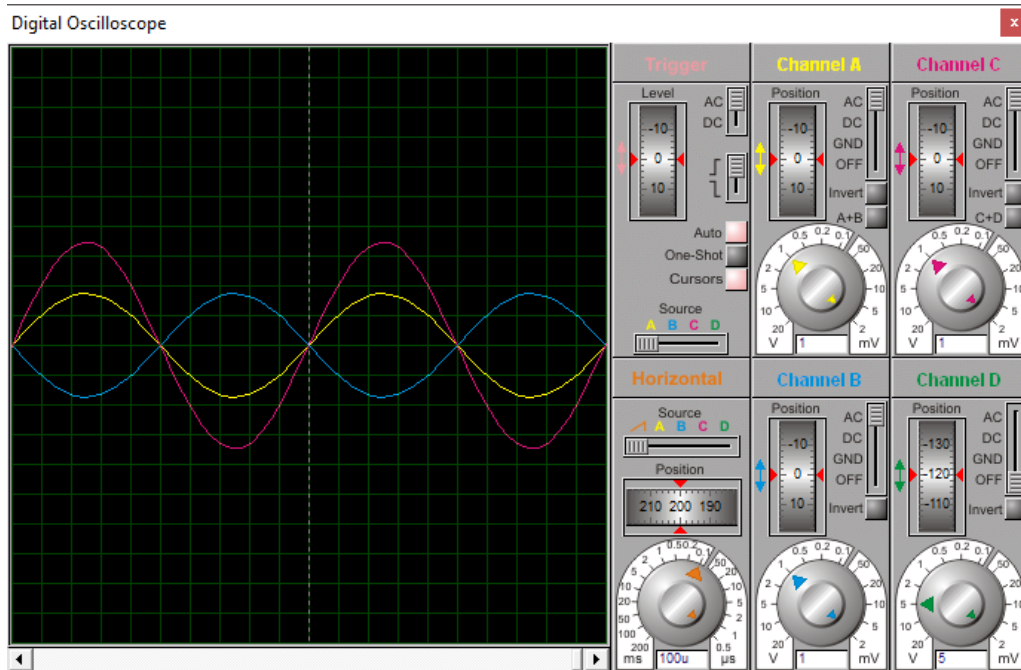


Figura 44 Simulación del circuito diferencial de entrada.

La simulación que se muestra en la figura 44 es del circuito diferencial de una de las entradas de la estación de monitoreo, la forma de onda amarilla hace referencia a la señal positiva de la señal balanceada, la señal azul hace referencia a la señal negativa y la señal roja es la suma de la señal amarilla y la azul invertida 180°. Los resultados de la simulación para una señal de prueba de 1V fueron los siguientes:

Tabla 12 Resultados simulación circuito desbalanceador

Parámetro	Voltaje de simulación [V]
Amplitud señal de entrada en fase (Positivo)	1.00
Amplitud señal de entrada en desfase (Negativo)	1.00
Amplitud señal de salida resultante	2.00

El sistema además de tener entradas balanceadas consta de una entrada adicional de RCA estéreo (no balanceada), para lo cual es necesario elegir cuál de las dos entradas se va a utilizar. Para lograrlo, se diseñó un sistema que consta de dos partes: un relevador controlado por un arduino y un código que se utiliza para controlar el relevador.

El relevador es un sistema electrodinámico, el cual funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico, en donde este funciona activando o desactivando un electroimán para accionar uno o varios interruptores a la vez. La activación y desactivación del electroimán se hace por medio de una tensión de 12 voltios, sin embargo es necesario mantener este voltaje en las terminales para mantener activo el relevador, es por esto que se plantea un sistema de control con el arduino para mantener controlado el relevador, sin embargo, el arduino no puede mantener el estado constante, debido a esto, se plantea un circuito con un transistor el cual funciona como compuerta para obtener en un determinado momento los 12 voltios de manera externa.

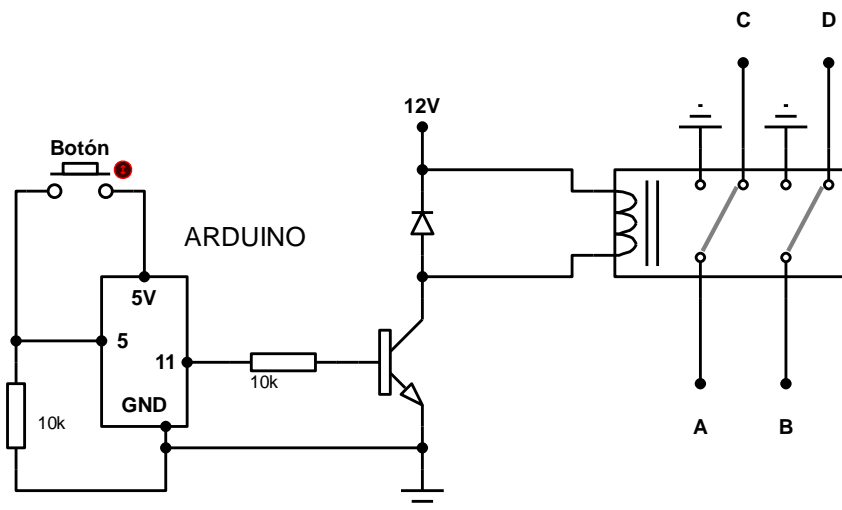


Figura 45 Sistema para control del relevador.

El sistema planteado en la figura 45 controla el relevador, el cual tiene la capacidad de elegir el flujo de señal que debe pasar por los terminales A, B, C y D, mediante el botón de activación conectado al arduino, este mismo esquema se utiliza para todos los relevadores, con la diferencia que cambian sus puertos físicos en el arduino, en el anterior diagrama se hace referencia al relevador que permite escoger entre la entrada balanceada del sistema o la entrada no balanceada RCA.

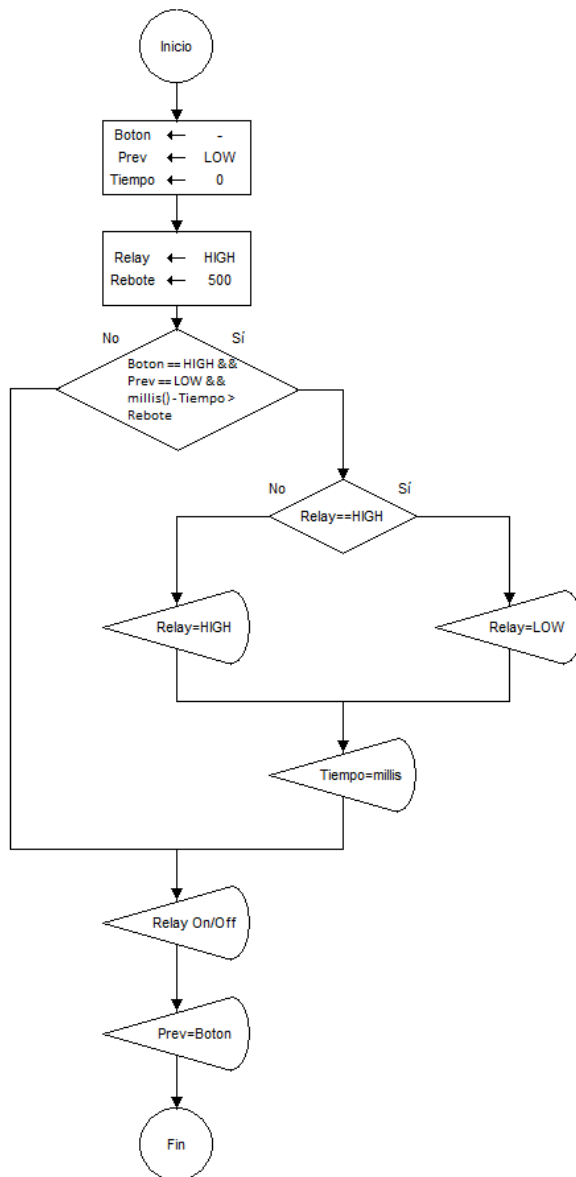


Figura 46 Diagrama de bloques del código para activación de relevador.

El diagrama de bloques correspondiente a la figura 46 representa el código de programación de activación y desactivación del relevador, todas las funciones se controlan mediante botones que son los que indican cual debe ser el estado del relevador y permite que el interruptor se active llevando el flujo de señal a donde se desea.

8.4.2 Conversor estéreo mono.

El sistema de control de comunicación, posee una etapa en la cual se puede convertir una mezcla estéreo a una mezcla mono, esto con el fin de lograr encontrar cancelaciones y desfases en una mezcla. Para esto se diseñó un circuito que permite sumar la señal de entrada L con la señal de entrada R, esto se logra mediante un amplificador operacional en su configuración de sumador no inversor como se puede ver en la figura 18.

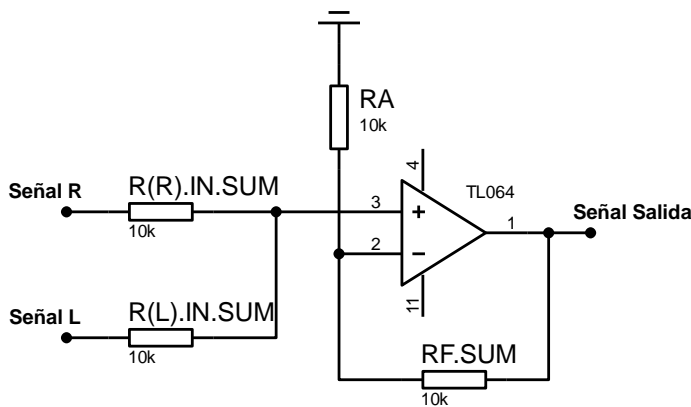


Figura 47 Circuito Sumador no inversor del dispositivo

En la figura 47 se observa el circuito que se usa en la suma de la señal izquierda y derecha, donde R(R).IN.SUM y R(L).IN.SUM representan la impedancia de entrada del circuito sumador, RF.SUM es la resistencia de realimentación y RA determina el nivel de amplitud de la señal a la salida.

Para hallar el valor de la resistencia RA, es necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$Ra = \frac{Rp * Rf}{Rp - Rf} \quad (49)$$

Donde R_p es el paralelo entre las resistencias de entrada y R_f la resistencia de realimentación, así se tiene que:

$$R_p = \frac{R(R)*R(L)}{R(R)+R(L)} \quad (50)$$

$$R_p = \frac{10k\Omega*10k\Omega}{10k\Omega+10k\Omega} \quad (51)$$

$$R_p = 5k\Omega \quad (52)$$

Así pues, habiendo hallado R_p procedemos a reemplazar en la ecuación de R_a

$$R_a = \frac{5k\Omega*10k\Omega}{5k\Omega-10k\Omega} \quad (53)$$

$$R_a = -10k\Omega \quad (54)$$

$$R_a = 10k\Omega \quad (55)$$

Al sumar estas dos señales en caso de ser idénticas, su amplitud incrementara al doble y si están en contrafase estas dos señales se anularán. La ganancia de salida del amplificador en configuración sumadora no inversora, está dada por la resistencia de realimentación y R_a , para las resistencias que representan la impedancia de entrada $R(R).IN.SUM$ y $R(L).IN.SUM$. y para la resistencia $R_f.SUM$ se escogieron valores de $10k\Omega$

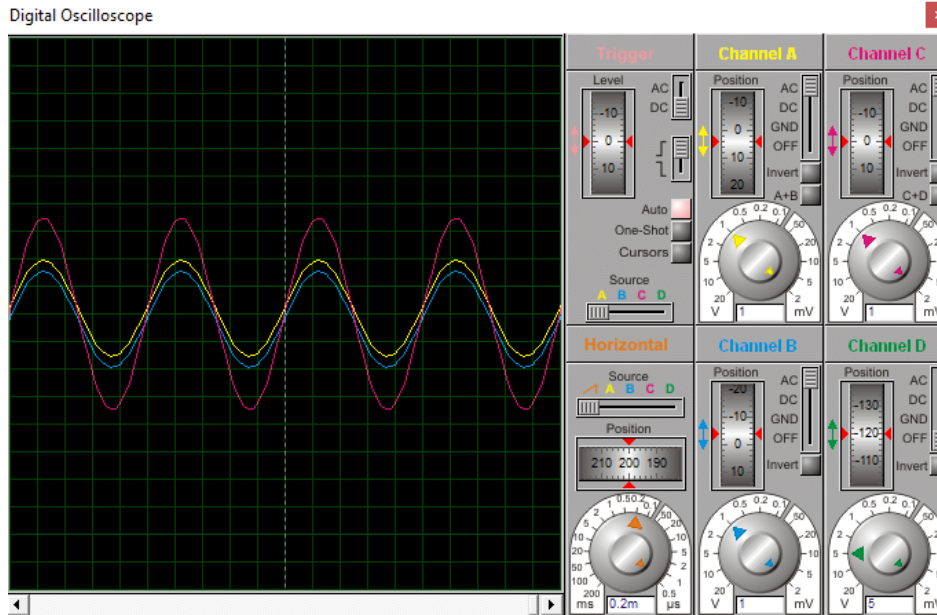


Figura 48 Resultado de la suma de las señales

La simulación de la figura 48 muestra la suma de dos señales idénticas en la entrada izquierda y derecha, la señal amarilla representa la entrada derecha al sumador y la azul la señal de entrada izquierda al sumador, finalmente la roja, representa la suma de estas dos señales idénticas por lo que su amplitud aumenta al doble de una de las señales de entrada.

Tabla 13 Resultados simulación suma de señales.

Parámetro	Voltaje de simulación [V]
Amplitud señal de entrada canal derecho R	1.00
Amplitud señal de entrada canal izquierdo L	1.00
Amplitud señal de salida resultante de la suma	2.05

En la tabla anterior, se muestran los resultados de la simulación, donde se aplicó una señal de 1 voltio con la misma fase en cada una de las entradas.

8.4.3 Distribución a las etapas

Después de desbalancear la señal, es necesario distribuir esa señal estéreo en 3, estas señales irán a la etapa de audífonos, al vumetro y a las salidas balanceadas estéreo.

Para hacer la división de las señales, se implementan 6 seguidores de voltaje, que garantizan que la señal se divida en 3 señales estéreo.

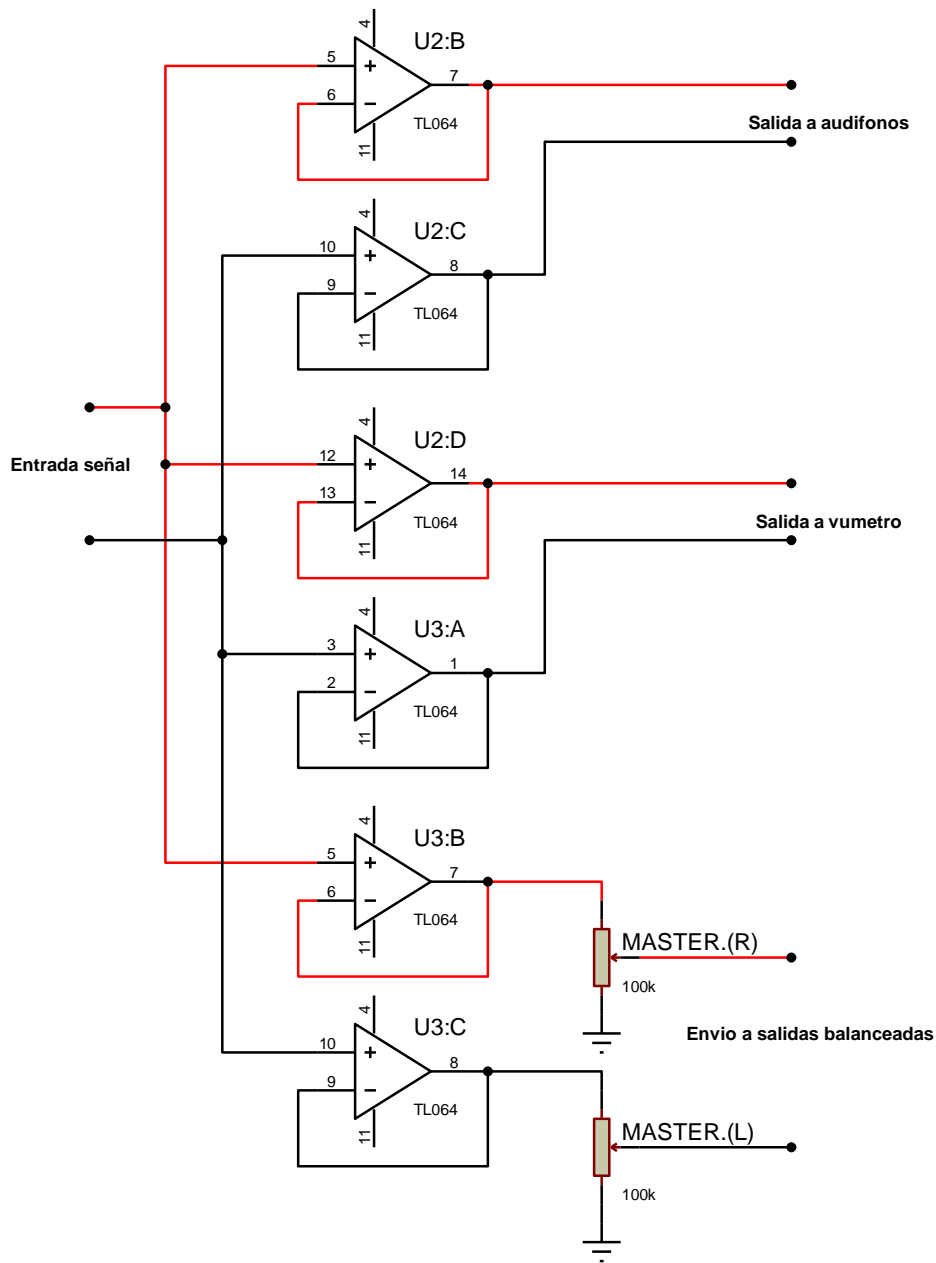


Figura 49 Esquema de división de señal

El esquema anterior es la división de señales para distribución a las etapas del dispositivo, la línea roja representa la señal de audio derecha R y la negra representa la señal de audio izquierda L.

8.4.4 Salidas balanceadas.

Después de haber procesado la señal, se procede a hacer la división de la señal en 6, 3 para la señal R y 3 para la señal L, esto con el fin de proporcionar 3 salidas de audio estéreo balanceadas, esta división se hace mediante un circuito seguidor que adicionalmente permite acoplar las impedancias de las etapas y garantizar que no haya pérdida de señal.

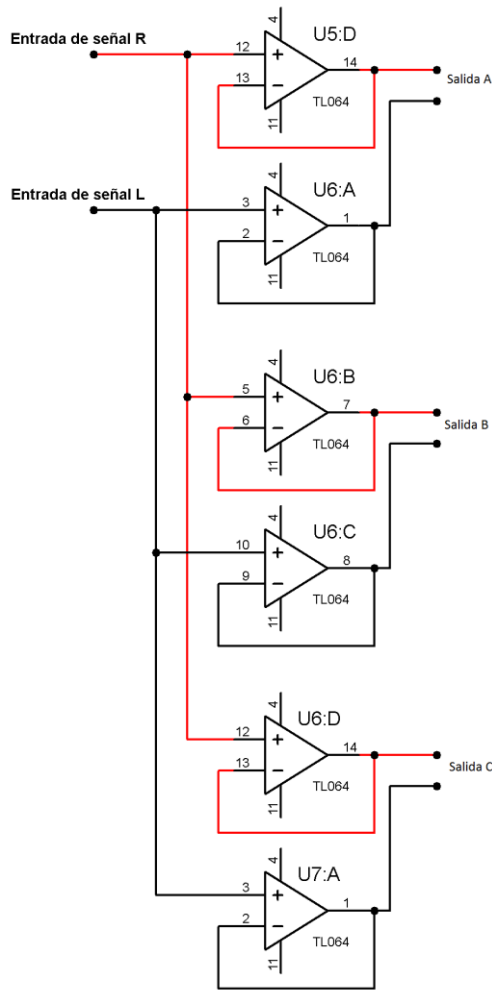


Figura 50 Esquema de división de señal para 3 salidas estéreo

En la figura 50 se observa el esquema de los circuitos en configuración de seguidor de voltaje, que permite hacer la división y acople. Las líneas rojas hacen referencia a la señal que proviene de la entrada R y la negra hace referencia a la señal que proviene de la entrada L.

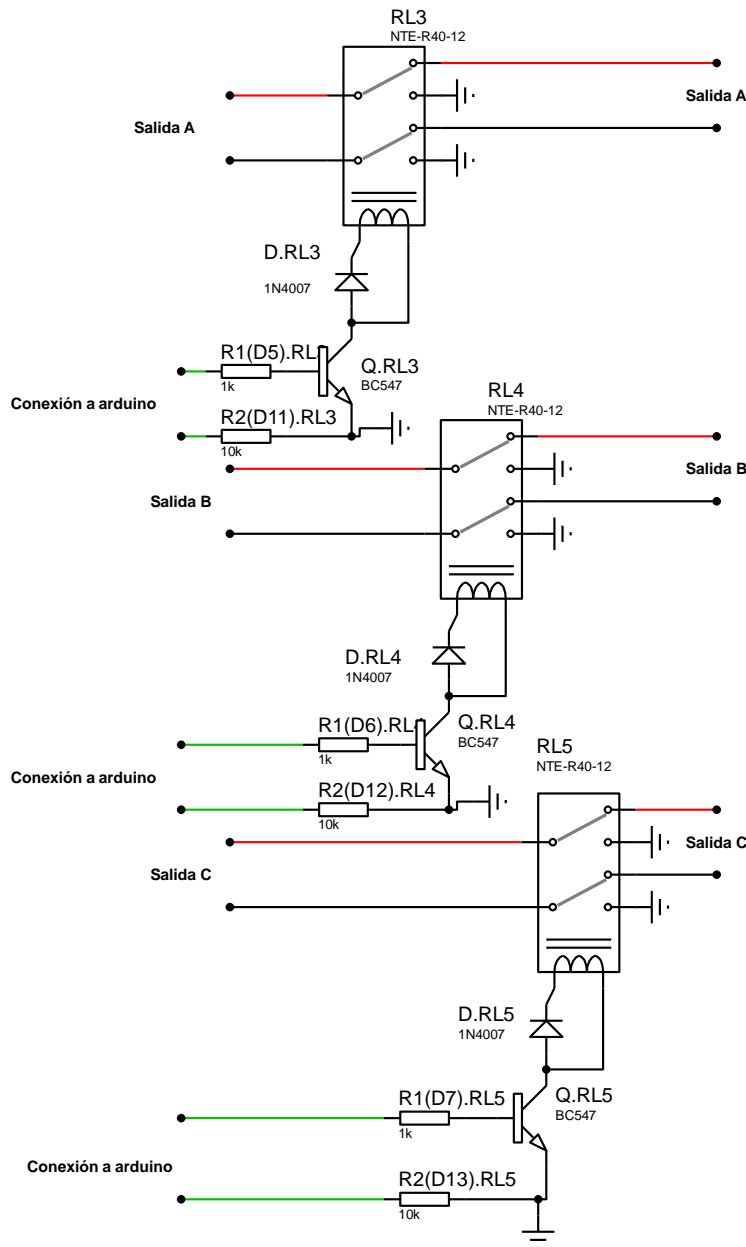


Figura 51 Esquema de los relevadores de salida.

En la figura 51 se representa el diseño esquemático de tres relevadores que permiten activar o desactivar las salidas de audio balanceadas, este esquema es el mismo que se muestra en la figura 45 donde también hay un circuito para un relevador el cual permite asignar la entrada al dispositivo, las líneas rojas indican la señal de audio derecha R, las líneas negras representan la señal de audio izquierda L y las líneas verdes indican las conexiones al arduino.

Una vez la señal pasa por los relevadores, esta llega a un circuito que se encarga de balancear la señal para así poder enviarla a dispositivos profesionales que cuenten con entradas balanceadas, pero antes, debe hacerse la división de la señal mediante un seguidor de voltaje, esto con el fin de distribuir la señal proveniente de la salida de los relevadores a los circuitos que se encargaran de balancear la señal, como se explicó anteriormente, una salida balanceada consta de dos señales, una señal que va en fase y otra que es igual pero va desfasada 180°.

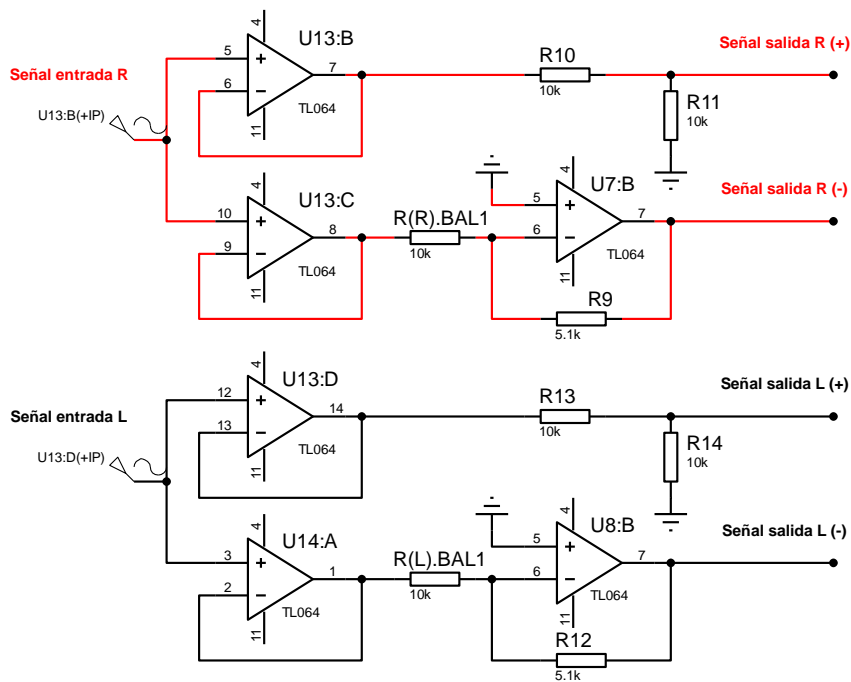


Figura 52 Esquema del circuito que desbalancea la señal proveniente de la señal derecha R

En la figura 52 se muestra el esquema del circuito que se encarga de convertir la señal estéreo proveniente del relevador y que fue dividida, en una señal balanceada, las líneas rojas representan la señal de audio derecha R y las negras la señal de audio izquierda L. Las configuraciones que se muestran son: una configuración de divisor de tensión que sirve como pad resistivo y la otra es una configuración inversora que se encarga de invertir la señal 180°.

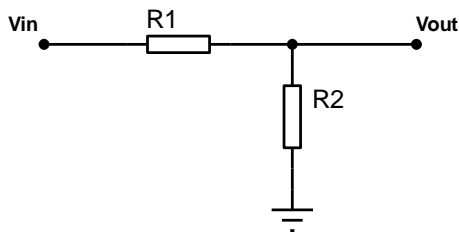


Figura 53 Divisor de tensión o pad resistivo

En la figura 53 se ve el esquema de un divisor de tensión donde V_{in} es el voltaje de entrada, V_{out} es el voltaje de salida y $R1$ y $R2$ conforman la red de resistencias que permitirá atenuar la señal a la mitad de su voltaje de entrada para poder enviarlo a la salida estéreo balanceada, para el cálculo de las resistencias, es necesario aplicar la ley de Ohm, el primer valor a calcular es el de la corriente que es igual tanto para $R1$ como para $R2$ de acuerdo con las leyes de Kirchoff, por lo tanto la corriente la vamos a representar con la letra I :

$$I = \frac{V_{in} - V_{out}}{R1} \quad (56)$$

Como se quiere reducir la señal a la mitad, se tiene que:

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{2} \quad (57)$$

Teniendo esto, se reemplaza en la ecuación de la corriente y tenemos que:

$$I = \frac{V_{in} - \frac{V_{in}}{2}}{R1} \quad (58)$$

$$I = \frac{\frac{V_{in}}{2}}{R_1} \quad (59)$$

Después de haber calculado la corriente del circuito, se procede a calcular el valor de R2 de la siguiente manera:

$$R_2 = \frac{\frac{V_{in}}{2}}{I} \quad (60)$$

Reemplazando I en la ecuación se tiene que:

$$R_2 = \frac{\frac{V_{in}}{2}}{\frac{\frac{V_{in}}{2}}{\frac{2}{R_1}}} \quad (61)$$

$$R_2 = \frac{\frac{V_{in}}{2}}{\frac{2}{V_{in}}} \cdot R_1 \quad (62)$$

$$R_2 = R_1 \quad (63)$$

De acuerdo a esto, se puede concluir que, para atenuar la mitad de la señal, se debe garantizar que R1 y R2 sean iguales, en este caso se usaron resistencias iguales de 10kΩ para reducir a la mitad de la señal.

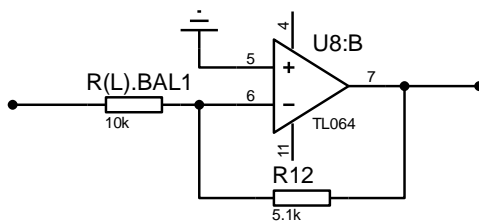


Figura 54 Esquema circuito inversor de fase.

En la figura 54 se muestra detalladamente la sección del circuito inversor de fase donde se representa una configuración de amplificador operacional en modo inversor, como la ganancia que se busca en la salida es de -1/2 V/V se debe realizar el siguiente procedimiento, teniendo en cuenta la ecuación de ganancia para un amplificador inversor:

$$A = \frac{-R12}{R(L).BAL1}$$

$$R(L).BAL1 = \frac{-R12}{A}$$

El objetivo de la anterior ecuación, es hallar el valor de la resistencia R(L).BAL1 teniendo los valores de la resistencia R12 y la ganancia, donde R12 es la resistencia de realimentación y se le asigna un valor de 5.1kΩ y A es la ganancia de -1/2 V/V, teniendo estos valores, se reemplaza en la ecuación:

$$R(L).BAL1 = \frac{-5.1k\Omega}{-\frac{1}{2}} \quad (64)$$

$$R(L).BAL1 = 10.2k\Omega \quad (65)$$

De esta manera tenemos los valores de las resistencias que se deben usar para obtener la atenuación de la señal con inversión de fase de 180°. Debido a que comercialmente solo se consiguen resistencias de 10kΩ, las resistencias de 10.2kΩ son reemplazadas por estas, después de hacer la respectiva simulación y prueba física, se llega a la conclusión que el resultado no varía en gran medida al de la inicial.

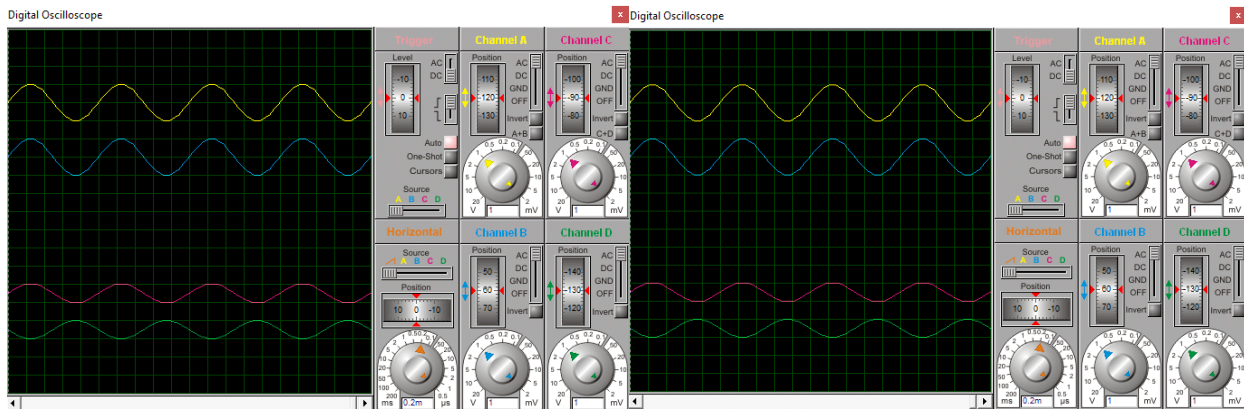


Figura 55 Resultado simulación salida izquierda

Figura 56 Resultado simulación salida derecha

En la figura 55 y 56 se muestran 4 señales, la señal amarilla y azul son las señales antes de entrar a la etapa de salida que se encarga de balancear la señal, la señal roja es la señal resultante después de pasar por el pad resistivo y la señal verde es la señal atenuada con inversión de fase de 180° después de pasar por la configuración inversora en el amplificador operacional.

Tabla 14 Medición señales del balanceador

Parámetro canal derecho R	Voltaje de simulación [V]
Amplitud señales de entrada divididas	1.00
Amplitud señal de salida en fase (+)	0.50
Amplitud señal de salida en desfase (-)	0.51

En la tabla anterior se muestran los valores obtenidos en la simulación del circuito que permite convertir la señal de salida, en una señal balanceada, los resultados de los valores son iguales para todas las salidas físicas derecha e izquierda ya que es el mismo circuito en cada una de ellas, en la tabla se puede ver que los valores son la mitad del voltaje de entrada al circuito en una salida y en la otra la misma señal desfasada 180° , esto corrobora el cálculo que se hizo previamente para hallar el valor de las resistencias de los circuitos teniendo en cuenta que se buscaba la mitad de ganancia de la entrada de la etapa.

8.4.5 Amplificador de audífonos.

El sistema consta con tres salidas de audífonos, las cuales son diseñadas a partir de dividir la señal no balanceada en tres señales idénticas. En la etapa de amplificación a audífonos, también se incorpora la etapa de comunicación desde el talkback, esto se hace mediante un circuito sumador que se encarga de sumar a la señal de audio proveniente de la etapa anterior, la señal proveniente del microfono del talkback, el circuito del amplificador sumador es el mismo de la figura 47.

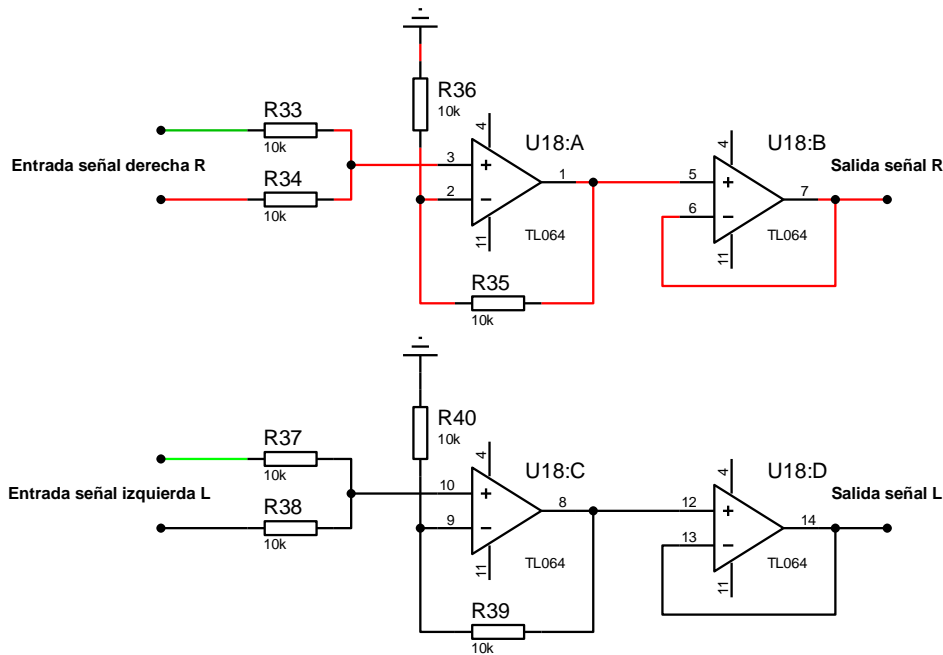


Figura 57 Circuito sumador con seguidor de voltaje

El esquema de la figura anterior representa un circuito sumador y un seguidor de voltaje para cada una de las señales, el sumador se encarga de hacer la suma de la señal proveniente de la etapa de division de señal y la señal porveniente del microfono del talkback, seguido por un circuito seguidor de voltaje que garantiza que toda las señal sea entregada a la siguiente etapa.

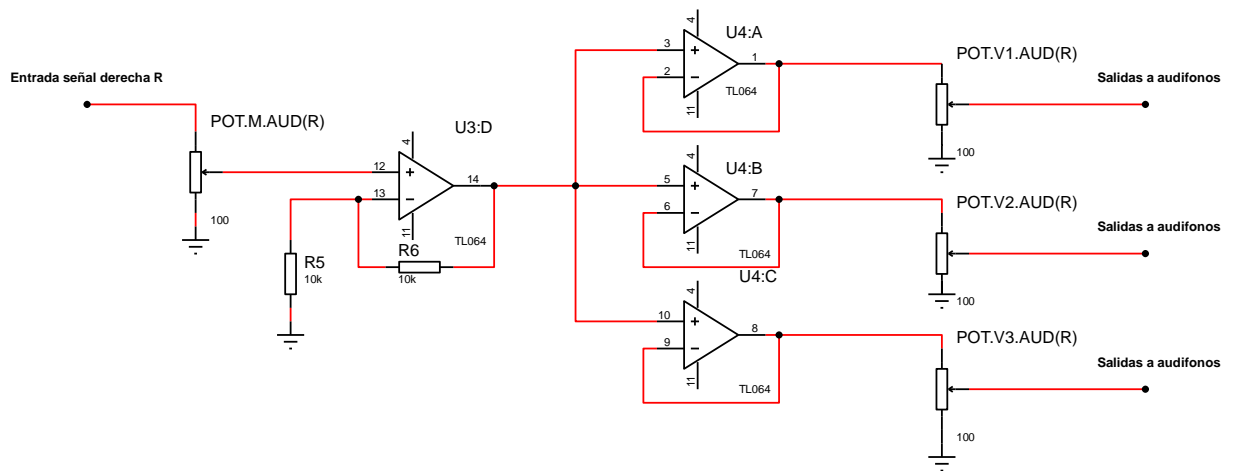


Figura 58 Esquema de conexión de la etapa de amplificación de audifonos.

En la figura 58 se observa el circuito que se encarga de amplificar la señal para ser enviada a audifonos, en este caso la señal proveniente de la entrada derecha R. En la primera sección, se ve un circuito amplificador no inversor seguido por 3 circuitos seguidores de voltaje que permiten acoplar las impedancias a los audifonos.

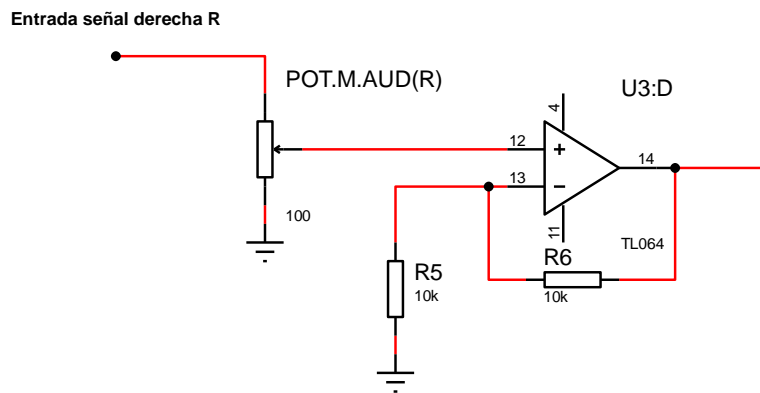


Figura 59 Circuito amplificador no inversor.

En este esquema se observa el circuito amplificador de audifonos, donde R6 es la resistencia de realimentacion, R5 es la resistencia que determina la ganancia del amplificador y POT.M.AUD(R) es el potenciómetro que permite determinar cuanta señal entra al amplificador. Para el calculo de la ganancia del amplificador, se usa la ecuacion de ganancia de un amplificador no inversor, para este circuito, se tomo la resistencia de realimentacion, en este caso, la resistencia R6 con un valor aleatorio de 10kΩ, teniendo esto, se halla el valor de la resistencia R5 para determinar la ganancia del amplificador de la siguiente manera:

$$R5 = \frac{R6}{A-1} \quad (66)$$

La anterior ecuacion, determina el valor de la resistencia que permite controlar la ganancia que entregará el amplificador, donde A hace referencia a la ganancia del amplificador, que en este caso va a ser el doble de la señal de entrada, es decir 2 V/V. Teniendo esto en cuenta se reemplaza en la ecuacion y se hace el calculo de la siguiente manera:

$$R5 = \frac{10k\Omega}{2-1} \quad (67)$$

$$R5 = 10k\Omega \quad (68)$$

El valor que debe tomar R5 para darle al amplificador no inversor una ganancia de 2 es de 10kΩ.

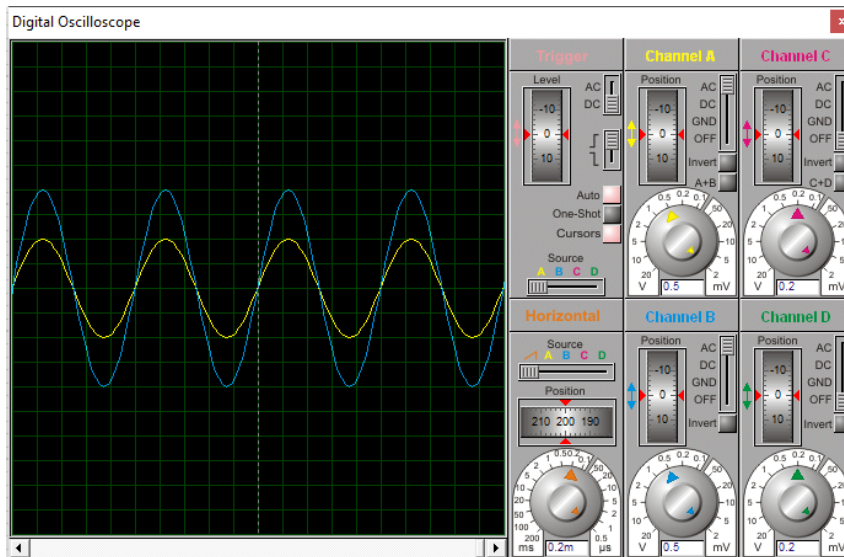


Figura 60 Señal amplificada de audifonos

En el esquema anterior, se puede observar la simulación del amplificador de audifonos, la señal amarilla representa la señal de entrada al amplificador no inversor y la señal azul es la señal resultante de la amplificación.

Tabla 15 Resultados simulación del amplificador de audifonos

Parámetro canal derecho R de audífonos	Voltaje de simulación [V]
Amplitud señale de entrada	1.00
Amplitud señal de salida	2.00

En la tabla 15 se muestran los resultados de la simulacion, donde la amplitud de salida es el doble de la señal de entrada.

8.4.6 Sistema de comunicación Talkback.

El sistema de comunicación talkback, se diseñó a partir de un micrófono electret pues este posee una respuesta en frecuencia, el cual tiene el mismo espectro para el rango audible.

Según las especificaciones técnicas del micrófono, es necesario realizar un aumento de la señal de salida del mismo puesto que este, tiene una sensibilidad muy baja para los propósitos del prototipo. Para lograr elevar la señal, se plantea un preamplificador para el micrófono, el cual aumenta el nivel, sin embargo por las características del micrófono, debe ser alimentado externamente con un voltaje que puede estar entre 4V DC hasta 12V DC, por lo tanto se diseñó un sistema el cual alimenta el micrófono con un voltaje DC y a su vez se aumenta el nivel de la señal.

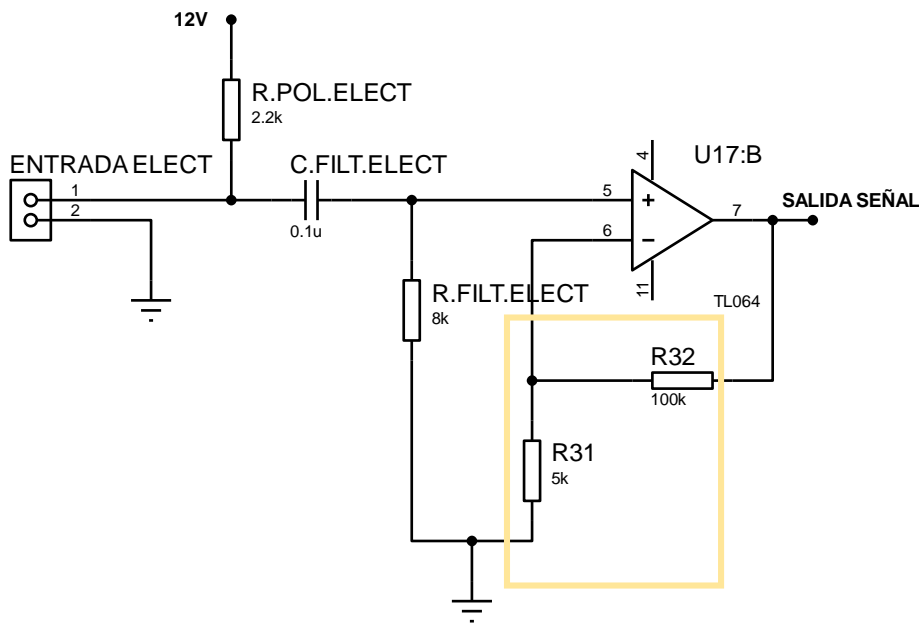


Figura 61 Esquemático preamplificador micrófono electret.

La figura 61 muestra el circuito de polarización y amplificación del micrófono electret que permite la comunicación hacia el sistema de audífonos, donde R. POL. ELECT es la resistencia que determina la ganancia del micrófono, la ganancia es directamente proporcional al valor de la misma, si se aumenta su valor, también aumentara la capacidad interna del FET que tiene el micrófono, la impedancia de salida del electret va a ser igual a esta resistencia, por lo tanto, es conveniente que sea baja. En este caso se escogió una resistencia de 2.2k Ω para 12 voltios de alimentación. El condensador C.FILT.ELECT y la resistencia R.FILT.ELECT puede tomar cualquier valor teniendo en cuenta que actuara como un filtro pasa-altos, el condensador además de actuar como filtro, permitirá hacer el acople de impedancia al amplificador operacional, el circuito que está en el recuadro amarillo representa un amplificador no inversor que indica la ganancia del micrófono.

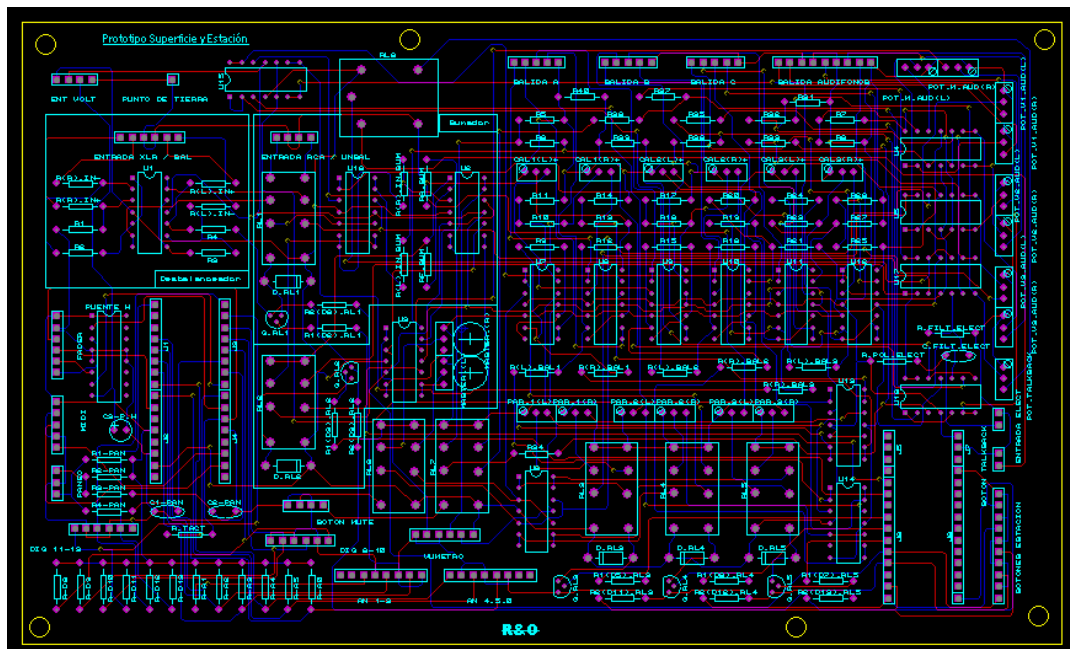


Figura 62 Diseño final del circuito impreso

En el esquema anterior, se muestra el montaje final del circuito impreso donde se tuvo especial cuidado en el diseño de los caminos para evitar interferencias externas.

8.5 Diseño de pruebas para medición de parámetros Técnicos.

8.5.1 Medición impedancia de entrada e impedancia de salida.

Debido a que el sistema de control de comunicación se puede asemejar a un sistema que se compone de una fuente de señal AC seguido a una resistencia, se plantea una prueba, la cual consta de un potenciómetro en serie a la salida física del sistema integrado de monitorización.

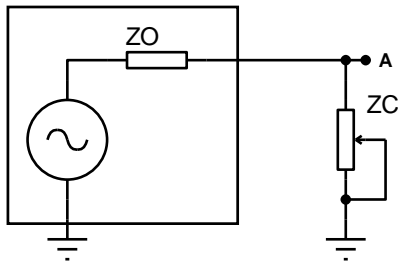


Figura 63 Circuito representativo emulando un sistema en serie a un potenciómetro.

En la figura 63 se plantea el circuito que representa un sistema complejo, en este caso una fuente con una impedancia Z_0 de salida, en serie se encuentra una impedancia de carga Z_c la cual es una resistencia variable por motivos de practicidad.

Para hallar la impedancia del sistema, se utiliza una señal sinusoidal con nivel de línea como fuente. El circuito posee una corriente debida a las resistencias y se debe establecer una malla para hallar la impedancia de salida. Seguido a esto se comienza a variar el potenciómetro hasta que en el nodo A, se llega a la mitad del voltaje del nivel de línea de la fuente.

El valor de resistencia que está en el potenciómetro representa la impedancia de salida del sistema.

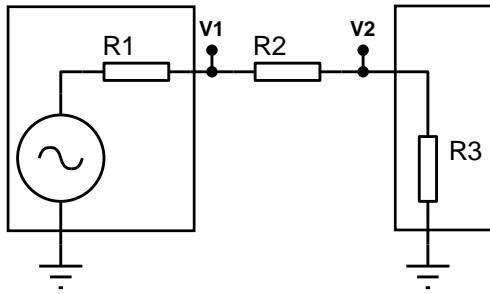


Figura 64 Circuito representativo para hallar la impedancia de entrada del sistema.

En la figura 64 se muestra un circuito donde la fuente está representada por un generador de señales AC, una resistencia R1 y el dispositivo a medir está representado por R3.

Para hallar la impedancia de entrada se conoce el valor de R1 y R2 la cual es aleatorio. Al saber el valor de las resistencias y el de los voltajes en los nodos V1 y V2, se puede establecer el valor de la resistencia R3 debido a la malla de corriente que hay en el circuito. El valor de R3 representara la impedancia de entrada de la superficie de control.

8.5.2 Medición de la distorsión armónica

Para medir la distorsión armónica, se plantea un flujo de señal en el cual, con ayuda de un generador de señales, se genera un tono puro 1000Hz. Seguido a esto se mide con ayuda de un osciloscopio las señale de entrada. Para observar si hay distorsión armónica en el sistema de medición, se interconecta directamente el osciloscopio y el generador de señales. Esto es necesario para saber si hay alguna probabilidad de añadir ruido a la medición final.

Después de comprobado el sistema, se conecta por cada entrada (entrada derecha e izquierda y entrada RCA del prototipo) el tono puro y se hace la respectiva medición visualizando primero la señal en el osciloscopio, luego de haber medido la señal, por medio del procesamiento

interno del osciloscopio se hace una transformada rápida de Fourier (FFT), para así cambiar la señal medida del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

Luego de obtener la señal en el dominio de la frecuencia, se procede a medir las magnitudes de la señal fundamental (tono puro) y las magnitudes, en voltios RMS, de los armónicos en el espectro de frecuencia.

Para obtener el porcentaje de la distorsión armónica, es necesario realizar un cálculo estadístico el cual se muestra a continuación:

$$THD(\%) = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_n^2}}{V_1} * 100 \quad (69)$$

En la cual THD(%) representa el porcentaje de distorsión armónica de cada salida independiente, V_n^2 es el voltaje RMS que hay en cada armónico hasta el n-esimo armónico y V_1 es el voltaje RMS del armónico fundamental.

8.5.3 Medición de ruido de piso

Para realizar la medición de ruido de piso de un sistema es necesario desconectarlo de cualquier equipo externo, como parlantes, audífonos entre otros. Seguido a esto se optimizan las entradas del analizador de espectro de tal manera que no sobrecargue el sistema, se mide la salida del dispositivo por canal por medio de una transformada de fourier (FFT) con un ventaneo HANN. Para el sistema a medir se habilita la salida de audio y se lee el resultado en unidades de energía de voltaje dBV.

8.5.4 Medición respuesta de frecuencia.

Para la medición de la respuesta en frecuencia es necesario excitar el sistema con ruido blanco, debido a que este ruido posee el mismo nivel energético en todas las frecuencias.

Después de excitado el dispositivo con el ruido, se procede a medir en la salida del sistema, el espectro de frecuencia respecto al nivel, con ayuda del programa Smaart.

9 Resultados

9.1 Montaje final de los circuitos impresos

En esta sección se mostrará el montaje y resultado de las mediciones de cada etapa del dispositivo.

9.1.1 Montaje del circuito correspondiente a la fuente de voltaje.

Para el sistema de control de comunicación y control de editores de audio se planteó una fuente la cual alimenta con doce, menos doce voltios y diez voltios, todos los circuitos, tanto de control de editores de audio como sistema de control de monitorización. El planteamiento de este sistema se puede observar en el apartado 8.1.

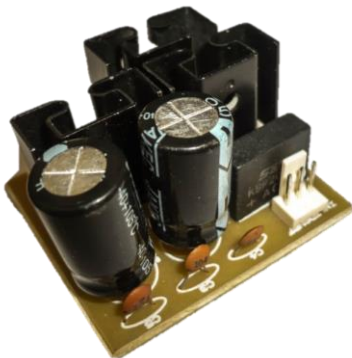


Figura 65 Circuito fuente de alimentación

La figura 65 es la propuesta física de la fuente de alimentación la cual entrega doce, menos doce y diez voltios a dos amperios de corriente, realizando la medición de cada salida, se analizaron los voltajes.

Tabla 16 Resultados medición de la fuente de voltaje y transformador

Parametro	Voltaje Simulacion [V]
Voltaje desde transformador	12.5, 0, 12.5
Voltaje de salida del regulador 7812	12.07
Voltaje de salida del regulador 7912	-11.92
Voltaje de salida del regulador LM2937ET-1º	10.16

La tabla anterior muestra los resultados de la medición de la fuente de voltaje, haciendo la correlación con los resultados obtenidos de la simulación, se puede ver que los valores de voltaje son muy similares lo cual garantiza mayor precisión en el funcionamiento de los dispositivos.

9.1.2 Montaje y medición del vúmetro led.

Para el montaje del vúmetro led, fue necesaria la implementación de una PCB doble capa, a esta PCB van conectados los voltajes de alimentación de los amplificadores operacionales y las señales de audio que encenderán los diodos led. En el apartado 8.2 se da explicación detallada del funcionamiento y diseño.

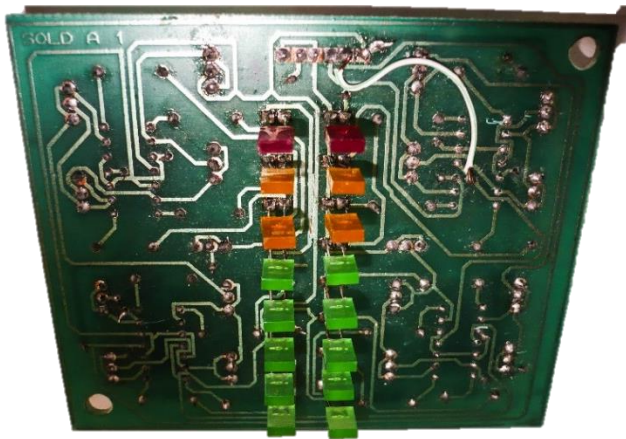


Figura 66 Placa impresa del VU metro

En la figura anterior se muestra el circuito con sus componentes ya soldados y cada resistencia calibrada, esto se logra mediante la medición en los nodos correspondientes a los puntos de voltaje mostrados en la figura 27.

Tabla 17 Resultados de medición de voltajes para el vúmetro led

Valores para el canal derecho R [dBu]	Resultados medicion canal derecho R [V]
+4	1.221
+2	0.972
0	0.773

-2	0.613
-4	0.489
-7	0.344
-10	0.243
-20	0.076

La tabla 17 muestra los resultados obtenidos de las respectivas mediciones en los nodos que entregan el voltaje que encenderá los diodos led, al realizar la comparación con los resultados obtenidos de la medición de la tabla 6 los valores son muy cercanos, esto debido a la utilización de trimers que permiten la exactitud de los valores resistivos.

9.1.3 Placa de circuito principal.

Para el óptimo funcionamiento del dispositivo, fue necesario realizar el montaje de todos los circuitos en una sola PCB, así es posible descartar cableado adicional, disminuir el ruido que se pueda generar y optimizar la distribución de los circuitos electrónicos.

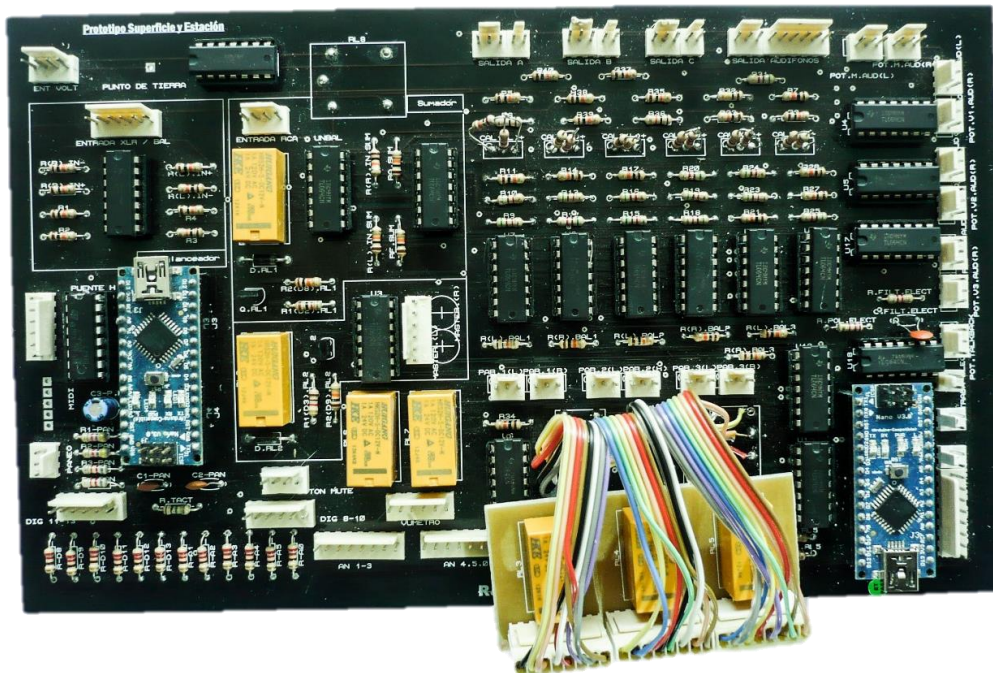


Figura 67 Circuito principal

En la figura 67, se muestra la placa principal de funcionamiento para el manejo de diferentes tareas, las cuales están explicadas en los numerales 8.3 y 8.4, sin embargo, en los siguientes numerales 8.6.3.1 y 8.6.3.2 va a ser mostrado por secciones según su función.

9.1.3.1 Arduino para la superficie de control.

En la siguiente imagen, la región enmarcada en color rojo es la sección encargada del manejo para la superficie de control.

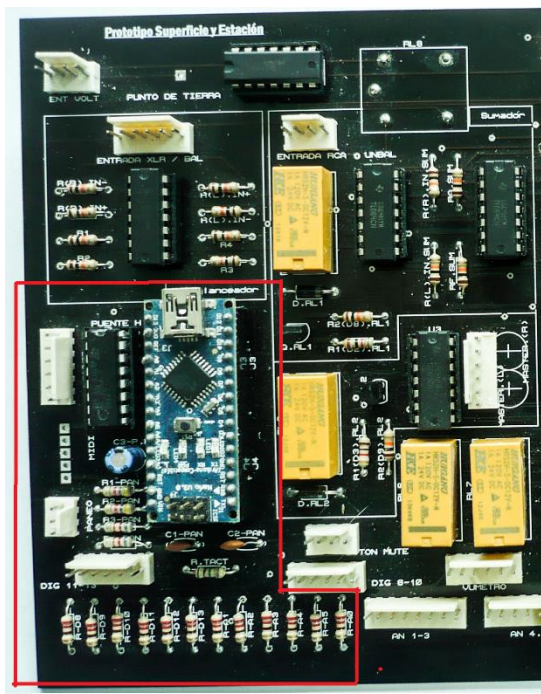


Figura 68 Circuito impreso principal, sección; control DAW

La sección del recuadro rojo cumple las funciones de control para manejar el fader motorizado y también el control de distintas funciones de la estación de trabajo digital. Para este sistema se utilizó un circuito de puente H el cual controla el fader motorizado, como se explica claramente en el numeral 8.3.2. Para el análisis de los datos que llegan a los ordenadores, se utilizó el software MIDI-OX, el cual permite detallar los mensajes MIDI.

9.1.3.2 Adquisición y envío de datos MIDI.

TIMESTAMP	IN	PORT	STATUS	DATA1	DATA2	CHAN	NOTE	EVENT
245802	2	--	144	0	127	1	C -1	Note On
217520	2	--	144	8	127	1	G#-1	Note On
163209	2	--	144	16	127	1	E 0	Note On
95046	2	--	224	0	0	1	---	Pitch Bend
95761	2	--	224	0	127	1	---	Pitch Bend
587805	2	--	144	95	127	1	B 6	Note On
547999	2	--	144	94	127	1	Bb 6	Note On
520603	2	--	144	93	127	1	A 6	Note On
459624	2	--	144	91	127	1	G 6	Note On
486535	2	--	144	92	127	1	G# 6	Note On

Activar grabación track

Solo

Mute

Volumen

Grabar

Reproducir

Parar

Retroceder

Adelantar

Figura 69 Recepción de datos MIDI al ordenador (Mackie Control)

TIMESTAMP	IN	PORT	STATUS	DATA1	DATA2	CHAN	NOTE	EVENT
0007169C	2	3	B0	0F	02	1	---	Control Change
0007169D	2	3	B0	2F	43	1	---	Control Change
000665AA	2	3	B0	0F	02	1	---	Control Change
000665AB	2	3	B0	2F	42	1	---	Control Change
000891AC	2	3	B0	0F	02	1	---	Control Change
000891AD	2	3	B0	2F	47	1	---	Control Change
00027CAE	2	3	B0	0F	0E	1	---	Control Change
00027CAF	2	3	B0	2F	45	1	---	Control Change
0001D294	2	3	B0	0F	0E	1	---	Control Change
0001D295	2	3	B0	2F	44	1	---	Control Change
0000C6AE	2	3	B0	0F	0E	1	---	Control Change
0000C6AE	2	3	B0	2F	43	1	---	Control Change
0003637B	2	3	B0	0F	0E	1	---	Control Change
0003637C	2	3	B0	2F	41	1	---	Control Change
0003637B	2	3	B0	0F	0E	1	---	Control Change
0003637C	2	3	B0	2F	42	1	---	Control Change
0000251F	1	--	B0	00	6A	1	---	CC: Bank MSB
0000251F	1	--	B0	20	0D	1	---	CC: Bank LSB

Solo

Mute

Activacion de grabacion por canal

Grabar

Reproducir

Parar

Retroceder

Adelantar

Volumen

Figura 70 Recepción de datos MIDI al ordenador (Mackie HUI)

En la figura 69 se muestran los datos para el protocolo Mackie Control y en la figura 70 el protocolo Mackie HUI, estos dos protocolos analizados en su totalidad en el software de análisis de datos MIDI-OX.

En la figura 69 se muestra la recepción de datos en el ordenador para uno de los canales, estos códigos MIDI serán interpretados por las estaciones digitales de trabajo de audio y permitirán controlar los parámetros asignados



Figura 71 Parámetros funcionando en REAPER

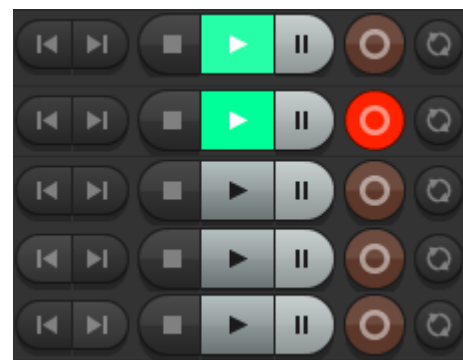


Figura 72 Parámetros funcionando en REAPER (Transporte)

Las figuras 70 y 71 muestran el funcionamiento de los parámetros de canal en el software REAPER. En la figura 70 el recuadro azul hace referencia al funcionamiento del volumen del canal y los recuadros naranjas hacen referencia al control del panning por canal. En la figura 71 se muestran los parámetros de play, grabación, stop, retroceder y adelantar correspondientes a la barra de transporte.



Figura 73 Parámetros funcionando en CUBASE



Figura 74 Parámetros funcionando en CUBASE (transporte)

En las figuras anteriores se muestra el funcionamiento de las funciones de canal y de transporte en CUBASE como lo son mute, solo, activación de grabación del canal, panning y volumen, adicionalmente en las funciones de transporte, se muestran funcionando los botones de play, grabación, stop, retroceder y adelantar

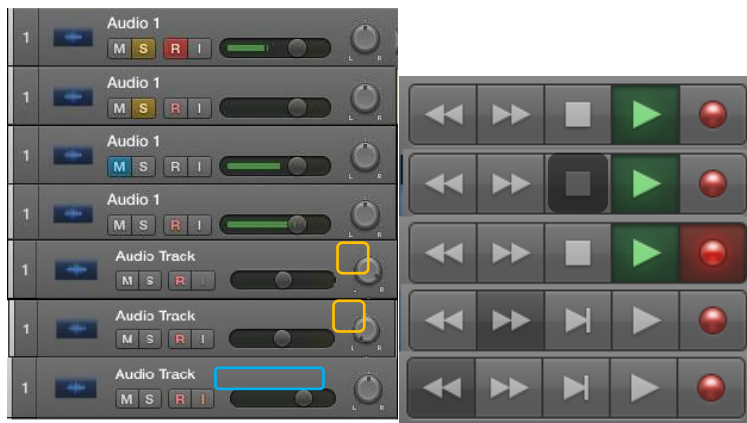


Figura 75 Parámetros funcionando en LOGIC

La figura 74 muestra los parámetros de canal funcionando en el software LOGIC, este programa de edición de audio está disponible solo para sistemas Mac, también funcionando con Mackie Control, los recuadros hacen referencia a los mismos parámetros ya mencionados, adicionalmente se muestra la sección de transporte funcionando con los botones de play, stop, grabación, adelantar y retroceder.

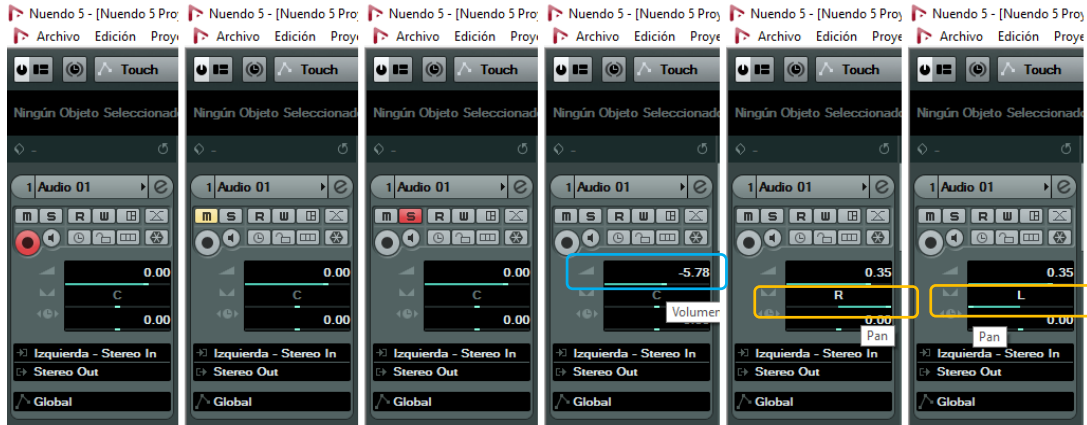


Figura 76 Parámetros funcionando en NUENDO



Figura 77 Parámetros funcionando en NUENDO (transporte)

Los parámetros presentados en la figura 75 y 76 hacen referencia al editor de audio NUENDO manejando también el protocolo mackie control, cumple todas las funciones de canal y transporte

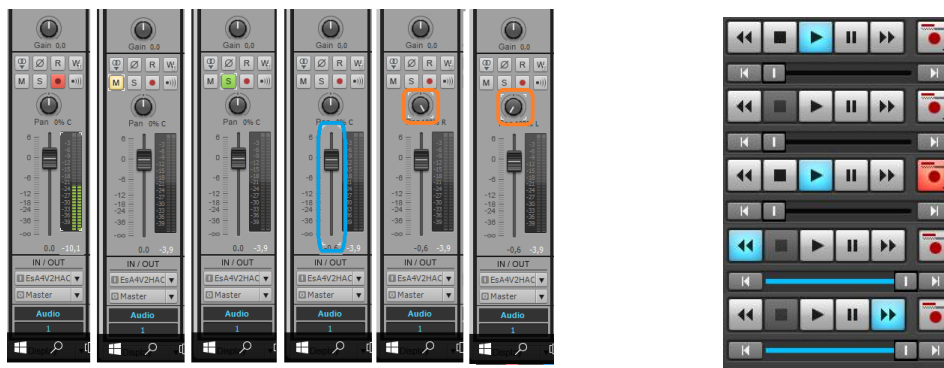


Figura 78 Parámetros funcionando en SONAR

Figura 79 Parámetros funcionando en SONAR (transporte)

Para el software SONAR, se usó el protocolo Mackie Control, en la figura 77 se muestran los parámetros funcionales en los canales, en azul se muestra el control de volumen y en naranja el paneo, en la figura 78 se muestran los botones de transporte funcionales en su totalidad.



Figura 80 Parámetros funcionando en PRO TOOLS

Figura 81 Parámetros funcionando en PRO TOOLS (transporte)

En las figuras anteriores, se muestran los parámetros de canal funcionando en PRO TOOLS, donde el recuadro azul representa el cambio de volumen en el canal y el naranja el del paneo, como ya se explicó anteriormente PRO TOOLS funciona mediante el protocolo Mackie HUI. Adicionalmente en la figura 79 se muestran los botones de control de transporte que son play, stop, grabación, adelantar y retroceder respectivamente.

Tabla 18 Comparación superficie de control

Función	Dispositivos			
	FADER PORT	BIG KNOB	MONITOR STATION	PROTOTIPO
Mute	x			x
Solo	x			x
Activación grabación	x			x
Anterior canal	x			x

Siguiente canal	x			x
Ventana de mezcla	x			x
Retroceder	x			x
Adelantar	x			x
Parar	x			x
Reproducir	x			x
Grabar	x			x

En la tabla 18 se comparan los dispositivos, analizando su funcionamiento y la capacidad de controlar los editores de audio. Las *x* representan cada función que los dispositivos controlan de forma externa, y que envían datos de manera digital.

Por su configuración el sistema fader port funciona para las siguientes estaciones digitales de trabajo; ProTools Setup, Cubase, Nuendo, Digital performer, Logic pro, Samplitude y Sonar 6. Así mismo el prototipo propuesto de superficie de control funciona para las siguientes estaciones digitales de trabajo; ProTools, Cubase, Logic Pro, Reaper, Nuendo, Sonar y todas aquellas que manejen el protocolo Mackie Control o Mackie HUI. El fader port usa el protocolo Mackie HUI en su programación para la comunicación con algunas estaciones de trabajo. También utiliza un sistema nativo de la marca que logra conectar y controlar el resto de dispositivos que no poseen un protocolo MIDI estandar. Los datos obtenidos para el fader port, fueron extraídos del manual del usuario que viene con el dispositivo.

El prototipo planteado en este proyecto, al utilizar una comunicación midi universal logra controlar las distintas estaciones digitales de trabajo planteadas en los numerales anteriores.

9.1.3.3 Circuito del sistema de manejo de comunicación integrado.

Para identificar los circuitos en la placa propuesta, se dividió en varias secciones con la siguiente configuración de colores; en color rojo está enmarcado el circuito que convierte la señal

balanceada en una señal no balanceada, en el segmento amarillo está el sistema que selecciona la entrada al sistema análogo de control de monitorización, en la sección verde está el sistema para volver una señal estéreo en una señal mono, en la sección azul se encuentra todo el sistema de salida para monitores, audífonos y sistema talkback.

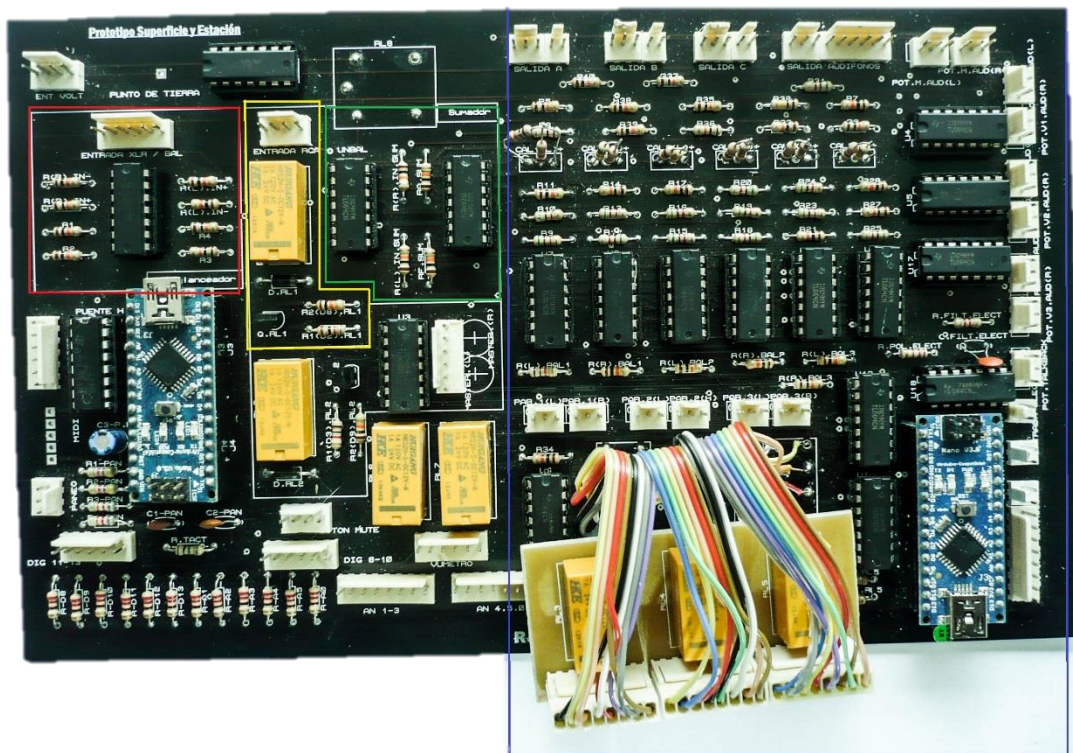


Figura 82 Circuito impreso principal, sección; control monitoreo integrado.

Todas las secciones planteadas, están explicadas según su funcionamiento, su desarrollo y diseño en el numeral 8.4.

9.1.3.4 *Medición de las etapas de distribución y procesamiento de señal*

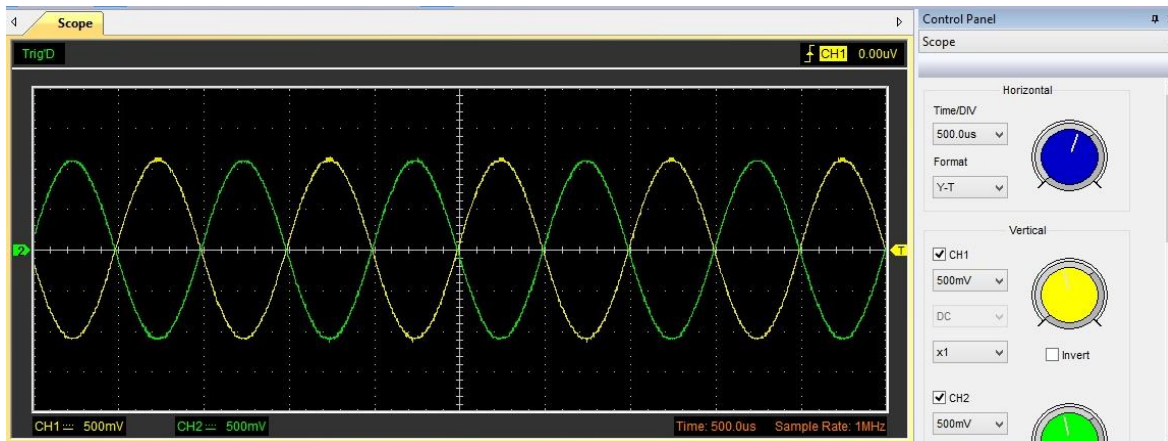


Figura 83 Señal de entrada balanceada

La señal anterior es la entrada balanceada del dispositivo antes de ser procesada en las diferentes etapas, en color amarillo se muestra la señal del canal derecho R en fase y en color verde se muestra la señal del canal derecho R desfasada 180°.

Tabla 19 Medición de los voltajes de entrada al dispositivo

Valores para el canal derecho R [V]	Resultados medición canal derecho R [V]
Voltaje de la señal en fase (+)	2.27
Voltaje de la señal en contrafase (-)	2.27

En la tabla 19 se muestran los valores medidos de la señal de entrada de prueba al dispositivo, las dos señales tienen el mismo voltaje, pero una está desfasada 180° con respecto a la otra.

La primera etapa a la cual ingresa la señal es la etapa del circuito diferencial, donde se convierte en una señal no balanceada para tener un mejor control de la misma.

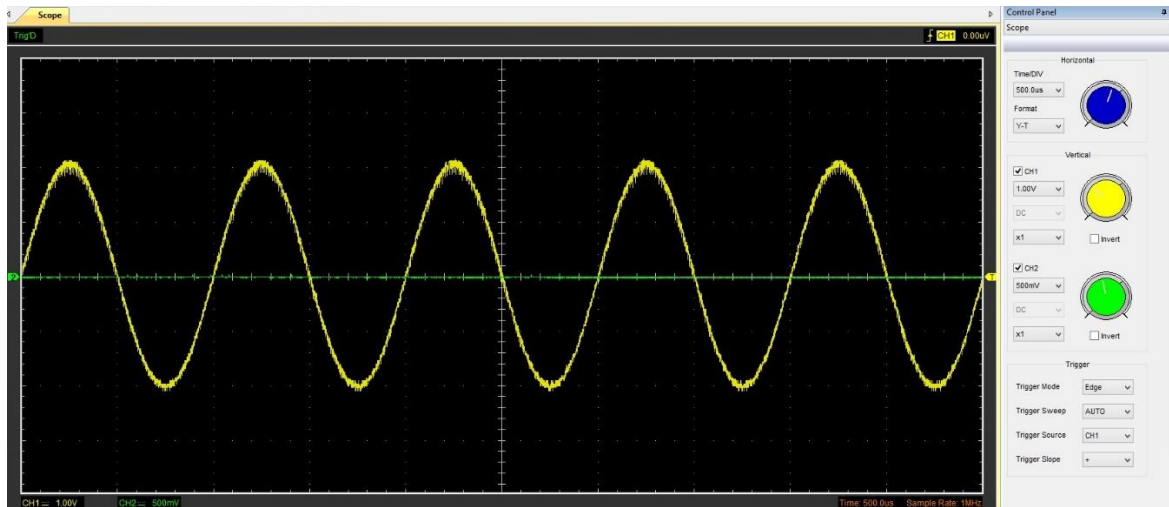


Figura 84 Señal resultante del amplificador diferencial

Al conectar el osciloscopio y medir la señal resultante del circuito diferencial, se observa la suma de la diferencia de las dos señales de la entrada balanceada, convertida finalmente en una sola (señal no balanceada).

Tabla 20 Resultado del circuito diferencial

Valores para el canal derecho R [V]	Resultados medición canal derecho R [V]
Voltaje de la señal resultante del amplificador diferencial	4.30

La tabla anterior muestra el resultado de la medición a la salida del circuito correspondiente al amplificador diferencial, tomando como medida la amplitud de la señal.

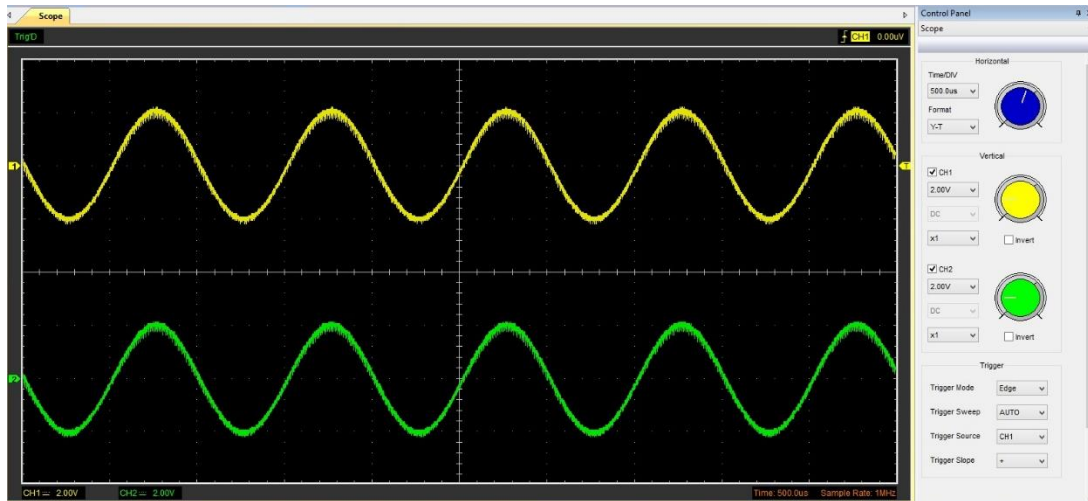


Figura 85 Señal de entrada a etapa de suma

En la figura anterior, se muestra la señal que entra a la etapa de sumas para el canal izquierdo y derecho, al ser dos señales iguales, la amplitud de salida debe ser el doble de una de las señales de entrada

Tabla 21 Valores de entrada a etapa de suma

Valores para el canal derecho R [V]	Resultados medición canal derecho R [V]
Voltaje de las señal de entrada 1	4.39
Voltaje de las señal de entrada 2	4.33

En la tabla 21 se puede observar la amplitud de la señal que ingresa a la etapa de suma, en este caso se están trabajando dos señales de la misma amplitud

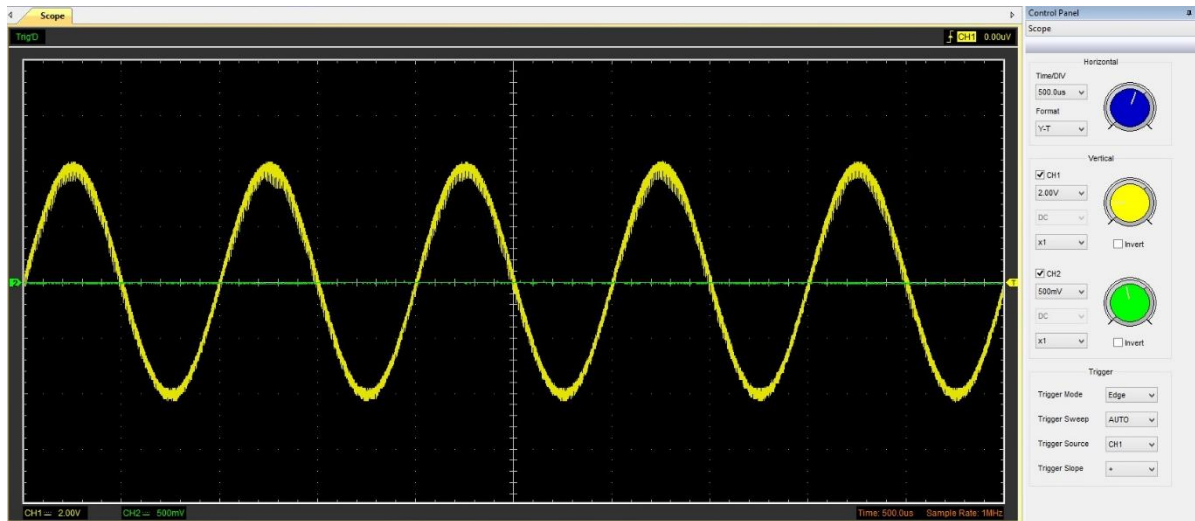


Figura 86 Señal resultante de la suma

La figura anterior, muestra el resultado de la suma de dos señales iguales que ingresan al sistema de suma para la conversión de la señal a mono.

Tabla 22 Resultado etapa de suma

Valores para el canal derecho R [V]	Resultados medición canal derecho R [V]
Voltaje de la señal resultante de la etapa de suma	8.72

En la tabla 22 se muestra la amplitud en voltios de la señal resultante de la etapa de suma, al ser dos señales iguales la amplitud es del doble de la señal que ingresa al sistema.

Posterior a la etapa de selección de sistema mono se encuentra la sección de relevadores que envían la señal a los amplificadores que se encargaran de volver la señal balanceada, a continuación se muestra el resultado de dicho flujo de señal.

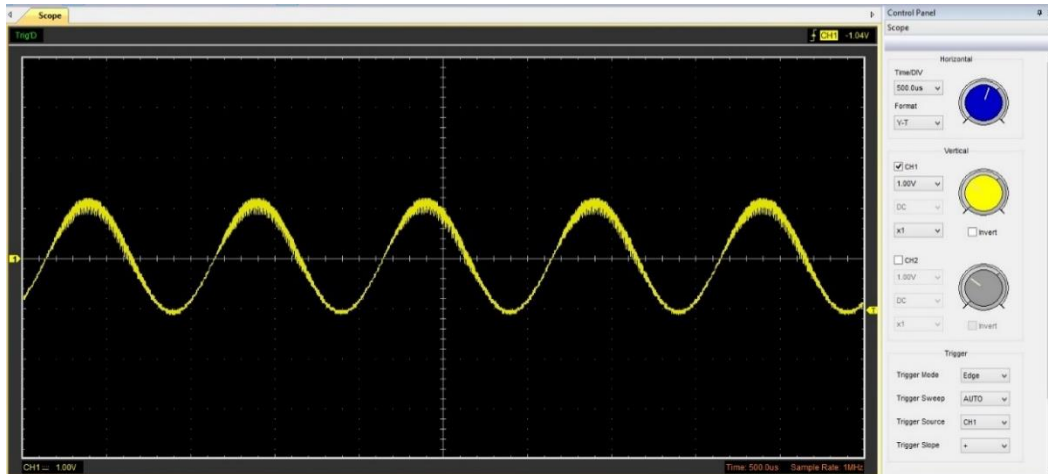


Figura 87 Señal de entrada a etapa final

La figura anterior muestra la señal que ingresa a la etapa que se encarga de convertir la señal nuevamente en una señal balanceada.

Tabla 23 Amplitud de la señal que ingresa a la etapa final

Valores para el canal derecho R [V]	Resultados medición canal derecho R [V]
Voltaje de la señal de entrada al circuito balanceador	2.32

El voltaje de 2.32V que entra a la última etapa será reducido a la mitad teniendo en cuenta el funcionamiento de una señal balanceada.

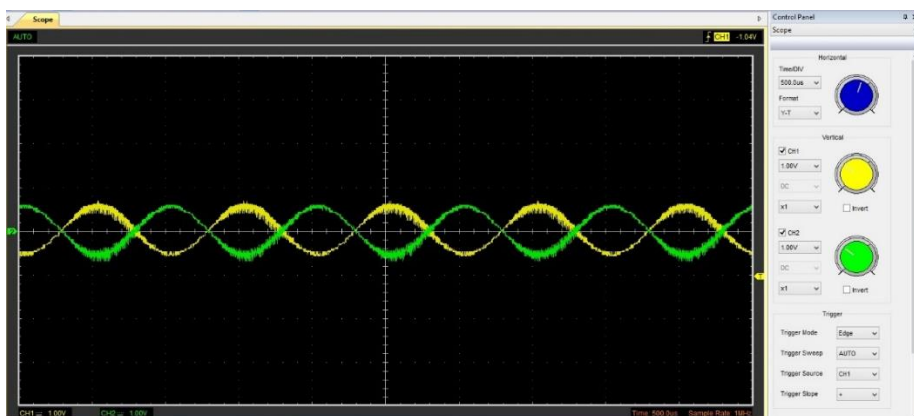


Figura 88 Señal salida etapa final

La figura 88 muestra la señal resultante del circuito que convierte la señal no balanceada en una señal balanceada nuevamente para ser enviada a equipos profesionales de audio.

Tabla 24 Voltaje de señales de salida de la ultima etapa

Valores para el canal derecho R [V]	Resultados medición canal derecho R [V]
Voltaje de la señal de salida en fase (+)	1.25
Voltaje de la señal de salida en contrafase (-)	1.32

Como se puede observar en la tabla 24, la amplitud de la señal se redujo aproximadamente a la mitad de la que entra, esto garantiza que a la salida del dispositivo se va a entregar una señal totalmente balanceada

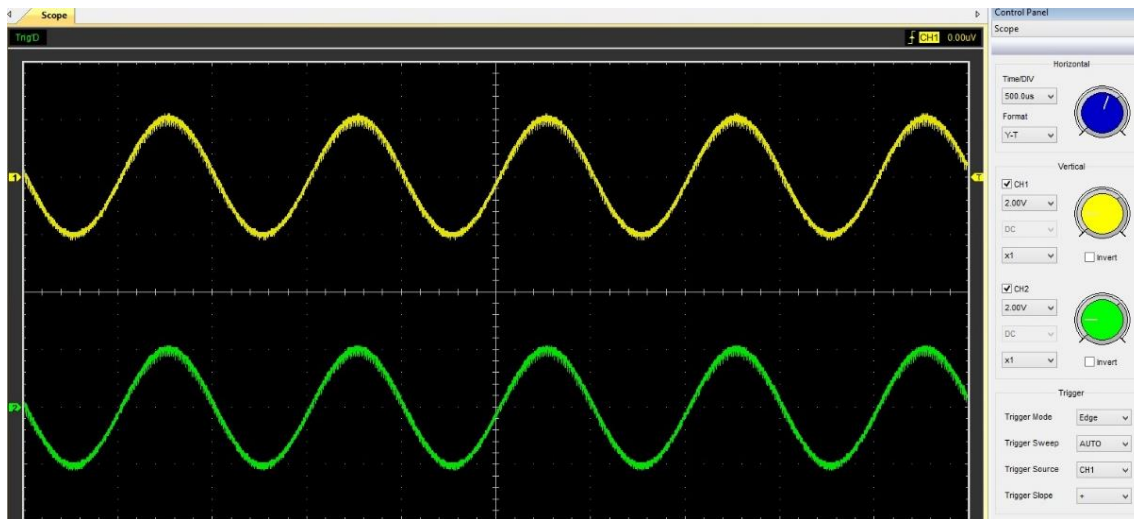


Figura 89 Señal de entrada a etapa de audífonos

En la figura 89 se muestra la señal de entrada a la etapa de audífonos, la cual amplificara la señal al doble para poder ser reproducida en transductores de salida pequeños.

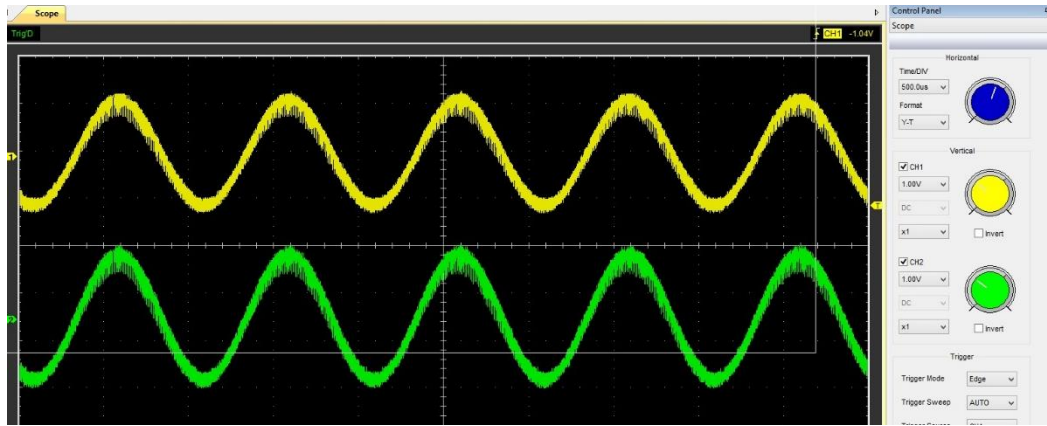


Figura 90 Señal de salida de los amplificadores de audífonos

La figura 90 muestra la señal resultante de la salida del amplificador de audífonos, a continuación, se muestra una tabla con los resultados en voltios de la entrada con respecto a la salida

Tabla 25 Voltaje de entrada y salida de la etapa de audífonos

Valores para el canal derecho R [V]	Resultados medición canal derecho R [V]
Voltaje de la señal de entrada	1.46
Voltaje de la señal de salida	3.02

En la tabla 25 se muestra la comparación del voltaje de entrada a la etapa de amplificación para audífonos y el voltaje de salida, de acuerdo a su diseño, esta debe tener una ganancia de 2 V/V igual a como da el voltaje en el circuito físico.

Tabla 26 Comparación parámetros técnicos análogos

COMPARACIÓN PARÁMETROS TÉCNICOS								
	FADER PORT	BIG KNOB		MONITOR STATION		PROTOTIPO		
Impedancia de entrada	No Aplica		Z [KΩ]		Z [KΩ]		Z [KΩ]	
		Entrada Línea XLR	24	Entrada XLR	10	Entrada XLR	15,00	
		Entrada Línea RCA	12	Entrada RCA Activa	47,5	Entrada RCA	9,73	
		Entrada "Phono"	47	Entrada S/PDIF	0,75			
Impedancia de salida	No Aplica		Z [Ω]		Z [Ω]		Z [Ω]	
		Entrada Línea XLR	300	Salida Balanceada	51	Aurífonos	Par 1	63,45
		Entrada Línea RCA	150				Par 2	64,16
		Entrada "Phono"	150				Par 3	64,6
						Monitores	Salida A	104,4
							Salida B	111,1
				Salida C	104,3			
Distorsión armónica (THD)	No Aplica						%	
		Entrada a Salida	>0,015%	Salida Balanceada	<0,01 %	Monitores	0,01615	
		RIAA entrada	>0,015%			Aurífonos	0,01223	
Relación Señal/ Ruido	No Aplica		dB		dB		dB	
		Entradas de Línea	112	Estéreo 1 y 2	> 100	Salida Monitores	33,03	
		Entrada "Phono"	93	auxiliar	> 100	Salida Aurífonos	39,25	
Ruido de piso	No Aplica		dBu		dBu		dBu	
		Two Track A y B	-86	Estéreo 1 y 2	-90	Salida Monitores	-23,42	
		monitor output A, B y C	-90			Salida Aurífonos	-27,43	
		Entrada "Phono"	-71					
Respuesta en frecuencia	No Aplica		Hz		Hz		Hz	
		Entrada	10-50k	Estéreo 1 y 2	10-65k	Salida Monitores	20 - 21,13k	
		Salida	5-100k	Auxiliar	10-50k	Salida Aurífonos	20 - 21,13k	
				Salida Balanceada	10-50k			

La tabla 26 muestra los datos obtenidos al realizar las distintas pruebas planteadas en la sección 8.5, en donde se explican los procedimientos para medir los parámetros principales para el funcionamiento adecuado de los dispositivos planteados.

10 Análisis de resultados

En esta sección del documento se procederá a dar explicación de los resultados obtenidos al realizar las pruebas sobre los distintos dispositivos planteados en la sección 8.

10.1 Sistema de control estaciones digitales de trabajo

La comparación hecha en la tabla 18 representa los resultados obtenidos al comparar los dispositivos en tanto a su funcionamiento como superficie de control para editores de audio. Sin embargo se puede observar que solo un dispositivos cumple con las funciones de control en los editores de audio propuestos en un inicio en el proyecto, no obstante el faderport de presonus utiliza la comunicación serial MIDI al igual que el prototipo propuesto en este proyecto aunque radica una diferencia en tanto que el prototipo utiliza una comunicación serial MIDI en su configuración de mackie control, la cual hace que el prototipo sea versátil en la cantidad de editores de audio que controla comparándolo con el faderport.

10.2 Impedancia de entrada e impedancia de salida

10.2.1 Impedancia de entrada.

En la tabla 26 están los distintos parámetros técnicos que muestran las especificaciones de los sistemas que se están comparando. En la primera fila se encuentra la impedancia de entrada, esta impedancia medida en kohms determinara que tanta resistencia presenta la entrada del sistema para que el audio entre y sea procesado.

Para el primer sistema a ser comparado (fader port), no hay una impedancia de entrada puesto que dicho sistema no tiene procesamiento de señal analoga, a su vez, tampoco va a tener más parámetros técnicos de procesos análogos.

El sistema de comunicación Big Knob de Mackie posee tres entradas para XLR, RCA y audífonos, y en las tres su impedancia es de 24, 12 y 47 kohm respectivamente, esto quiere decir que al ser alta la impedancia, el sistema consume menos corriente por lo cual la señal pierde muy poca potencia. Para estos sistemas es considerable una alta impedancia que esté en el rango de 10 Kohm por lo tanto el Big Knob se considera que es tiene una buena impedancia de entrada.

De la misma manera el Monitor Station de Presonus posee 3 entradas las cuales tienen impedancias de 10, 47.5 y 0.75 kohm que corresponden a la entrada XLR, RCA activo y S/PDIF siendo este, un sistema con entrada de alta impedancia.

El prototipo construido, posee dos entradas análogas las cuales son XLR/TRS y RCA, que tienen impedancias de 15.00 y 9.72 kohm. Son impedancias altas lo cual demuestra que, al conectarse a otro dispositivo este, no va a tener una pérdida de potencia en la señal, también la alta impedancia del dispositivo se debe al acople que se diseñó para la entrada del sistema.

10.2.2 Impedancia de salida.

La fila 2 de la tabla 26, muestra la impedancia de salida de los sistemas que están propuestos para comparar, para considerar una impedancia de salida razonable, esta tiene que ser menor o igual a 150 ohm, a esto se le conoce como impedancia de salida baja.

El sistema Big Knob de Presonus, tiene tres grupos de salidas, un grupo de conectores XLR o balanceados, otro de RCA o no balanceado y un grupo de salida de audífonos, las cuales tienen impedancias de 300, 150 y 150 ohm respectivamente. Son impedancias considerables, sin embargo, son altas y esto puede causar distorsión o saturación en la señal con el acople a otro sistema como monitoreo entre otros. Estas especificaciones son extraídas del manual de operación del usuario del sistema.

El dispositivo Monitor Station de Presonus, tiene tres grupos de salida al igual que el dispositivo anteriormente explicado, sin embargo, el manual de usuario solo da explicación de una salida balanceada de 51 ohm, lo cual indica que es una impedancia de salida muy baja en la cual no tendrá inconvenientes con el acople a otras etapas.

En el sistema propuesto, se muestran las dos salidas que poseen dichos sistemas, una salida de monitores y una salida de audífonos, con impedancias de 104 a 111 ohm en monitores y 63 a 64 en audífonos. Esto representa que el sistema no va a tener saturación en las salidas y va a tener un acople considerable con el sistema al cual se conecte. Es posible que el sistema este con una salida de baja impedancia debido al acople que se hace antes que la señal salga por completo del sistema, como se menciona en el apartado 8.4.3, el sistema posee a la salida un amplificador operación en su configuración de seguidor lo cual hace que en la entrada del amplificador tenga en su teoría una impedancia infinita y por su misma construcción a la salida tenga, una impedancia cercana a cero, sin embargo, esta configuración en el prototipo planteado, no lo logra debido a que hay otras etapas que afectan lo anteriormente dicho, pero no se afecta la salida general de forma drástica.

10.3 Distorsión armónica

La distorsión armónica de una señal, es generada por las diferentes etapas en las cuales se procesan las señales de audio, es por eso que los distintos dispositivos planteados en este documento poseen armónicos múltiples a la señal de entrada.

En primera instancia el dispositivo Big Knob genera una distorsión mayor al 0,015%, lo cual indica que este sistema deteriora en menor medida una señal, es decir que al introducir una señal al sistema, el daño de la señal hecha por el sistema va a ser complicado de detectar a simple vista. De la misma manera sucede con el Monitor Station, el cual genera una distorsión armónica

menor al 0,01 %. Sin embargo, hay que tener en cuenta que para estos sistemas estos valores están en un rango puesto que los documentos anexos a los sistemas (manuales) lo presentan de esa manera.

Para el prototipo de superficie de control planteado, genera una distorsión armónica en la salida de monitores del 0,016% y en la salida de audífonos del 0,012%. Esto quiere decir que, al comparar con los otros dispositivos, la distorsión es similar y estaría dentro de un rango que sobresale de los otros sistemas. A pesar que el prototipo en su control de monitores sea completamente análogo, tiene una distorsión menor al 1 % lo cual indica que la posibilidad de desvirtuar una señal sea mínima y va a ser similar su señal de entrada a su señal de salida.

10.4 Relación señal ruido

La relación señal ruido representa la potencia de la señal con respecto a la potencia del ruido que la corrompe, es por esto que se considera que entre más grande sea la relación señal ruido es mejor, en el sentido que la señal de entrada a dicho sistema va a ser similar a la salida como lo fue a la entrada. Por lo tanto, esto determina que sucede con el procesamiento de señal dentro de la máquina.

Para los sistemas Big Knob y Monitor Station las relaciones de señal ruido son considerablemente grandes puesto que estas superan los 80 dB, es decir que, entre el pico máximo de una señal y el ruido, la zona de trabajo que esta entre ambos va a ser más confortante, aunque eso no quiere decir que si la zona de trabajo es más pequeña no va a ser útil.

En el prototipo propuesto para este proyecto la relación de señal ruido para los monitores y los audífonos esta entre 33 y 39 dB. Esto indica que la zona de trabajo es más pequeña pero no afecta en gran medida el trabajo final del prototipo.

Es probable que esta relación sea pequeña debido a que todo el procesamiento de señal análoga sea por medio de sistemas y procesos análogos, los cuales añaden ruido de piso. En cambio, los sistemas comerciales tienen una relación amplia debido a que dichos sistemas están en la capacidad de procesar la señal análoga en un sistema digital como lo es una tarjeta de procesamiento digital de señales, en la cual todo el procesamiento de la señal se digitaliza transformado la señal análoga en una señal digital la cual genera menor cantidad de ruido.

10.5 Ruido de piso.

El ruido de piso para los dispositivos comparados, representan la suma de todos los ruidos del sistema. Para el primer sistema, el manual de usuario muestra las salidas del dispositivo las cuales están en -86, -90 y -71 dBu, lo cual representa un nivel en voltaje muy bajo y es posible que la señal de audio no va a ser afectada por dicho ruido de piso, también esto ayuda al rango dinámico del dispositivo puesto que la ventana de trabajo va a ser mayor.

El monitor station, presenta una sola medición de una salida balanceada la cual muestra también un nivel bajo, 90 dBu, lo cual muestra que es un dispositivo con un ruido de piso muy pequeño, en donde la corrupción de la señal va a ser mínima y por lo tanto va a tener un rango dinámico grande.

Para el sistema propuesto, el ruido de piso está entre los 23 y 27 dBu, lo cual, a comparación de los otros dispositivos es alto, sin embargo, este nivel en voltaje esta alrededor de 0,04 Vrms lo que indica que es un voltaje pequeño generando un rango amplio con respecto a 0 dBu, el cual es de 0,775 voltios RMS. De la misma manera esto indica que el dispositivo planteado presenta una buena relación señal ruido a pesar de que el sistema sea completamente análogo, ya que los dispositivos electrónicos como resistencias, condensadores, amplificadores operacionales

entre otros, generan ruido de piso que al ser sumado nos dan valores que están aproximados al valor que se midió. En la siguiente figura, se muestra la medición del ruido de piso en el osciloscopio

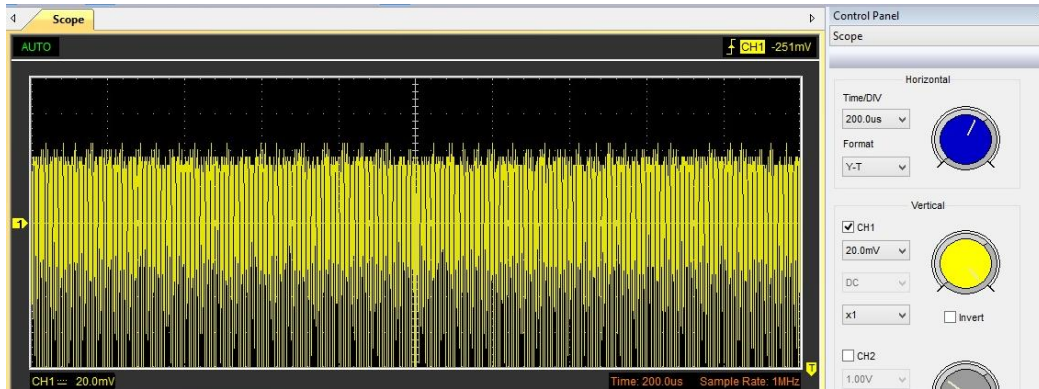


Figura 91 Medición ruido de piso

10.6 Respuesta en frecuencia.

La respuesta en frecuencia representa el ancho de banda al que trabaja el dispositivo sin afectar los extremos con decaimientos ni mejora de la señal.

El ancho de banda en el primer sistema en su salida está entre los 5 Hz y 100 kHz lo cual representa un rango amplio y esto puede ser debido a su construcción, a su vez sucede lo mismo con el monitor estacion en el cual sus salidas están, por lo general, entre 10 Hz y 65 kHz, que representa un ancho de banda considerable. Para ambos dispositivos la respuesta en frecuencia sobrepasa la respuesta del oído, el cual es mayor de 20 Hz a 20 kHz, en donde se genera un buen espacio de trabajo para la señal que se maneja.

En el dispositivo propuesto, la respuesta en frecuencia está entre los 20 Hz y 21,13kHz, que representa un buen rango, más sin embargo hay una limitación en la medición debido a que

el software con el que se midió, esta entre los 20 Hz y 21,13 kHz su ancho de banda. Sin embargo el prototipo muestra una respuesta en frecuencia considerable que no afecta ni tiene decaimientos en la señal.

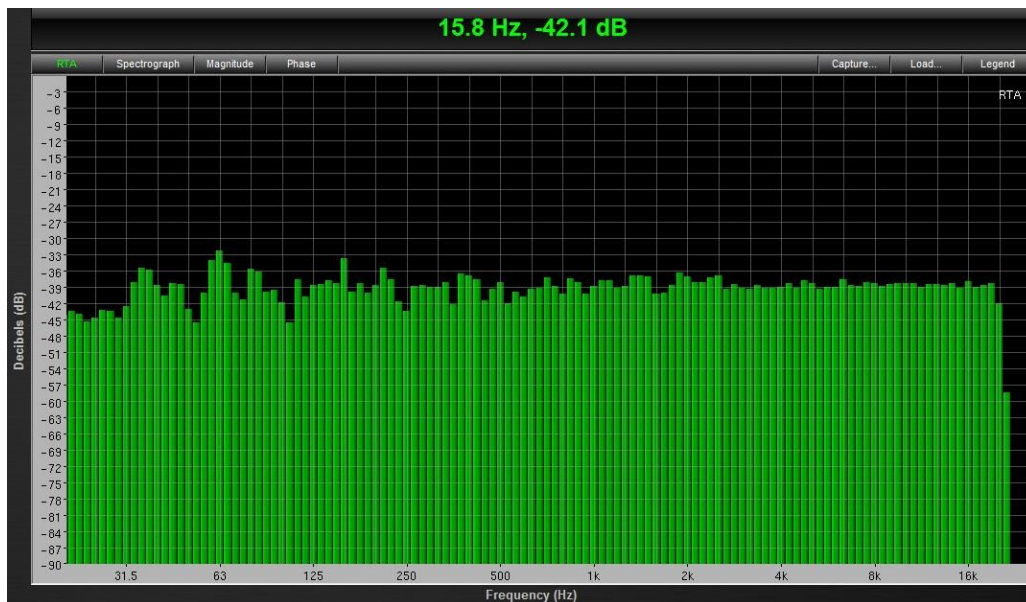


Figura 92 Respuesta en frecuencia

En la figura 92 se muestra el resultado de la medición de la respuesta en frecuencia utilizando el software para mediciones Smaart.

11. Conclusiones

- ❖ Implementando protocolos de comunicación como Mackie Control y Mackie HUI es posible garantizar el funcionamiento del dispositivo de manera digital en una gran cantidad de editores de audio, sin embargo debido al procesamiento propio del micro controlador utilizado, algunas funciones de recepción de datos se ven limitadas.
- ❖ Mediante la utilización de un sistema análogo de ruteo y diversificación de la señal, es posible garantizar el funcionamiento del prototipo con cualquier dispositivo que cuente con salidas análogas.
- ❖ A través de la integración de todos los componentes electrónicos en una sola tarjeta de circuitos, se garantiza un bajo nivel de ruido de piso, haciendo que el prototipo planteado funcione óptimamente asegurando que la señal entrante no sea afectada en gran medida con respecto a la señal de salida.
- ❖ Es posible integrar un dispositivo de control digital de editores de audio, con un dispositivo análogo sin llegar a segmentar el prototipo a ciertas funciones tanto análogas como digitales.
- ❖ Los resultados obtenidos en la comparación de parámetros técnicos demuestran que el prototipo planteado y diseñado posee especificaciones (impedancias, distorsión armónica, relación señal ruido, ruido de piso y respuesta en frecuencia) son equiparables a los sistemas similares que se encuentran en el mercado.
- ❖ La recepción y envío de los datos midi del protocolo de comunicación mackie HUI y mackie Control son diferentes en su codificación en tanto al envío de datos Midi desde la DAW como el envío desde el prototipo físico, es por esto que la información existente sobre los bytes midi, en los medios digitales y físicos son prácticamente inexistentes.

- ❖ La recepción de datos de movimiento para el motor del fader del protocolo mackie HUI, se ve afectado por el procesamiento del microcontrolador, debido a la gran cantidad de datos que son adquiridos.
- ❖ Los relevadores y potenciómetros dejan filtrar un poco de señal cuando están totalmente desactivados y no fue posible determinar la razón de este inconveniente.
- ❖ Al desactivar las etapas de salida, es decir al abrir el circuito, se debe conectar la entrada de la misma a tierra, esto evitara que los pines del relevador actúen como antena.
- ❖ Es necesario diseñar y construir un transformador de voltaje específicamente para el circuito en cuestión, pues los transformadores habituales en el mercado no entregan la cantidad de corriente que algunos componentes como el motor, necesitan para funcionar.

12. Recomendaciones

- ❖ Para la precisión del fader motorizado es recomendable la implementación de un circuito el cual permita disminuir la velocidad cerca al punto de posicionamiento desde la DAW, esto con el fin de garantizar una mayor precisión en la ubicación.
- ❖ Es recomendable la utilización de un micro controlador, el cual sea capaz de procesar más eficientemente los datos con el fin de garantizar que toda la información que se envíe sea interpretada por los dispositivos físicos.
- ❖ Para el correcto diseño y distribución de todas las secciones del prototipo, es necesario medir cada componente electrónico que se va a usar para realizar una estimación del espacio interno que a ocupar en total.
- ❖ Realizar las etapas de diseño en una protoboard, para así evaluar los posibles inconvenientes que se puedan generar a lo largo del proceso de pruebas y construcción.

13. Bibliografía

- PreSonus. (2015). *PreSonus* . Obtenido de <http://www.presonus.com/products/FaderPort/media>
(6 de septiembre de 2006). Obtenido de
[https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_H_\(electr%C3%B3nica\)#/media/File:H_bridge_operating.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_H_(electr%C3%B3nica)#/media/File:H_bridge_operating.svg)
- All, S. M. (2016). *Steinberg Media Technologies* . Obtenido de
<http://www.steinberg.net/en/products/cubase/start.html>
- ALPS ELECTRIC CO., L. (2016). *ALPS ELECTRIC CO., LTD.* Obtenido de
http://www.alps.com/gps_e/
- Ansimuz. (2011). Obtenido de <http://www.trastejant.es/tutoriales/electronica/simbolos.html>
- Arduino. (2016). *Arduino* . Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- Arduino. (s.f.). *Arduino* . Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>
- AVID. (11 de 11 de 2014). *AVID* . Obtenido de <http://www.avid.com/US/about-avid/legal-notices>
- Avid Technology, I. (2016). *Avid Technology, Inc.* . Obtenido de <http://www.avid.com/products>
- Bueno, A. (2015). Obtenido de
http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_electronica_3/electronica_indice.html
- Cakewalk, I. (2016). *Cakewalk, Inc.* Obtenido de <https://www.cakewalk.com/products/SONAR/CFP24>
- CFP24, A. D. (2016). *Audio Digital CFP24.* Obtenido de <http://audio-cfp.blogspot.com.co/2014/04/nivel-de-senal-microfono-y-linea.html>
- Cockos. (2016). *Cockos* . Obtenido de <http://www.cockos.com/>
- Conrad. (s.f.). Obtenido de <http://www.conrad-electronic.co.uk/ce/en/product/442094/ALPS-401626-K-Slide-Potentiometer->
- Corporation, A. (2016). *Atmel Microchip* . Obtenido de
<http://www.atmel.com/devices/atmega328.aspx>
- CUI INC. (Junio de 2006). Obtenido de <https://www.adafruit.com/datasheets/CMA-4544PF-W.pdf>
- Definicion.de. (2016). *Definicion.de* . Obtenido de <http://definicion.de/relevador/>
- Diymakers. (2015). Obtenido de <http://diymakers.es/resistencia/>
- E, H. (2003). *Audio Engenieer Societi* .
- ebay. (s.f.). *ebay*. Obtenido de <http://i.ebayimg.com/images/g/h~8AAOSwDNdVIPf5/s-l500.jpg>

- Fundación Wikimedia, I. (10 de junio de 2016). *Wikipedia* . Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus
- García López , W., & Gutiérrez Iglesias , J. (1991). *Amplificadores Operacionales - Teoría y Montajes Prácticos* . Madrid, España : Paraninfo .
- IEEE. (2000). *MIDI Media Adaptation Layer for IEEE-1394*.
- Inc, A. (2016). *Apple Inc*. Obtenido de <http://www.apple.com/es/logic-pro/info-ab>. (11 de 11 de 2014). *el servomotor* . Obtenido de <http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm>
- J, L. (s.f.). *interfaz física, comunicación midi* . Obtenido de <http://www.dtic.upf.edu/~jlozano/interfaces/interfaces7.html>
- José M Huidoro Moya, A. B. (2008). *administración de sistemas informáticos. Redes de área local* . Madrid , España : Thomson Ediciones paraninfo S.A.
- Lech, M., & Kostek, B. (2013). Testing A Novel Gesture-Based Mixing Interface. *Audio Engineer Society* .
- Lujan, F. (6 de Septiembre de 2015). *ElectroPando*. Obtenido de <http://fannylujanr.blogspot.co.uk/2015/09/transistores-de-union-bipolar.html>
- McKnight, J. (2006). Obtenido de http://www.aes.org/aeshc/pdf/mcknight_qa-on-the-svi-6.pdf
- Milne , S., Campbell, P., Freshour , S., Boyer, R., McTigue, J., & Kloiber , M. (2006). EuCon: An Object-Oriented Protocol for Connecting Control Surfaces to Software Applications. *Audio Engineer Society* .
- Perez, F. E. (2007). *microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con clip*. Cataluña , España: marcombo s.a.
- PreSonus. (2016). *PreSonus* . Obtenido de <https://www.presonus.com/products/Monitor-Station>
- Reflexiona. (2013). *Reflexiona* . Obtenido de <http://www.reflexiona.biz/shop/audio/361--microfono-electret.html>
- Rosas, N., Caballero, A., & Camargo , C. (2010). *Sistema de transmisión inalámbrica para protocolo MIDI*.
- Santana , J., & Zuleta , j. (2011). *Interfaz de control inalámbrico*.
- Stavrou, M. (1993). A New Approach to Assignable Control-Surface Design*. *AES*.
- TELEVISION, ®. G. (4 de abril de 2014). *Globb tv*. Obtenido de <http://globbtv.com/4003/noticias/usb-tipo-c-cable-usb-31-reversible--el-sentido-comun-imperara-a-partir-de-julio>

the DAW studio . (9 de 11 de 2014). *the daw studio* . Obtenido de <http://www.thedawstudio.com/Gear/What-Is-A-DAW.html>

Unicrom.com. (2002). Obtenido de http://unicrom.com/Tut_relay.asp

William H. Hayt, J. E. (2007). *Análisis de circuitos en Ingeniería* . McGrawHill.

workstation, R. d. (2016). *Reaper digital audio workstation* . Obtenido de <http://www.reaper.fm/>

Zboros. (6 de Septiembre de 2006). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_H_\(electr%C3%B3nica\)#/media/File:H_bridge_operating.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Puente_H_(electr%C3%B3nica)#/media/File:H_bridge_operating.svg)

14. Anexos

Anexo A: Encuesta

1. ¿Cuál de estos DAW sabe manejar usted?

A. Pro Tools

B. Cubase

C. Logic

D. Reaper

E. Sonar

F. Nuendo

G. Otro

Nota: si su respuesta es “otro” por favor especifique cual sabe manejar.

2. ¿Cuál de estos DAW es de su total preferencia?

A. Pro Tools

B. Cubase

C. Logic

D. Reaper

E. Sonar

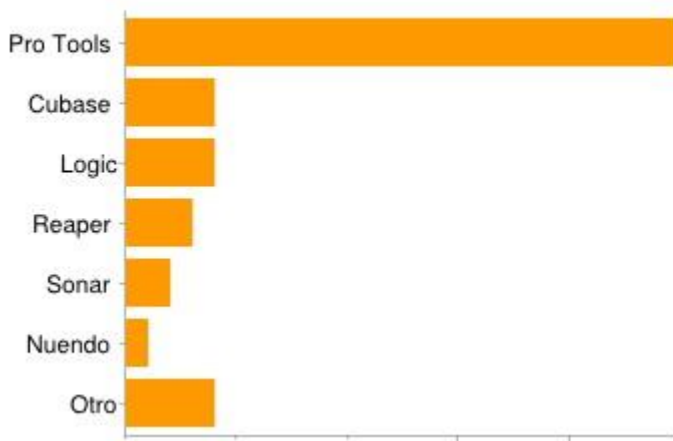
F. Nuendo

G. Otro

Nota: si su respuesta es “otro” por favor especifique cual es el de su preferencia.

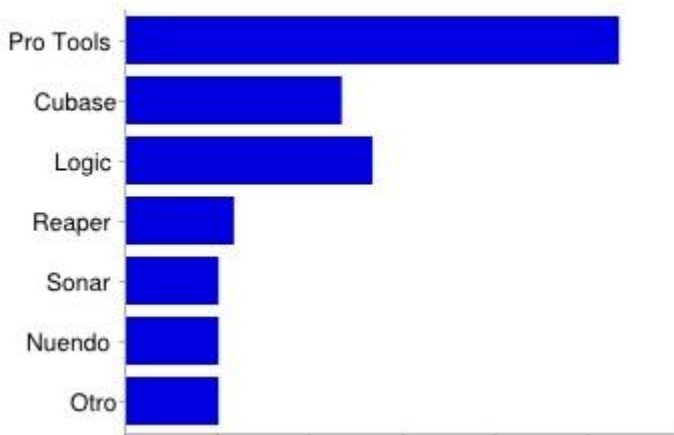
Resultados encuesta

¿Cuál de estos DAW es de su total preferencia?



Pro Tools	76%
Cubase	12%
Logic	12%
Reaper	9%
Sonar	6%
Nuendo	3%
Otro	12%

¿Cuál de estos DAW sabe manejar usted?



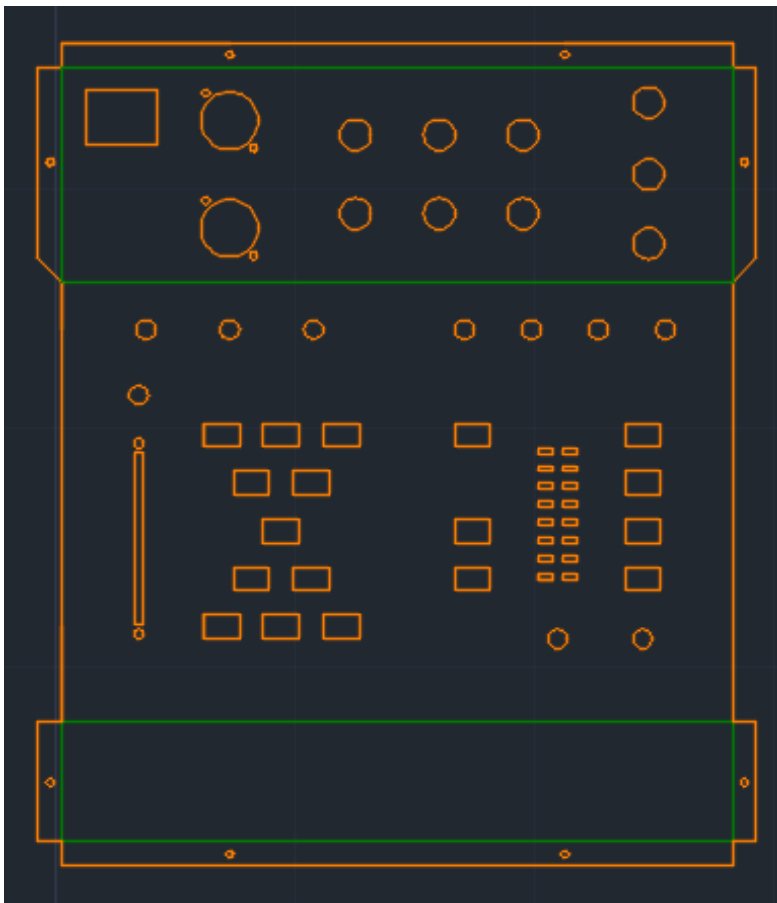
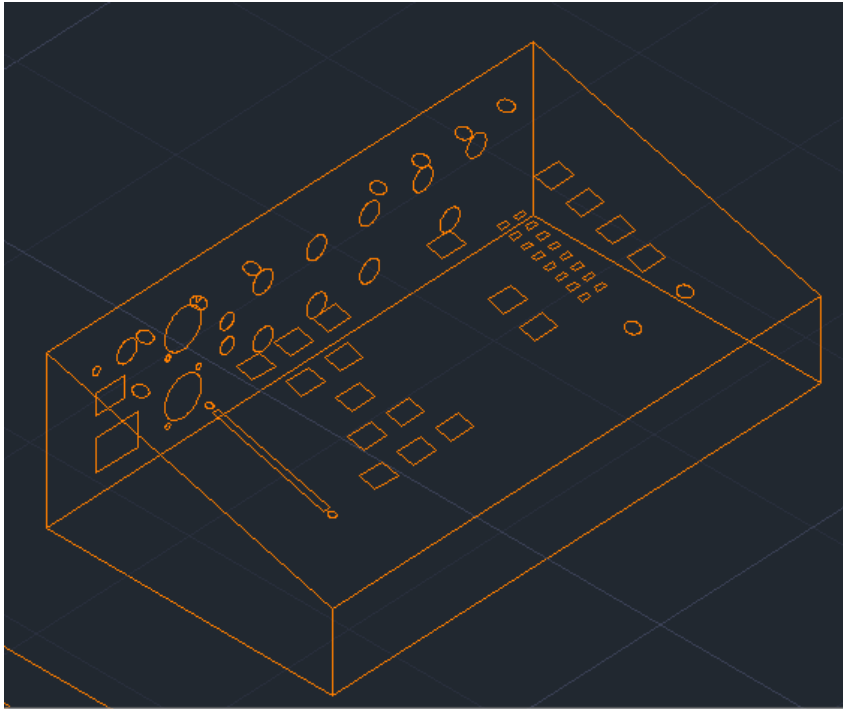
Pro Tools	97%
Cubase	42%
Logic	48%
Reaper	21%
Sonar	18%
Nuendo	18%
Otro	18%

Anexo B: Presupuesto

PRESUPUESTO			
PRODUCTO	CANTIDAD	PRECIO POR UNIDAD	PRECIO TOTAL
Arduino Pro Mini	2	12.500,00	25.000,00
Convertidor de USB a UART	1	8.500,00	8.500,00
Fader Motorizado	1	53.500,00	53.500,00
Baquela (STM-Ingenieria)	1	100.000,00	100.000,00
Botton Led	20	2.000,00	40.000,00
Carcasa Metalica	1	150.000,00	150.000,00
Conectores de Audio	16	3.000,00	48.000,00
Componentes electronicos	1	20.000,00	20.000,00
Pantalla Led	1	7.000,00	7.000,00
Otros Componentes	1	20.000,00	20.000,00
Software Cubase Trial	1	-	-
Software Nuendo Trial	1	-	-
Software Reaper Trial	1	-	-
Software Sonar Trial	1	-	-
Pro Tools Trial	1	-	-
Logic Pro	1	400.000,00	400.000,00
Ableton Live	1	-	-
Hora de trabajo	8	9.375,00	75.000,00
Transporte	1	50.000,00	50.000,00
		Total	997.000,00

El proyecto es financiado en su totalidad por los desarrolladores del proyecto

Anexo C: Esquemas de impresión de carcasa del prototipo



Anexo D: Montaje final del dispositivo

