



UNIVERSIDAD YACAMBÚ
VICERRECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

SINTETIZADOR ANALÓGICO MODULAR

Autor: Samuel Ballesteros

Tutor: Douglas Domínguez

Barquisimeto, Agosto de 2020



UNIVERSIDAD YACAMBÚ
VICERRECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

SINTETIZADOR ANALÓGICO MODULAR

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al grado de
Ingeniero Electrónico en Computación

Autor: Samuel Ballesteros

Tutor: Douglas Domínguez

Agosto de 2020

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de tutor del *Trabajo de Grado* presentado por el ciudadano:
Ballesteros García Samuel Darío, titular de la Cédula de Identidad N° 17.646.188, para optar al grado de *Ingeniero Electrónico en Computación*, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Barquisimeto, a los _____ () días del mes de Agosto del dos mil veinte (2020).

Douglas Domínguez

C.I. No. _____

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quien suscribe, *Samuel Darío Ballesteros García*, titular de la Cédula de Identidad No. 17.646.188, hace constar que es el autor del *Trabajo de Grado*, titulado: *Sintetizador Analógico Modular*, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del tutor de dicho trabajo, *Douglas Dominguez*, titular de la Cédula de Identidad No. _____; en tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de los datos y la elaboración de las conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto del mismo.

En la ciudad de Barquisimeto, a los diez (10) días del mes de Agosto de dos mil veinte (2020).

Samuel Darío Ballesteros García

C. I. No. 17.646.188



UNIVERSIDAD YACAMBÚ
VICERRECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

SINTETIZADOR ANALOGICO MODULAR

Por: Samuel Ballesteros

Trabajo de Grado aprobado, en nombre de la Universidad Yacambú, por
el siguiente jurado, en la ciudad de Barquisimeto a los _____ ()
días del mes de Agosto de dos mil veinte (2020).

Douglas Domínguez

C.I.: _____

(Tutor)

Nombre y Apellido:

C.I.: _____

Nombre y Apellido:

C.I.: _____

Nombre y Apellido:

C.I.: _____

DEDICATORIA

A mí querida abuela Carmen

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer sinceramente a mi tutor, el profesor Douglas Domínguez, por sus excelentes consejos y supervisión.

Al profesor Mario Garrido, por orientar mi investigación y encaminarme en el logro de esta gran meta.

Gracias Papá, por la confianza, por su amistad.

Gracias Paloma, por sus letras, gracias por su amor.

Gracias Santi, por tener tan buena vista y ayudarme a encontrar resistencias

Este proyecto no lo hubiese podido lograr sin la ayuda de:

Maribel García, Betty García, Leida de García, María de los Angeles García, Jonathan Gil, Ana Castro, Omar Guerrero, Claudia Granados, Rosalba Morales y José Luis Parra. A todos gracias de corazón.

Finalmente, me gustaría agradecer a todos mis amigos y familiares por su continuo apoyo moral.

ÍNDICE GENERAL

	pp.
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	2
Planteamiento del Problema	2
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
Justificación	4
CAPITULO II	5
Marco Teórico	5
Estudios Previos	5
Bases Teóricas	5
CAPITULO III	20
Desarrollo del Trabajo de Grado	20
Diseño de la Investigación	20
Módulo MIDI/CV	21
Diseño del Hardware	21
Diseño del Software	36
Módulo de Alimentación	56
Módulo VCO	58
Módulo Mezclador de VCOs	60
Módulo de Filtro Activo Pasa Bajo (VCF)	61
Módulo de Envolvente (ADSR)	72
Módulo de amplificación-atenuación (VCA)	79
Diseño y Construcción de Cajón y Paneles	89
Manual de Usuario, Instalación y Mantenimiento	92
Evaluación Económica	111
CAPITULO IV	114

Resultados	114
CONCLUSIONES	122
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
ANEXOS	126
Anexo A: Hoja de Datos de Componentes utilizados	126
Anexo B Resumen Curricular	139

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICOS	pp.
1 Movimiento de un sonido generado por Altavoz.	6
2 Sonido de frecuencia alta, Sonido de frecuencia baja.	7
3 Curva de envolvente.	8
4 A2 Ejecutado en un Piano	10
5 A2 ejecutado en una Guitarra Clásica.	10
6 A2 ejecutado en un VST con onda senoidal.	11
7 A2 ejecutado por un VST con onda cuadrada.	12
8 Onda de Sierra.	14
9 Onda triangular.	15
10 Onda cuadrada.	15
11 Ejemplo de una transmisión MIDI.	17
12 Diagrama de Bloques del Sintetizador Analógico Modular.	20
13 Diagrama de Bloques del Módulo MIDI/CV	22
14 Diagrama de Bloques del DAC	24
15 Estructura de la Cadena de Resistencias del DAC	24
16 Estructura del Mensaje de Configuración del DAC	25
17 Etapa de Salida del DAC durante el Apagado	29
18 Diagrama Simplificado del Circuito de Carga de entrada para un solo DAC	30
19 Modelo del Raspberry Pi 3 B+	34
20 Montaje del Panel del Módulo Conversor MIDI/CV	34
21 Diseño del Circuito MIDI/CV	35
22 Diseño del Módulo de Alimentación	56
23 Circuito de Alimentación	57

24	Reverso del Circuito de Alimentación	57
25	Diseño del Módulo VCO	58
26	Montaje del Panel del Módulo VCO	59
27	Diseño del Módulo Mezclador	60
28	Montaje del Panel del Módulo Mezclador	61
29	Filtro Pasa Bajo del Korg MS20	62
30	Estructura Básica de un Filtro OTA	63
31	Configuración RC	64
32	Representación diagramada de la primera etapa del OTA	65
33	Diseño del Filtro OTA Pasa Bajo	70
34	Placa del VCF	71
35	Panel del VCF	72
36	Diagrama de Bloques del ADSR	74
37	Etapa de Transistores del ADSR	75
38	Etapa de ATTACK del ADSR	75
39	Etapa de DECAY y SUSTAIN del ADSR	76
40	Etapa de RELEASE del ADSR	77
41	Diseño del ADSR	78
42	Circuito de Conversión I a V simple	82
43	Circuito Conversor de Transimpedancia	82
44	Circuito VCA sin control	83
45	Circuito conversor activo de V a I	84
46	Circuito Conversor de V a I con salida de voltaje negativo	85
47	Mezclador de CV sencillo con fuente de Corriente	86
48	Diseño del VCA usando 3080	88
49	Diseño del VCA	89
50	Panel General del Sintetizador	90
51	Plano de Diseño del Cajón	91
52	Cajón y Paneles del Sintetizador	91
53	Vista del Sintetizador Analógico Modular	93

54	Vista General de los Paneles del Sintetizador	94
55	Panel del VCO	95
56	Panel del MIXER	96
57	Panel del VCF	97
58	Panel del VCA	98
59	Etapas del ADSR	99
60	Panel del ADSR	100
61	Esquema de Conexión del Sintetizador	101
62	Medición de la Salida de la Onda diente de sierra del VCO	116
63	Medición de la Salida de la Onda Triangular del VCO	116
64	Medición de la Salida de la Onda cuadrada del VCO	117
65	Medición de la Resonancia del VCF	117
66	Medición de Voltaje de entrada al VCO por Nota	120

.

ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS	pp.
1 Definición de Comandos del DAC .	26
2 Tabla de Comandos de Dirección del DAC	26
3 Modos de Operación de Apagado del DAC	28
4 Configuración del Registro de Entrada en el Modo de Apagado del DAC	29
5 Comando de Escritura y Tabla de la verdad de LDAC	31
6 Registro de Configuración de la Referencia Interna	33
7 Registro de Entrada para la Configuración de la Referencia del DAC	33
8 Componentes Importados y Nacionales del Sintetizador	111
9 Comparación de Costos	113
10 Resumen de Pruebas del Sintetizador	115
11 Medición de Voltaje de Entrada por Nota en VCOs	118

UNIVERSIDAD YACAMBÚ
VICERRECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**Línea de Investigación: Innovación de Procesos Industriales y Productos
Tecnológicos**

SINTETIZADOR ANALÓGICO MODULAR

Autor: Samuel Ballesteros García

Tutor: Douglas Domínguez

Mes y Año: Agosto 2020

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es crear un sintetizador que combine la libertad creativa de un sistema de síntesis modular, con la portabilidad de un controlador MIDI mientras que pueda ser producido a bajo costo, realizando la generación y el procesamiento de las señales mediante circuitos analógicos, que a su vez, son controlados por un instrumento MIDI, haciendo uso de un Raspberry Pi.

Los desafíos y procesos de síntesis involucrados en la construcción del sintetizador, se han dividido en siete (7) módulos: Alimentación, Conversor Midi/CV, VCO, Mixer, VCF VCA y ADSR, los cuales pueden interconectarse entre sí de varias formas, con un análisis de las técnicas y recursos empleados por sintetizadores existentes que pueden ser empleados para implementar con éxito un sistema modular de síntesis analógica con control digital.

El proceso de diseño y desarrollo, se realiza de acuerdo a los requerimientos de cada Módulo empezando por el hardware, después el software, terminando con el diseño de los componentes mecánicos necesarios para albergar estos módulos. De los 7 módulos solo el conversor MIDI/CV es de naturaleza digital, los demás son analógicos. Se ha tratado de integrar cada circuito en un espacio reducido, optimizando los recursos y seleccionando los componentes de montaje superficial.

Descriptores: sintetizador, analógico, modular, síntesis, Midi,

INTRODUCCION

La música, es una de las ramas más importantes del conocimiento y de la transmisión del mismo. Durante la historia de la humanidad ha sido utilizada como medio para comunicar las tradiciones, los cuentos, las experiencias y los sentimientos de los hombres, siendo así parte fundamental de su evolución.

Con la aparición de la electrónica en la vida moderna, convino la evolución tecnológica de la música, incorporando a ella una nueva gama de instrumentos musicales y herramientas para su desarrollo.

La creación del sintetizador marcó un hito en la historia de la música, un instrumento musical capaz de convertir señales electrónicas en sonidos nació, y con él una variedad de timbres y modulaciones de sonido, nuevos ritmos, nuevos géneros musicales dispuestos a expresar la modernidad que se respira en el mundo.

En la actualidad los sintetizadores analógicos de fabricantes reconocidos son valorados como instrumentos de gama alta, modelos como el korg MS-20, el Roland Jupiter o el Moog Minimoog model D, son instrumentos que rondan entre los 1000 y los 3500 usd, por solo mencionar algunos de los modelos más populares y accesibles.

Modelos más completos como el Moog Voyager o el sintetizador modular Moog System 55 rondan entre los 5000 y los 35000 usd haciendo de estos prácticamente imposibles de adquirir para un músico Venezolano.

El objetivo de este proyecto de tesis es elaborar un sistema modular de síntesis analógica para generar diferentes tonos, que pueda brindarle al músico toda la experiencia de tocar con un sintetizador profesional a bajo costo.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

En Venezuela, hacer música electrónica en la actualidad significa simular todos los procesos de síntesis del audio mediante software.

Aunque se pierde gran parte del sonido, ya que en este proceso el rango de muestreo se ve reducido en comparación al que puede ofrecer un instrumento analógico, se gana versatilidad ya que todo lo que se requiere para crear es una laptop equipada de instrumentos virtuales, pero al momento de grabar un disco, el no contar con un instrumento análogo, reduce la calidad del sonido ya que los instrumentos virtuales por mucho que se procesen no logran igualar la calidad de un sonido de síntesis analógica.

La alternativa que se plantea es muy popular entre los músicos aficionados a la música electrónica, siendo su utilización bastante conocida en Europa y se presenta como una opción ante los altos costos de los sintetizadores analógicos de fabricación industrial como lo son los Moog, Roland, Yamaha, Korg, entre otros.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Construir un Sintetizador Analógico Modular, Económico para Uso Profesional.

Objetivos específicos

Elaborar una estructura para instalar los módulos del Sintetizador.

Crear una fuente de alimentación que genere los voltajes requeridos por el sistema.

Desarrollar una aplicación de conversión Digital-Analógica para comunicar un controlador Midi con el Sintetizador Modular.

Diseñar tres osciladores que generan 3 tipos de onda, para generar diversas texturas de sonidos.

Mezclar las señales generadas por los osciladores

Diseñar un filtro activo para obtener una síntesis sustractiva.

Diseñar dos generadores de envolventes para modificar el contenido espectral del tono generado.

Diseñar un amplificador controlado por voltaje.

Elaborar un manual de usuario, de instalación y mantenimiento del sintetizador.

JUSTIFICACION

El campo que abarca la fabricación de instrumentos musicales nacionales, es bastante competitivo, ya que en su mayoría se trata de músicos ejecutantes del instrumento del que se especializan en fabricar.

Esto, por consecuencia, hace de sus instrumentos especiales, ya que al fabricar un instrumento, además de confeccionarlo a mano, se encargan de someterlo a los mayores rigores de su oído y experiencia, logrando así obtener como resultado un instrumento equiparable en calidad a uno de gama alta en el mercado mundial.

En el mercado venezolano no existe una marca que se especialice en fabricar sintetizadores, esto aunado a los precios de los sintetizadores de marcas renombradas imposibilita al músico su obtención.

Este desarrollo aporta al mercado musical venezolano un instrumento mediante el cual los músicos puedan crear trabajos con alta calidad a un precio bastante accesible.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

Estudios Previos

Entre los trabajos de grado realizados con anterioridad en la Universidad Yacambú que guardan similitudes debido a la manipulación del audio, se pueden destacar:

La fabricación de un pedal multiefecto para guitarra realizado por Nicasio Freitez, quien diseño este equipo como una alternativa a los altos costos de los pedales de efectos convencionales del mercado.

El diseño y construcción de un "Theremin Digital" realizado por Manuel Márquez, quien adaptó este instrumento originalmente analógico a una versión digital, incorporando módulos de efectos de sonido.

La elaboración de un sistema de ecualización estéreo digital universal para señales de audio analógicas realizado por Ramón Espinoza, que cuenta con la capacidad de almacenar las curvas de ecualización en una memoria no volátil.

Bases Teóricas

Características físicas del sonido

Cuando un altavoz reproduce un sonido, este crea una serie de movimientos para generarlo, primero crea un movimiento hacia adelante, las partículas de aire que se encuentran directamente enfrente de ella son empujadas unas a otras, se comprimen juntas, este fenómeno es llamado la fase de compresión y forma un pequeño pico.

A continuación, el altavoz genera un movimiento hacia atrás que arrastra al aire con él, a este otro fenómeno se le llama fase de rarefacción, a medida que la corneta se mueve hacia adelante y hacia atrás va creando esta serie de compresiones y rarefacciones o picos y valles.

Esto pasa en todas las cosas que reproducen un sonido, ya sean altavoces, una voz o una guitarra. Así es esencialmente como las ondas de sonido son generadas.

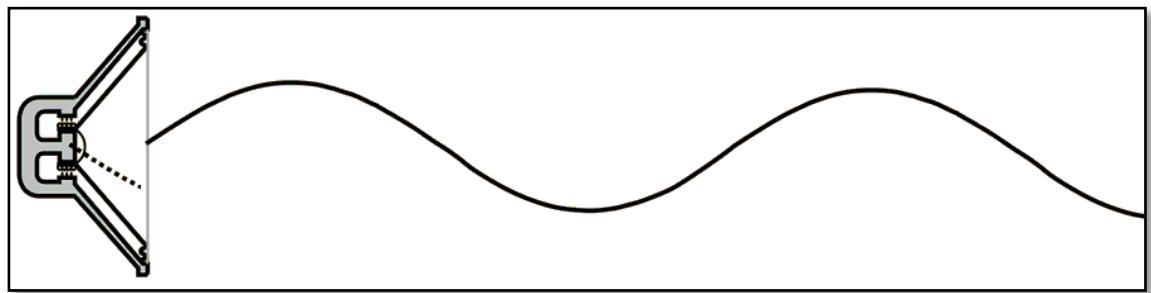


Gráfico 1. Movimiento de un sonido generado por Altavoz. Tomado de Wikipedia (2018)

Frecuencia

Cuando hablamos de frecuencia, lo que realmente nos preguntamos es cada cuánto una onda ocurre, ¿con qué frecuencia pasa?, cuando observamos una onda la forma fácil de calcular la frecuencia con la que pasa es mirarla desde un pico hasta el próximo pico.

En el Gráfico 1 un pico representa al altavoz siendo empujado completamente hacia afuera, de esta manera, un ciclo para el altavoz se produce desde que es empujado completamente hacia afuera, halando completamente hacia dentro y volviendo a empujar, de pico a pico, la frecuencia es descrita en Hertz, 1 Hertz es igual a un ciclo en un segundo. Por ejemplo, 500 Hz significan que hay 500 ondas ocurriendo en un segundo.

El rango de audición humano teóricamente es de 20Hz a 20KHz, cuanto más alta sea la frecuencia, más alto será el tono del sonido que es generado.

Longitud de la Onda

La longitud de la onda es la distancia que existe entre dos Ondas. El sonido se mueve hacia afuera a la misma velocidad sin importar la frecuencia.

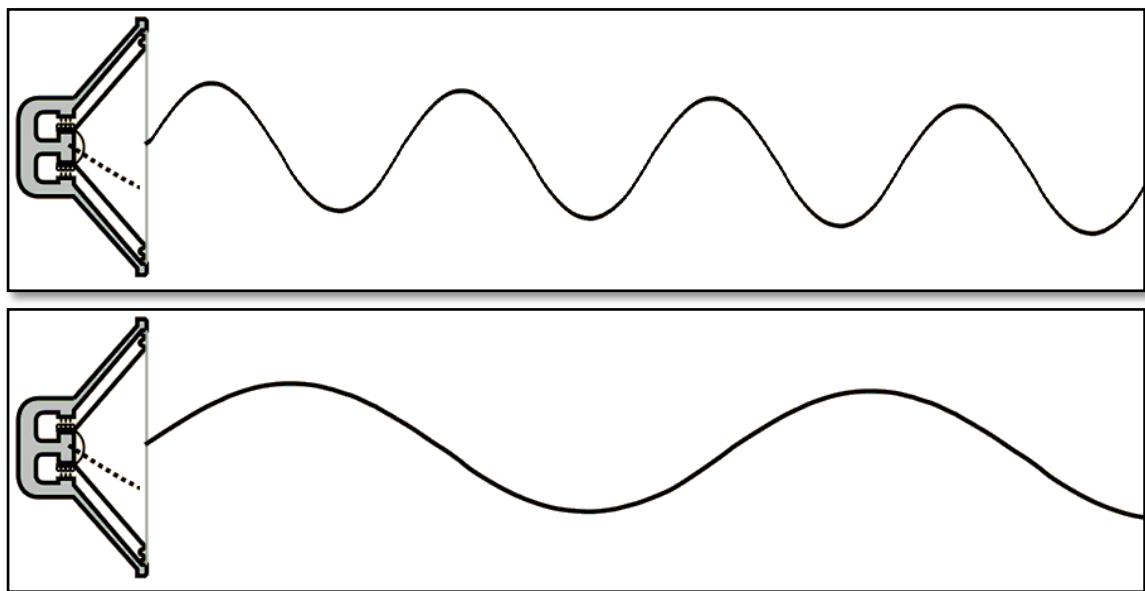


Gráfico 2. (arriba) Sonido de frecuencia alta reproducido por Altavoz. (abajo) Sonido de frecuencia baja reproducido por Altavoz. Tomado de Wikipedia (2018)

En el Gráfico 2 tenemos la onda de arriba con una frecuencia de casi el doble de la de abajo, ambas se mueven a la velocidad del sonido (al mismo tiempo), pero para llenar el mismo espacio la frecuencia más alta (el ejemplo numero 2) utiliza mayor cantidad de ondas, por lo que la longitud de ellas es más corta.

Una frecuencia de 20Hz tiene aproximadamente una longitud de onda de 17m, mientras que una frecuencia de 20Khz tiene una longitud de onda de 17mm.

Amplitud

La amplitud de una onda indica cuan alta es, percibimos esta característica como volumen.

Envolvente

Cada sonido tiene un principio, un intermedio y un final. El envolvente describe cada una de esas etapas, cuanto volumen tiene y su duración. Existen 4 términos que se usan para caracterizarlos: (Ver Grafico 3)

Ataque(ATTACK): describe el principio del sonido.

Caída(DECAY): describe la transición desde el principio hasta el intermedio.

Sostenimiento(SUSTAIN): describe el intermedio del sonido.

Liberación(RELEASE): describe el final del sonido.

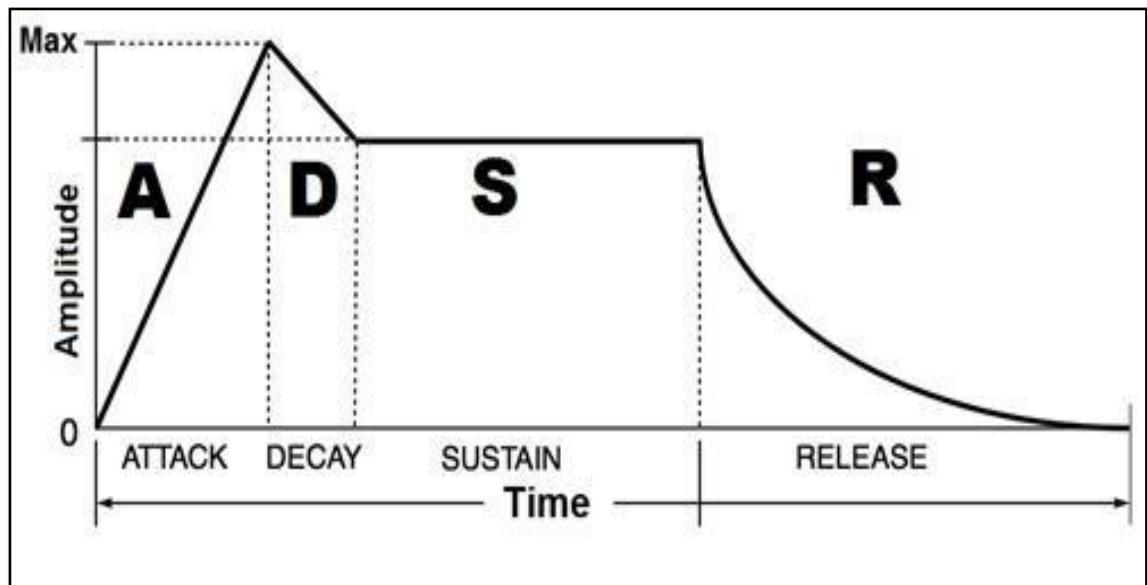


Gráfico 3. Curva de Envolvente. Tomado de Wikipedia (2018).

Estas cualidades del sonido determinan el tipo de sonido o timbre que está siendo generado.

Contenido armónico

Es la información armónica del sonido y podemos categorizarlo en dos grupos que son:

Frecuencia Fundamental: Es la onda senoidal que determina el tono del sonido.

Armónicos: Son las ondas senoidales que conforman los múltiplos de la frecuencia fundamental.

Por ejemplo la frecuencia fundamental de un A2 (La) es de 110 Hz, los armónicos de esta nota son:

$1 \times 110 \text{ Hz} = 110 \text{ Hz}$ (A2) – frecuencia fundamental.

$2 \times 110 \text{ Hz} = 220 \text{ Hz}$ (A3) – segundo armónico (octava).

$3 \times 110 \text{ Hz} = 330 \text{ Hz}$ (E4) – tercer armónico.

$4 \times 110 \text{ Hz} = 440 \text{ Hz}$ (A4) – cuarto armónico (octava).

$5 \times 110 \text{ Hz} = 550 \text{ Hz}$ (C#5) – quinto armónico.

$6 \times 110 \text{ Hz} = 660 \text{ Hz}$ (E5) – sexto armónico.

$7 \times 110 \text{ Hz} = 770 \text{ Hz}$ (no relacionado) – séptimo armónico.

$8 \times 110 \text{ Hz} = 880 \text{ Hz}$ (A5) – octavo armónico (octava).

$9 \times 110 \text{ Hz} = 990 \text{ Hz}$ (B5) – noveno armónico.

$10 \times 110 \text{ Hz} = 1100 \text{ Hz}$ (C#6) – decimo armónico.

$11 \times 110 \text{ Hz} = 1210 \text{ Hz}$ (no relacionado) – décimo primer armónico.

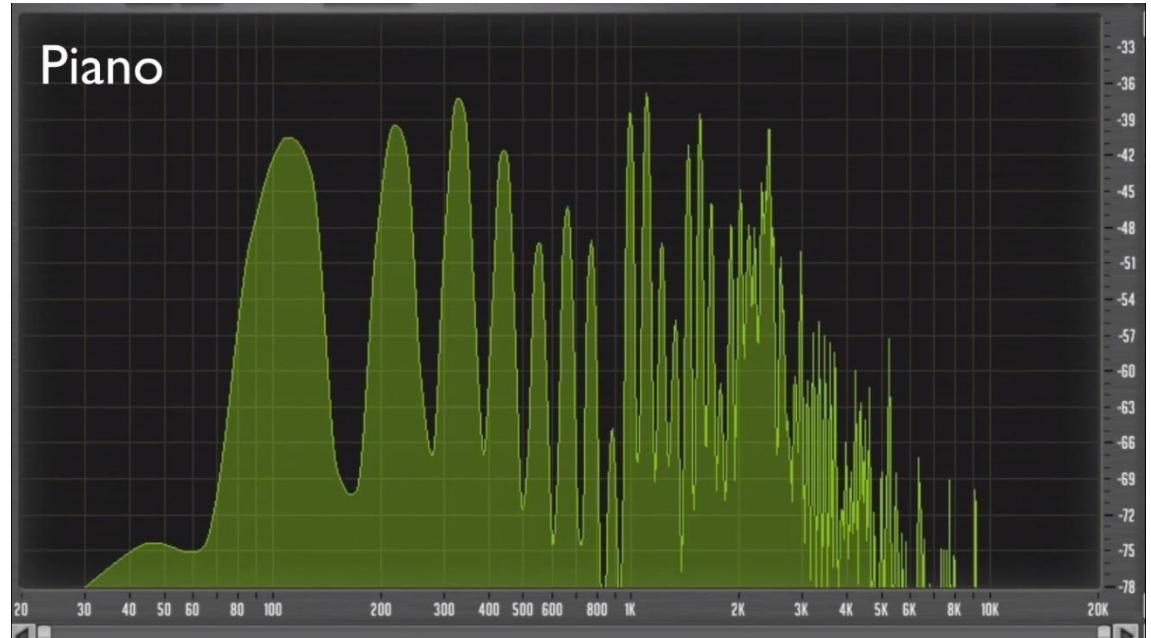


Grafico 4. A2 ejecutado en un piano.

En el Grafico 4 se puede observar el espectro de frecuencias visto desde un frecuencímetro después de ejecutar A2 en un piano.

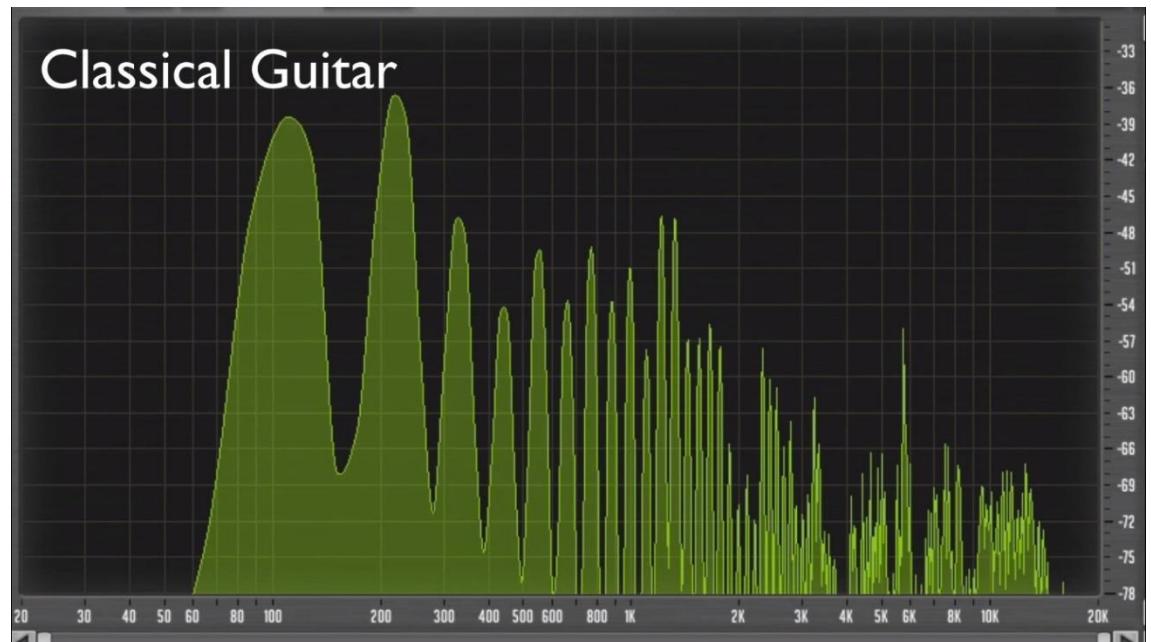


Gráfico 5. A2 ejecutado en una Guitarra Clásica.

En el Grafico 5 se puede observar el espectro de frecuencias al ejecutar A2 en una guitarra clásica.

Se puede notar que existe una amplia diferencia entre ambos ejemplos y es porque a pesar de que en ambos se reproduce la misma nota, el contenido armónico no es el mismo, este es el que describe el timbre del sonido que estamos reproduciendo, es la diferencia que podemos escuchar entre el sonido de la nota siendo ejecutada por un piano y la misma nota siendo ejecutada por una guitarra.

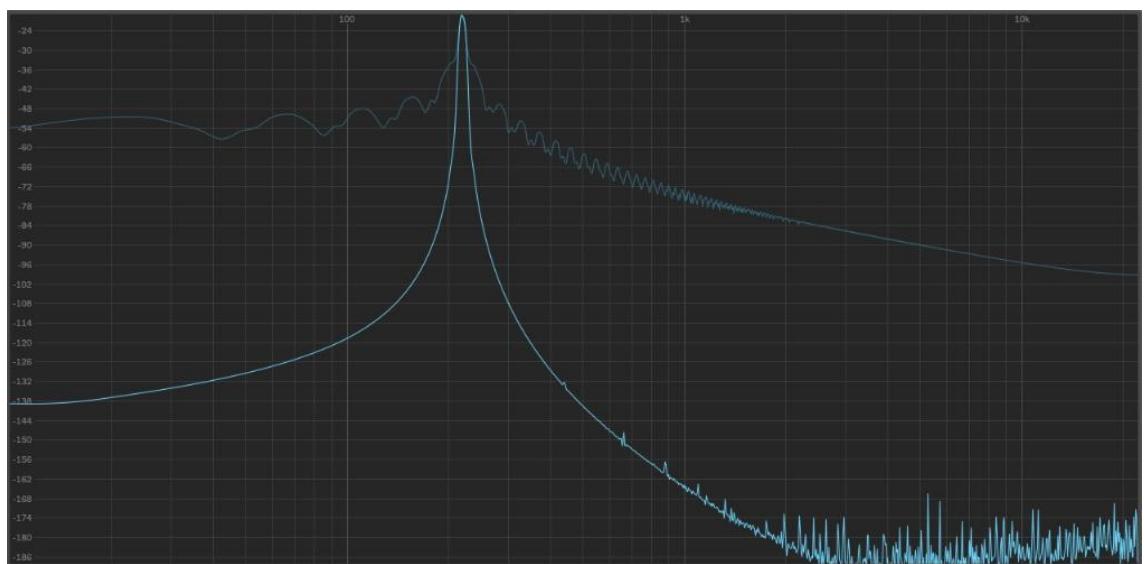


Gráfico 6. A2 ejecutado en un VST con onda senoidal.

En el grafico 6 se representa el espectro de frecuencias al ejecutar A2 en un Sintetizador Virtual, simulando una onda senoidal

La onda senoidal es la más simple forma de sonido que existe. En el grafico 6 podemos observar que solo se reproduce el sonido de la frecuencia 110 Hz (A2) es decir la frecuencia fundamental sin armónicos.

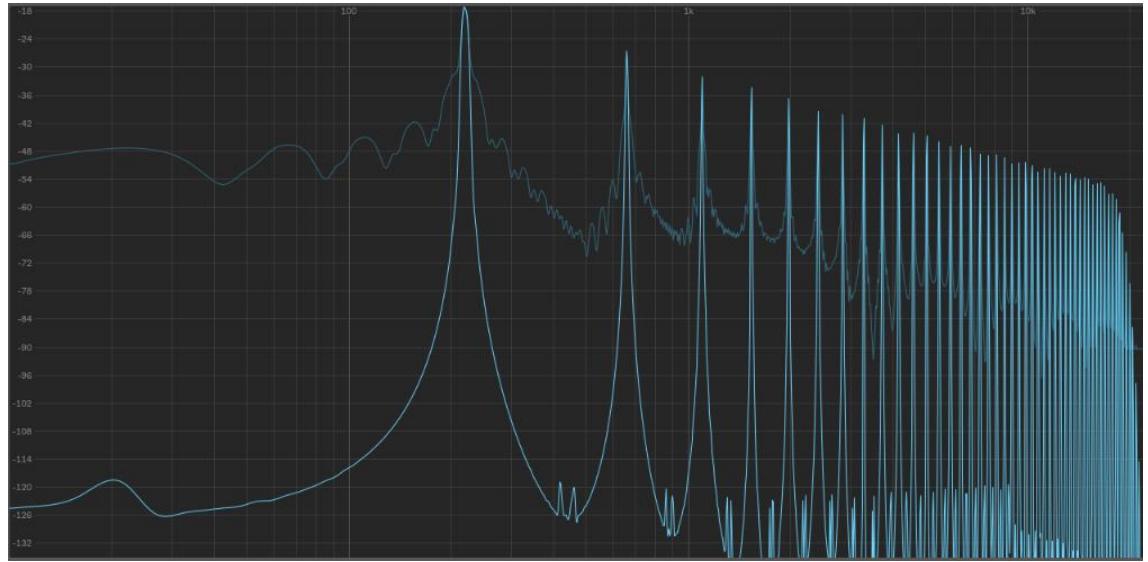


Gráfico 7. A2 ejecutado por un VST con onda cuadrada.

En el Grafico 7 se representa el espectro de frecuencias al ejecutar A2 en un Sintetizador Virtual, simulando una onda cuadrada. Se puede apreciar que la onda cuadrada tiene armónicos senoidales bastante definidos, con alta amplitud con respecto a la frecuencia fundamental. Estos presionan a la frecuencia fundamental (senoidal) para transformarla y lograr su forma.

Sintetizador

Un sintetizador es un instrumento electrónico de música, que ejecuta sonidos generando señales electrónicas conectadas directamente a un amplificador.

Los sintetizadores son conformados por diferentes tipos de circuitos que están conectados entre sí conformando una cadena desde el circuito generador de las señales hasta el amplificador.

A continuación se detallaran los circuitos a utilizar en el trabajo de grado:

Oscilador controlado por voltaje (VCO)

Un oscilador es un circuito que puede generar formas de onda que suben y bajan continuamente por medio del aumento y disminución del voltaje en su salida.

Los osciladores son bastante usados en los diseños electrónicos, comúnmente se pueden encontrar en los generadores de señales radiofónicas, generadores de contadores para hacerle un seguimiento al tiempo, generadores de señales de reloj para controlar la velocidad de los procesadores digitales y los generadores de tono.

Los circuitos generadores de tonos están diseñados para generar sonidos dentro del rango de audición humano y son los circuitos que hacen la mayor parte del sonido en un sintetizador.

Un oscilador puede generar diferentes tipos de ondas generando diferentes tipos de sonidos:

Onda de sierra

Según Wikipedia, Una onda de sierra es un tipo de onda no sinusoidal. Recibe su nombre porque su forma se asemeja a la de los dientes de una sierra.

La convención de una onda de sierra es que ésta se levanta en forma de rampa y después baja rectamente. Sin embargo también existen ondas de sierra en donde las ondas bajan de forma de rampa y después suben rectamente.

Esta última forma usualmente es llamada 'onda de sierra inversa'. En las señales de audio, ambas direcciones de ondas de sierra suenan de la misma manera. (Ver Grafico 8)

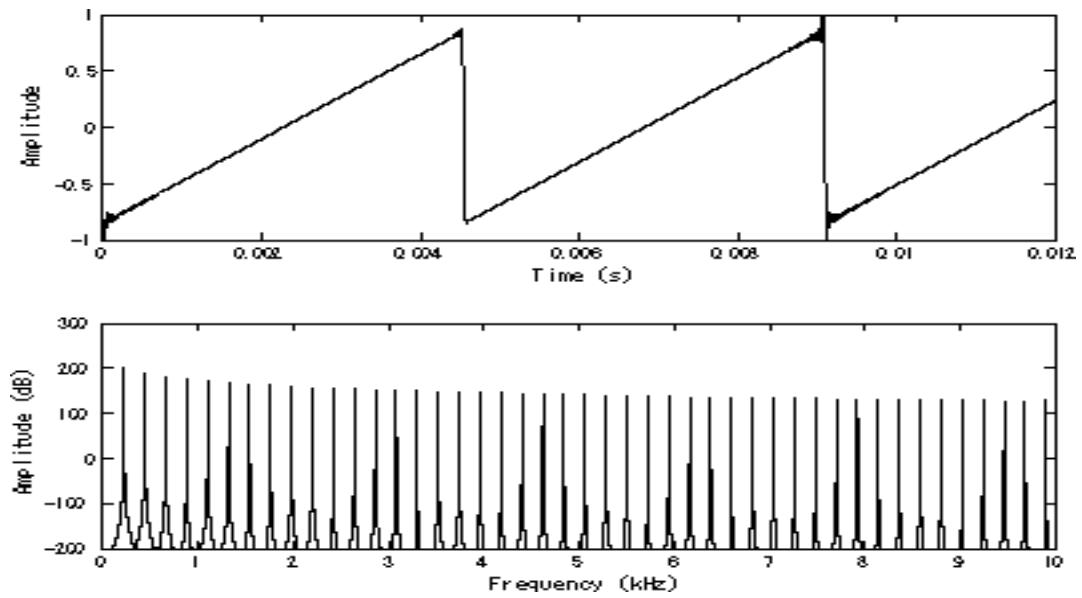


Gráfico 8. Onda de Sierra. Tomado de Wikipedia (2018).

Onda Triangular

Según Wikipedia, es un tipo de señal periódica que representa unas velocidades de subida y bajada constantes. La onda triangular tiene un contenido en armónicos muy bajo, lo que concuerda con su parecido a una onda senoidal.

Tanto matemática como físicamente se puede obtener integrando en el tiempo una onda cuadrada: los niveles constantes alto y bajo de dicha onda se convierten en las pendientes (constantes) de los flancos de subida y bajada de la onda triangular. (Ver Grafico 9)

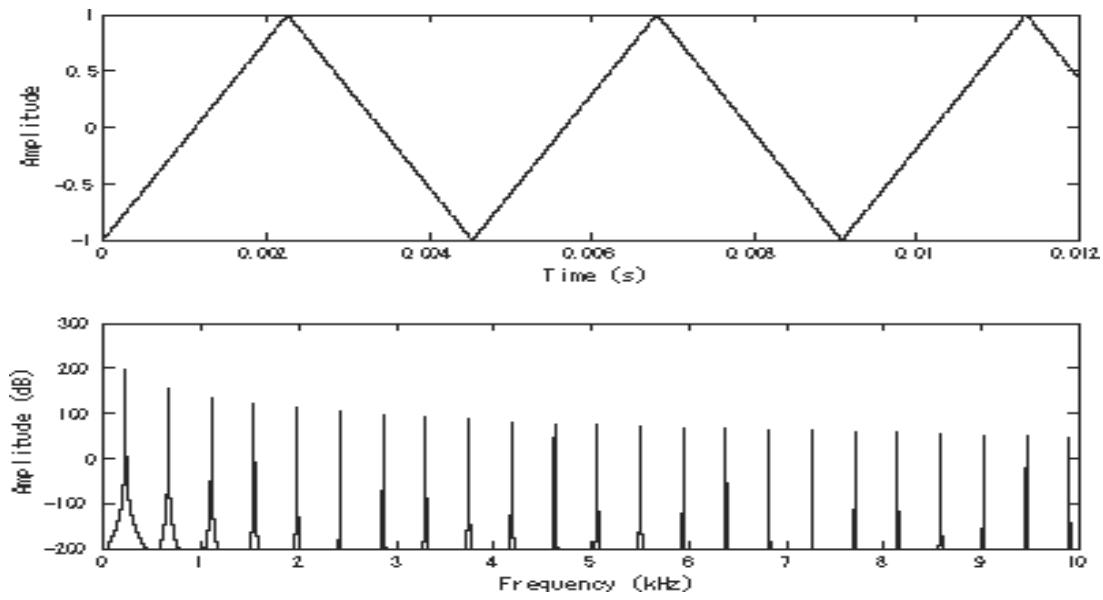


Gráfico 9. Onda triangular. Tomado de Wikipedia (2018)

Onda Cuadrada

Según Wikipedia, se conoce por onda cuadrada a la onda de corriente alterna (CA) que alterna su valor entre dos valores extremos sin pasar por los valores intermedios como se puede apreciar en el Gráfico 10.

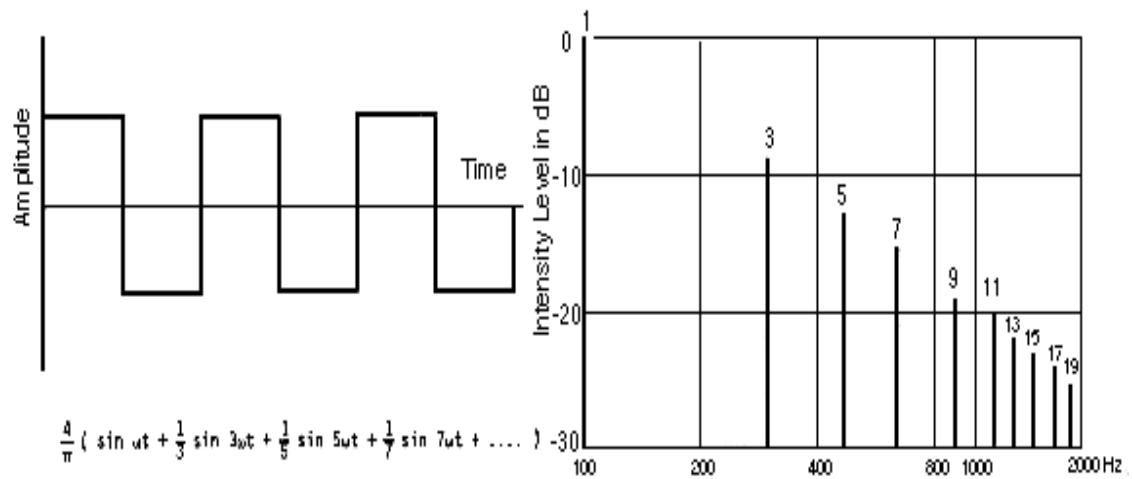


Gráfico 10. Onda cuadrada. Tomado de Wikipedia (2018)

Los osciladores en los sintetizadores análogos interpretan los voltajes en sus entradas para saber a qué frecuencia deben oscilar.

Estos circuitos usualmente trabajan con un estándar llamado CV (Control Voltaje) donde un voltio se correlaciona a una octava completa. Cada octava contiene 12 notas, al dividir 1 voltio por 12 se obtienen los valores en voltaje de cada una de las notas correspondientes a la escala determinada.

En términos musicales, puedes obtener una nota musical definida dependiendo del voltaje que se configure en la entrada de este circuito, y este voltaje puede provenir de un teclado que envía voltajes definidos por cada tecla o también puede provenir de un conversor Digital-Análogo que interprete los mensajes MIDI provenientes de un controlador MIDI.

Controlador MIDI

Un controlador MIDI es un teclado que tiene la habilidad de actuar únicamente como periférico de salida, este interpreta todos los parámetros que son ejecutados en tiempo real y emite a través de un USB o de un puerto MIDI, los mensajes MIDI que contienen la información sobre dichos parámetros.

MIDI (Musical Instrument Digital Interface)

Según *El Manual Midi* (Pág. 18.) Midi es un lenguaje de comunicación digital que permite a diversos instrumentos electrónicos (Hardware y software), controladores de performance, computadoras y otros dispositivos relacionados, el comunicarse entre sí a través de una red (El tipo de transmisión es Serial).

Este es el protocolo estándar para la comunicación entre los instrumentos electrónicos musicales desde su introducción en 1983. Los dispositivos MIDI están conectados por un cable de 5 pines que puede transmitir información como el tono de una nota, la velocidad de pulsación, curvatura y mensajes de control.

MIDI es usado para transmitir eventos de performance, como al tocar un teclado (todos los eventos que el ejecutante acciona).

MIDI data byte

Una señal MIDI es una onda digital que varía entre 5 y 0v, en electrónica digital, la señal alta se lee como un 1 y la señal baja se lee como 0. Cuando el sistema MIDI no envía un mensaje, mantiene una señal constante en 5v.

Cuando el sistema esté listo para enviar un mensaje, dejará caer la línea a 0 voltios. Esto se denomina bit de inicio y le dice al instrumento receptor que se prepare para recibir un mensaje.

El instrumento luego transmitirá 8 bits de datos por la línea, finalmente, devolverá la línea al estado de 5 voltios para finalizar el mensaje, a esto se le llama el bit de parada.

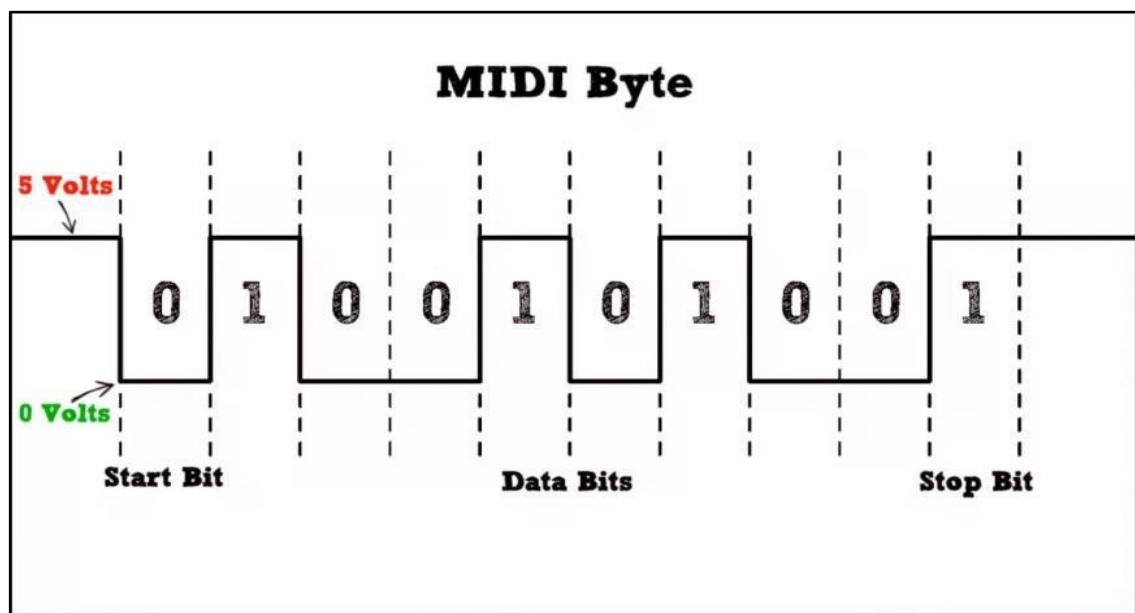


Gráfico 11. Ejemplo de una transmisión MIDI. Tomado de Wikipedia (2018).

Conversor MIDI a CV

Este circuito permite a un teclado, secuenciador, máquinas de batería u otros dispositivos que posean el estándar MIDI el poder comunicarse con el sintetizador analógico.

El teclado o controlador MIDI le manda la señal a este circuito con la información referente a lo que el instrumentista se encuentra ejecutando en el mismo, y el circuito interpreta el mensaje para inmediatamente entregarle la información al sintetizador expresada en el formato CV.

Adicionalmente al CV el circuito conversor también posee otra salida que es:

GATE: esta señal es usada para determinar cuando el tecladista presiona la nota y cuando la suelta, manteniéndose en alto cuando la nota esta presionada y volviendo a cero cuando la tecla es soltada.

Circuito de filtro controlado por voltaje (VCF)

El filtro es un circuito diseñado para disminuir o aumentar la amplitud de algunas frecuencias en el espectro, es comúnmente usado en los sintetizadores para lograr una síntesis sustractiva.

Según Wikipedia La síntesis sustractiva depende de los filtros, justamente a través de estos se produce un cambio en la señal. Las características de los filtros se determinan por su función de transferencia y su orden. La primera determina la forma en que la señal aplicada cambia en señal y amplitud al pasar por el filtro, la segunda describe el grado de aceptación o rechazo de frecuencias por encima o por debajo de la respectiva frecuencia de corte.

El filtro pasa bajo es el más utilizado en los sintetizadores ya que permite el paso de frecuencias bajas atenuando las frecuencias altas.

Círculo de envolvente (ADSR)

El círculo del envolvente es una herramienta que ayuda a automatizar los aspectos del sonido generado por el sintetizador. Este genera una onda lenta de envolvente que puede ser usada para modular diferentes parámetros como lo son el volumen, el pitch y el timbre.

Círculo Amplificador-Atenuador Controlado por voltaje (VCA)

Es un círculo amplificador y atenuador del sonido, y es usualmente la etapa final de un sintetizador, puede recibir señales CV que controlan la fuerza de la amplificación.

Este generalmente contiene una entrada para la señal que se desea amplificar o atenuar, una salida con la señal ya procesada y un puerto de entrada para el control por CV

Si se envía un CV alto a la entrada de CV el amplificador se abre lo que significa que la señal que entra sale del amplificador con los parámetros configurados (nivel de amplificación), y si recibe un cero en la entrada de CV; el amplificador se cierra bloqueando la salida de la señal.

El CV input es normalmente usado para conectar el GATE output del circuito MIDI/CV para controlar los eventos ON - OFF de una tecla.

CAPITULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Diseño de la Investigación

El diseño y construcción del Sintetizador será desarrollado por módulos, para obtener una mejor comprensión y manejo de todo el sistema en general, y a su vez, tener libertad creativa al momento de usarlo.

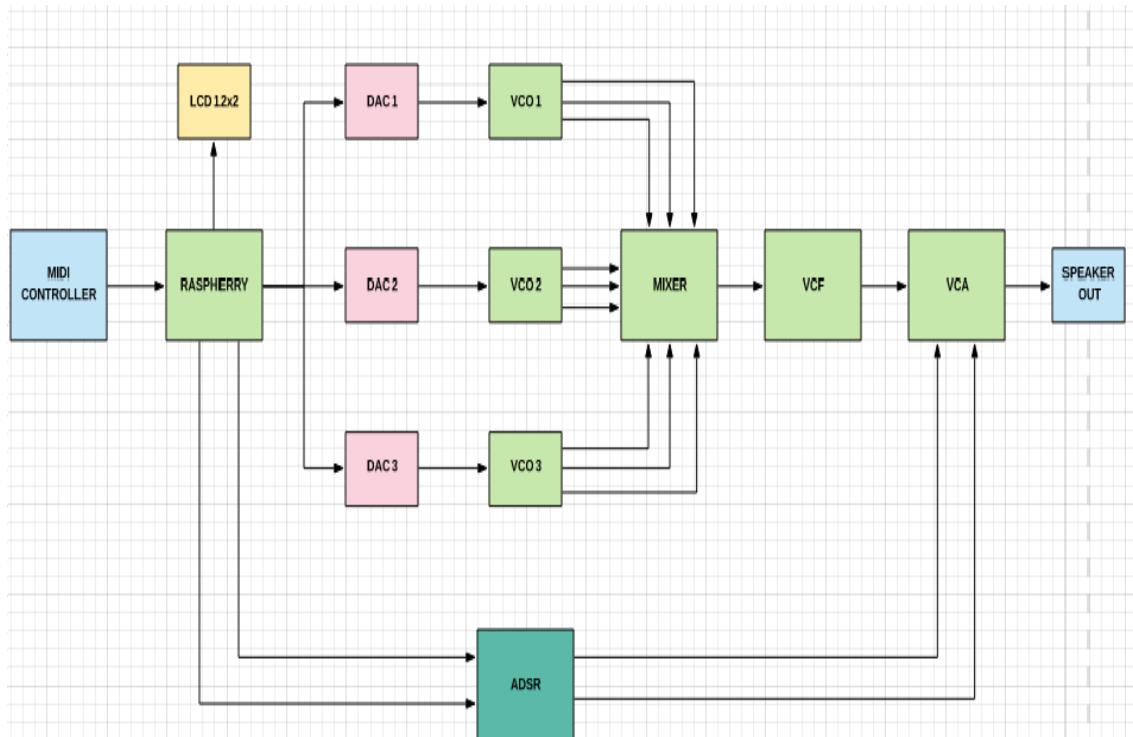


Gráfico 12. Diagrama de Bloques del Sintetizador Analógico Modular SAM17.
Elaboración propia

Se procede a explicar con detalle el proceso de diseño y desarrollo, de acuerdo a los requerimientos de cada Módulo empezando por el hardware, después el software, terminando con el diseño de los componentes mecánicos necesarios para albergar estos módulos. Cada módulo tiene unas entradas y salidas para su operación en el sistema. De los 7 módulos solo el conversor MIDI/CV es de

naturaleza digital, los demás son analógico. El esquema electrónico detalla el funcionamiento y cómo se comunican los diferentes componentes del sistema.

Se ha tratado de integrar cada circuito en un espacio reducido, optimizando los recursos y seleccionando los componentes de montaje superficial.

Modulo MIDI/CV

Este Módulo actúa como un transductor entre el controlador MIDI y el Sintetizador. Para el diseño de este Módulo se utilizará un Raspberry Pi 3b+ por su poder de procesamiento y un Conversor Digital-Analógico (DAC) modelo AD5686R por las velocidades de transmisión de su puerto SPI. (Ver Grafico 13)

La conexión con el Raspberry Pi se realiza mediante un bus serial que usa un protocolo SPI estándar. El Canal de comunicación requiere una interface de 3 cables consistiendo en una señal de reloj, una de datos y una señal de sincronización. El dispositivo requiere un data-word de 24 bits con validación de la data en el flanco de subida del pin SYNC.

El voltaje de entrada de este Módulo es de 12v, requerido para los amplificadores operacionales del CV NOTE, para que el amplificador operacional mantenga una ganancia constante es necesario usar resistencias con película metálica para las resistencias de 1k y 1.5k. El Raspberry Pi requiere una alimentación de 5V y consume hasta un máximo de 2000 mA. Para cumplir con este requerimiento usamos un transformador independiente para el Raspberry Pi. Este módulo usa una pantalla LCD de 16x2, desplegando un menú que le permite al usuario interactuar con el programa de conversión, y de esta forma elegir entre los modos de ejecución de dicho programa. El conversor MIDI/CV incluye las siguientes salidas:

3 salidas analógicas (CV) (84 notas, 1V/octava) haciendo uso del DAC AD5686R.

- 1 Salida digital (GATE) (10v cuando cualquier la tecla del controlador MIDI es presionada)

Pautas para el diseño: En cualquier circuito donde la exactitud es importante, se deben tomar consideraciones de cuidado en la fuente de poder y el diseño de retorno a tierra para asegurar el rendimiento nominal. La Placa en la que el AD5686R será montado se ha diseñado para que el chip se encuentre en el plano analógico. Si hay muchos dispositivos en la tarjeta, es útil proveer alguna capacidad de disipación de calor que permita disipar la potencia con facilidad.

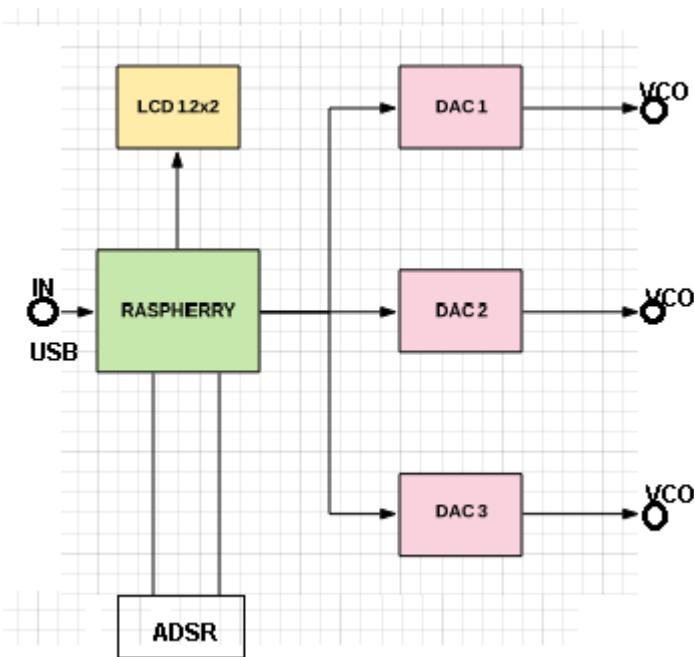


Gráfico 13. Diagrama de Bloques del Módulo MIDI/CV. Elaboración propia

El AD5686R es un DAC cuádruple de 16 bits, de entrada serial, con referencia interna. El mismo opera con voltajes de alimentación de 2,7 a 5,5 V.

La data es escrita en un formato de palabras de 24 bits por medio de una interfaz serial de 3 cables. El AD5686R incorpora un circuito de reset en el encendido para asegurar que las salidas del DAC arranquen en un estado

conocido. El dispositivo también posee un modo de apagado por software que reduce el consumo de corriente a 4 uA.

Función de Transferencia: La referencia interna está encendida por defecto. Para usar una referencia externa, solo una opción no referenciada está disponible. Debido a que la codificación de entrada al DAC es estrictamente binaria, el voltaje de salida ideal cuando se usa una referencia externa es dado por:

$$V_{out} = V_{Ref} * Gain * \left(\frac{D}{2^n}\right)$$

Donde:

D es el decimal equivalente al código binario que está cargado en el registro del DAC de 0 a 65.535 para cubrir los 16 bits de resolución.

n es la resolución del DAC.

Gain es la ganancia del amplificador de salida y está configurado en 1 por defecto. Esta puede ser configurada a x1 o x2 usando el pin de selección de ganancia. Cuando este pin está conectado a tierra, todas las cuatro salidas del DAC tienen un rango de 0 V hasta Vref. Si este pin está conectado a Vdd, todas las cuatro salidas del DAC tendrán un rango de 0V hasta 2xVref.

La arquitectura del DAC consiste en una cadena de conversión Digital-Analógica seguida por un amplificador de salida. (Ver Grafico 14)

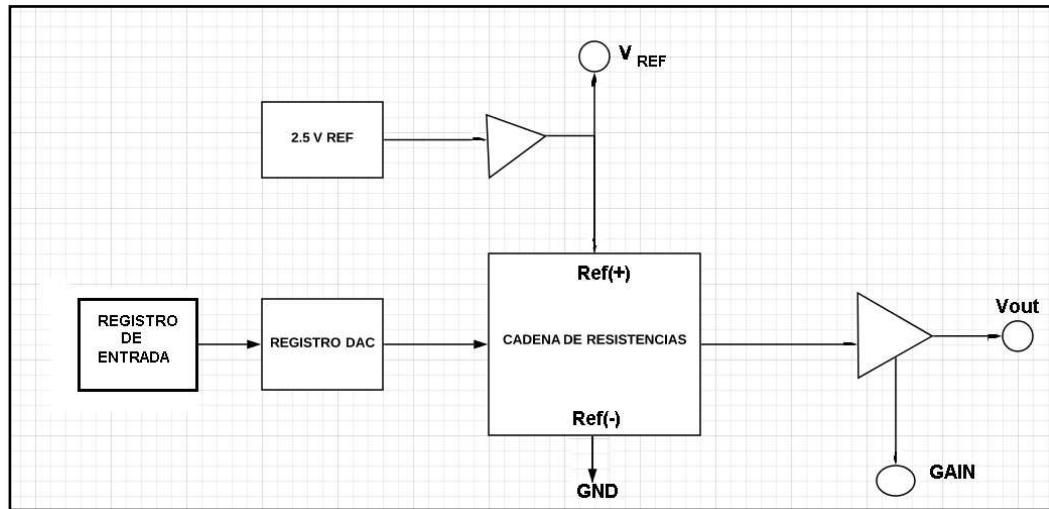


Gráfico 14. Diagrama de Bloques del DAC. Elaboración Propia

El código cargado en el registro del DAC determina el nodo en la cadena donde el voltaje será aprovechado y alimenta al amplificador de salida. El voltaje es aprovechado al cerrar unos de los switches que conectan a la cadena con el amplificador. Como es una cadena de resistencias, es monotónico garantizado. (Ver Grafico 15)

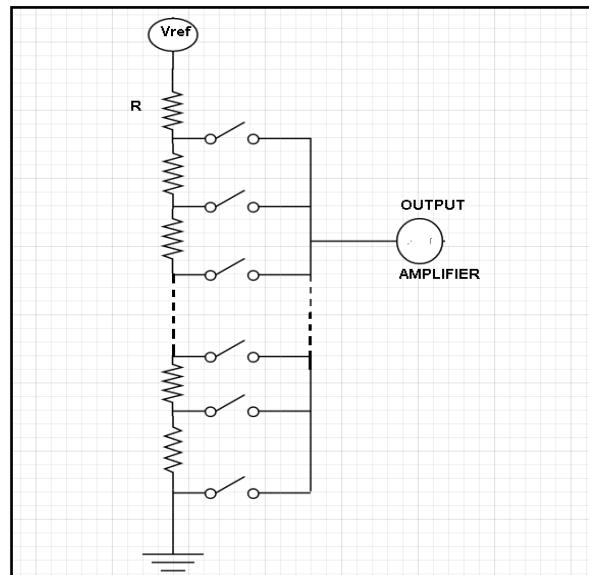


Gráfico 15. Estructura de la Cadena de Strings. Elaboración propia

La referencia interna del AD5686R está activada en el encendido del chip pero puede ser desactivada por medio de una escritura en el registro de control. Tiene una referencia de 2.5V, 2ppm/ $^{\circ}$ C proporcionando una salida de escala completa de 2,5 o 5V, dependiendo del estado del pin de ganancia. La referencia interna asociada con el dispositivo está disponible en el pin Vref. Esta referencia bufereada es capaz de manejar cargas externas de hasta 10mA.

El amplificador de salida bufereado puede generar voltajes rail-a-rail en su salida, que proporciona un rango de salida de 0V a Vdd. El rango actual depende del valor de Vref, del pin de ganancia, del error de offset y del error de ganancia. El pin de ganancia selecciona la ganancia de la salida. Si este pin se conecta a tierra, todas las cuatro salidas tienen una ganancia de salida de 0V a Vref. Si en cambio se conecta a Vlogic, todas las cuatro salidas tienen una ganancia de 2 y el rango de salida es de 0V a 2xVref.

Este amplificador es capaz de manejar una carga de 1k Ω en paralelo con 2nF a tierra. La velocidad de subida es de 0,8 V/useg, con un tiempo de asentamiento de 5useg en una escala de 1/4 a 3/4.

El AD5686R tiene un registro de desplazamiento de entrada de 24 bits. La data es cargada desde el bit más significativo, siendo el primero (DB23) y los primeros cuatro bits son los bits de comandos C3 hasta C0, seguidos por los 4 bits de dirección del DAC: DACA, DACB, DACC y DACD, y finalmente los bits de data-word.

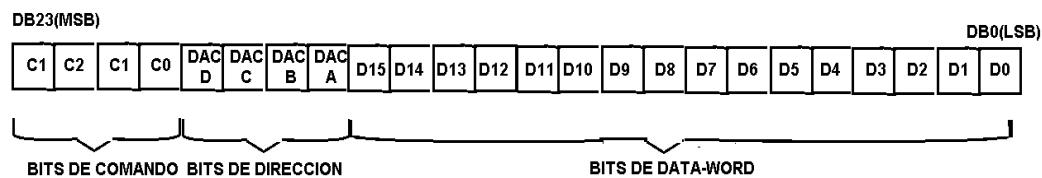


Gráfico 16. Estructura del Mensaje de Configuración del DAC

Estos bits de datos son transferidos al registro de entrada en los 24 flancos de bajada de SCLK y son actualizados en el flanco de subida de SYNC. Los comandos pueden ser ejecutados en canales del DAC individuales, canales combinados o en todos los DACs, dependiendo de los bits de dirección seleccionados.

Tabla 1 Definición de comandos del DAC

COMANDO				DESCRIPCION
C3	C2	C1	C0	
0	0	0	0	Sin operación
0	0	0	1	Escribe el registro de entrada n (dependiente de LDAC)
0	0	1	0	Actualiza el registro del DACn con contenido del registro de entrada n
0	0	1	1	Escribe y actualiza el canal del DACn
0	1	0	0	Apaga/enciende el DAC
0	1	0	1	Registro de mascara LDAC
0	1	1	0	Reseteo de software (power on reset)
0	1	1	1	registro de configuración de la referencia interna
1	0	0	0	Configuración del registro DCEN (daisy chain enable)
1	0	0	1	Configuración del registro de readback
1	0	1	0	Reservado
				Reservado
1	1	1	1	Sin operación

Tabla 2. Comandos de Dirección del DAC

DIRECCION (n)				CANAL DEL DAC SELECCIONADO
DAC D	DAC C	DAC B	DAC A	
0	0	0	1	DAC A
0	0	1	0	DAC B
0	1	0	0	DAC C
1	0	0	0	DAC D
0	0	1	1	DAC A Y DAC B
1	1	1	1	TODOS LOS DACs

La secuencia de escritura comienza mandando un bajo a la línea de SYNC. La Data desde SPIN es registrada en los 24 bits del registro de entrada en los flancos de bajada del SCLK. Luego de que el último de los 24 bits de datos es registrado, la entrada SYNC debería ser llevada a alto. Después la función programada es ejecutada, que es un cambio en el contenido del registro del DAC y/o un cambio en el modo de operación dependiente de LDAC. Si el pin SYNC es llevado a alto en un tiempo anterior, al tiempo 24, la trama será considerada válida y una data invalida puede ser cargada al DAC. El pin SYNC debe ser llevado a alto, por un mínimo de 20 nseg (canal solo) antes de la siguiente secuencia de escritura para que el flanco de bajada de SYNC pueda iniciar la siguiente secuencia de escritura. SYNC debería estar desactivado entre secuencias de escritura para obtener una operación de menos potencia en el chip. El pin SYNC es mantenido en bajo por 24 flancos de bajada del SCLK y el DAC es actualizado en el flanco de subida de SYNC.

Cuando la data ha sido transferida al registro de entrada del DAC direccionado, todos los registros y salidas del DAC pueden ser actualizados llevando a bajo el pin LDAC mientras el pin SYNC es mantenido en alto.

Comandos de Escritura y Actualización:

1.- Escribir al registro de Entrada n (dependiendo de LDAC): el comando 0001 permite al usuario escribir a cada registro de entrada individualmente. Cuando LDAC es bajo, el registro de entrada es transparente (si no es controlado por el registro enmascarado de LDAC)

2.- Actualizar el registro n del DAC con contenido del registro de entrada n: el comando 0010 carga al registro del DAC salidas con el contenido del registro de entrada seleccionado y actualiza las salidas del DAC directamente.

3.- Escribir y actualizar el canal n del DAC (independiente de LDAC: el comando 0011 permite al usuario escribir a los registros del DAC y actualizar las salidas directamente.

Operación de Apagado:

El AD5686R contiene tres modos separados de apagado. El comando 0100 está designado para la función de apagado. Estos modos de apagado son programados por software ajustando 8 bits del bit DB7 al bit DB0, en el registro de entrada. Hay dos bits asociados con cada canal del DAC. A continuación se presenta una tabla que muestra cómo el estado de los 2 bits corresponde al modo de operación del dispositivo:

Tabla 3. Modos de Operación de Apagado del DAC

MODO DE OPERACIÓN	PDx1	PDx0
Operación Normal	0	0
MODO DE APAGADO		
1k a Tierra	0	1
100k a Tierra	1	0
Estado	1	1

Cualquiera o todos los DACs (DAC A al DAC D) pueden ser apagados en el modo seleccionado configurando los bits correspondientes.

Tabla 4. Configuración del Registro de Entrada en el Modo de Apagado

DB2 3	DB2 2	DB2 1	DB2 0	DB19 AL DB16	DB15 AL DB8	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	0	0	X	X	PDD 1	PDD 0	PDC 1	PDC 0	PDB 1	PDB 0	PDA 1	PDA 0
BITS DE COMANDO (C3 A CO)	BITs DE DIRECCION					SELECCIÓN DE APAGADO DACD	SELECCIÓN DE APAGADO DACC	SELECCIÓN DE APAGADO DACB	SELECCIÓN DE APAGADO DACA				

La x significa que no importan

Cuando PDx1 y PDx0 (donde x es el canal seleccionado) en el registro de entrada son puestos en 0, el dispositivo trabajará normalmente con un consumo de 4 mA a 5V. Sin embargo, para los tres modos de apagado, la corriente baja de 4uA a 5V. No solo baja la corriente, la etapa de salida es internamente cambiada de la salida del amplificador a una red de resistencias de valores conocidos. Esto tiene la ventaja de que la impedancia de salida del dispositivo es conocida mientras que el dispositivo está en modo de apagado. Hay tres opciones diferentes de apagado. La salida es conectada internamente a tierra a través de la resistencia de 1k o la resistencia de 100k, o es dejada abierta. (Ver Grafico 17)

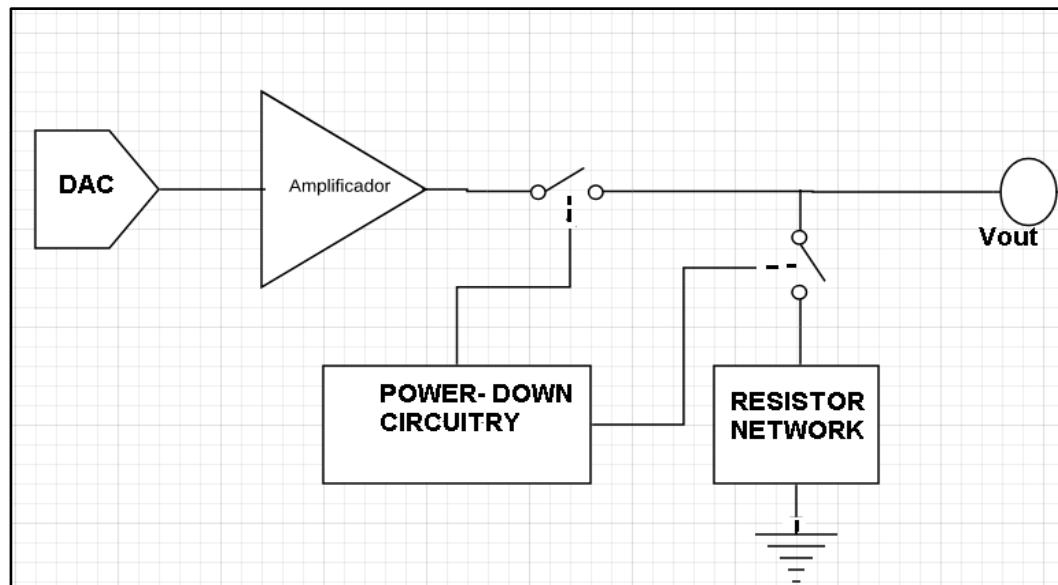


Gráfico 17. Etapa de Salida del DAC durante el apagado.

El generador de “bias”, el amplificador de salida, la cadena de resistencias y otros circuitos lineales asociados son apagados cuando el modo de apagado es activado. Sin embargo, los contenidos del registro del DAC no son afectados cuando está en Power-down. El registro del DAC puede ser actualizado mientras el dispositivo está en modo Power-down. El tiempo requerido para salir de este modo es típicamente 4,5 useg para un Vdd de 5V. Para reducir el consumo de corriente aun más, la referencia interna puede ser apagada.

Carga al DAC (PIN Hardware LDAC)

El DAC AD5686R tiene una interfaz de doble buffer consistiendo en 2 bancos de registros: los registros de entrada y los registros DAC. El usuario puede escribir a cualquier combinación de los registros de entrada. Las actualizaciones al registro DAC son controlados por el PIN LDAC.

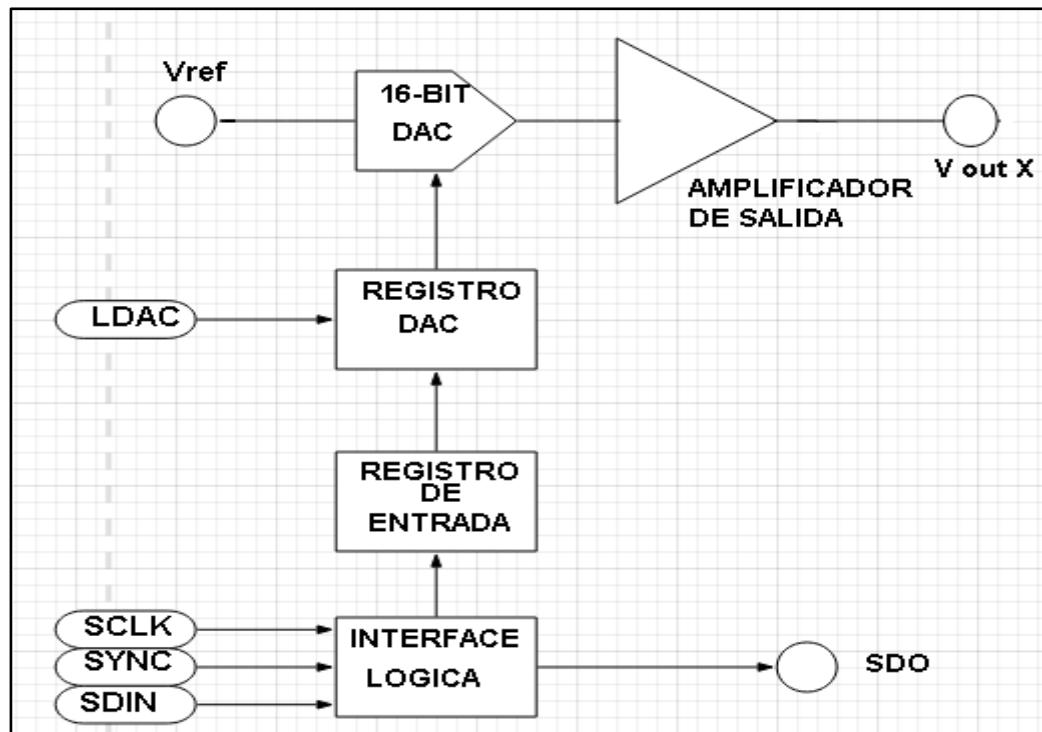


Gráfico 18. Diagrama Simplificado de circuitos de carga de entrada para un solo DAC

Para la actualización Instantánea del DAC (manteniendo LDAC bajo): La data es registrada usando el comando 0001. El registro de entrada direccionado y el registro DAC son actualizados en el flanco de subida de SYNC y la salida comienza a cambiar. Para la actualización diferida del DAC el LDAC es mantenido en alto mientras la data es registrada en el registro de entrada usando el comando 0001.

Todas las salidas del DAC son asíncronamente actualizadas llevando LDAC a bajo después que SYNC ha sido llevado a alto. La actualización ocurre en el flanco de bajada de LDAC.

Tabla 5. Comandos de Escritura y Tabla de la verdad de LDAC

COMANDOS	DESCRIPCION	HARDWARE LDAC Pin State	INPUT REGISTER CONTENTS	DAC REGISTER CONTENTS
0001	Escritura en el registro de entrada n (dependiente de LDAC)	Vlogic GND	DATA UPDATE DATA UPDATE	NO CHANGE NOUPDATE DATA UPDATE
0010	Actualización del registro DAC n contenido del registro de entrada n	Vlogic	NO CHANGE	UPDATE WITH INPUT REG CONTENT
		GND	NO CHANGE	UPDATE WITH INPUT REG CONTENT
0011	Escritura y actualización del canal n del DAC	Vlogic GND	DATA UPDATE DATA UPDATE	DATA UPDATE DATA UPDATE

NOTA: Una transición de alta a bajo en el pin LDAC siempre actualiza el contenido del registro DAC con el contenido del registro de entrada en los canales que no son enmascarados (bloqueados) por el registro de máscara del LDAC. Cuando LDAC está permanentemente conectado a bajo, los bits de la máscara LDAC son ignorados.

Reset por Hardware (RESET)

Es un reinicio activo en bajo que permite a las salidas ser limpiadas a la escala cero o media escala. El valor del código de borrado es seleccionado por el usuario a través del pin de RESET. Es necesario mantener RESET en bajo por un monto mínimo de tiempo para completar la operación. Cuando la señal de RESET vuelve a alto, la salida se mantiene en su valor de reseteo hasta que nuevos valores sean programados. Las salidas no pueden ser actualizadas con un nuevo valor mientras el pin RESET está en bajo. También existe una función de reseteo ejecutable mediante software que resetea el DAC a un código power on reset. El comando 0110 esta designado para esta función de reseteo. Cualquier evento en LDAC durante un reseteo por software será ignorado. Si el pin de RESET es mantenido en bajo en el encendido, el dispositivo no se inicializa correctamente hasta que el pin no es soltado (Llevado a alto).

PIN Selector de Reseteo (RSTSEL)

El AD5686R contiene un circuito power-on-reset que controla la salida de voltaje durante el encendido. Conectando el pin RSTSEL a bajo, la salida arranca en la escala cero. Se puede notar que esta fuera de la región lineal del DAC; conectando el pin RSTSEL en alto, Vout enciende en mitad de escala. La salida se mantiene encendida a este nivel hasta que una secuencia de escritura válida es recibida por el DAC.

Configuración de la referencia interna

La referencia interna está activada por defecto. Para reducir el consumo de corriente, esta referencia puede ser apagada configurándose vía software, en el registro de control. (Ver Tabla 6)

Tabla 6. Registro de Configuración de la Referencia interna

REGISTRO DE CONFIGURACIÓN DE LA REFERENCIA INTERNA	
Referencia Interna (DB0)	ACCIÓN
0	Referencia encendida (por defecto)
1	Referencia Apagada

Tabla 7. Registro de entrada de 24 bits para la configuración de la referencia interna por comandos

DB23	DB22	DB21	DB20	DB19	DB18	DB17	DB16
0	1	1	1	X	X	X	X
BITS DE COMANDO (C3 A C0)				BITS DE DIRECCIÓN (A2 A a0)			

NOTA: el comando 0111 está reservado para configurar la referencia interna.

El Raspberry Pi modelo 3B+ es un ordenador de placa simple (SBC) de bajo costo desarrollado por la Raspberry Pi Foundation. El software es de código abierto, siendo su sistema operativo oficial una versión adaptada de Debian, denominada Raspbian Pi OS, permite usar otros sistemas operativos, incluido una versión de Windows 10. En todas sus versiones, incluye un procesador Broadcom, memoria RAM, GPU, puertos USB, HDMI, Ethernet, 40 pines GPIO y un conector para cámara. Ninguna de sus ediciones incluye memoria, siendo esta en su primera versión una tarjeta SD y en ediciones posteriores una tarjeta MicroSD. (Ver Grafico 19).

El Raspberry Pi está equipado con un bus SPI que tiene dos selecciones de chip. El driver del puerto SPI está deshabilitado por defecto en el sistema operativo. Para habilitarlo se usará raspi-config.



Grafico 19. Modelo del Raspberry Pi 3 B+

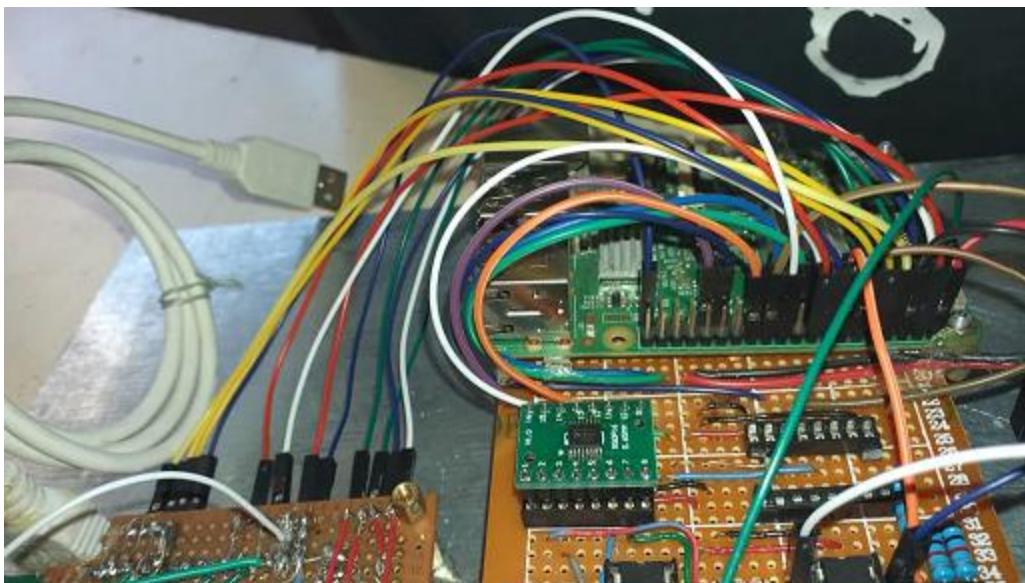


Grafico 20. Montaje del Panel del Modulo Conversor MIDI/CV

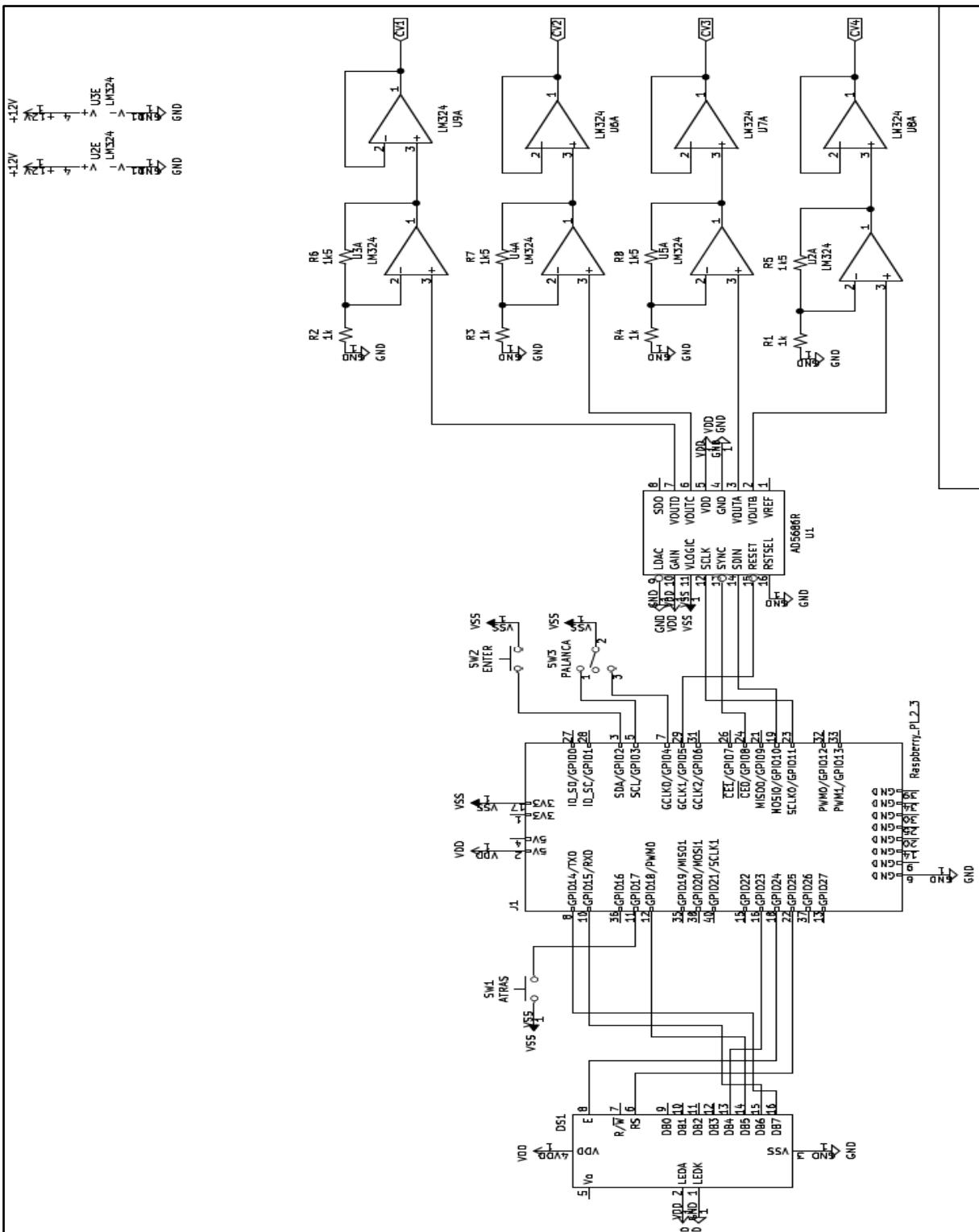


Grafico 21. Diseño del circuito MIDI/CV

Diseño del Software

Con el dispositivo hardware ya en funcionamiento, el primer paso en cuanto al software es seleccionar las librerías del proyecto que van a facilitar la escritura del código. El lenguaje utilizado para este módulo del proyecto es Python porque tiene las librerías necesarias para el desarrollo del mismo.

Librerías utilizadas:

Multiprocessing: Usada en conjunto con numpy para ejecutar un proceso en paralelo que se encargue de ejecutar la función mediante la que se obtiene el vibrato cada vez que este sea activado, por medio del Modulation Wheel del controlador.

Threading: Usada en conjunto con udev para obtener recurrentemente información sobre los eventos que acontecen en el puerto usb en un subhilo de esta forma podemos saber cuando un controlador ha sido conectado o desconectado.

Mido - MIDI Objects for Python: usada para obtener los mensajes MIDI del controlador conectado al puerto usb y usarlo como objeto en el programa de conversión.

Python Spidev: usada para comunicar el Raspberry Pi con el AD5686R vía SPI.

RPi.GPIO: librería usada para controlar los pines del puerto GPIO del Raspberry Pi.

Código del Programa

Módulos:

midicontroller.py:

```
class Midicontroller:
```

```
    def __init__(self, fnc):
```

```
        self._fnc = fnc
```

```
        self._inport = "
```

```
        self._controller = "
```

```
        self._connected = False
```

```
    def __call__(self,*args):
```

```
        connect,midiman,usb = self._fnc()
```

```
        self._inport = connect
```

```
        self._controller = midiman
```

```
        self._connected = usb
```

```
        return (connect,midiman,usb)
```

```

def import(self):
    return self._import

def controller(self):
    return self._controller

def connected(self):
    return self._connected

```

@Midicontroller

```

def getmidicontroller():
    try:
        puertos = mido.get_input_names()
        if len(puertos) > 1:
            controller = puertos[1]
            midiman = controller.split(':',1)[0]
            ...

```

Esta clase es usada para obtener el controlador como objeto midi e instanciarlo abriendo un puerto. Retorna tres propiedades:

Inport: Este es el puerto de entrada MIDI

controller: Nombre del controlador MIDI conectado

connected: Propiedad Booleana que indica si en efecto se ha realizado una conexión.

usbdetect.py:

```
import threading

import pyudev

import settings

from time import sleep


counta=0

countr=0


class USBDetector():

    """ Monitor udev for detection of usb """

    def __init__(self):

        """ Initiate the object """

        thread = threading.Thread(target=self._work)

        thread.daemon = True

        thread.start()
```

```

def _work(self):

    global counta

    global countr

    global midicontroller

    """ Runs the actual loop to detect the events """

    self.context = pyudev.Context()

    self.monitor = pyudev.Monitor.from_netlink(self.context)

    self.monitor.filter_by(subsystem='usb')

    self.monitor.start()

    for device in iter(self.monitor.poll, None):

        if device.action == 'add'...

```

Clase usada como un monitor para la detección de eventos en el puerto USB.

pitodac.py:

```

import RPi.GPIO as GPIO

import spidev

"""

SPI SETUP"""

spi = spidev.SpiDev()

```

```
spi.open(settings.bus, settings.device)
```

```
spi.max_speed_hz = 50000000
```

```
spi.mode = 0b01
```

```
get_bin = lambda x, n: format(x, 'b').zfill(n)
```

```
def sendcv(valor,direccion):
```

```
    """
```

Convert the values from the VCO dict to bin.

Set the 24-bit of data to send to DAC.

Send the data through pi SPI Port"

Args:

valor ([int]): [value of the note to be sended]

direccion ([bin]): [address of the DAC channel through valor will be sended]

```
    """
```

```
valor = get_bin(valor,16)
```

```
MSB = int(valor[:8], 2)
```

```
LSB = int(valor[8:], 2)
```

```
to_send = [direccion, MSB, LSB]  
  
spi.writebytes(to_send)
```

Función usada para enviarle los valores a convertir al DAC. Recibe dos argumentos y convierte los valores de los mismos en una cadena de 24 bits para posteriormente enviarla a través del puerto SPI al canal del DAC seleccionado. Estos argumentos son:

valor: es el valor que el DAC convertirá en voltaje analógico. Tiene un resolución de 0 a 65535 y es una variable de tipo int.

dirección: dirección del canal del DAC al que se enviará el valor y es una variable de tipo int.

display.py:

```
import RPi.GPIO as GPIO  
  
from Adafruit_CharLCD import Adafruit_CharLCD
```

```
lcd = Adafruit_CharLCD(  
  
    rs = 25,  
  
    en = 24,  
  
    d4 = 23,  
  
    d5 = 18,  
  
    d6 = 15,  
  
    d7 = 14,  
  
    cols = 2,
```

```
lines = 16)
```

```
def printlcd(mensaje):
```

```
    """
```

```
        Send a message to the LCD
```

Args:

 mensaje ([String]): [This is the message to be showed in the LCD, it must
 be 16 char max]

```
    """
```

```
lcd.clear()
```

```
lcd.message(mensaje)
```

```
return()
```

Función usada para escribir mensajes en la pantalla LCD de 16x2. Recibe un argumento:

 mensaje: variable de tipo String con un máximo de 32 caracteres.

settins.py:

```
import pickle
```

```
def init():
```

global selector

selector = "

global import

import = "

global midicontroller

midicontroller = False

global controller

controller = "

global vco

vco = "

global msg

global backflg

backflg = False

```
global count
```

```
count = 0
```

```
global helptune_list
```

```
helptune_list =[
```

```
'Select the \nVCO Channel',
```

```
'Use an external\tuner like ->',
```

```
'Vocal Pitch \nMonitor. ->',
```

```
'Press C3 on the\nController ->',
```

```
'use the knobs \ntune in panel->',
```

```
'press enter to\nstart',
```

```
'use up or down \narrows to tune',
```

```
'activate guide'
```

```
]
```

```
global backmessage_list
```

```
backmessage_list =[
```

```
'Exit tune mode?',
```

```
]
```

```
global backmessage
```

```
backmessage = "
```

```
global helper
```

```
with open('/home/pi/Desktop/SAM17/helper.pickle', 'rb') as handle:
```

```
    helper = pickle.load(handle)
```

```
global menup_list
```

```
menup_list = ['Tune','Mode','Help']
```

```
global menuc_list
```

```
menuc_list = ['VCO1','VCO2','VCO3']
```

```
global menuh_list
```

```
menuh_list = ['Documentation','Guide','Update','About']
```

```
global modos
```

```
modos = ['standart','tune','glide','arp','step sequencer']
```

global modo

modo = modos[0]

global notaafinar

notaafinar = 0

#BUTTONS

global back

back = 16

global enter

enter = 26

global up

up = 4

global down

down = 17

global note_res

note_res = 460

global pitch_max

pitch_max = 8192

global pitch_min

pitch_min = -8192

global semitonepitch

semitonepitch = 2 #This value can change

global pitchcalc

pitchcalc = semitonepitch * note_res

global bus

bus = 0

global device

device = 1

global reset

reset = 6

global gate

gate = 27

global direcciones

direcciones = {

1 : 0x11,

2 : 0x12,

3 : 0x14,

4 : 0x18

}

global valor

valor = 0

global pitchbend

pitchbend = 0

```
global notas
```

```
with open('/home/pi/Desktop/SAM17/notes.pickle', 'rb') as handle:
```

```
    notas = pickle.load(handle)
```

```
global VCOS
```

```
with open('/home/pi/Desktop/SAM17/afinacion.pickle', 'rb') as handle:
```

```
    VCOS = pickle.load(handle)
```

Este es un módulo usado para cargar todas las configuraciones del programa.

buttons.py:

```
GPIO.setup(settings.enter, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
```

```
GPIO.setup(settings.back, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
```

```
GPIO.setup(settings.up, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
```

```
GPIO.setup(settings.down, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
```

```
GPIO.add_event_detect(settings.enter, GPIO.FALLING,
```

```
    callback=entro, bouncetime=400)
```

```
GPIO.add_event_detect(settings.back, GPIO.FALLING,
```

```
    callback=atras, bouncetime=400)
```

```
GPIO.add_event_detect(settings.up, GPIO.FALLING,
```

```
callback=arriba, bouncetime=400)
```

```
GPIO.add_event_detect(settings.down, GPIO.FALLING,
```

```
callback=abajo, bouncetime=400)
```

Código de Configuración de los botones y llamados a sus funciones callback.

Modo de Ejecución Estándar

```
if settings.modo == settings.modos[0] and settings.midicontroller:
```

```
    msg = settings.inport.receive(block=False)
```

```
    if msg:
```

```
        if msg.type == 'note_on' and 35 < int(msg.note) < 109:
```

```
            if not first:
```

```
                first = True
```

```
            elif first and not second:
```

```
                second = True
```

```
            elif second and not third:
```

```
                third = True
```

```
            elif third and not four:
```

```
                four = True
```

```
            elif four and not five:
```

```
                five = True
```

```
            elif five and not six:
```

```

six = True

elif six and not seven:

    seven = True

elif seven and not eight:

    eight = True


valor      =      settings.VCOS['VCO1'][int(msg.note)]      +
int(settings.pitchbend)

direccion = settings.direcciones[3]

sendcv(valor,direccion)

valor      =      settings.VCOS['VCO2'][int(msg.note)]      +
int(settings.pitchbend)

direccion = settings.direcciones[2]

sendcv(valor,direccion)

GPIO.setup(settings.gate, GPIO.LOW)

GPIO.setup(settings.gate, GPIO.HIGH)

elif msg.type == 'note_off':

    if eight:

        eight = False

    elif not eight and seven:

        seven = False

```

```
elif not seven and six:  
    six = False  
  
elif not six and five:  
    five = False  
  
elif not five and four:  
    four = False  
  
elif not four and third:  
    third = False  
  
elif not third and second:  
    second = False  
  
elif not second and first:  
    first = False  
  
    GPIO.setup(settings.gate, GPIO.LOW)  
  
  
if msg.type == 'pitchwheel':  
    pitchbend = settings.pitchcalc*int(msg.pitch)/settings.pitch_max  
    valorpitch = settings.valor + int(pitchbend)  
    sendcv(valorpitch,settings.direcciones[3])  
    sendcv(valorpitch,settings.direcciones[2])
```

Este es un algoritmo FIFO usado en un ciclo while True para la detección de eventos MIDI, básicamente lo que el algoritmo hace es revisar constantemente el puerto import en la espera de que un evento MIDI sea recibido.

Si detecta que un evento MIDI ha sido recibido identifica el tipo de evento y se trata de una nota en el rango de notas habilitado, busca en el diccionario de cada VCO su valor y lo envía al DAC a través de la función de transmisión sendcv y manda un alto a la salida GATE.

Si el evento que recibe indica que la nota ha sido liberada manda un bajo a la salida GATE.

En este modo de ejecución el conversor generará un comportamiento monofónico en todo el sistema.

Modo de Afinación:

```
if settings.modo == settings.modos[1] and settings.midicontroller:
```

```
    msg = settings.inport.receive(block=False)
```

```
    if msg:
```

```
        if msg.type == 'note_on' and 35 < int(msg.note) < 109:
```

```
            valor      =      settings.VCOS['VCO1'][int(msg.note)]      +
            int(settings.pitchbend)
```

```
            direccion = settings.direcciones[3]
```

```
            sendcv(valor,direccion)
```

```
            valor      =      settings.VCOS['VCO2'][int(msg.note)]      +
            int(settings.pitchbend)
```

```

direccion = settings.direcciones[2]

sendcv(valor,direccion)

GPIO.setup(settings.gate, GPIO.LOW)

GPIO.setup(settings.gate, GPIO.HIGH)

elif msg.type == 'note_off':

    GPIO.setup(settings.gate, GPIO.LOW)

try:

    if msg.note == 60 and settings.selector != 'afinando+':

        mensaje = 'Push enter when\nC3 gets in tune'

        printlcd(mensaje)

        settings.selector = 'afinacionc3'

    if settings.selector == 'afinando+' and 35 < int(msg.note) < 109:

        settings.notaaafinar = msg.note

        mensaje = f"  Tuning {settings.notas[msg.note]}"

        printlcd(mensaje)

except AttributeError as error:

    pass

```

Este modo repite la función del primer modo e incorpora unas opciones que con la ayuda de los botones y un afinador externo permiten ajustar los valores de configuración de la nota en el diccionario del VCO a afinar.

Módulo de alimentación

Una fuente de alimentación regulada fue diseñada como solución para brindarle los voltajes de entrada necesarios al sistema.

Se recomienda usar un transformador de 2000 mA 12VAC para conectar el módulo a la corriente eléctrica.

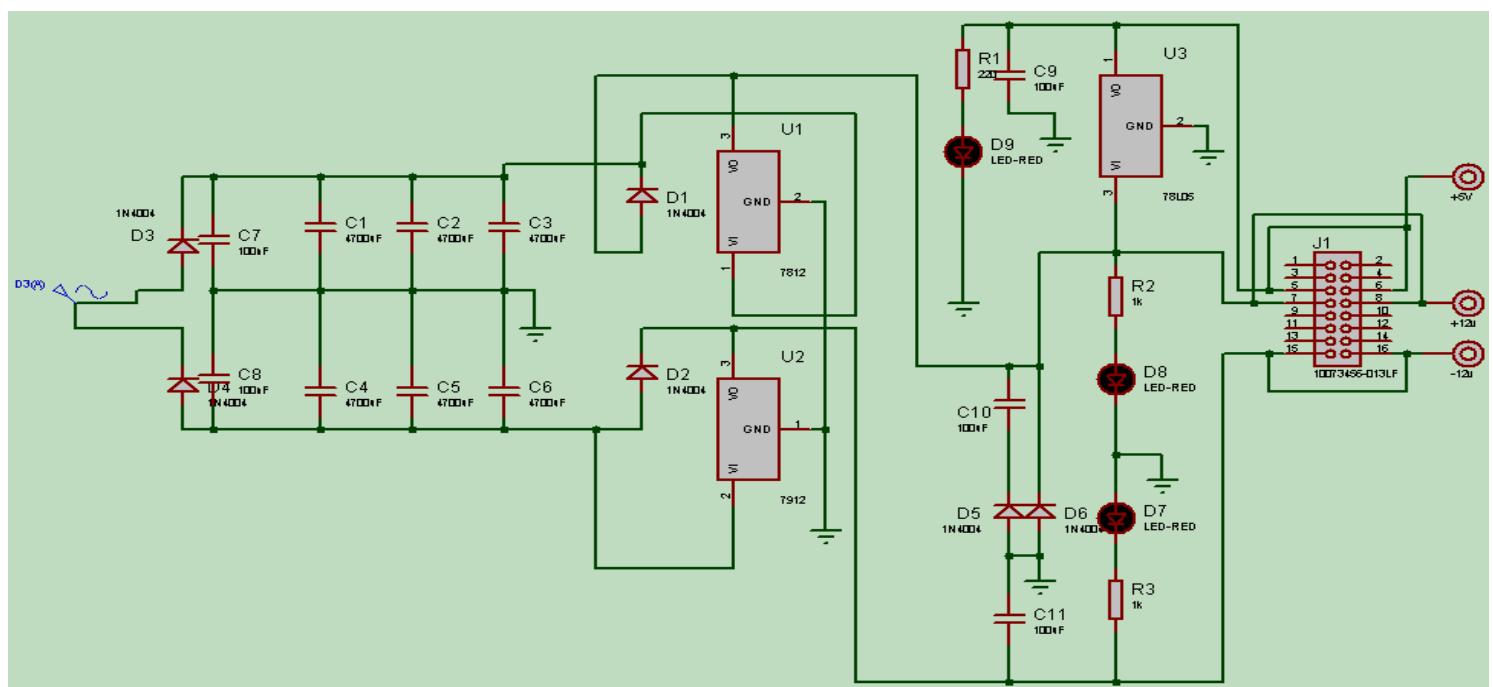


Gráfico 22. Diseño del módulo de alimentación.

Las salidas de alimentación, son 5v, 12v y -12v. Las salidas de este circuito están conectadas en un bus para ser distribuidas por todo el sistema.

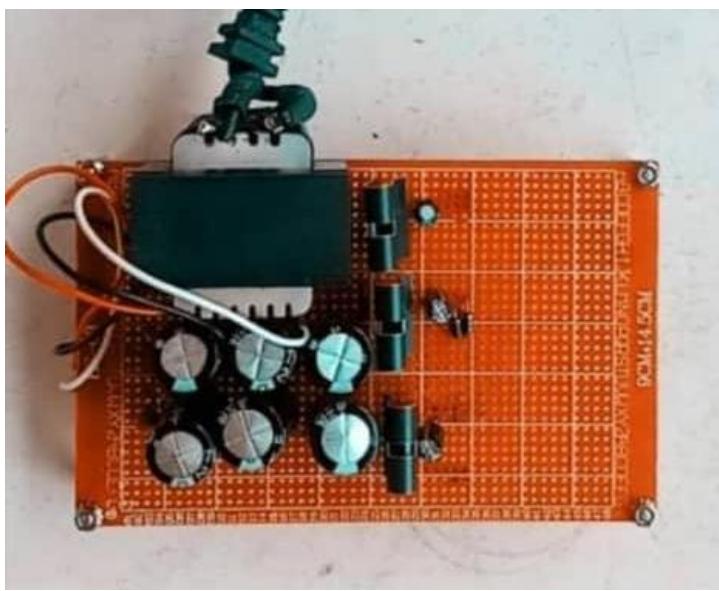


Gráfico 23. Circuito de Alimentación

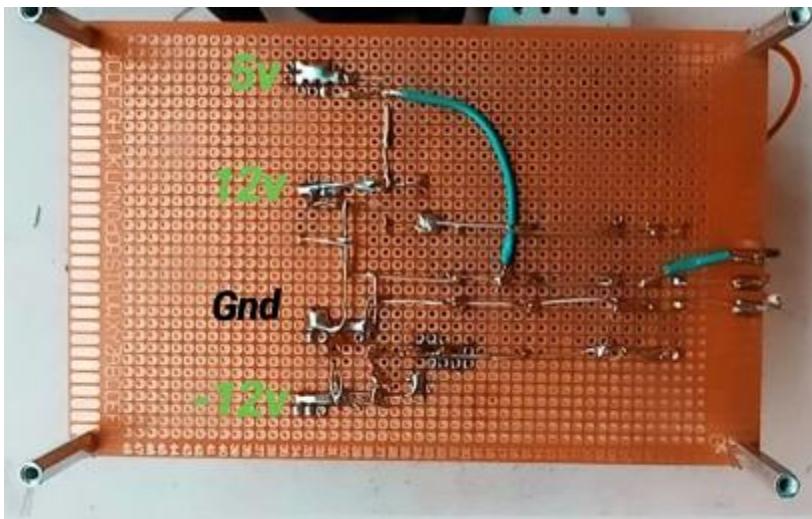


Gráfico 24. Reverso de la placa del Circuito de Alimentación

Modulo de CVO (Oscilador)

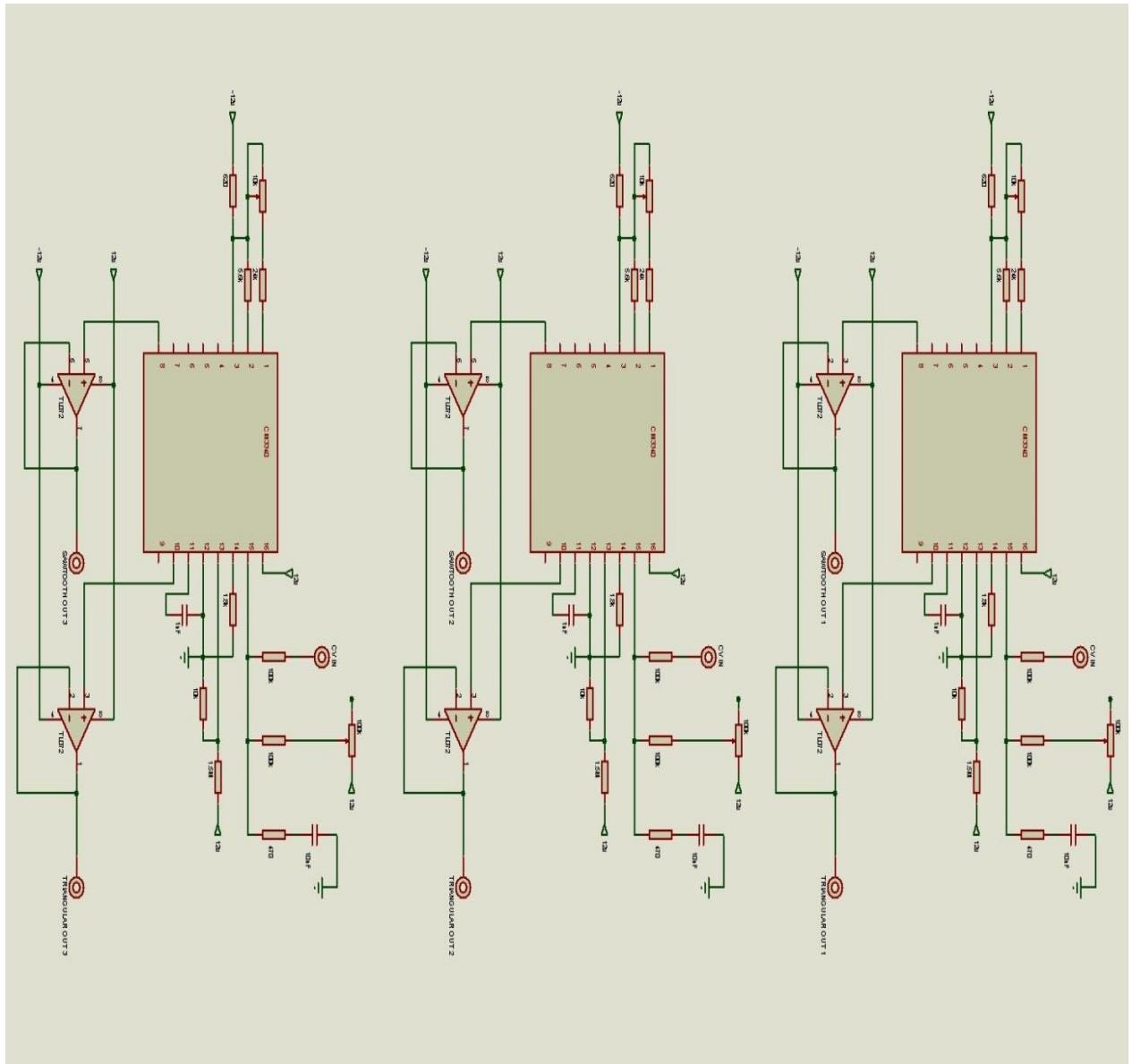


Grafico 25. Diseño de Módulo de VCO (Oscilador)

Diseño del módulo de VCO.

En este módulo se integrará la función que generará las señales de sonido del sintetizador. Consta de 3 osciladores CEM3340 capaces de generar 3 tipos de onda: onda de sierra y onda triangular y onda cuadrada. El CEM3340 trabaja con el estándar CV, de esta forma, recibe de entrada un voltaje de 0-12V que le indica la frecuencia a la que debe oscilar. Este circuito oscilador se escogió por ser el mismo que se emplea en el sintetizador PROPHET 5. Posee un control para ajustar el ancho de la onda de pulso VCO. Este varía de aproximadamente el 2% en la posición completa en sentido antihorario hasta aproximadamente el 98% en la posición completa en sentido horario. En la posición media se emite una onda cuadrada. El ancho de pulso o ciclo de trabajo de una onda de pulso determina su contenido armónico. Cada ancho de pulso tiene su propio sonido característico, porque cada ancho tiene una estructura armónica única. Esto hace una amplia variedad de timbres básicos posibles. Entre algunas de sus funciones, el control de ancho de pulso se puede usar para imitar el sonido de cuerdas ensambladas y espesar los sonidos graves. (Ver Grafico 25)

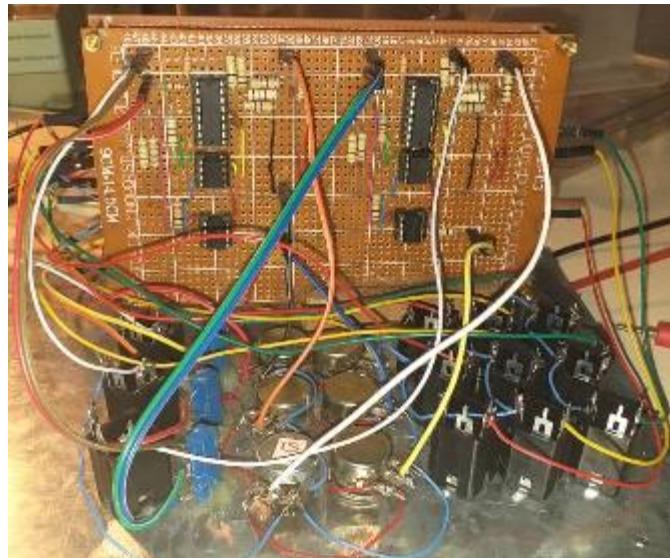


Grafico 26. Montaje del Panel del Modulo VCO al Panel

Módulo MIXER (Mezclador de VCOs)

El mezclador se integra al módulo de VCOs para entregar una única salida de señal a los demás módulos y consta de un circuito sumador con amplificadores operacionales. Los potenciómetros en las entradas de los VCOs fueron diseñados para adecuar los volúmenes de cada una de las señales por separado, de esta forma se puede acondicionar la señal de salida a gusto del usuario del Sintetizador. (Ver Grafico 27)

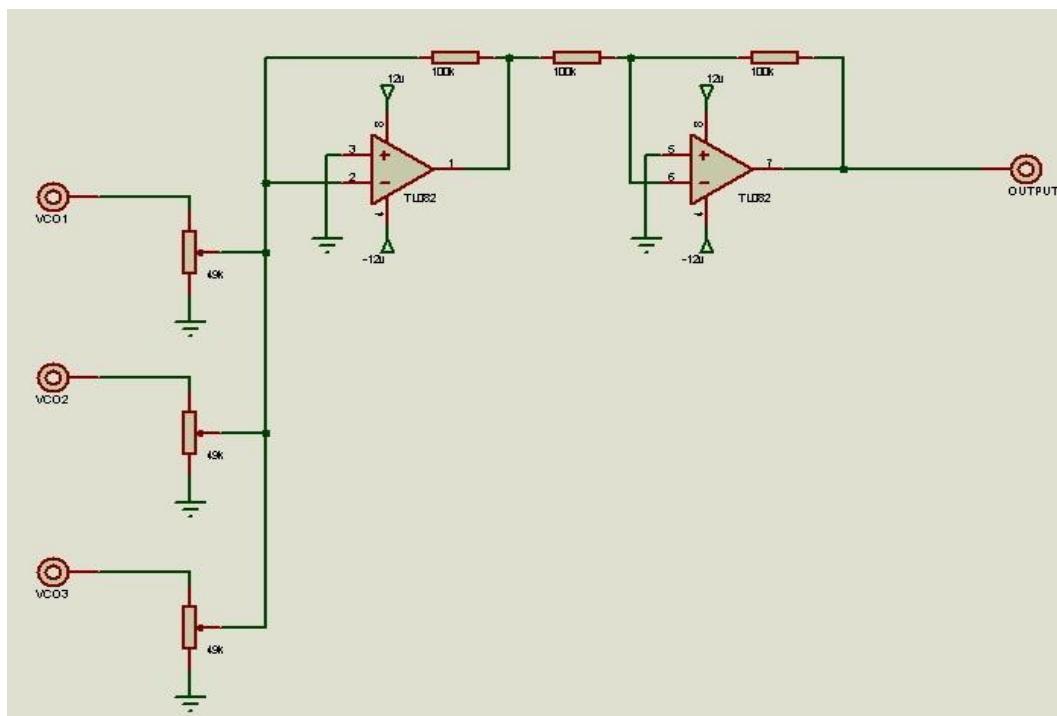


Gráfico 27. Diseño del módulo mezclador de VCOs.

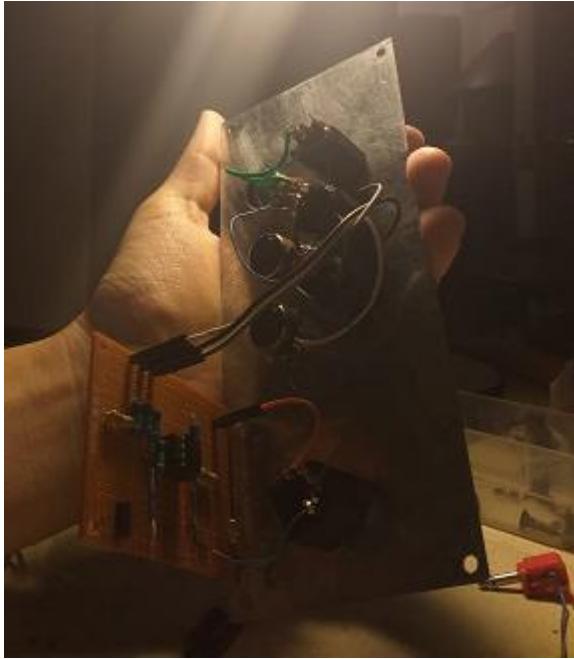


Gráfico 28. Montaje del Panel del Módulo Mezclador

Módulo VCF (Filtro Activo Pasa Bajo)

Un filtro pasa bajo (LPF) es un filtro que permite el paso de señales con una frecuencia menor que la seleccionada (frecuencia de corte) y atenúa las señales con frecuencias mayores.

Filtro OTA: Un filtro OTA es un circuito de filtro controlado por voltaje que usa amplificadores operacionales de transconductancia, o OTAs, como elementos de control y procesamiento. El circuito depende de una propiedad del OTA, que es la que hace que cuando cambia la corriente de polarización, también cambia su transconductancia, lo que permite al OTA ser usado como una resistencia controlada por voltaje. Éste es usado como la resistencia en un circuito de filtro básico R – C, y así, usando un voltaje de control para variar la transconductancia del OTA, la constante de tiempo R – C, y por lo tanto la frecuencia de corte pueden ser variadas.

El filtro OTA, posee características sonoras diferentes a los filtros usados con transistores, además, tiene la ventaja de ser inherentemente resistente a la alimentación del control de voltaje. Es por esto que se escogió desarrollar un filtro OTA pasa bajo basado en el filtro pasa bajo del sintetizador MS-20 del fabricante KORG.

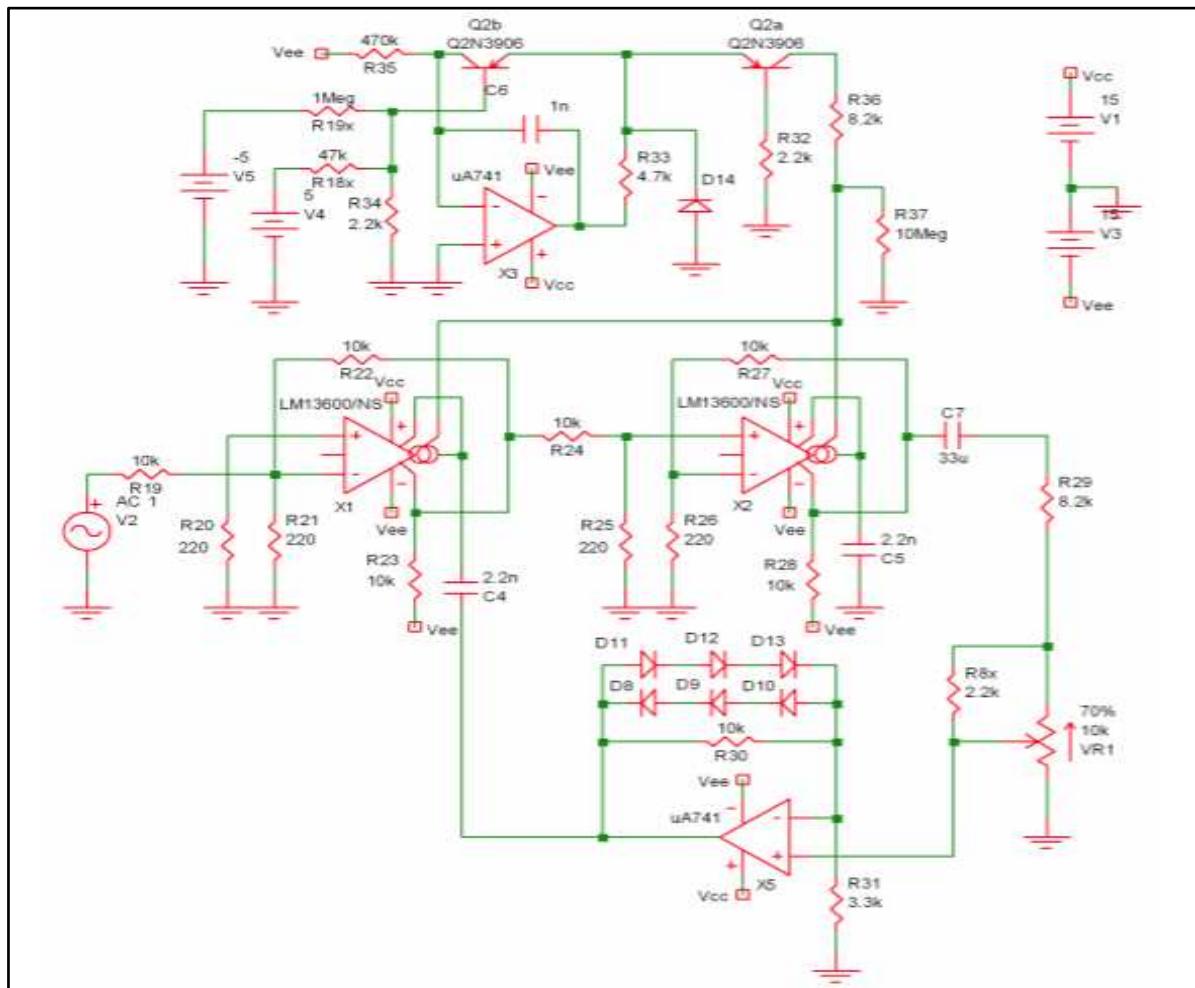


Gráfico 29. Esquemático del Filtro Pasa Bajo del Sintetizador KORG MS-20

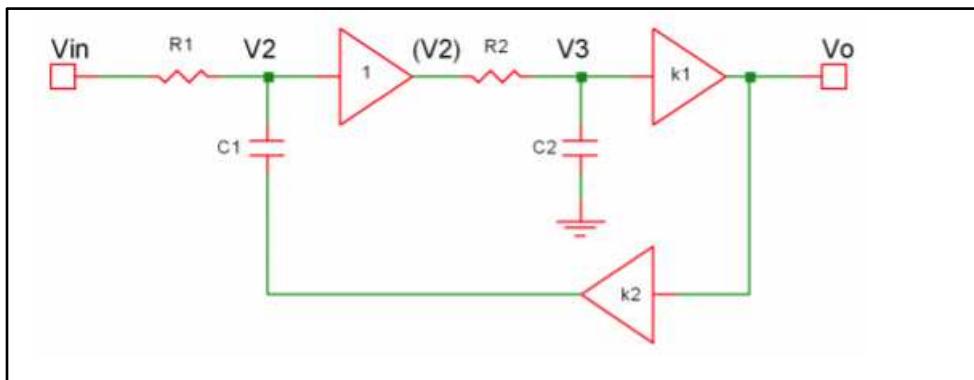


Gráfico 30. Estructura Básica de un Filtro OTA

La figura 30 muestra la estructura básica de un filtro basado en un OTA, que es un poco difícil de ver debido al uso de los OTA y de la circuitería de soporte. En la figura R1 y R2, representan el rol de resistencias variables realizado por los OTA (X1 y X2 en el plano circuital del Filtro del MS-20); la ganancia K1 es básicamente el búfer en la salida del OTA X2; la ganancia K2 es $R8X / VR1$ y el amplificador operacional no inversor X5. La inclusión del búfer de ganancia de unidad en la salida del primer OTA (X1) hace que no existan efectos de carga de la segunda etapa del filtro sobre la primera.

El equivalente al setup del OTA, en una sección simple de RC no es inmediatamente obvio, pero con suficiente intuición y experiencia con OTA's es posible establecer rápidamente que hace el circuito. Ésto representa un desafío en el desarrollo del proyecto, ya que los OTA son componentes muy específicos. Lo que haremos para resolver esta dificultad es recurrir a las matemáticas.

Considerando la siguiente situación:

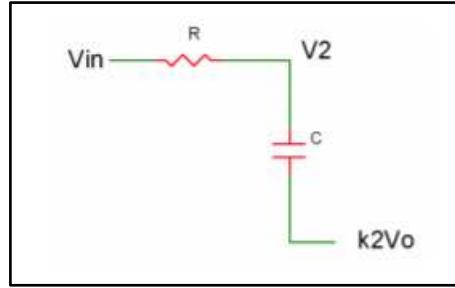


Gráfico 31. Configuración RC

En la que requerimos una expresión para V_2 en términos de V_{IN} y V_O . Por análisis nodal ($I_{IN} = I_{OUT}$) en el nodo V_2 , tenemos:

$$(1) \quad \frac{V_{in}}{R} + k_2 V_o s C = \frac{V_2}{R} + V_2 s C,$$

Luego:

$$V_{in} + k_2 V_o s C R = V_2 + V_2 s C R,$$

Lo que fácilmente nos lleva a:

$$V_2 \left(1 + \frac{s}{\omega_c} \right) = V_{in} + k_2 V_o \frac{s}{\omega_c}$$

(2)

Colocando $\omega_c = 1 / RC$. Si C fuese conectado a tierra, $V_O = 0$, esto genera la función de transferencia de paso bajo de primer orden:

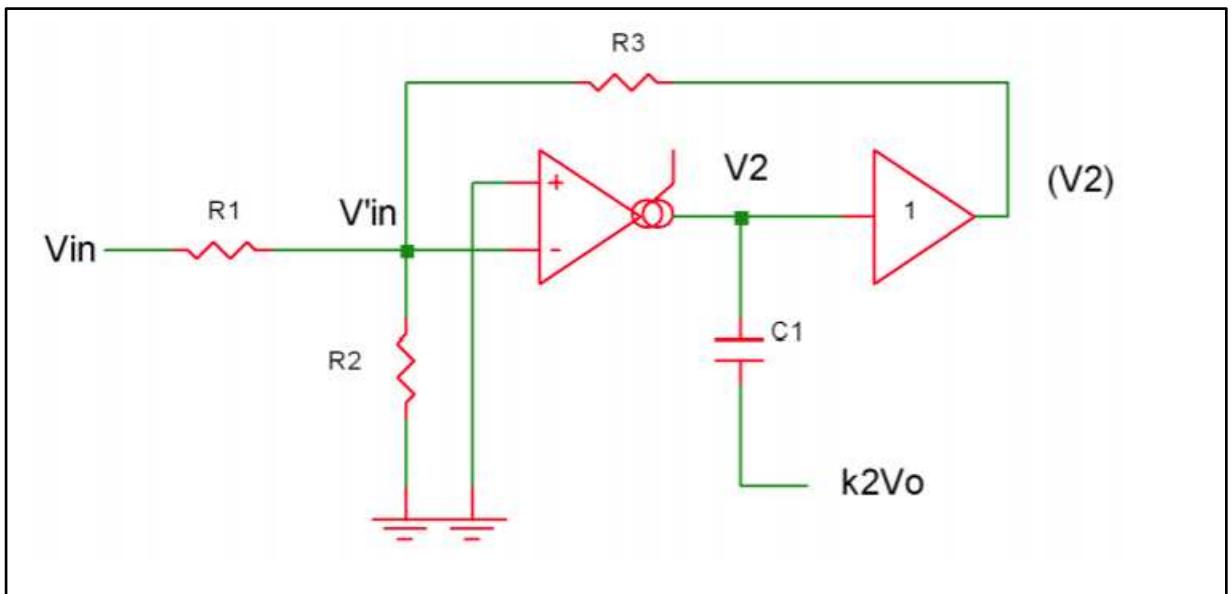


Gráfico 32. Representación Diagramada de la primera etapa del OTA

Ahora consideremos la representación diagramada de la primera etapa del OTA:

El análisis nodal de $V'in$ nos da:

$$\frac{V_{in}}{R_1} + \frac{V_2}{R_3} = V'_{in} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right),$$

Y para $R_1 = R_3$:

$$V_{in} + V_2 = V'_{in} \left(2 + \frac{R_1}{R_2} \right),$$

Que simplificado da:

$$V'_{in} = k(V_{in} + V_2)$$

Donde $k = R_2 / R_1$ cuando R_1 es mayor a R_2 . De la expresión estándar para un OTA y con lo como corriente de salida del OTA, tenemos:

$$\begin{aligned} i_o &= 19.2I_{abc}(V_+ - V_-) \\ &= -Kk(V_{in} + V_2) \end{aligned}$$

Si $K = 19.2 I_{abc}$, K será variable dependiendo de la corriente I_{abc} . Asumiendo que el búfer de salida del OTA no consume ninguna corriente, toda la corriente i_o , fluirá a través de C_1 , entonces:

$$i_o = (V_2 - k_2 V_o) s C_1.$$

Igualando estas dos expresiones da:

$$-Kk(V_{in} + V_2) = (V_2 - k_2 V_o) s C_1$$

Que nos lleva a:

$$V_2(Kk + sC_1) = -KkV_{in} + k_2V_o s C_1$$

Entonces:

$$(3) \quad V_2 \left(1 + \frac{s}{\omega_c} \right) = -V_{in} + k_2 V_o \frac{s}{\omega_c},$$

Donde esta vez tenemos $\omega_c = Kk / C_1$. A parte de la inversión de V_{in} (que es fácil de ver, debido a que V_{in} está siendo conectada a la entrada inversora del OTA), ésta es idéntica a la ecuación (2). Así la configuración del OTA es equivalente a una sección RC simple, con el beneficio de que es capaz de

controlar R usando el OTA (a través de I_{abc} y por lo tanto K, afectando en última instancia la frecuencia de corte ω_c).

Para completar la función de transferencia del OTA, considerando que en la segunda etapa del OTA al no tener una inversión del V_2 en la entrada del OTA y tampoco contribución de la retroalimentación k_2V_o , por similitud con la ecuación (3) tenemos:

$$V_3 \left(1 + \frac{s}{\omega_c} \right) = V_2,$$

O:

$$\frac{V_o}{k_1} \left(1 + \frac{s}{\omega_c} \right) = V_2,$$

Como $V_o = k_1 V_3$, y también hemos hecho implícitamente $C_2 = C_1$, estamos asumiendo que ambas corrientes I_{abc} son iguales y que ambos factores 'k' son iguales, entonces $\omega_c = K_k / C_1 = K_k / C_2$. Sustituyendo por V_2 en (3):

$$\frac{V_o}{k_1} \left(1 + \frac{s}{\omega_c} \right) \left(1 + \frac{s}{\omega_c} \right) = -V_{in} + k_2 V_o \frac{s}{\omega_c},$$

Y multiplicando para obtener la función de transferencia completa:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{-k_1}{\frac{s^2}{\omega_c^2} + (2 - k_1 k_2) \frac{s}{\omega_c} + 1}.$$

En el circuito actual la ganancia k1 está en el búfer de la salida del segundo OTA, así que es 1. La ganancia k2 es la atenuación de la acción del divisor de potencial de R29 y el potenciómetro VR1, multiplicado por la ganancia del amplificador no inversor en el loop de retroalimentación. En el circuito del MS-20 R31 es de 3k3, la ganancia del amplificador operacional es $(1 + 10 / 3.3) = 4$. La salida del potenciómetro es de 0 en mínimo, hasta $10 / (8.2 + 10) = 1 / 1.82$ a su máximo, en general k2 va de 0 a $4 / 1.82 = 2.2$, que es suficiente para que oscile.

Durante la derivación de la función de transferencia, hemos hecho la sustitución $w_c = Kk / C_1$, donde $k = 19.2 I_{abc}$, y k deriva de las resistencias en las entradas del OTA. Así tenemos:

$$\omega_c = 2\pi f_c = \frac{Kk}{C_1} = \frac{19.2 I_{abc} k}{C_1},$$

Donde el filtro de la frecuencia de corte f_c es directamente proporcional a la corriente I_{abc} que controla el OTA

$$f_c \propto I_{abc} \quad \text{or} \quad f_c = k_\alpha I_{abc},$$

Donde la constante de proporcionalidad $k_\alpha = 19.2k / (2\pi C_1)$.

Para hacer un filtro controlado por voltaje musicalmente útil, es conveniente controlar la frecuencia de corte (cut-off), f_c , exponencialmente con respecto a la entrada de voltaje, V_{in} , usando un control de un voltio por octava.

$$f_c = f_0 2^{V_{in}},$$

Donde f_0 es la frecuencia de corte.

Podemos ver que la frecuencia de corte se dobla, incrementando una octava por cada voltio de entrada:

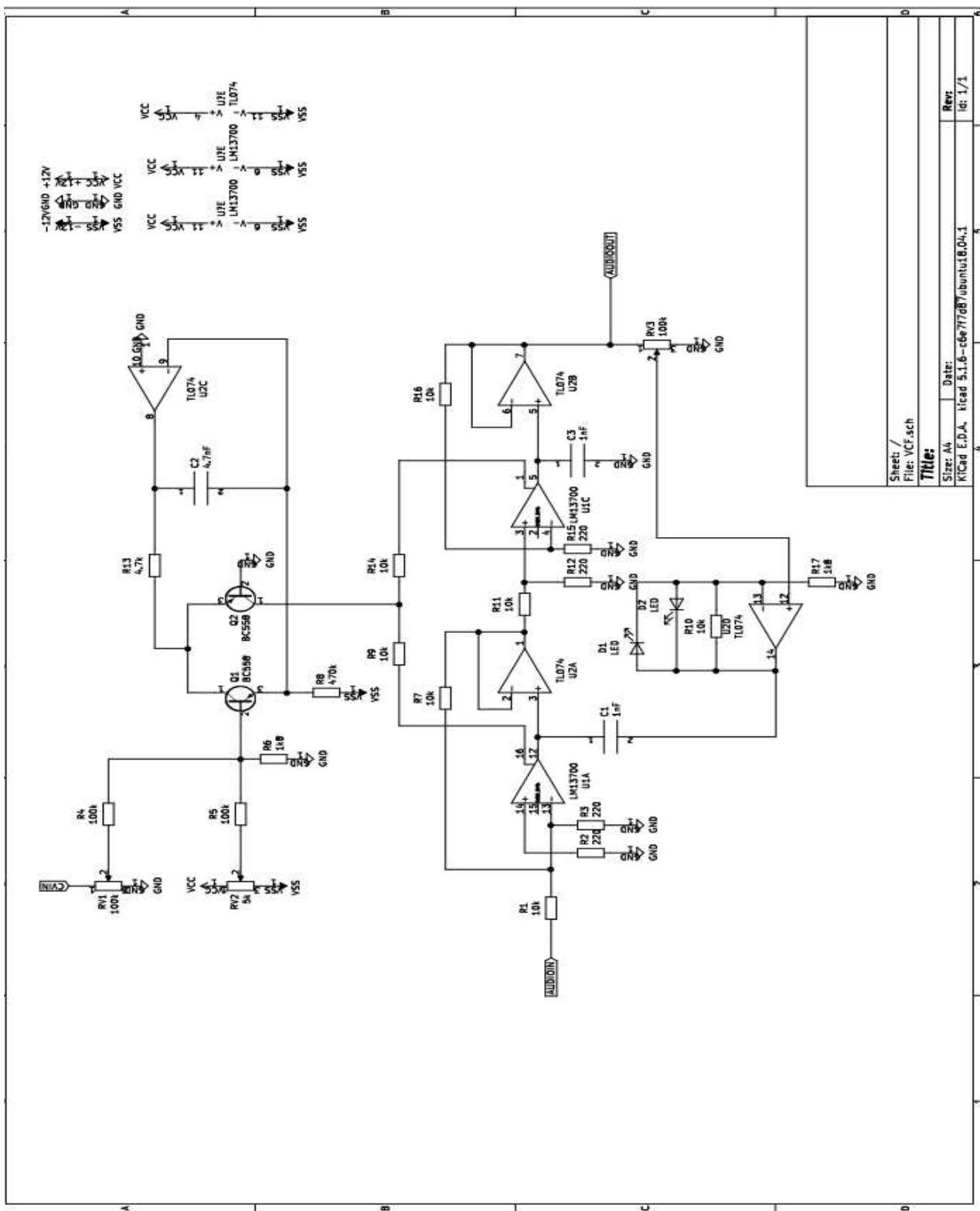
$$\begin{aligned}
 f_c &= f_0 2^0 = f_0 && \text{for } V_{in} = 0 \\
 &= f_0 2^1 = 2f_0 && = 1 \\
 &= f_0 2^2 = 4f_0 && = 2, \text{ etc.}
 \end{aligned}$$

Escribiendo:

$$f_c = f_0 2^{V_{in}} = f_0 (e^{\log 2})^{V_{in}} = f_0 e^{0.69V_{in}}$$

Donde $e = 2.71828$. Podemos concluir que es increíblemente fortuito entonces, que la corriente a través de una unión de semiconductor estándar PN este exponencialmente relacionada al voltaje a través del mismo. El OTA usa un tipo de conversor exponencial estándar. La salida de corriente exponencial de cualquiera de los mecanismos se usa para controlar la frecuencia, como se indica al principio de la explicación del funcionamiento de este tipo de filtros, proporcionando así el control exponencial general de la frecuencia que es deseada.

Gráfico 33. Diseño del Filtro OTA pasa bajo



Este filtro está diseñado para permitir el paso de frecuencias bajas, la transición entre la banda que se quiere dejar pasar y la que se quiere eliminar no es abrupta y se puede manipular con la entrada de CV o el potenciómetro de cut-off. Este circuito ofrece una respuesta máxima plana en la banda de paso, una transición rápida entre la banda de la señal deseada y la no deseada y una respuesta de fase lineal.

Para esto fueron elegidos el amplificador operacional de transconductancia lm13700 y el TL074.

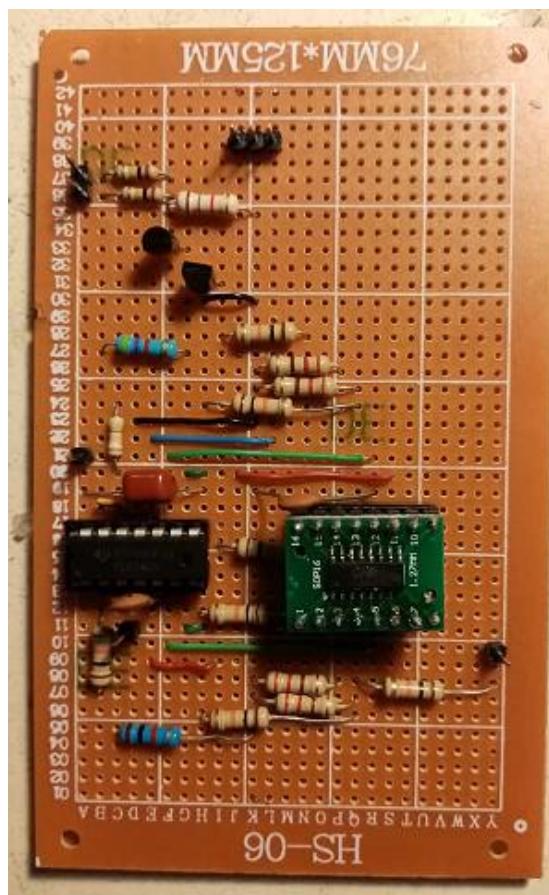


Gráfico 34. Placa del VCF



Gráfico 35. Panel del VCF

Módulo de Envolvente (ADSR)

En la música un envolvente describe como un sonido cambia en el tiempo.

El envolvente ADSR presenta cuatro etapas:

Attack: es el tiempo que le toma al voltaje de salida ir desde cero hasta el pico del envolvente.

Decay: es el tiempo que le toma en caer desde el pico hasta un nivel determinado por el Sustain.

Sustain: es un nivel que puedes configurar y es donde el Decay va a detener la descarga hasta que el GATE sea bajo

Release: es el tiempo que le toma en ir desde el nivel de Sustain hasta cero (luego de que la señal de GATE ha cambiado a bajo).

El Attack, Decay y el Release son medidos en el tiempo mientras que el Sustain es un nivel de voltaje.

El componente básico de un circuito analógico de envolvente ADSR es el Capacitor, ya que básicamente el circuito estará manipulando la carga y descarga del mismo.

Durante la etapa de Attack el capacitor se estará cargando y durante las etapas de Decay y Release el capacitor se estará descargando.

Para lograr la carga y descarga del mismo capacitor en diferentes tiempos, diseñamos un circuito de control usando el timer **ICM7555**.

Típicamente este chip es usado en su configuración como multivibrador estable, trabajando como un oscilador.

Sin embargo, usaremos el ICM7555 en su configuración monoestable, en donde cada vez que le mandemos un pulso al pin del Trigger este va a actuar en modo un disparo.

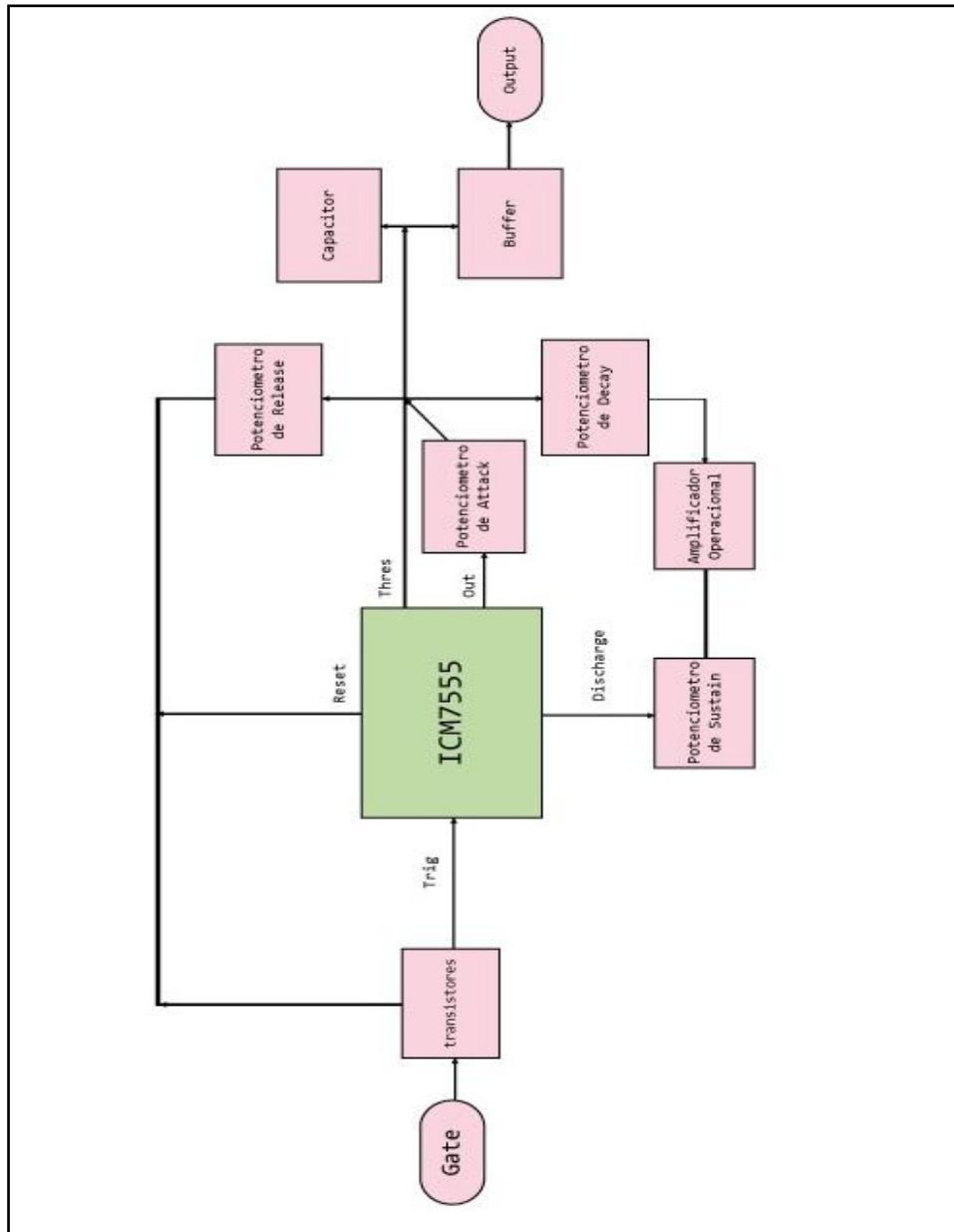


Gráfico 36 : Diagrama de bloques del ADSR

Cuando es presionada una tecla en el controlador Midi, el GATE se vuelve alto, y cuando la tecla es liberada el GATE vuelve a bajo. La señal de GATE que viene del modulo MIDI a CV va a entrar en la sección de transistores. Del último de los transistores sale un pequeño pulso al pin de Trigger del ICM7555, una vez que eso pase, el pin OUTPUT del ICM7555 se pondrá en alto.

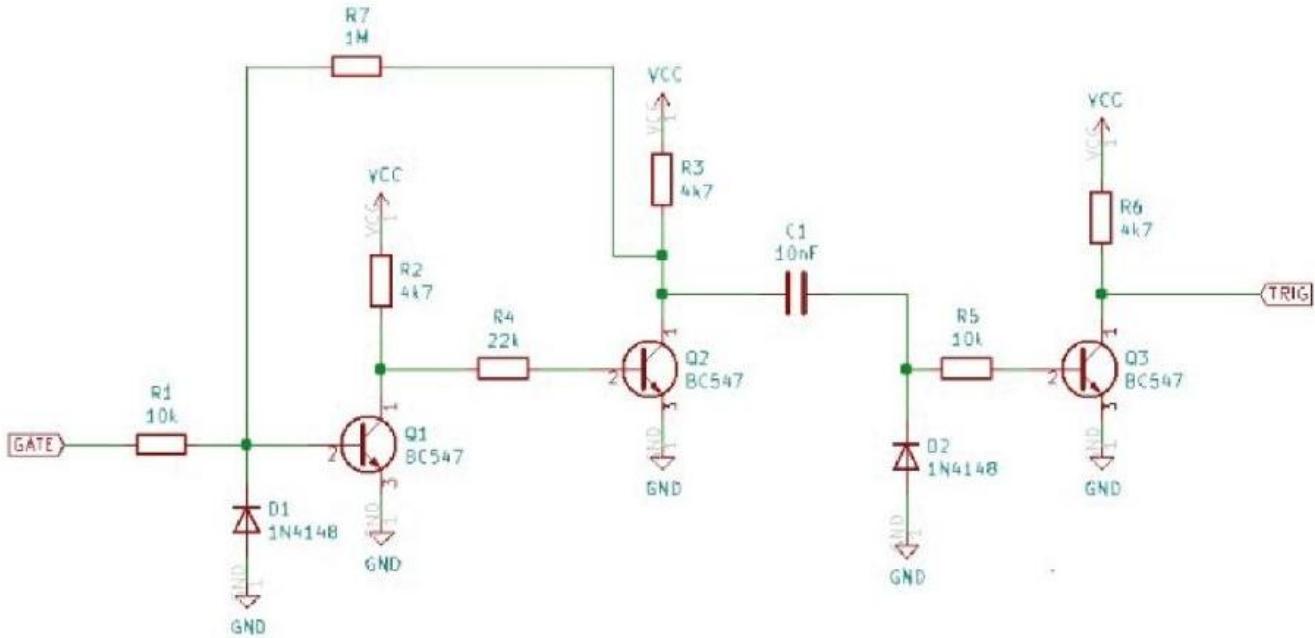


Gráfico 37. Etapa de Transistores del ADSR

ATTACK

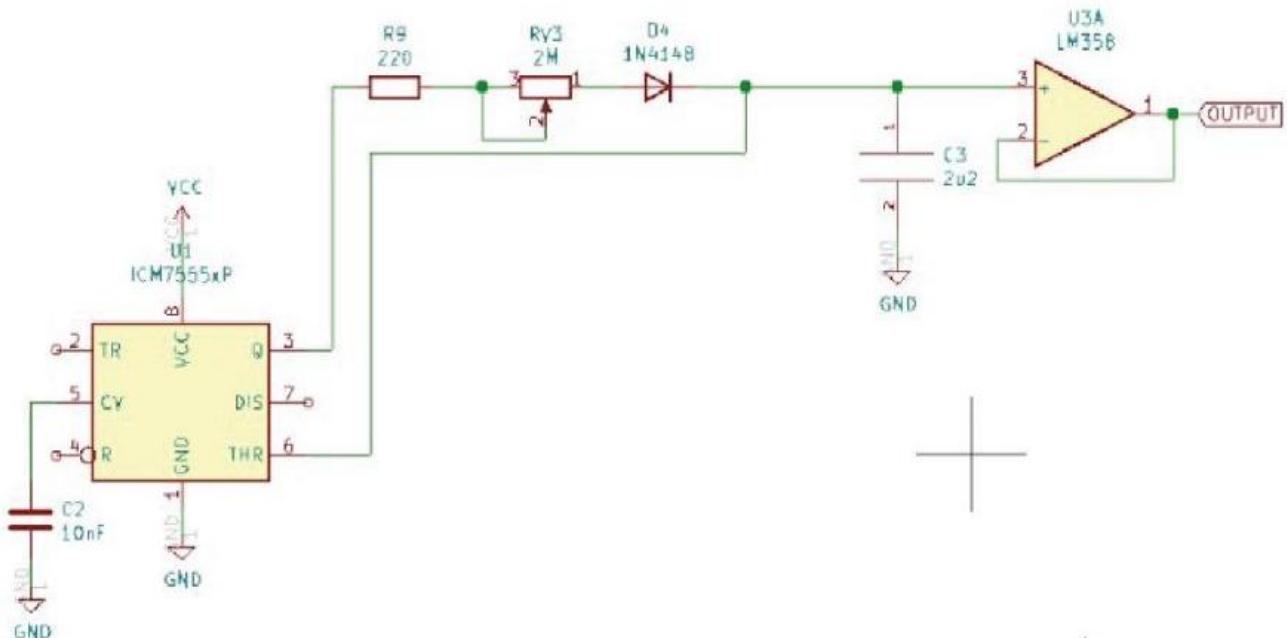


Gráfico 38. Etapa del ATTACK del ADSR

El diodo en la salida permite a la corriente fluir solo en sentido desde el pin OUTPUT del ICM7555 hacia afuera. Esta corriente va a pasar por un potenciómetro de control de Attack y dependiendo de la resistencia va a cargar el

capacitor electrolítico a cierta tasa. A mayor resistencia más lenta será la carga, y por lo tanto más largo el tiempo en el que el voltaje de salida irá desde cero hasta su pico.

El voltaje se va a incrementar hasta alcanzar cierto voltaje, ese voltaje es el Threshold del ICM7555, esa es la razón por la que el pin de Threshold está conectado al mismo nodo.

DECAY

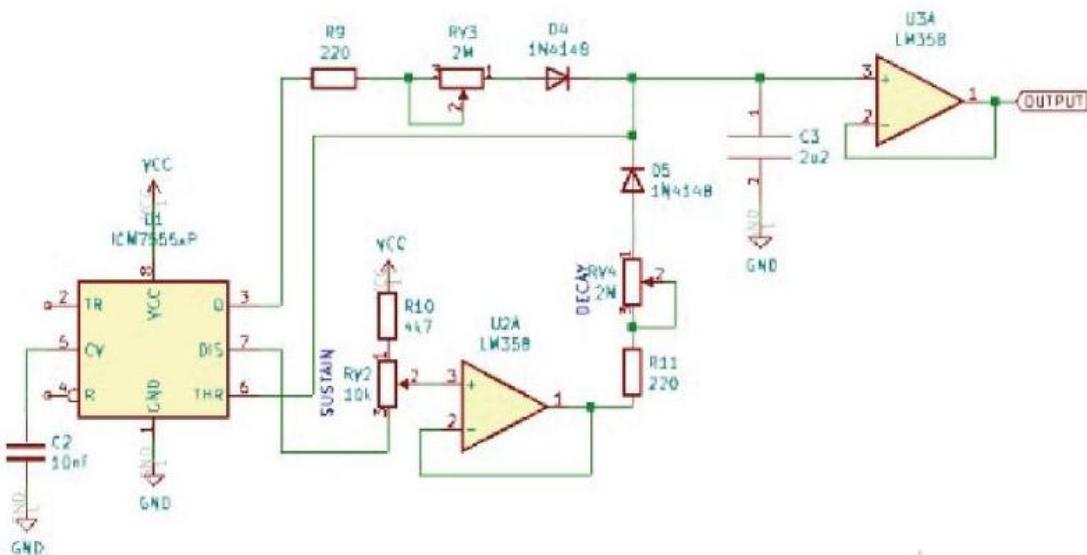


Gráfico 39. Etapa de DECAY y SUSTAIN del ADSR

Una vez que el threshold es alcanzado el pin OUTPUT del ICM7555 va a cambiar de nivel lógico a bajo, y el capacitor va a parar su carga. Esto va a permitir a la corriente fluir desde el capacitor hacia el potenciómetro de DECAY y luego va a drenar corriente en el amplificador operacional a cierta tasa dependiendo de la resistencia del potenciómetro de DECAY.

SUSTAIN

El potenciómetro de SUSTAIN va a establecer el nivel al que el amplificador operacional va a dejar de drenar corriente, y está configurado como un divisor de voltaje donde el terminal positivo esta conectado a VCC+ y el terminal negativo está conectado al pin DISCHARGE del ICM7555.

El pin del medio del potenciómetro de SUSTAIN está conectado al amplificador operacional.

Una regla de oro de los amplificadores operacionales define que un amplificador operacional configurado con retroalimentación negativa va a buscar que los pines de entrada In+ e In- estén al mismo nivel de voltaje. En este circuito el amplificador operacional va a drenar corriente hasta que los pines de entrada estén al mismo voltaje.

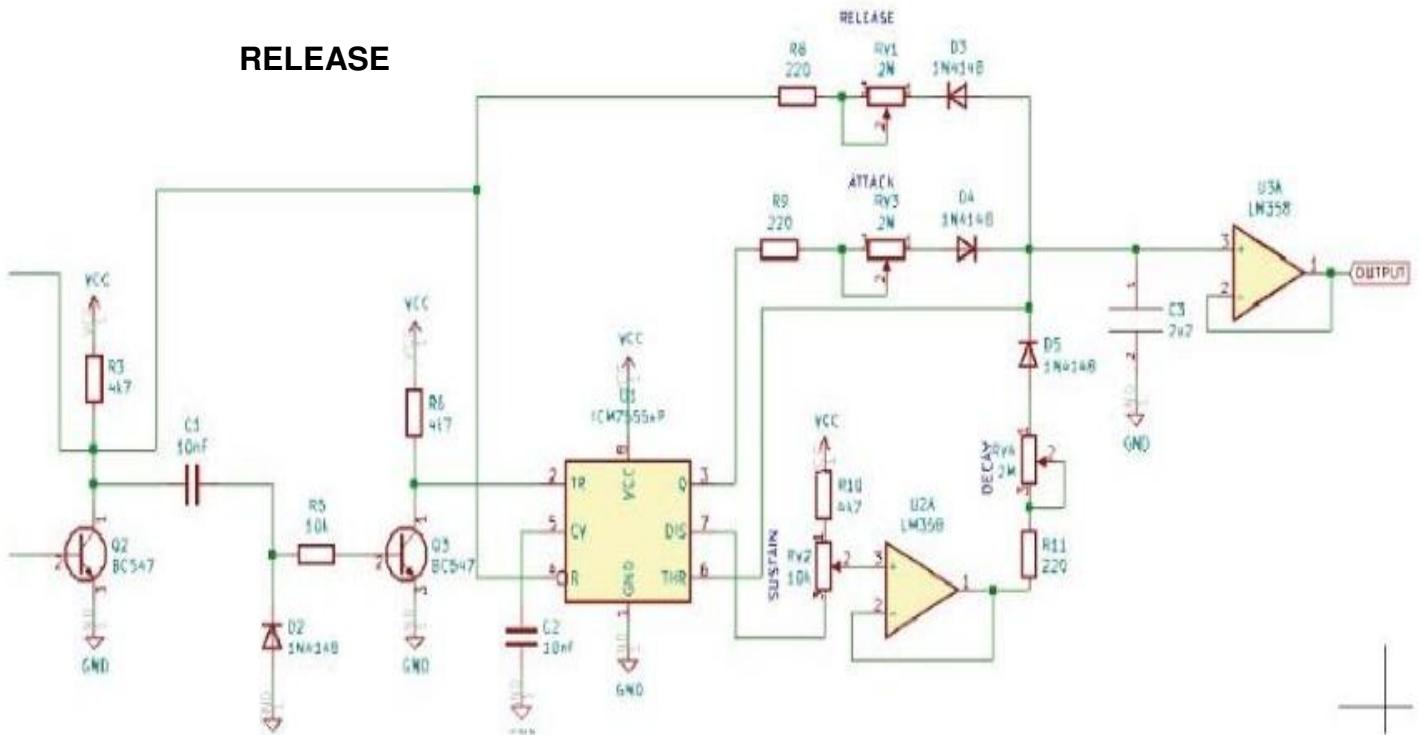


Gráfico 40. Etapa de RELEASE del ADSR

La corriente no puede fluir al potenciómetro de RELEASE mientras el GATE se mantenga en alto porque el potenciómetro de RELEASE está conectado al transistor, lo que significa que va a estar a 12V.

Sin embargo, cuando soltamos la tecla y el GATE cambia de estado a bajo, el transistor va a ser polarizado lo que significa que va a empezar a Figura XX RELEASE

drenar corriente, así cualquier corriente que quede en el nodo va a fluir a través del potenciómetro de release y luego será drenada por el transistor hasta el voltaje mínimo. El pin de RESET del ICM7555 también está conectado a este nodo, por lo que una vez que alcance ese voltaje mínimo reiniciará el ICM7555.

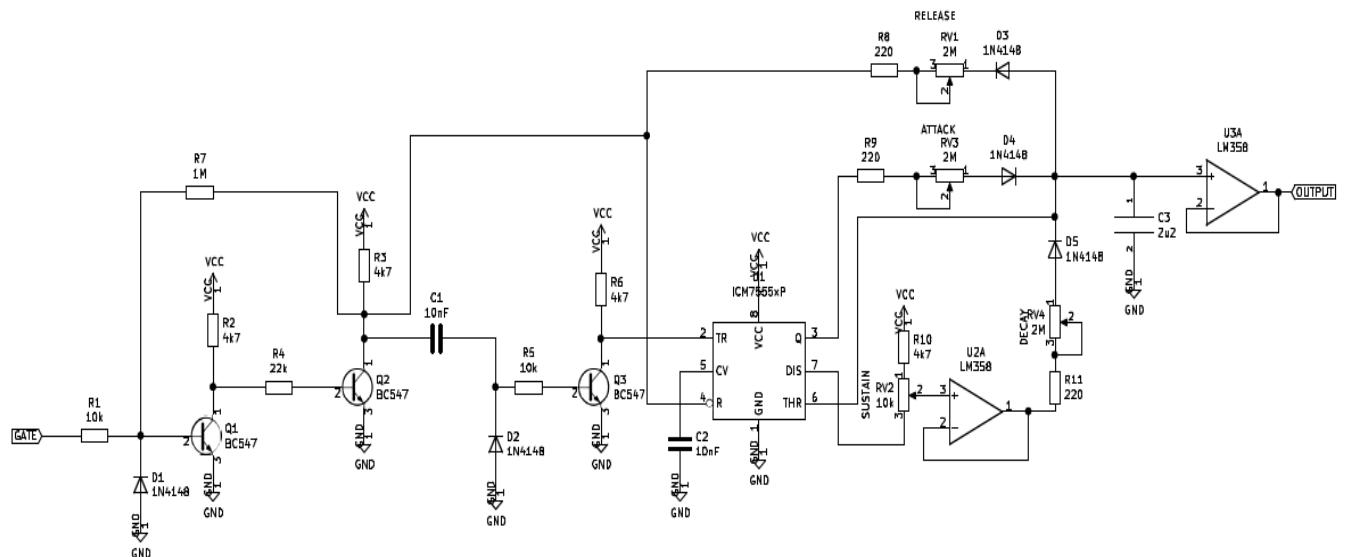


Gráfico 41. Diseño del ADSR

Módulo de amplificación-atenuación (VCA)

Es un circuito amplificador y atenuador del sonido, y es usualmente la etapa final de un sintetizador, puede recibir señales CV que controlan la fuerza de la amplificación.

Este generalmente contiene una entrada para la señal que se desea amplificar o atenuar, una salida con la señal ya procesada y un puerto de entrada para el control por CV

Si se envía un CV alto a la entrada de CV el amplificador se abre lo que significa que la señal que entra sale del amplificador con los parámetros configurados (nivel de amplificación), y si recibe un cero en la entrada de CV, el amplificador se cierra bloqueando la salida de la señal.

En el diseño se va a utilizar el OTA modelo LM13700 el cual es un auténtico chip de sintetizadores clásicos, además es barato y aún está disponible, décadas después de haber sido originalmente lanzado. Definitivamente ese sonido Vintage el que llama la atención. A continuación se detalla el diseño del circuito paso a paso:

Con un voltaje de +/-5v (10vpp) como señales de entrada y de salida, y vamos a diseñar para un nivel de voltaje de control de 0-10 v (ganancia CV). Los niveles en las señales de audio son bastante estándar, pero los módulos de envolvente de Euroracks varían en los niveles de salidas que proveen. Los equipos originales de Doepfer's producen 0-8 v, pero muchos fabricantes posteriores han utilizado tanto 0-5 v como 0-10 v.

Por consiguiente, diseñar para un nivel bajo de CV y proveer un atenuador para grandes señales de envolvente es un curso de acción sensato.

Principalmente, se necesita ver cuánto voltaje de entrada necesita el chip. Los **OTA** (Amplificador Operacional de Transconductancia) pueden enfrentarse solo con niveles muy bajos de entrada. Según el datasheet para el LM13700 OTA nos indica para el momento en que el nivel de la señal de entrada es superior de +/-

100 mv, la distorsión está entre el 1% y cerca del 8%, dependiendo de si estamos usando los diodos de linealización. A pesar de que hay más distorsión antes si no las usas, yo prefiero el comportamiento del chip sin ellos. El enfoque de la distorsión es mucho más suave y tiene un sonido de “soft drive” en vez de un recorte repentino y duro. Si no se usan los diodos, probablemente se mantenga el voltaje de entrada bien bajo, debajo de los 100 mv. 50 o 60 mVpp nos dan 2 a 3% de distorsión,

Si 60 mVpp es el máximo input, se necesita escalar los 10vpp abajo.

$$10v/60mv = 166.667$$

$$1/166.667 = 0,006$$

La entrada de 10 vpp es casi 167 veces más grande. Se necesita reducirla a 0.006. Un simple divisor de voltaje en la entrada lo hará y valores de 100 K/620 R proveerán el escalado que se necesita.

$$R2/R1 + R2 = 620 R / (100 K + 620 R) = 0.006161$$

$$10 v * 0.006161 = 61.6 mv$$

Trabajando el nivel de salida del LM13700

El LM13700 no es un simple amplificador operacional. Es un Amplificador Operacional de Transconductancia o **OTA**. El **OTA** tiene una entrada extra que permite ajustar la ganancia del chip usando una corriente. Esta corriente de control es conocida como **Iabc** en el datasheet del LM13700. Y la relación entre la entrada, la corriente de control de ganancia y la salida se ve así:

$$I_{out} = (q / 2 k T) * I_{abc} * V_{in}$$

Donde:

q = carga de un electrón

k = constante de Boltzmann's

T = temperatura

Si asumimos la temperatura como la del ambiente el voltaje térmico es de 26 mv y se simplifica así:

$$K T / q = 26 \text{ mv}, \text{ entonces}$$

$$q / (2 k T) = 1 / (2 * 26 \text{ mv}) = 19.2$$

Quedando la ecuación de entrada / salida como:

$$I_{out} = 19.2 * I_{abc} * v_{in}$$

I_{abc} puede tener un máximo absoluto de 2 mA antes de que el chip explote. Sin embargo, mantenerse debajo del máximo absoluto no es nuestra única preocupación. La salida de voltaje de Offset se mueve como la variación de I_{abc} , y esto se traduce en un voltaje de control alimentado desde la entrada de ganancia. Para ayudar a minimizar esto, tiene sentido mantener I_{abc} baja.

Vamos a diseñar para una corriente de control máxima de 500 uA. La salida máxima será:

$$I_{out} = 19.2 * 500 \mu\text{A} * 60 \text{ mv} = 576 \mu\text{A}$$

La salida del chip no es un voltaje, es una corriente, por lo tanto I_{out} no es V_{out}

Convertir la Corriente de Salida del LM13700 a Voltaje

En circuitos baratos del LM13700, a menudo se puede ver una resistencia colgando de la salida a tierra. Esta resistencia actúa para llevar esta corriente a tierra, y si una corriente pasa a través de una resistencia, debe haber un voltaje también, ya que la resistencia convierte la corriente a un voltaje.

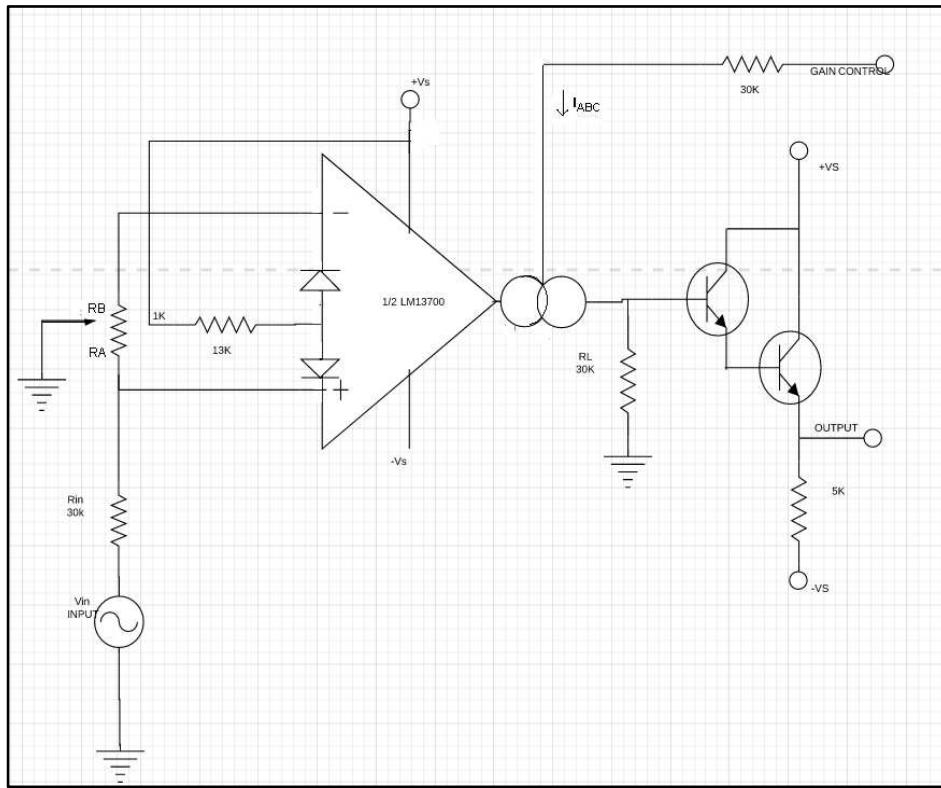


Gráfico 42. Circuito de Conversión I a V simple

Existe un circuito activo que hace lo mismo con algo de mejor performance, una etapa de amplificador operacional conocida como un “**Convertidor de I a V**” o a veces como un “**Conversor de transimpedancia**”

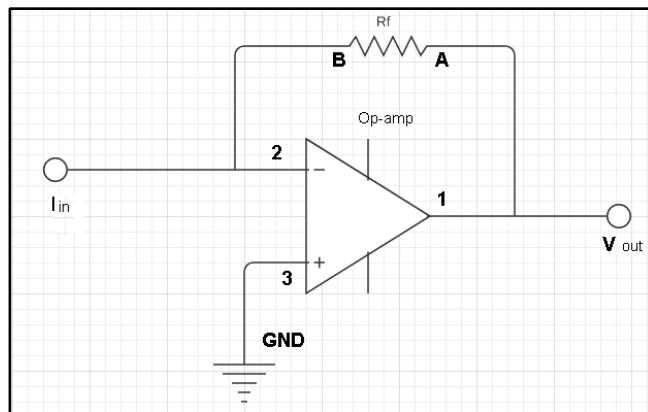


Gráfico 43. Circuito conversor de Transimpedancia

La etapa de I a V se parece mucho a un amplificador operacional invertido sin la resistencia de entrada y eso es básicamente lo que es. Da un voltaje de salida que depende de la corriente de entrada I_{in} y la resistencia de retroalimentación R_f .

$$V_{out} = -I_{in} \times R_f$$

Si se incrementa la resistencia de retroalimentación, el voltaje de salida aumenta. Esto es como el amplificador operacional invertido, donde incrementando la resistencia de retroalimentación aumentamos la ganancia. También noten el símbolo negativo; como el Op-amp inversor, este circuito invierte la salida.

Conocida la corriente del **OTA**, calculamos la resistencia que necesitamos para obtener el voltaje de salida requerido:

$$R_f = V_{out} / I_{in} = 10V / 0.576\text{a} = 17.36 \text{ K}$$

El valor práctico más cercano es de 18k. Ahora el circuito de VCA se ve así:

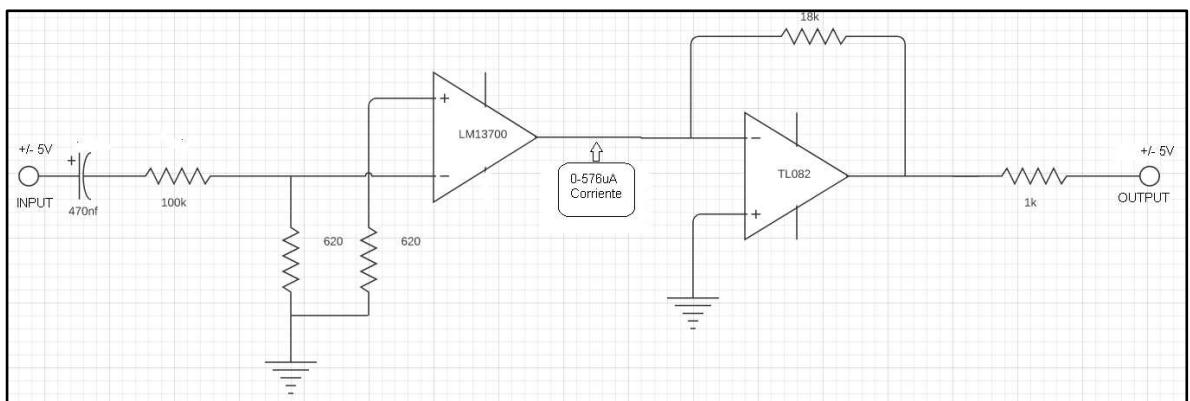


Gráfico 44. Circuito VCA sin control

Convirtiendo una entrada de 0-5 V CV en una corriente de control I_{abc} segura para el **LM13700**.

Hemos visto cómo convertir corriente en voltaje, pero para esta parte del circuito se necesita convertir un voltaje en una corriente. Al hacerlo al revés lo conseguimos. Hay muchos circuitos que podría usar pero yo se ha escogido este:

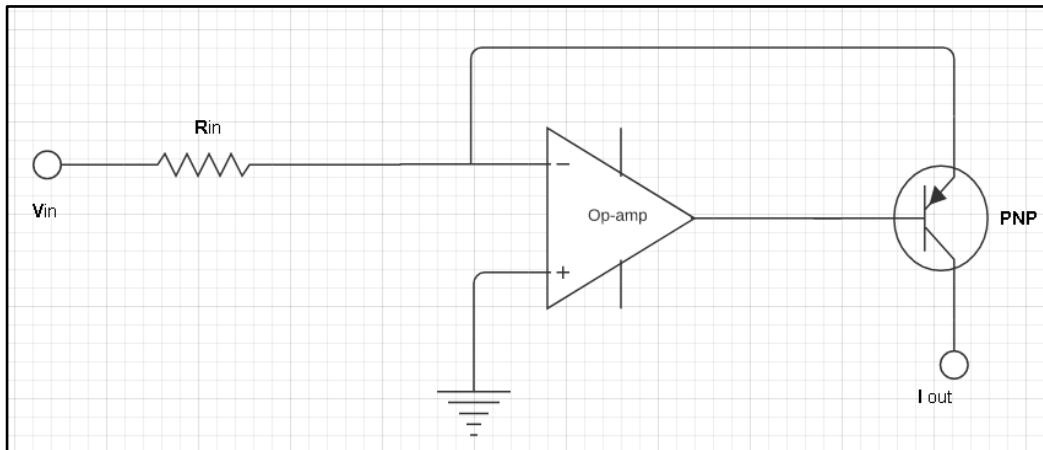


Gráfico 45. Circuito conversor Activo de V a I

Este es un diseño simple y lineal. La resistencia de entrada va a un modo de tierra virtual en la entrada inversora del Op-amp, así se podrá agregar más resistencias de entrada y mezclarlas sin que interactúen entre sí. Esto es bastante práctico y fácil de calcular el I_{out} , ya que es igual a la corriente que atraviesa R_{in} .

La interpretación de este circuito sería:

Como la entrada inversora tiene una impedancia infinita, ninguna corriente puede fluir por ella. Por lo tanto, la corriente que entra a través de R_{in} debe coincidir con una corriente igual y opuesta, proporcionada por la retroalimentación del transistor. Como la dirección de la corriente de entrada va hacia la entrada inversora, la dirección de la corriente de retroalimentación debe salir de la entrada inversora, y entrar al emisor del PNP. Ya que el Op-amp va a tratar de mantener las entradas al mismo voltaje (tierra) la salida va a ser dirigida a la base del transistor tan negativa como sea requerida para desarrollar la corriente de retroalimentación a través del transistor.

$$I_{out} = V_{in} / R_{in}$$

Si tenemos 500 uA y un nivel de 5 V, la resistencia que necesaria es:

$$R_{in} = V_{in} / I_{out} = 5 \text{ V} / 500 \text{ uA} = 10\text{k}$$

Así que se necesita una resistencia de entrada de 10k. Por supuesto, las cosas no son tan simples como se ven. Este en gran parte es un circuito de libro de teoría, y no incluye varios componentes que se necesitan en un circuito práctico. Vamos a agregar alguna protección para la entrada del Iabc del **LM13700**, solo en caso de que algo vaya mal. El peor escenario sería un corto a uno de los rieles, también 12V. Ya he mencionado que Iabc solo puede ir hasta 2mA antes de que el humo salga.

$$R = V / I = 12V / 2mA = 6k$$

Podemos usar 6k8 para estar en la zona segura. Es necesario tomar en cuenta los voltajes negativos. El circuito no provee ninguna salida, si la entrada de voltaje viene negativo ya que el transistor se apagara, pero también será polarizado inversamente y eventualmente se quemará.

Si añadimos un diodo desde la base hasta la entrada, proveeremos un camino fácil para que la corriente lo tome evitando la unión PN dentro del transistor ahora tenemos esto:

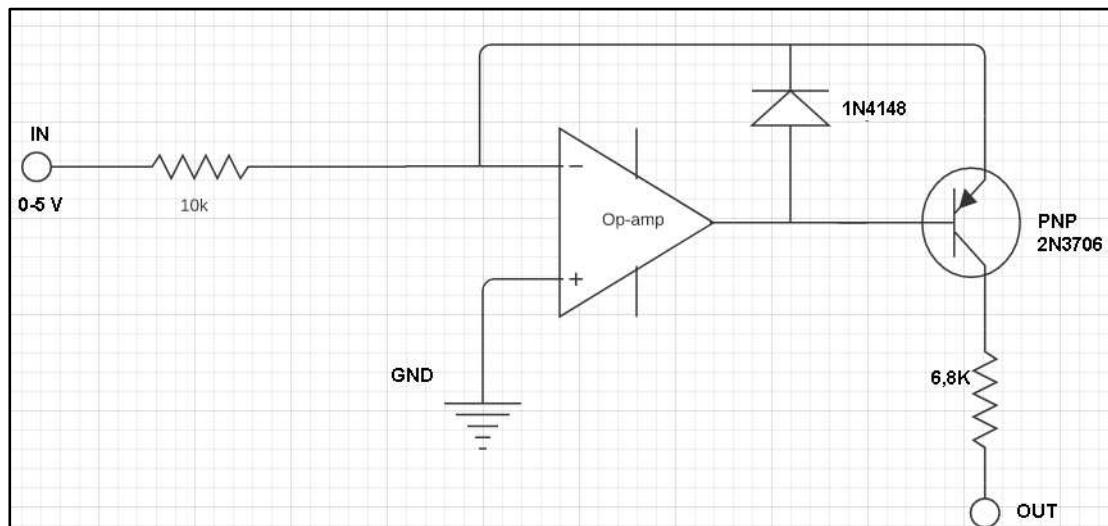


Gráfico 46. Circuito conversor V a I con salida de voltaje negativo

Este circuito va a funcionar, pero aún es bastante básico. Solo tenemos una entrada simple y no tenemos ningún tipo de control manual para la ganancia. Se le puede agregar un montón de cosas adicionales.

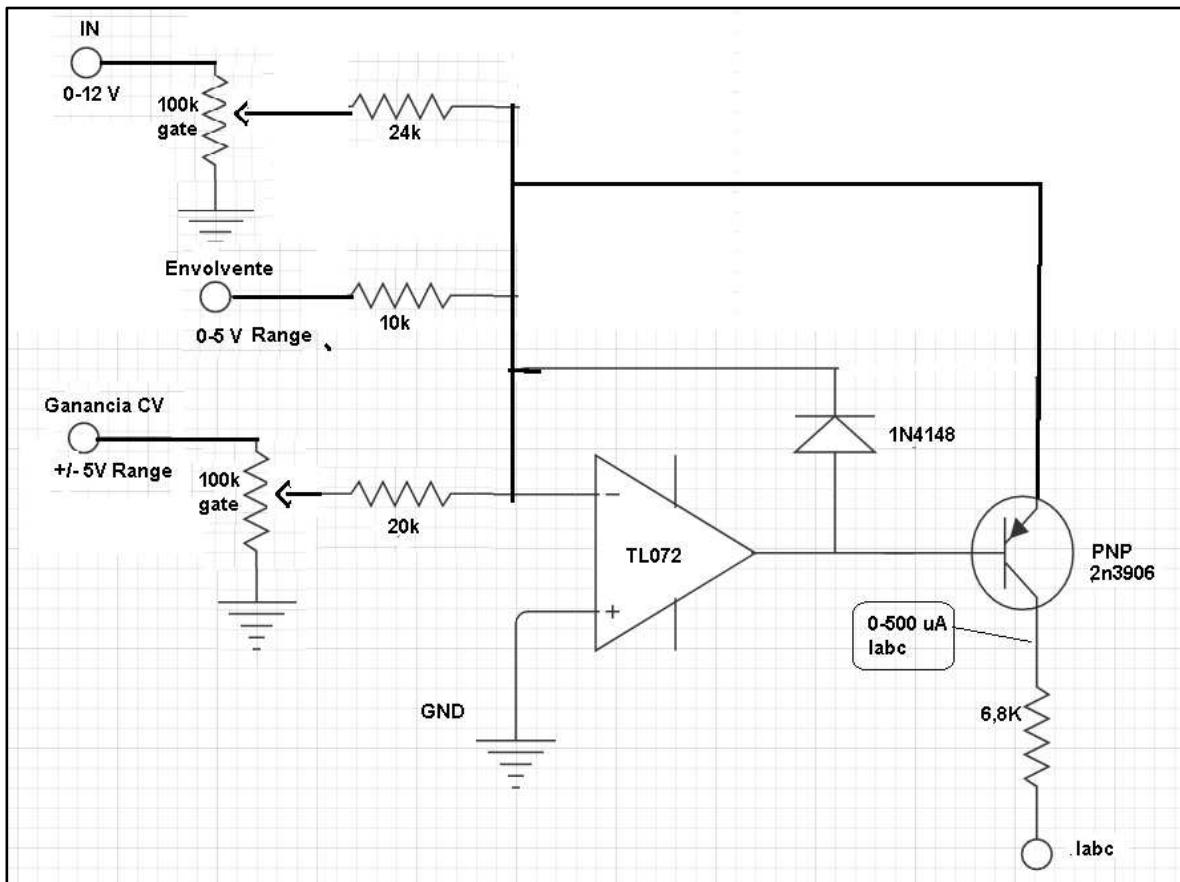


Gráfico 47. Mezclador CV sencillo con fuente de corriente

Mixer CV sencillo con fuente de corriente

En el Gráfico 47 se puede observar que la entrada de 0-5 V CV está marcada como envolvente en el medio. Arriba hay un potenciómetro para controlar la ganancia de forma manual que provee un voltaje de 0-12 V. Ya que este es un voltaje grande, escalamos la resistencia de entrada apropiadamente. Abajo tenemos una entrada CV de propósito general preparada para un rango de +/- 5V. Esto tiene un potenciómetro atenuador estándar de 100k, y el rango de 10V significa que necesito doblar la resistencia de entrada a 20k. Al probar este

circuito, no obtenemos los voltajes o corrientes que espero, son muy bajos. Esto ocurre porque he olvidado las impedancias de entrada. Si tomo la entrada de Ganancia de +/- 5V 20k es una impedancia de entrada baja y se convierte en más baja ya que está en paralelo con la mitad baja del potenciómetro de CV.

La impedancia de salida de cualquiera que sea nuestro origen de CV puede ser baja, pero luego tenemos la mitad alta del potenciómetro conectado en serie, así que fácilmente podría terminar siendo 50k o más. El resultado de todo esto es que la entrada presente una carga significativa y se pierda algo de señal de CV (cerca del 10%) y también dejar menor la curva de respuesta del potenciómetro, haciendo que un potenciómetro atenuador lineal no se comporte de forma lineal. Para evitar este efecto, la regla general es hacer que las resistencias de entrada sean 10 veces más grandes que los valores de los potenciómetros. Esto no los detiene de estar en paralelo, pero cuando una resistencia grande está en paralelo con una resistencia pequeña, el valor de la combinación paralela es básicamente el mismo de la resistencia pequeña.

Con un potenciómetro de 100k, subir hasta 10 veces el valor de la resistencia de entrada es un poco grande, pero podemos manejar 470k sin llevar demasiado lejos y comprobar la situación en una simulación. Vemos que incluso con 330k es casi linear. Si se altera la resistencia de entrada, se altera la cantidad de corriente que sacamos de nuestro circuito. Para compensar la solución proporcionada por la biblia de los constructores de sintetizadores “Musical applications of microprocessors” de Hal Chamberlin en la página 203 de la segunda edición presenta un diseño de VCA usando el CA3080:

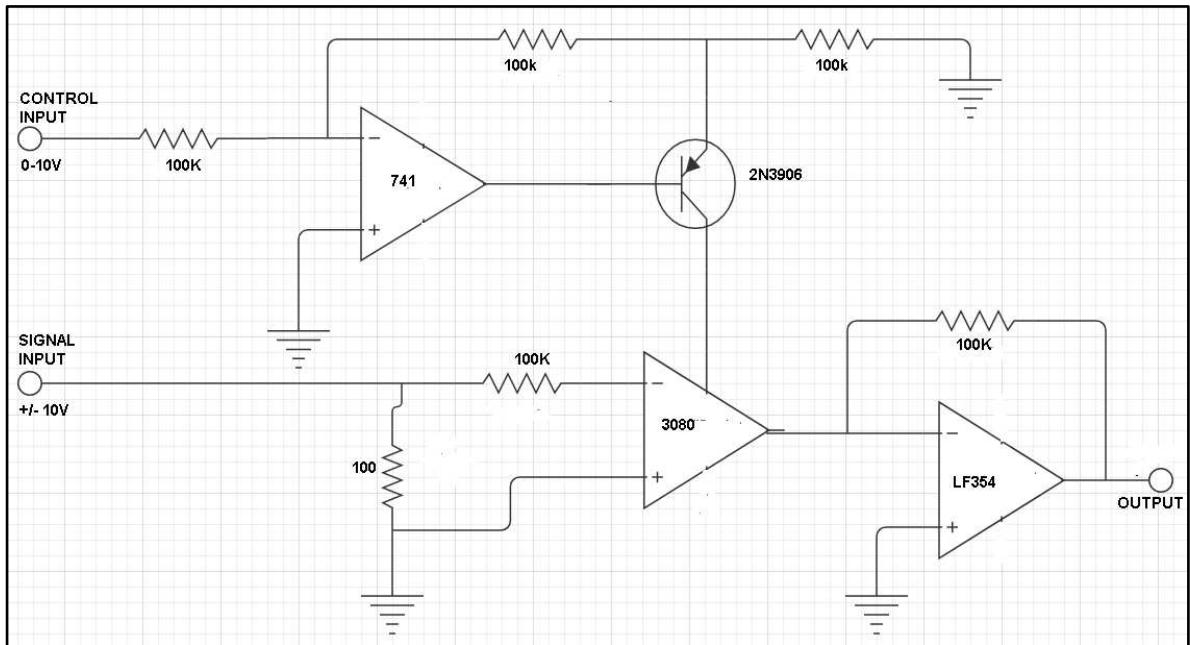


Gráfico 48. Diseño del VCA usando CA3080

Las resistencias en el principio dividen la corriente de retroalimentación del transistor y nos permite establecer la ganancia de la fuente de corriente. De esta manera, podemos usar resistencias de entrada de cualquier tamaño que queramos y luego escalar la corriente de salida usando un poco de ganancias en la fuente de corriente. Y así terminamos con el diseño del VCA. Se le ha adicionado un C1 que funciona en conjunto con R10 para añadir un suavizado al CV y mantener un poco al ruido fuera de la línea de CV .

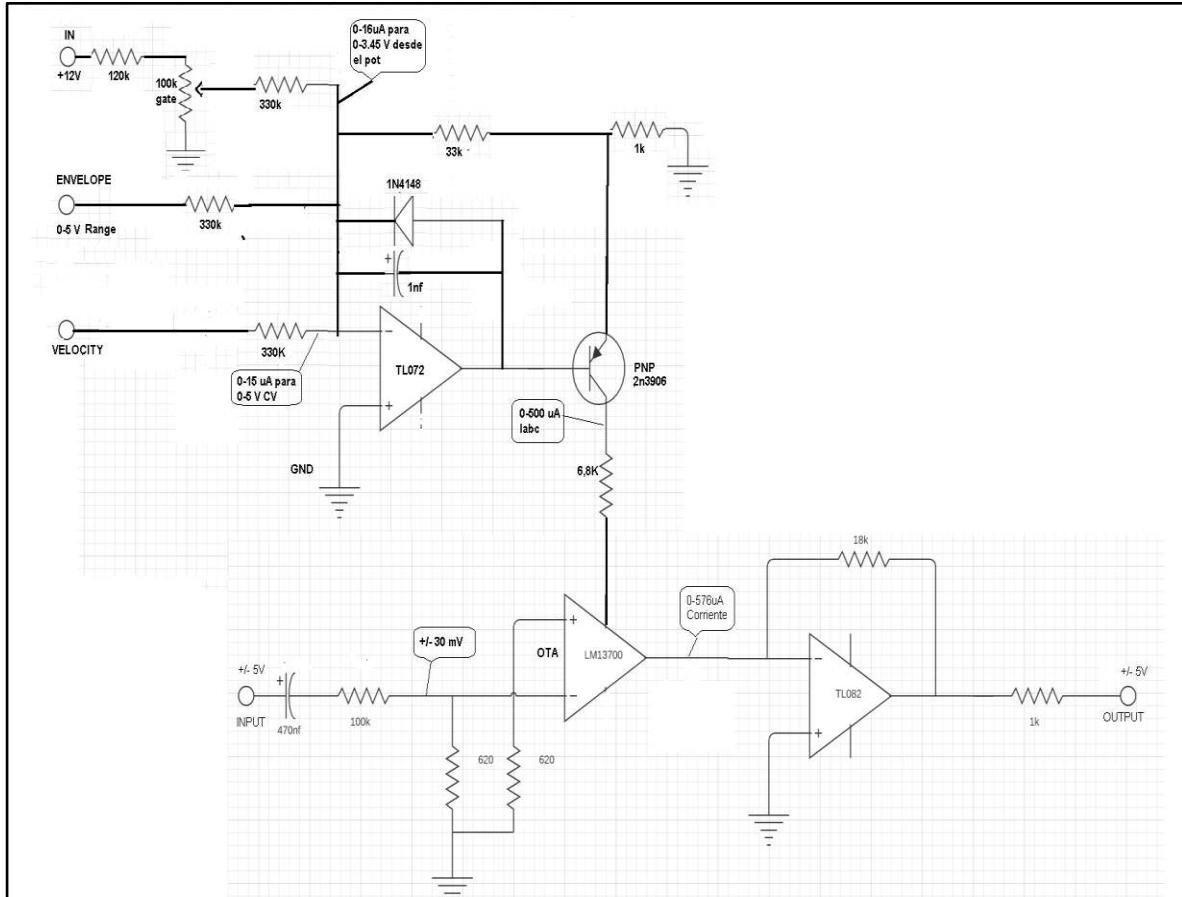


Gráfico 49. Diseño del VCA

Diseño y Construcción de Cajón (Case) y Paneles

Con el objeto de garantizar la funcionalidad y la seguridad de los distintos módulos que se ensamblarán en el cajón, se plantea que cada módulo tendrá una altura de 19 cms para ajustarse a los raíles con tornillos. El ancho será variable de acuerdo a las características de cada módulo.

Para cada panel que sujeta los componentes mecánicos, se ha optado por realizar un diseño simple, que deje claras las entradas, salidas y ajustes disponibles. Por tanto se va a proceder a indicar qué característica modifica cada

potenciómetro, y también información sobre las entradas y salidas. Cada panel será cortado de acuerdo a las dimensiones y se realizarán los agujeros por donde pasarán los potenciómetros, botones, LEDs y conectores Jack. Para realizar las marcas e indicaciones en el módulo, que describirán la función de cada potenciómetro, botón, entrada y salida se dibujaran las letras y señales correspondientes. En el gráfico 50 se observan los paneles que integran el sintetizador

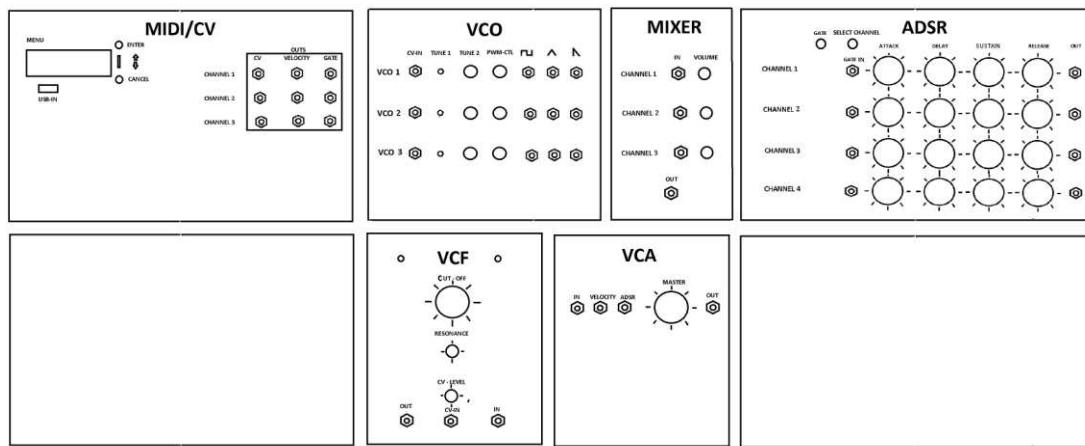


Gráfico 50. Panel General del Sintetizador

Conociendo las dimensiones de cada panel y siguiendo la secuencia recomendada, se diseña el cajón, con espacio suficiente para cubrir la expansión de los módulos existentes y futuros. Las dimensiones son:

Ancho = 950 mm

Altura = 440 mm

Profundidad = 100 -200 mm

Los materiales utilizados son madera y los paneles en lámina galvanizada de 0,5 mm. En el gráfico 58 se detallan las dimensiones y en el gráfico 59 el cajón ya terminado.

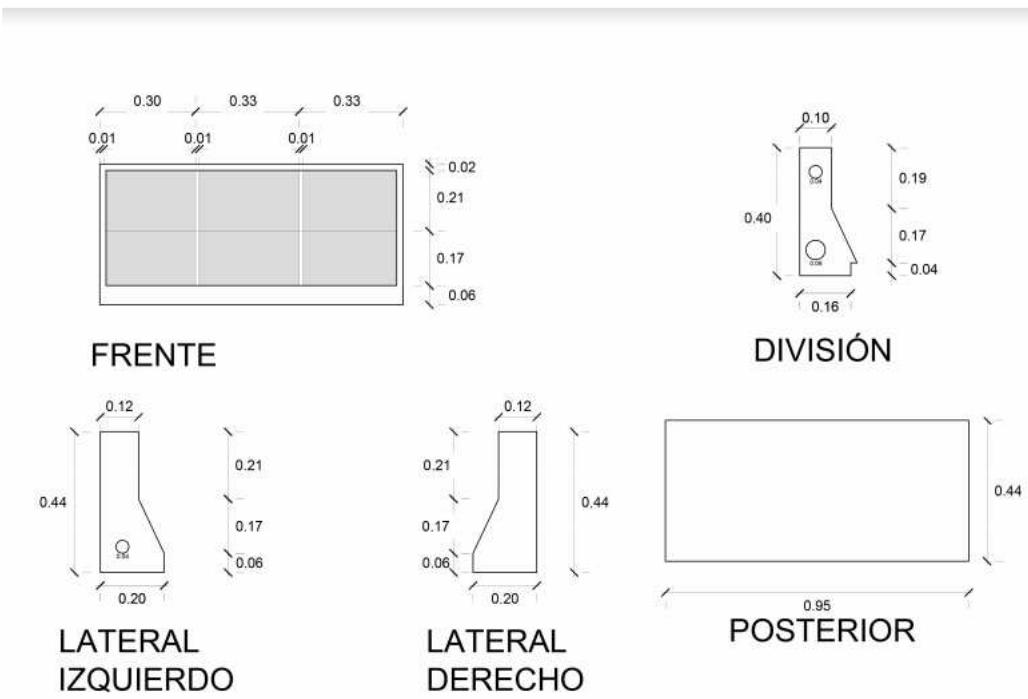


Gráfico 51. Plano de Diseño de Cajón



Gráfico 52. Cajón y Paneles del Sintetizador

Manual de Usuario, Instalación y Mantenimiento Versión 1.0

Instrucciones de Seguridad importantes

ADVERTENCIA:

- 1- Se debe tener cuidado y tomar las precauciones con el fin de utilizar el equipo de manera segura. Si no está seguro, pida asesoramiento profesional.
- 2- El equipo no debe exponerse a contacto con agua o cualquier líquido. En caso de que ocurra, desconecte inmediatamente la alimentación eléctrica y póngase en contacto con el fabricante.
- 3- Este equipo genera un sonido que puede causar daños en el sistema auditivo. Utilice el equipo a un volumen de escucha seguro y por períodos con pausas para evitar la exposición continuada a altos niveles de sonido.
- 4- Las piezas de este equipo no pueden ser reparadas por el usuario. Solamente por un técnico calificado, en particular si:
 - el equipo se ha caído y dejado de funcionar
 - le ha caído líquido al equipo
 - los cables de alimentación del equipo se han dañado
 - el equipo no funciona correctamente según las instrucciones del manual de usuario.

INTRODUCCIÓN

El Sistema Analógico Modular es un sintetizador analógico modular. Un sintetizador es un instrumento electrónico de música, que consta de una serie de módulos especializados separados y que el usuario puede conectarlos con cables de conexión. La salida (voltajes) de los módulos puede funcionar como señales de audio, voltajes de control o condiciones lógicas/temporales.

El Sintetizador Analógico Modular opera según el principio de síntesis sustractiva. Para hacer un sonido electrónico musical, comienza con una señal

brillante y rica en armónicos, luego se pueden utilizar los circuitos del filtro y amplificación para transformar la señal original en el sonido deseado.

En un sintetizador analógico, un filtro es un circuito utilizado para modificar una fuente de sonido haciéndola más oscura, más brillante, o incluso más delgada en función de su tipo, respuesta de frecuencia y frecuencia de corte del filtro.



Grafico 53. Vista del Sintetizador Analógico Modular

1.- MÓDULOS QUE LO COMPONEN

El Sintetizador Analógico Modular agrupa los controles del panel en (6) seis módulos. Cada módulo está equipado con un conjunto de puntos de conexión que amplían enormemente las capacidades de este instrumento analógico expansivo.

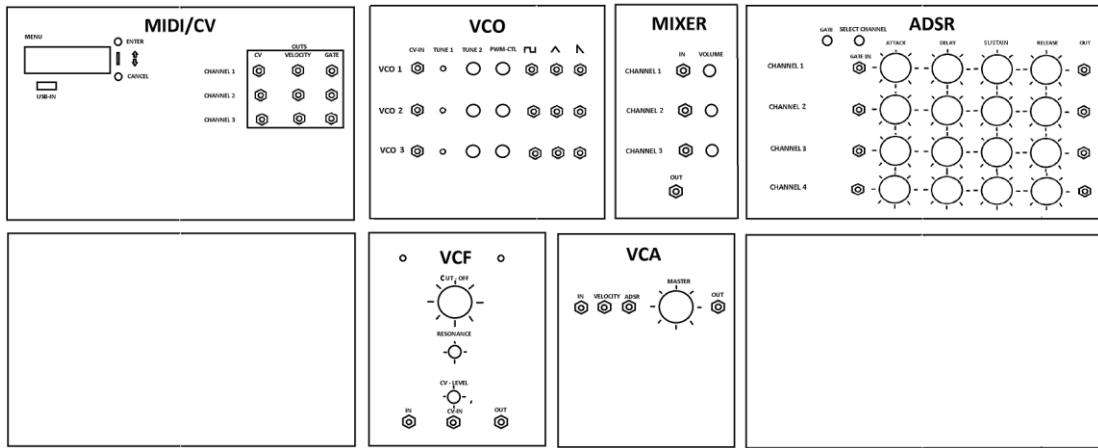


Grafico 54. Vista General de los Paneles del Sintetizador

A continuación se describen las funciones básicas de cada uno:

1.1.- ALIMENTACIÓN

El Sintetizador Analogico Modular posee una fuente de alimentación regulada diseñada para brindar los voltajes de entrada necesarios a todo el sistema. Posee un transformador de 12Vac-2A para conectar el módulo a la corriente eléctrica de 110VAC. Se recomienda usar un protector de voltaje. Las salidas de alimentación son 5v, 12v y -12v las cuales están conectadas en un bus para ser distribuidas por todo el sistema, adicionalmente se dejan pines abiertos para configurarlos como expansión más adelante si así se desea con señales de control o de sonido. Este modulo es interno, no se visualiza en el panel.

1.2.- Conversor MIDI/CV

Este módulo actúa como un transductor entre el controlador MIDI y el Sintetizador. Se decidió usar un Raspberry Pi B+ para aprovechar las ventajas de su librería MIDI. El voltaje de entrada de este Módulo es de 12v, requerido para los amplificadores operacionales del 1 CV NOTE, para que el amplificador operacional mantenga una ganancia constante es necesario usar resistencias con película metálica para las resistencias de 7.7k y 10k. El Raspberry Pi requiere una alimentación de 5V y consume hasta un max de 2000 mA. Para cumplir con este

requerimiento usamos un transformador independiente conectado a la CA conectado al puerto micro USB del Raspberry. Este módulo usa una pantalla LCD de 16x2 desplegando un menú que le permite al usuario interactuar con el programa de conversión, para de esta forma elegir entre los modos de ejecución de este programa. El conversor MIDI a CV incluye las siguientes salidas: Salida NOTE CV (84 notas, 1V/octave) usando un DAC de 16 bits 22 Salida GATE (10v cuando cualquier tecla es tocada).

1.3.- VCO

Aquí es donde nace el sonido del sintetizador. El VCO (oscilador controlado por voltaje), es una fuente de voltaje continuo, que emite una señal cuya frecuencia es una función de los ajustes. Estas formas de onda son: *onda cuadrada*, *onda de diente de sierra* y *onda triangular*. El Sintetizador Analogico Modular proporciona tres osciladores controlados por voltaje de diseño idénticos, cada uno con sus propios ajustes de octava y forma de onda, capaces de producir un tono constante, que se puede hacer subir o bajar aplicando un Control de Voltaje (CV) a su circuito. Las salidas de la fuente de VCO se enrutan opcionalmente a un mezclador para que las señales puedan ser mezcladas.

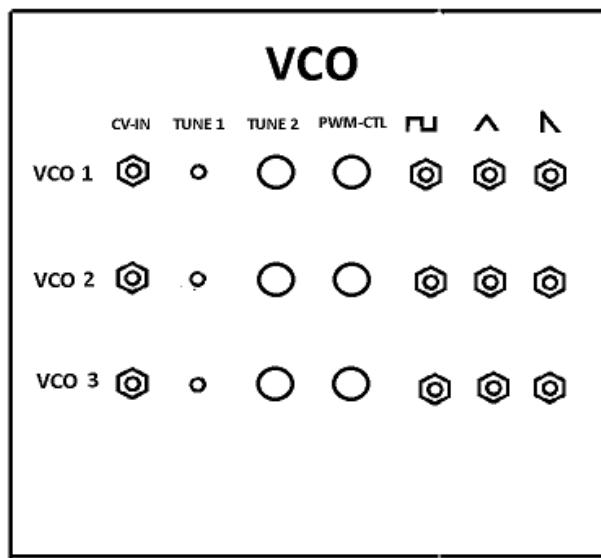


Grafico 55. Panel del VCO

1.4.- Mezclador

El mezclador es donde se mezclan todas las fuentes de sonido dentro del SAM17 preferiblemente antes de pasar al filtro. Los puntos de conexión en el mezclador permiten que cada fuente cableada (VCO1, VCO2, VCO3) pueda ser reemplazada por una señal de audio externa.

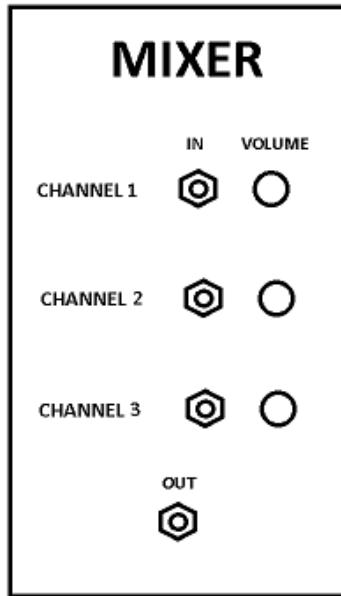


Grafico 56. Panel del MIXER

1.5.- VCF

El filtro es un circuito diseñado para disminuir o aumentar la amplitud de algunas frecuencias en el espectro, es comúnmente usado en los sintetizadores para lograr una síntesis sustractiva. La síntesis sustractiva depende de los filtros, justamente a través de estos se produce un cambio en la señal. Las características de los filtros se determinan por su función de transferencia y su orden. La primera determina la forma en que la señal aplicada cambia en señal y amplitud al pasar por el filtro, la segunda describe el grado de aceptación o rechazo de frecuencias por encima o por debajo de la respectiva frecuencia de corte.

El SAM17 presenta la clásica topología de filtro pasa bajo. Pasa bajo significa que el filtro elimina las frecuencias altas por encima de la frecuencia de corte de la señal de entrada. El control de la frecuencia de corte (CUTOFF) establece la frecuencia específica en la que el circuito comenzará a filtrar. El control de resonancia (RESONANCE) se usa para retroalimentar al filtro con su señal de salida, creando un pico en la respuesta de la frecuencia de corte. Esto se puede usar para enfatizar los armónicos en una fuente de sonido. La salida del VCF preferiblemente puede ir conectada a la entrada del VCA.

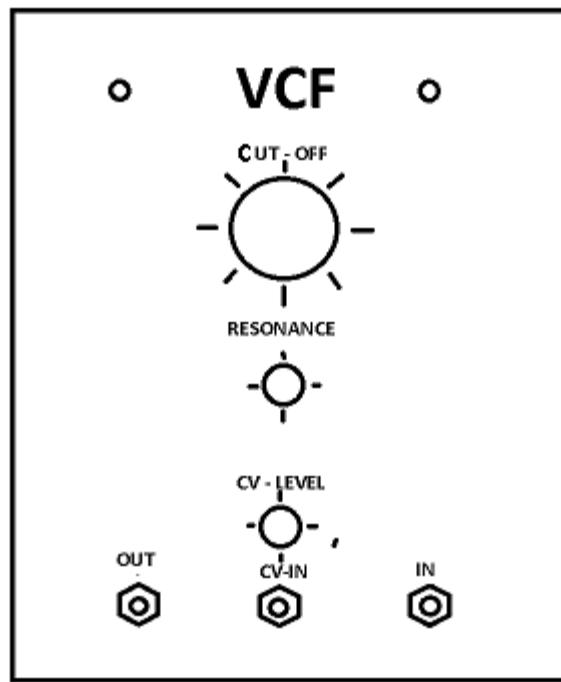


Grafico 57. Panel del VCF

1.6.- VCA

El amplificador controlado por voltaje (VCA) Es un circuito amplificador y atenuador del sonido, y es usualmente la etapa final de un sintetizador, puede recibir señales CV que controlan la fuerza de la amplificación.

Este generalmente contiene una entrada para la señal que se desea amplificar o atenuar, una salida con la señal ya procesada y un puerto de entrada para recibir un voltaje de control que le indique con qué volumen debe amplificar.

Si se envía un CV alto a la entrada de CV, el amplificador se abre lo que significa que la señal que entra sale del amplificador con el volumen máximo de salida, y si recibe un cero (0v) en la entrada de CV, el amplificador se cierra bloqueando la salida de la señal.

El CV input es normalmente usado para conectar la salida CV del circuito ADSR para modificar las propiedades del timbre en el tiempo.

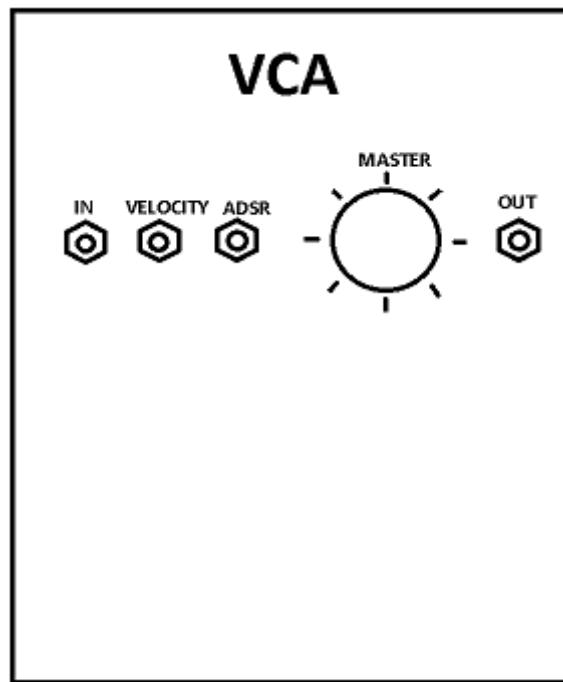


Grafico 58. Panel del VCA

1.7.- ADSR

Los sonidos cambian con el tiempo. Cómo cambian con el tiempo es parte de lo que hace que cada uno sea único. Algunos sonidos comienzan abruptamente, como el golpe de un tambor. Algunos sonidos terminan igual de rápido, y otros

persisten como el acorde en un piano. Llamamos a esto la envoltura de un sonido. El Sintetizador Analógico Modular usa un generador de envolvente para crear un voltaje de control que cambiará la evolución temporal en amplitud de cualquier sonido. Este mismo voltaje de control puede usarse para afectar el corte de frecuencia del filtro a lo largo del tiempo, creando cambios en el timbre o tono.

Independientemente de cómo se aplique el envolvente consta de (4) cuatro etapas principales: tiempo de ATAQUE, tiempo de DECAY, nivel de SUSTAIN y tiempo de RELEASE.

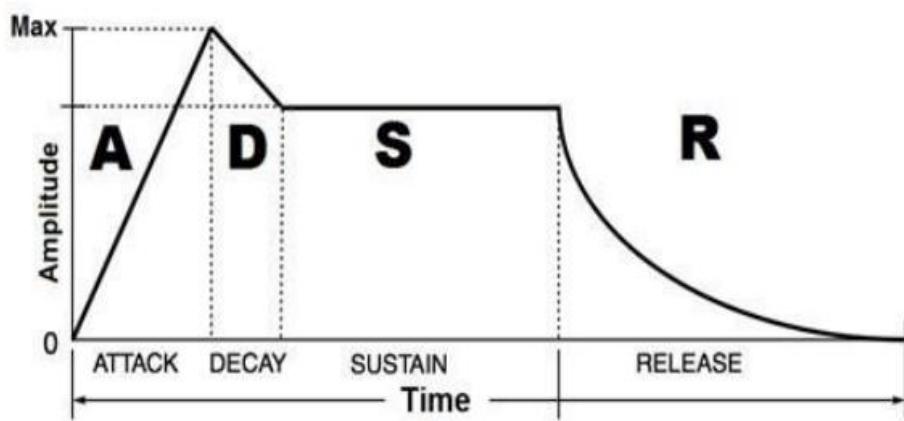


Grafico 59. Etapas del ADSR

Puede ser activado por un teclado o por otro módulo en el sistema que produzca un disparo de rápido aumento en presencia de un GATE. Por lo general, controla la amplitud de un VCA o la frecuencia de corte de un VCF, pero la estructura de conectores del sintetizador hace posible utilizar el generador de envolvente para modular otros parámetros.

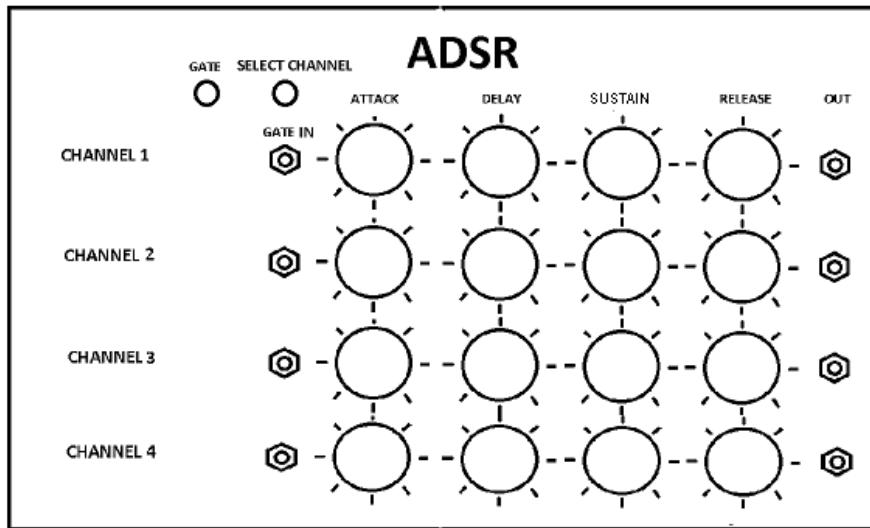


Grafico 60. Panel del ADSR

2.- CONFIGURACIÓN Y CONEXIONES

El Sintetizador Analógico Modular consta de siguientes componentes:

1. Sintetizador analógico modular
2. El manual del Usuario
3. Cables de conexión

Que necesitarás adicionalmente:

- Una mesa o superficie donde puede colocar el Sintetizador Analogico Modular.
- Un controlador MIDI con su cable USB.
- Un altavoz amplificado o auriculares con un conector de 1/8".
- Una toma de 110Vac con cableado adecuado.

NOTA: la fuente de alimentación de el Sintetizador Analogico Modular funcionará con una fuente de alimentación de 110Vac 60Hz.

SALIDA DE AUDIO / AURICULARES: en el Módulo VCA, con el control Master VOLUME hacia abajo, conecte un extremo de un cable de 1/8 "(TS) a la toma AUDIO OUT. Conecte el otro extremo a un altavoz amplificado o una entrada de consola de mezcla. Este conector también se puede usar con un conjunto de auriculares mono o estéreo. ADVERTENCIA: No use un cable TRS (stereo) para aplicaciones de salida de línea ya que esto causará cancelación de fase y una señal muy débil.

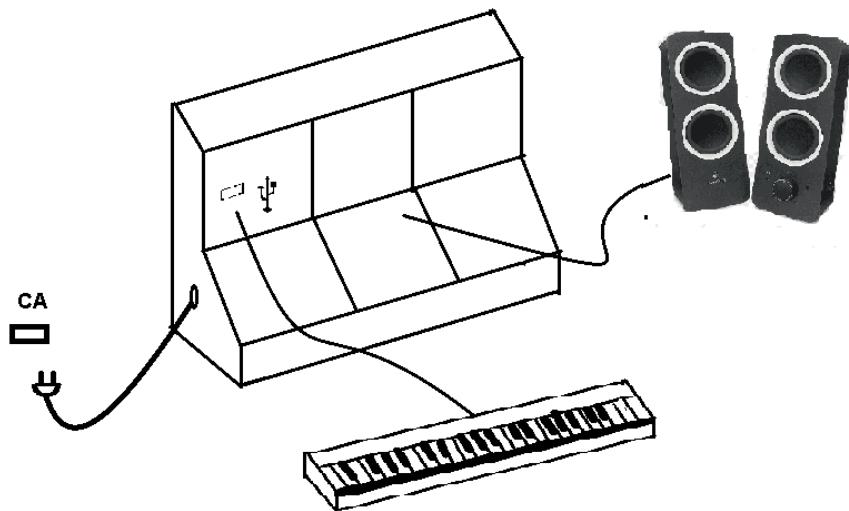


Grafico 61. Esquema de Conexión del Sintetizador

3.- CONTROLES Y FUNCIONES DEL PANEL

A continuación se detalla cada control y su función dentro de cada módulo:

3.1 MIDI/CV

MENU



Pantalla del menú de opciones del conversor MIDI/CV.

 ENTER



 CANCEL

Botones del Menú.



USB-IN

Entrada USB para conexión del controlador MIDI.

 CV



Salida analógica de control de voltaje con información de la nota ejecutada.

 GATE



Salida digital de GATE con información de la nota ejecutada.

3.2.-VCO (OSCILADOR CONTROLADO POR VOLTAJE)

El SAM17 posee (3) tres osciladores

CV-IN



Entrada de control por voltaje

TUNE 1 TUNE 2



Afinación

PWM-CTL



Control del ancho de pulso

Use este control para ajustar el ancho de la onda de pulso VCO. Esto varía de aproximadamente el 2% en la posición completa en sentido antihorario hasta

aproximadamente el 98% en la posición completa en sentido horario posición. En la posición media se emite una onda cuadrada. El ancho de pulso o ciclo de trabajo de una onda de pulso determina su contenido armónico. Cada ancho de pulso tiene su propio sonido característico, porque cada ancho tiene una estructura armónica única. Esto hace una amplia variedad de timbres básicos posibles. Entre otras cosas, PWM-CTL a menudo se usa para imitar el sonido de cuerdas ensambladas y espesa los sonidos graves.



Onda Cuadrada

Una onda de pulso es una forma de onda brillante que cambia entre dos niveles constantes. El timbre y los armónicos de una onda de pulso se puede cambiar alterando el "ancho de pulso" de la onda. El ancho de pulso es la proporción de la onda que está "Activada" a la proporción que está "Desactivada", y generalmente se expresa como un porcentaje. Cuanto más corto sea el pulso en alto, cuanto más se acentúan los armónicos superiores. Una onda cuadrada, por ejemplo, es simplemente un ancho de pulso del 50%. Esto significa que en un solo ciclo está encendido la mitad del tiempo y apagado la mitad del tiempo. Las ondas cuadradas son útiles para crear sonidos fuertes, saltos de tono de varias octavas, o simplemente para agregar un elemento rítmico adicional a una secuencia o nota retenida.



Onda Triangular

Las ondas triangulares son útiles para crear cambios suaves hacia arriba y hacia abajo en un ancho de paso o un pulso. La onda triangular tiene un fundamental extremadamente fuerte, pero solo contiene armónicos impares a niveles muy bajos. Esto hace que la onda triangular sea una opción ideal para

crear sonidos suaves, parecidos a flautas que tienen un tono puro con poca actividad de armónicos.



Onda Diente de Sierra

Las ondas de diente de sierra son útiles para sintetizar bajos, simulando instrumentos de metal y creando sonidos de plomo. Una onda de diente de sierra sin filtrar es brillante y vibrante antes de filtrar y contiene armónicos numerados pares e impares.

3.3.- Mezclador

EL Sintetizador Analogico Modular posee un mezclador acoplado para recibir (3) tres fuentes de sonidos, mezclarlos y pasar a la salida.

IN



Entrada de audio

La entrada de audio está diseñada para recibir una señal de +/- 12V.

VOLUME



Control de volumen

Cada señal tiene un control de volumen para ajustar de acuerdo a lo que requiera el usuario.



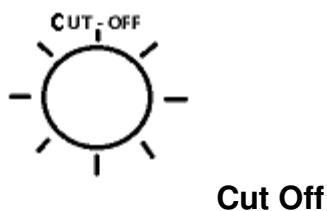
Salida del Mezclador

La señal combinada de todas las fuentes conectadas al mezclador está disponible en este salida.

NOTA: El MEZCLADOR está acoplado a CC, lo que significa que puede usarse para sumar múltiples voltajes de control y/o sonido. La combinación de señales de audio y señales de control producirá resultados que pueden o no ser deseables.

3.4.- VCF (FILTRO CONTROLADO POR VOLTAJE)

El filtro que tiene el Sintetizador Analogico Modular es un filtro de paso bajo de 24dB por octava con resonancia. Este es ideal para sonidos graves y otros sonidos que imitan instrumentos acústicos melódicos. Paso bajo indica que el filtro está eliminando selectivamente contenido armónico en la parte superior del espectro de audio, mientras permite que las frecuencias más bajas no se vean afectadas: esta es la esencia de un filtro de paso bajo, y la base de la síntesis analógica sustractiva. Finalmente, la especificación 24dB indica cómo son atenuadas las frecuencias por encima de la frecuencia de corte. En este caso, el contenido armónico se despliega a una velocidad de 24dB por octava.



Cut Off

Use este control para cambiar la frecuencia de corte del filtro de 20Hz a 20kHz. En el filtro del Sintetizador Analogico Modular solo las frecuencias por debajo de la frecuencia de corte seleccionada pasarán. Al girar el control CUTOFF hacia la derecha, se abrirá el Filtro, creando un sonido más brillante. Al girar el control CUTOFF hacia la izquierda se cerrará el filtro, creando un sonido más oscuro y más grueso. **NOTA:** El control CUTOFF es uno de los parámetros más efectivos para aplicar una modulación. Hacerlo permite que el sonido tenga movimiento y carácter, sin interferir con la capacidad de reproducir música "tonal".

RESONANCE



Resonance

La resonancia toma una parte de la salida del filtro y la envía de vuelta a la entrada del filtro, creando énfasis en la frecuencia de corte del filtro. Esto es útil para agregar acentuación, articulación o "efectos especiales" a un sonido. Girarlo en sentido horario provoca un pico en la amplitud de la frecuencia de corte.

NOTA: Agregar resonancia puede reducir el volumen general o el extremo más bajo de un sonido. Esto es normal.



Modulación de Voltaje de Control

Esta perilla regula la intensidad con la que el voltaje de control afecta al filtro.



Entrada de sonido

Se puede introducir una señal de audio desde un módulo interno o externo al Filtro usando esta entrada.



Entrada de Control de Voltaje



Salida de Sonido

La señal de audio que sale del filtro está disponible en esta salida

3.5.- VCA

El amplificador controlado por voltaje, o VCA, es un amplificador que puede ser modulado desde diferentes fuentes para controlar el nivel de salida del Sintetizador Analogico Modular. Comúnmente, la fuente de control es el generador de envolvente, pero no siempre.

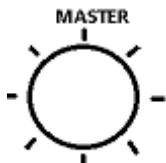


Entrada de audio

Esta es una entrada de audio al VCA.



Entrada de Envolvente



Control de volumen



Salida de audio

Esta es la salida del Sintetizador Analogico Modular. Se puede conectar a consolas, cornetas, audífonos, interfaz de audio etc.

3.6.- ADSR

El Sintetizador Analogico Modular posee (1) canal de Envolvente.

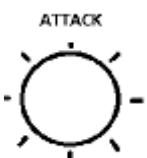


Gate

Es una entrada digital que indica el tiempo durante el que una tecla se mantiene presionada.

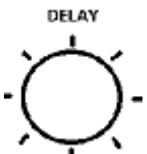


Entrada del Gate



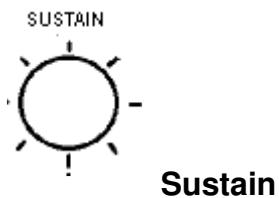
Attack

La perilla ATTACK determina la cantidad de tiempo que le tomara a la señal de control para subir de cero a su nivel máximo una vez que se presiona una tecla. Ataques rápidos son útiles para crear sonidos percusivos, mientras que los ataques lentos son más útiles para crear sonidos de cuerdas arqueadas y crescendos.



Decay

La perilla DECAY determina la cantidad de tiempo que le tomara a la señal de control para caer del nivel máximo alcanzado por la etapa de ataque al nivel de Sustain cuando se mantiene presionada una tecla. Los tiempos de decaimiento rápidos son útiles para crear articulaciones entre las notas principales, mientras que los tiempos de caída más largos permiten que una nota se desvanezca lentamente.



Mientras que los parámetros de Ataque, Decaimiento y Liberación se relacionan con el tiempo, el SUSTAIN mantiene un nivel de control de parámetros. Una vez que se completan las etapas de attack y decay, la señal de control permanecerá en el nivel establecido por el potenciómetro de control de SUSTAIN durante el tiempo en que permanezca la señal de GATE activa.



La perilla RELEASE determina la cantidad de tiempo que le tomará a la señal de control el decaer de su nivel de SUSTAIN a cero una vez que se suelta una tecla. Los tiempos de Release cortos son buenos para obtener sonidos de bajos clásicos de funk que terminan abruptamente, mientras tiempos más largos de release son buenos para crear colas musicales suaves que suenan con el tiempo.

OUT



Salida del ADSR

Una señal de control que refleja la forma creada por el envolvente actual está disponible en esta salida.

4.- ESPECIFICACIONES

TIPO: Sintetizador analógico modular

MOTOR DE SONIDO: Analógico

POLIFONÍA: Monofónica

FUENTES DE SONIDO: 3 osciladores con formas de onda seleccionables

FILTRO VCF (PASO BAJO): Filtro con resonancia auto-oscilante.

ENVOLVENTE: 2 Envolventes con cuatro etapas (ADSR).

PUNTOS DE CONEXIÓN: 40 jacks de 3.5 mm: 15 entradas 25 salidas

MIDI: entrada USB

DIMENSIONES: 37.4 "(95 cm) de ancho x 8" (20 cm) de profundidad x 17.25 "(44 cm) de alto

POTENCIA: Adaptadores de corriente incluidos 110 voltios CA, 50 / 60Hz

PESO: 16lbs. / 7.25kg

ADVERTENCIA: Use un cable de instrumento TS para aplicaciones de salida de línea. No use un cable TRS (balanceado), o la cancelación de fase puede causar una señal muy débil

EVALUACIÓN ECONÓMICA

A continuación se detallan los costos del diseño y construcción del prototipo de Sintetizador analógico modular, realizando una comparación con otros modelos similares que están disponibles en el mercado al momento de completar este informe.

En las tablas se muestran los costos para los componentes tanto nacionales como importados

Tabla 8. Componentes Importados y Nacionales del Sintetizador Analógico Modular SAM17

LISTADO DE COMPONENTES					
PROYECTO:		DISEÑO Y CONSTRUCCION DE SINTETIZADOR ANALOGICO MODULAR			
PARTID A	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL
1	COMPONENTES IMPORTADOS				
	LM13700MX/NOPB	UND	20	0,986	19,72
	AD5686RBRUZ	UND	4	19,92	79,68
	2056	UND	5	3,95	19,75
	2057	UND	20	0,95	19
	ACJM-MV35-2S	UND	40	0,939	37,56
	A10403RNCQ	UND	8	4,91	39,28
	ICM7555PAZ	UND	10	0,682	6,82
	LM358N/NOPB	UND	10	0,716	7,16
	BC547ATA	UND	20	0,145	2,9
	1N4148	UND	20	0,06	1,2
	RV24AF-10-20K-B2M-LA	UND	16	2,27	36,32
	CEM3340	UND	6	15	90
				TOTAL:	359,39
				20 % FLETE	71,88
				TOTAL GENERAL:	431,27

FECHA: 01/07/2020

LISTADO DE COMPONENTES

PROYECTO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE SINTETIZADOR ANALOGICO MODULAR

PARTIDA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL
2	COMPONENTES NACIONALES				
	POTENCIOMETRO 5K 3 PIN	UND	2	0,24	0,47
	POTENCIOMETRO 50K 3 PIN	UND	5	0,24	1,18
	POTENCIOMETRO 100K 3 PIN	UND	4	0,24	0,94
	POTENCIÓMETRO 1 K 3 PIN	UND	2	0,24	0,47
	CONDENSADOR 104X50	UND	2	0,03	0,06
	CONDENSADOR 474X50	UND	4	0,03	0,12
	CONDENSADOR 103X50	UND	4	0,03	0,12
	CONDENSADOR 2,2 X50	UND	4	0,03	0,12
	FILTRO 4700 X25	UND	3	0,50	1,50
	R22	UND	8	0,03	0,24
	R82K	UND	2	0,03	0,06
	R620	UND	5	0,03	0,15
	R1.5	UND	6	0,03	0,18
	R100K	UND	6	0,03	0,18
	R10K	UND	14	0,03	0,41
	R4.7K	UND	20	0,03	0,59
	R220	UND	14	0,03	0,41
	R1M	UND	6	0,03	0,18
	TRANSFORMADOR 12V AC 2A	UND	1	17,65	17,65
	PIN HEADER x40	UND	2	0,29	0,59
	JUMPER H-H	UND	80	0,09	7,06
	ESTAÑO	ML	20	0,29	5,88
	MECHA SOLDAR	ROLLO	2	1,47	2,94
	BASE IC 8 PINES	UND	10	0,06	0,59
	BASE IC 16 PINES	UND	10	0,12	1,18
	TRANSISTOR BC	UND	6	0,09	0,53
	DIODO	UND	4	0,03	0,12
	PILA 9V CARBON	UND	1	0,88	0,88
	PLACA PCB PERFORADA 9X14.5	UND	12	1,18	14,12
	JACK 3.5 MM MONO	UND	16	0,29	4,71
	LAMINA GALVANIZADA 1/8	M2	0,5	35,29	17,65
	TABLA 20 MM	M2	1	14,71	14,71
	TORNILLOS	CAJA	1	0,59	0,59
	PINTURA	UND	1	2,35	2,35
	RASPBERRY PI B+	UND	1	100,00	100,00
	PANTALLA LCD 16X2	UND	1	6,50	6,50
	TRANSFORMADOR RASPBERRY	UND	1	7,94	7,94
	DISIPADORES DE	UND	3	3,00	9,00

CABLES	CALOR	ML	5	1,00	5,00
				TOTAL:	227,32
				12 % IVA	27,28
				TOTAL GENERAL:	254,60

RESUMEN DE COSTOS

COMPONENTES IMPORTADOS		431,27
COMPONENTES NACIONALES		254,60
TOTAL		685,87
	5 %VAR	34,29351765
	\$	720,16

El costo de los Componentes del Prototipo es de 720,16 US\$

Tabla 9. Comparación de Costos

COMPARACIÓN DE COSTOS CON EQUIPOS SIMILARES

MODELO	COSTO (\$)
KORG MS20	1500
PROPHET 5	8000
ENDORPHIN.ES SHUTTLE SYSTEM	2200

La **conclusión** de esta comparación con los equipos similares en el mercado, es que el prototipo diseñado y construido se puede posicionar en el mercado de los sintetizadores analógicos modulares por su costo ofreciendo la misma calidad en materiales y acabados.

:

CAPITULO IV

RESULTADOS

Se procede a analizar el comportamiento de los módulos y medir si cumplen con las especificaciones planteadas. Para comprobar estas funcionalidades, se van a realizar varios tipos de mediciones para corroborar su cumplimiento.

Pruebas del hardware

El hardware es el que cumple con las especificaciones requeridas, por tanto las pruebas consisten en primero una prueba de encendido, seguido de una prueba para ver si los componentes no superan temperaturas normales, y ya se pasa a comprobar las funcionalidades del módulo.

Prueba de encendido: El primer paso después del montaje de los módulos es conectarlo a la corriente y verificar si puede encenderse sin problemas. Esta prueba descarta cortocircuitos y errores severos en el montaje o diseño. En caso de conseguir un encendido correcto, sin problemas, se procede a la siguiente prueba, en el caso contrario, hay que buscar un problema grave en el dispositivo.

Prueba de calentamiento: Una vez encendido el módulo, es importante comprobar que las temperaturas de los componentes sean correctas, ya que una temperatura demasiado elevada nos indica errores de hardware o cortocircuitos. Para realizar esta prueba se debe encender el módulo y monitorizar sus temperaturas durante unos minutos, si no se salen de lo común, se procede a la siguiente prueba, en el caso contrario, hay que buscar un problema en el dispositivo.

Prueba de funcionalidades: En este apartado se comprueban las especificaciones planteadas respecto a cada módulo al inicio del documento.

Tabla 10 : Resumen de Pruebas del Sintetizador

MODULO	TIPOS DE PRUEBA		
	ENCENDIDO	CALENTAMIENTO	FUNCIONABILIDAD
ALIMENTACION	Funciona optimo	No Posee	Cumple con todos los Voltajes requeridos (5 , 12,-12)
MIDI/CV	Tarde 14seg en encender, debido a la carga del sistema operativo del Raspberry	Están dentro de los límites normales del funcionamiento del Raspberry	El circuito opera en optimas condiciones, tiene unos tiempos de respuesta óptimos para su uso en vivo
VCO	Funciona optimo	No posee	La salida de onda triangular presenta un voltaje menor al de las otras dos señales, haciendo que su sonido sea de menor volumen
MIXER	Funciona optimo	No posee	Excelente. Hace una mezcla efectiva de los tres canales sin ningún tipo de ruido
VCF	Funciona Optimo	No Posee	Genera una frecuencia de corte espectacular y puede ser utilizada como oscilador
VCA	Funciona optimo	No Posee	Funciona perfecto
ADSR	Funciona optimo	No posee	Cumple con los requerimientos
CASE Y PANELES	N.A.	N.A.	Se ajusto al diseño realizado cuadrando perfectamente los paneles en los railes con sus respectivos tornillos

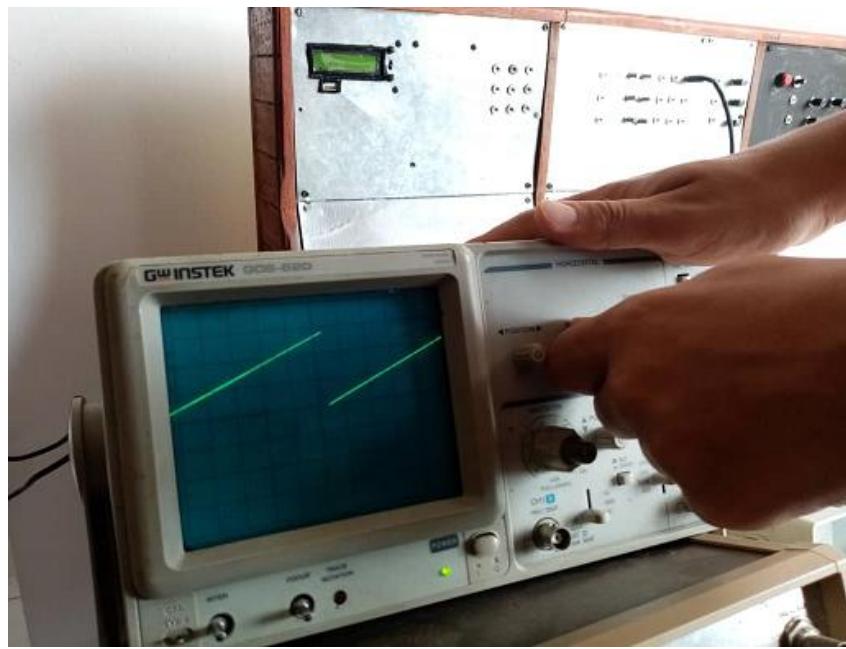


Grafico 62 : Medición de la Salida de la Onda diente de Sierra del VCO.

En el Grafico 62 Se puede observar un comportamiento óptimo del circuito VCO1 en la generación de esta onda.

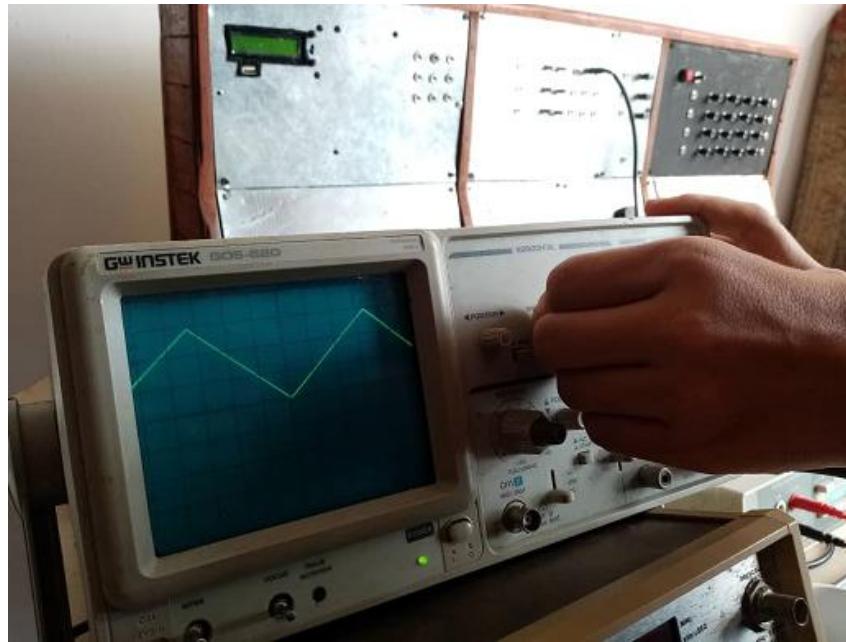


Grafico 63: Medición de la Salida de la Onda Triangular del VCO.

En el Grafico 63 se puede observar un comportamiento óptimo del circuito VCO1 en la generación de la onda Triangular.

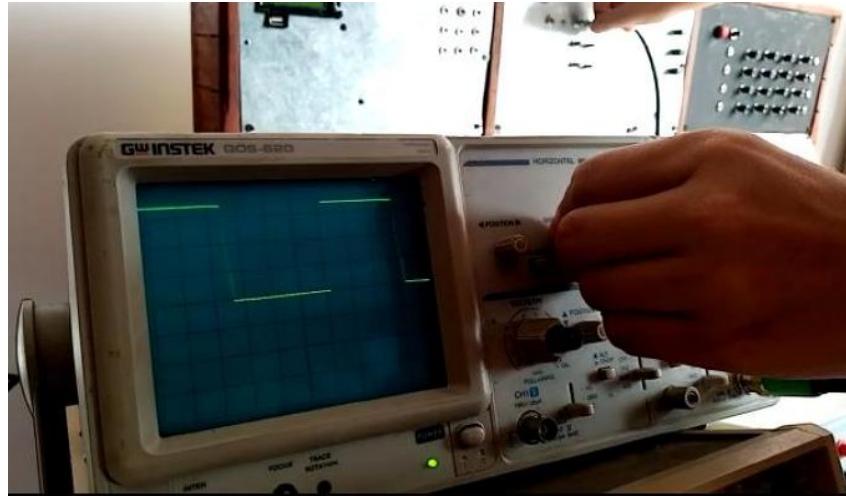


Grafico 64: Medición de Onda Cuadrada del VCO1.

Se puede observar en el Grafico 64 un comportamiento óptimo del circuito VCO1 en la generación de la onda cuadrada



Grafico 65: Medición de la resonancia del VCF

. En el Grafico 65 se puede observar una ligera distorsión que es provocada a propósito por los leds conectados en la red de retroalimentación de la resonancia, agregándole más armónicos a su sonido.

Medición de Voltajes en VCOs

En la Tabla 11 se puede apreciar los voltajes de entrada a cada VCO para cada nota. Se puede observar que existe un variación significativa en el tercer canal lo cual hace que funcione de una forma diferente, entre ellas que no llega sino a 5 octavas. La variación de voltaje es 1 voltio por octava y los resultados obtenidos nos muestran una variación de 0,45% para el VCO1, -3.3% para el VCO2 y -18,62% para el VCO3.

Tabla 11: Medición de Voltaje de Entrada por Nota en VCOs

ID	NOTA	RELACION ENTRE VOLTAJE ENTRADA Y NOTA			VOLTAJExOCTAVA		
		VOLTAJExNOTA			VOLTAJExOCTAVA		
		VCO1	VCO2	VCO3	VCO1	VCO2	VCO3
1	C1	3,34	3,39	5,42			
2	C#1	3,41	3,49	5,47			
3	D1	3,5	3,58	5,55			
4	D#1	3,59	3,66	5,63			
5	E1	3,69	3,77	5,71			
6	F1	3,78	3,85	5,77			
7	F#1	3,87	3,93	5,86			
8	G1	3,96	4,03	5,93			
9	G#1	4,05	4,11	6,01			
10	A1	4,15	4,2	6,08			
11	A#1	4,24	4,29	6,16			
12	B1	4,32	4,38	6,23	0,98	0,99	0,81
13	C2	4,41	4,47	6,3	1	0,98	0,83
14	C#2	4,51	4,55	6,37	1,01	0,97	0,82
15	D2	4,6	4,64	6,44	1,01	0,98	0,81
16	D#2	4,69	4,72	6,53	1	0,95	0,82
17	E2	4,78	4,82	6,59	1	0,97	0,82
18	F2	4,88	4,91	6,66	1,01	0,98	0,8
19	F#2	4,97	4,99	6,75	1,01	0,96	0,82

20	G2	5,06	5,08	6,82	1,01	0,97	0,81
21	G#2	5,15	5,16	6,89	1	0,96	0,81
22	A2	5,24	5,25	6,97	1	0,96	0,81
23	A#2	5,33	5,34	7,04	1,01	0,96	0,81
24	B2	5,42	5,43	7,11	1,01	0,96	0,81
25	C3	5,51	5,52	7,18	1	0,97	0,81
26	C#3	5,6	5,61	7,25	1	0,97	0,81
27	D3	5,69	5,69	7,33	1	0,97	0,8
28	D#3	5,78	5,79	7,4	1	0,97	0,81
29	E3	5,88	5,86	7,48	1	0,95	0,82
30	F3	5,97	5,96	7,55	1	0,97	0,8
31	F#3	6,05	6,05	7,63	0,99	0,97	0,81
32	G3	6,15	6,13	7,71	1	0,97	0,82
33	G#3	6,23	6,23	7,78	0,99	0,98	0,81
34	A3	6,33	6,31	7,86	1	0,97	0,82
35	A#3	6,42	6,39	7,92	1	0,96	0,81
36	B3	6,51	6,49	8	1	0,97	0,82
37	C4	6,61	6,57	8,08	1,01	0,96	0,83
38	C#4	6,69	6,66	8,15	1	0,97	0,82
39	D4	6,79	6,74	8,22	1,01	0,95	0,82
40	D#4	6,87	6,83	8,29	0,99	0,97	0,81
41	E4	6,97	6,92	8,37	1	0,96	0,82
42	F4	7,06	7,01	8,45	1,01	0,96	0,82
43	F#4	7,15	7,09	8,52	1	0,96	0,81
44	G4	7,24	7,18	8,6	1,01	0,95	0,82
45	G#4	7,34	7,27	8,66	1,01	0,96	0,8
46	A4	7,42	7,36	8,75	1	0,97	0,83
47	A#4	7,52	7,45	8,81	1,01	0,96	0,81
48	B4	7,61	7,53	8,9	1	0,96	0,82
49	C5	7,7	7,61	8,97	1,01	0,95	0,82
50	C#5	7,79	7,72	9,03	1	0,98	0,81
51	D5	7,88	7,8	9,11	1,01	0,97	0,82
52	C#5	7,98	7,89	9,18	1,01	0,97	0,81
53	C5	8,07	7,98	9,26	1,01	0,97	0,81
54	F5	8,16	8,07	9,33	1,01	0,98	0,81
55	F#5	8,25	8,15	9,41	1,01	0,97	0,81
56	G5	8,35	8,24	9,48	1,01	0,97	0,82
57	G#5	8,43	8,33	9,55	1,01	0,97	0,8
58	A5	8,52	8,42	9,63	1	0,97	0,82
59	A#5	8,63	8,5	9,7	1,02	0,97	0,8
60	B5	8,7	8,59	9,78	1	0,98	0,81

61	C6	8,8	8,68	9,85	1,01	0,96	0,82
62	C#6	8,9	8,77		1,02	0,97	
63	D6	8,98	8,86		1	0,97	
64	D#6	9,08	8,95		1,01	0,97	
65	E6	9,17	9,03		1,01	0,96	
66	F6	9,26	9,12		1,01	0,97	
67	F#6	9,35	9,21		1	0,97	
68	G6	9,44	9,29		1,01	0,96	
69	G#6	9,54	9,38		1,02	0,96	
70	A6	9,62	9,46		0,99	0,96	
71	A#6	9,71	9,56		1,01	0,97	
72	B6	9,81	9,65		1,01	0,97	
73	C7	9,9	9,73		1	0,96	
PROMEDIO				1,00451613	0,96677419	0,8138	
%VAR				0,4516129	-3,32258065	-18,62	

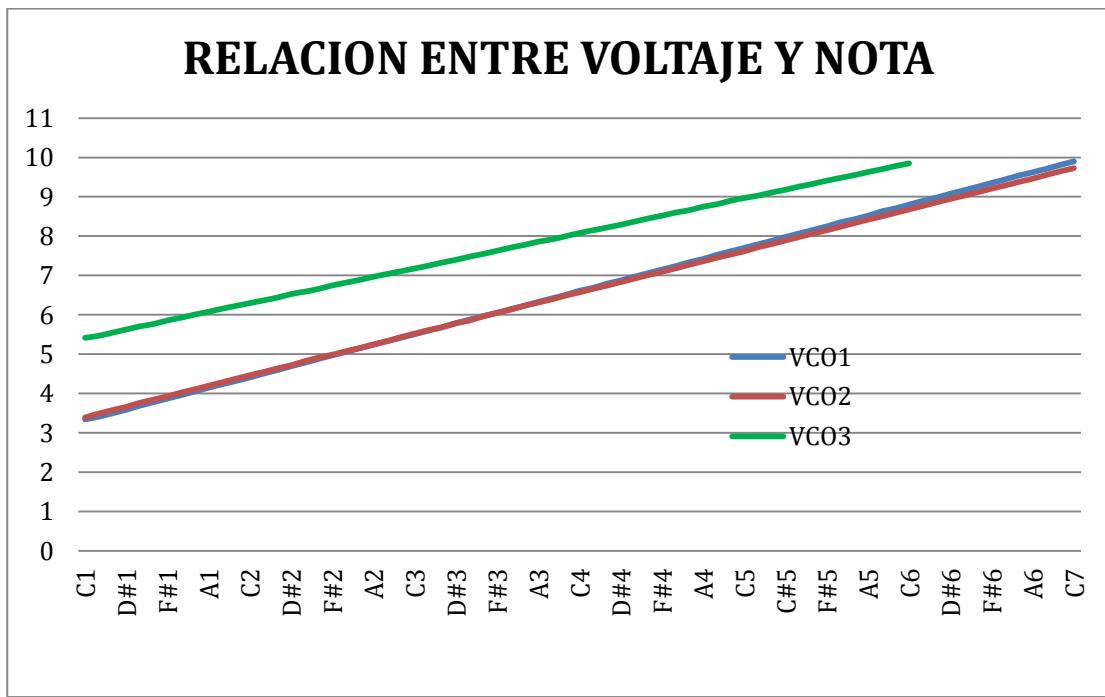


Grafico 66.: Medición de Voltajes de Entrada al VCO por Nota

En el Grafico 66 se puede apreciar el diferencial entre los 3 canales de entrada al VCO.

CONCLUSIONES

Elaborar esta tesis de grado representó todo un reto ya que la intención de la misma era construir un instrumento musical económico que pudiese competir con los sintetizadores de gama alta del mercado. Dados los resultados de las pruebas podemos afirmar que el objetivo se ha alcanzado y además deja un prototipo que se puede utilizar a nivel profesional.

En este proyecto se investigó el proceso de creación de un sintetizador analógico modular, que debe ser apropiado para su uso como herramienta educativa y como instrumento musical. El proyecto también tenía como objetivo producir recursos de libre disponibilidad y alta calidad, para el uso de personas interesadas en desarrollar un sistema similar. Con el fin de encontrar un enfoque adecuado para cumplir con estos objetivos, se realizó una investigación en diversas técnicas de síntesis, sintetizadores modulares, procesamiento de audio, interfaces musicales (como MIDI), hardware de procesamiento de audio, software de interfaces y procesos de manufactura.

Esta investigación reveló que la creación de un sintetizador modular analógico es viable para satisfacer los requerimientos de este tipo de instrumentos en la industria musical Venezolana, ya que los resultados obtenidos muestran una calidad en el sonido del instrumento capaz de competir con otros modelos establecidos en el mercado internacional de sintetizadores.

Debido a la situación actual, fue un desafío obtener todos los componentes que eran requeridos para elaborar el instrumento, de la misma forma se tuvo que diseñar varios materiales para ser utilizados en la fabricación del sintetizador de forma artesanal, entre ellos los dibujos del esquema de los paneles, los orificios de los paneles y sus cortes, el cajón, las letras y señalización de cada módulo..

Se encontraron varios desafíos durante este proceso de implementación. Por ejemplo, las conexiones sueltas de los cables a los potenciómetros impedían su

correcto funcionamiento, revelando que los cables jumpers son inapropiados para otros usos que no sean para conectar componentes directamente a los pines GPIO de la Raspberry Pi.

El sintetizador completo se evaluó mediante un estudio, en el que se crearon sonidos que fueron publicados en redes sociales donde los espectadores emitieron sus opiniones sobre el mismo mostrando gran interés y elogiando la calidad de estos sonidos.

Como conclusión personal puedo declarar a esta tesis de grado como la convolución de las dos ramas de conocimiento en las que me he especializado, marcando el principio de una nueva etapa en mi desarrollo profesional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Aplicaciones con Microcontroladores (2010). *Microcontrolador* [Documento en línea]. Disponible: <http://marcombo.com> [consulta: Agosto, 2018]
- [2] Clegg B. (2017) *A Modular Synthesizer using the Raspberry Pi*. Tesis de grado University of Sheffield. Disponible: <https://ben.clegg.tech/files/ben-clegg-dissertation-2017.pdf>. [consulta: Enero,2020]
- [3] ElectroBOOM.com. Disponible:<https://www.youtube.com/user/msadaghd>. [Consulta, Abril,2020]
- [4] Electronica FP Disponible:
https://www.youtube.com/channel/UCeidauAlxx_JeNcrleaPDqw. [Consulta: Abril,2020]
- [5] Friedman, D. (1985), *Synthesizer Basics*. 1era Edición. New York. Editorial Music Sales Corp.
- [6] Hal Chamberlin (1983) *Musical Applications of Microprocessors*.2da Edicion. Editorial Hayden Book Company
- [7] Jenkins, M. (2007), *Analog Synthesizers*. 1era Edición. Burlington. Editorial Elsevier.
- [8] KiCAD tutorial 2019. *Learn KiCAD under 25 minutes*. Disponible:
<https://www.youtube.com/watch?v=-tN14xIWWmA>. [Consulta: mayo,2020]
- [9] Miles, D. (2007), *The MIDI Manual*. 3era Edición. Burlington. Editorial Elsevier.
- [10] Stinchcombe T. (2006). A Study of the Korg MS10 y MS20 Filters. Disponible: http://www.timstinchcombe.co.uk/synth/MS20_study.pdf. [Consulta: Junio,2020]

- [11] Synths'rús. *Third ADSR shematic* . Disponible:
<https://www.schmitzbits.de/adsr.html> [Consulta: Marzo,2020]
- [12] Tom Witshire. *Desig a Eurorack Vintage VCA with the LM13700.* Disponible: <https://electricdruid.net/design-a-eurorack-vintage-vca-with-the-lm13700/> [Consulta: Mayo, 2020]
- [13] Wilson, R. (2013), *Make: Analog Synthesizers*. 1era Edición. New York. Editorial: Maker Media.
- [14] Wikipedia.com. *Sintetizadores* [publicación en línea]. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/sintetizador> [consulta: Agosto, 2018]

ANEXOS

ANEXO A

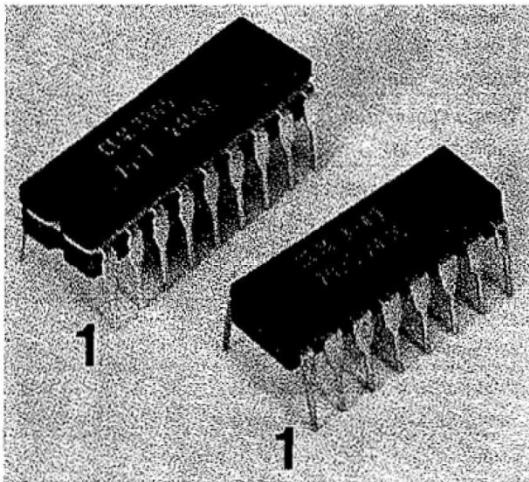
Hoja de Datos de Componentes Utilizados

Voltage Controlled Oscillator

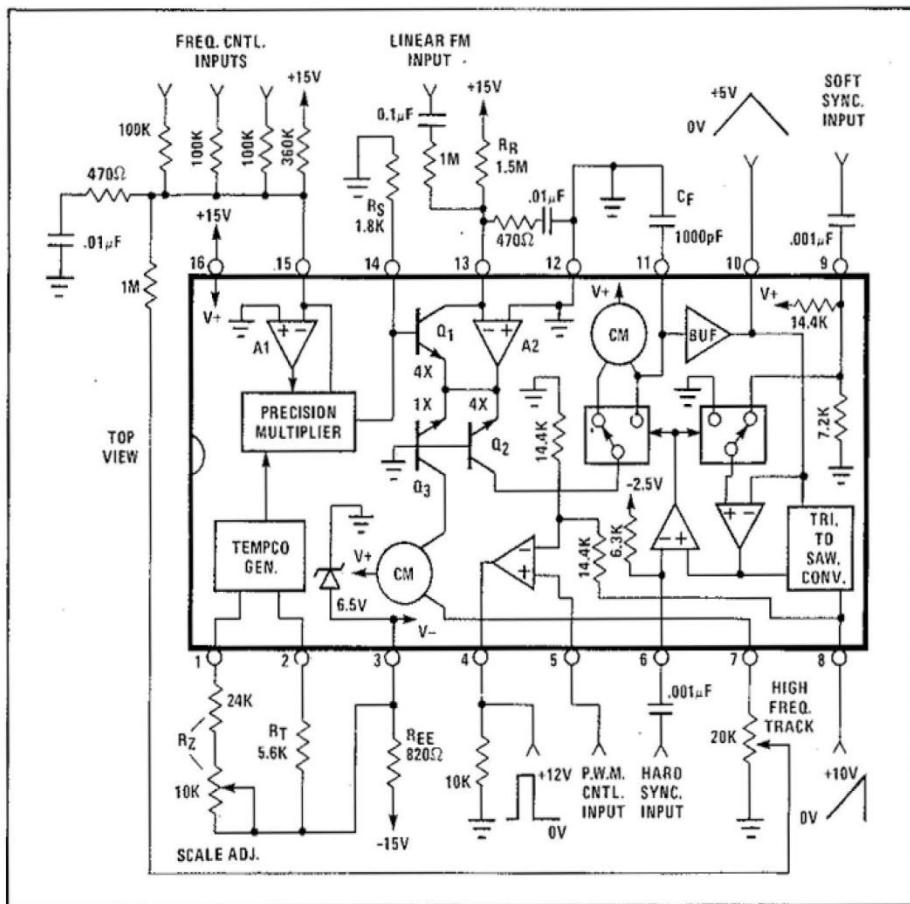
The CEM 3340 and CEM 3345 are completely self contained, precision voltage controlled oscillators, featuring both exponential and linear control scales and up to four buffered output waveforms: triangle, sawtooth, square, and pulse with voltage controllable pulse width. Full temperature compensation makes these VCOs extremely stable, and eliminates the need for a temperature compensation resistor. The highly accurate exponential and linear control inputs are virtual ground summing nodes, allowing multiple control voltages to be mixed within the device itself.

Also included is provision for hard and soft synchronization of the frequency, and an output for easy adjustment of high frequency tracking. Special care in the design ensures oscillation start-up under any power-on sequence and supply conditions.

Although a low voltage process has been used to reduce die size, cost, and leakage currents, an on-chip 6.5 volt zener diode allows the device to operate off ± 15 volt supplies, as well as $+15, -5$ volt supplies.



CEM 3340 Circuit Block and Connection Diagram



Features

- Large Sweep Range: 50,000:1 min.
- Fully Temperature Compensated; No Q81 Resistor Required
- Four Output Waveforms Available; No waveform trimming required.
- Summing Node Inputs for Frequency Control
- High Exponential Scale Accuracy
- Low Temperature Drift
- Voltage Controlled Pulse Width
- Hard and Soft Sync Inputs
- Linear FM
- Buffered, Short Circuit Protected Outputs
- ± 15 Volt Supplies

Electrical Characteristics

$V_{CC} = +15V$		$V_{EE} = \text{Internal Zener}$		$T_A = 20^\circ C$	
Parameter		Min.	Typ.	Max.	Units
Frequency Control Range		50K:1	500K:1	—	
Exponential Scale Error, Untrimmed ¹	—	0.2	1	—	%
Exponential Scale Error, Trimmed ¹	—	0.05	0.3	—	%
Multiplier Gain Error ²	—	0.0005	0.008	—	%/ μA
Tempo Cancellation ³	-150	0	+150	—	ppm
Oscillator Drift ⁴	—	± 50	± 200	—	ppm
Triangle Buffer Input Current	—	0.3	3	—	nA
Triangle Waveform Upper Level	4.85	5.0	5.15	—	V
Triangle Waveform Lower Level	-15	0	+15	—	mV
Triangle Waveform Symmetry	45	50	55	—	%
Sawtooth Waveform Upper Level	9.4	10.0	10.6	—	V
Sawtooth Waveform Lower Level	-25	0	+25	—	mV
Triangle Output Sink Capability	400	550	750	—	μA
Sawtooth Output Sink Capability	640	800	1000	—	μA
Triangle & Sawtooth Output Impedance ⁵	65	100	150	—	Ω
Pulse Output Source Capability at +10V	2.8	3.5	4.6	—	mA
Squarewave Output Levels ⁶ , CEM 3345	-1.8, -0.4	-1.3, 0	-0.8, +0.4	—	V
PWM Input Pin Current ⁷	.5	1.5	3.5	—	μA
PWM Input Voltage for 0% Pulse Width	-15	0	+15	—	mV
PWM Input Voltage for 100% Pulse Width	4.6	5.0	5.4	—	V
Input Bias Current at Reference and Control Current Inputs	80	200	400	—	nA
Tempco of Input Bias Currents	-1000	0	+1000	—	ppm
Offset Voltage at Reference and Control Current Inputs	-5	0	+5	—	mV
Hard Sync Reference Voltage	-2.3	-2.5	-2.8	—	V
Hard Sync Input Resistance	5	6.3	7.9	—	K Ω
Max Capacitor Charge/Discharge Current	400	570	800	—	μA
Positive Supply Current	4	5	6.5	—	mA
Positive Supply Voltage Range	+10	—	+18	—	V
Negative Supply Voltage Range ⁸	-4.5	—	-18	—	V

Note 1: This error represents the percentage difference in scale factors (volts per frequency ratio) of the exponential generator anywhere over the exponential generator current range of 50nA to 100 μA . Most of this error occurs at the range extremities.

Note 2: This error represents the percentage difference in multiplier gains at any two input currents, within the range of 20 μA to 180 μA , per μA difference between the two corresponding outputs.

Note 3: This spec represents the difference between the actual tempco of the multiplier output voltage (expressed relative to the maximum output excursions) and the tempco required to precisely cancel the tempco of the exponential scale factor (q/KT).

Note 4: The multiplier output is grounded.

Note 5: For exponential generator currents less than 10 μA ; above 10 μA , impedance drops to 1/3 this value as the highest current is approached.

Note 6: With respect to the hard sync input reference voltage.

Note 7: For PWM control inputs between -1 and +6 volts. This current is significantly greater for inputs outside of this range.

Note 8: Current limiting resistor required for negative supplies greater than -6 volts.

Application Hints

Supplies

Since the device can withstand no more than 24 volts between its supply pins, an internal 6.5 volt $\pm 10\%$ Zener diode has been provided to allow the chip to operate off virtually any negative supply voltage. If the negative supply is between -4.5 and -6.0 volts, it may be connected directly to the negative supply pin (pin 3). For voltages greater than -7.5 volts, a series current limiting resistor must be added between pin 3 and the negative supply. Its value is calculated as follows:

$$R_{EE} = (V_{EE} - 7.2) / .008$$

Although the circuit was designed for a positive supply of +15 volts, it may be operated anywhere between +10 and +18 volts. The only effect is on the positive peak amplitude of the output waveforms in accordance to the following: The triangle peak is one third of the supply, the sawtooth peak is two thirds of the supply, and the pulse peak is 1.5 volts below the supply.

Operation of the Temperature Compensation Circuitry

The exponential generator is temperature compensated by multiplying the current sourced into the frequency control pin (pin 15 on the CEM3340, pin 17 on the CEM3345) times a coefficient directly proportional to the absolute temperature. As this control current is applied to the exponential generator, its coefficient cancels that of the exponential generator, q/KT . This coefficient is produced by the tempco generator using the same mechanisms that create it in the exponential generator; cancellation is therefore nearly perfect.

The output of the precision multiplier (pin 14 on the 3340,

LM13700 Dual Operational Transconductance Amplifiers With Linearizing Diodes and Buffers

1 Features

- g_m Adjustable Over 6 Decades
- Excellent g_m Linearity
- Excellent Matching Between Amplifiers
- Linearizing Diodes for reduced output distortion
- High Impedance Buffers
- High Output Signal-to-Noise Ratio

2 Applications

- Current-Controlled Amplifiers
- Stereo Audio Amplifiers
- Current-Controlled Impedances
- Current-Controlled Filters
- Current-Controlled Oscillators
- Multiplexers
- Timers
- Sample-and-Hold Circuits

3 Description

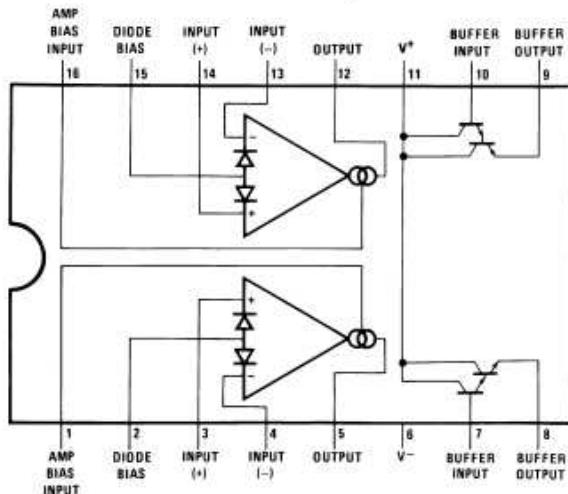
The LM13700 series consists of two current-controlled transconductance amplifiers, each with differential inputs and a push-pull output. The two amplifiers share common supplies but otherwise operate independently. Linearizing diodes are provided at the inputs to reduce distortion and allow higher input levels. The result is a 10-dB signal-to-noise improvement referenced to 0.5 percent THD. High impedance buffers are provided which are especially designed to complement the dynamic range of the amplifiers. The output buffers of the LM13700 differ from those of the LM13600 in that their input bias currents (and thus their output DC levels) are independent of I_{ABC} . This may result in performance superior to that of the LM13600 in audio applications.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM13700	SOIC (16)	3.91 mm × 9.90 mm
	PDIP (16)	6.35 mm × 19.304 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Connection Diagram



General purpose CMOS timer**ICM7555****DESCRIPTION**

The ICM7555 is a CMOS timer providing significantly improved performance over the standard NE/SE555 timer, while at the same time being a direct replacement for those devices in most applications. Improved parameters include low supply current, wide operating supply voltage range, low THRESHOLD, TRIGGER, and RESET currents, no crowbarring of the supply current during output transitions, higher frequency performance and no requirement to decouple CONTROL VOLTAGE for stable operation.

The ICM7555 is a stable controller capable of producing accurate time delays or frequencies.

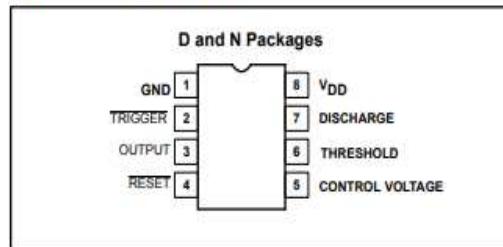
In the one-shot mode, the pulse width of each circuit is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free-running frequency and the duty cycle are both accurately controlled by two external resistors and one capacitor. Unlike the bipolar 555 device, the CONTROL VOLTAGE terminal need not be decoupled with a capacitor. The TRIGGER and RESET inputs are active low. The output inverter can source or sink currents large enough to drive TTL loads or provide minimal offsets to drive CMOS loads.

FEATURES

- Exact equivalent in most applications for NE/SE555
- Low supply current: 80 μ A (typ)
- Extremely low trigger, threshold, and reset currents: 20pA (typ)
- High-speed operation: 500kHz guaranteed
- Wide operating supply voltage range guaranteed 3 to 16V over full automotive temperatures
- Normal reset function; no crowbarring of supply during output transition
- Can be used with higher-impedance timing elements than the bipolar 555 for longer time constants

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	ICM7555CN	0404B
8-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0 to +70°C	ICM7555CD	0174C
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40 to +85°C	ICM7555IN	0404B
8-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-40 to +85°C	ICM7555ID	0174C

PIN CONFIGURATION

- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- High output source/sink driver can drive TTL/CMOS
- Typical temperature stability of 0.005%/°C at 25°C
- Rail-to-rail outputs

APPLICATIONS

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Missing pulse detector



Quad, 16-Bit nanoDAC+ with 4 ppm/ $^{\circ}$ C Reference, SPI Interface

Enhanced Product

AD5686R-EP

FEATURES

- High relative accuracy (INL): ± 4 LSB maximum at 16 bits
- Low drift 2.5 V reference: 4 ppm/ $^{\circ}$ C typical
- Tiny package: 3 mm \times 3 mm, 16-lead LFCSP
- Total unadjusted error (TUE): $\pm 0.1\%$ of FSR maximum
- Offset error: ± 1.5 mV maximum
- Gain error: $\pm 0.1\%$ of FSR maximum
- High drive capability: 15 mA, 0.5 V from supply rails
- User selectable gain of 1 or 2 (GAIN pin)
- Reset to zero scale or midscale (RSTSEL pin)
- 1.8 V logic compatibility
- 50 MHz SPI with readback or daisy chain
- Low glitch: 0.5 nV-sec
- Low power: 3.3 mW at 3 V
- 2.7 V to 5.5 V power supply

ENHANCED PRODUCT FEATURES

- Supports defense and aerospace applications (AQEC)
- Temperature range: -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$
- Controlled manufacturing baseline
- 1 assembly/test site
- 1 fabrication site
- Enhanced product change notification
- Qualification data available on request

APPLICATIONS

- Optical transceivers
- Base-station power amplifiers
- Process control (PLC input/output cards)
- Industrial automation
- Data acquisition systems

GENERAL DESCRIPTION

The AD5686R-EP, a member of the *nanoDAC+* family, is a low power, quad, 16-bit buffered voltage output digital-to-analog converter (DAC). The device includes a 2.5 V, 4 ppm/ $^{\circ}$ C internal reference (enabled by default) and a gain select pin giving a full-scale output of 2.5 V (gain = 1) or 5 V (gain = 2). The device operates from a single 2.7 V to 5.5 V supply, is guaranteed monotonic by design, and exhibits less than 0.1% FSR gain error and 1.5 mV offset error performance. The device is available in a 3 mm \times 3 mm LFCSP package.

The AD5686R-EP also incorporates a power-on reset circuit and a RSTSEL pin that ensures that the DAC outputs power up to zero scale or midscale and remains there until a valid write occurs. The device contains a per-channel power-down feature that

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

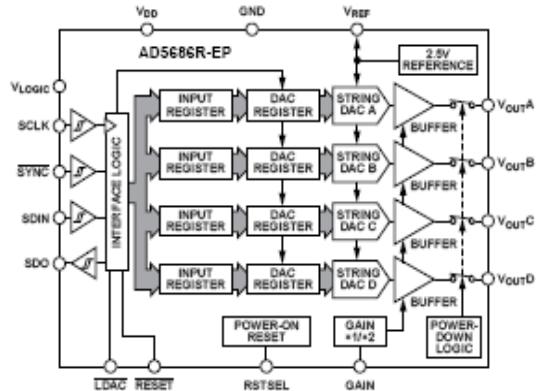


Figure 1.

ESD-41

reduces the current consumption of the device to 4 μ A at 3 V while in power-down mode.

The AD5686R-EP employs a versatile serial peripheral interface (SPI) that operates at clock rates up to 50 MHz, and contains a V_{LOGIC} pin that is intended for 1.8 V/3 V/5 V logic.

Additional application and technical information can be found in the AD5686R/AD5685R/AD5684R data sheet.

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. High Relative Accuracy (INL).
 ± 4 LSB maximum.
2. Low Drift 2.5 V On-Chip Reference.
4 ppm/ $^{\circ}$ C typical temperature coefficient.
13 ppm/ $^{\circ}$ C maximum temperature coefficient.

Rev. A

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

Document Feedback

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 ©2015–2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved.
Technical Support www.analog.com

FEATURES

- **Smallest Pin-Compatible Dual DACs:**
 - LTC2602: 16-Bits
 - LTC2612: 14-Bits
 - LTC2622: 12-Bits
- **Guaranteed 16-Bit Monotonic Over Temperature**
- Wide 2.5V to 5.5V Supply Range
- Low Power Operation: 300 μ A per DAC at 3V
- Individual Channel Power-Down to 1 μ A, Max
- Ultralow Crosstalk between DACs (30 μ V)
- High Rail-to-Rail Output Drive (\pm 15mA)
- Double-Buffered Data Latches
- Pin-Compatible 10-Bit Version (LTC1661)
- Tiny 8-Lead MSOP Package

APPLICATIONS

- Mobile Communications
- Process Control and Industrial Automation
- Instrumentation
- Automatic Test Equipment

DESCRIPTION

The LTC®2602/LTC2612/LTC2622 are dual 16-,14- and 12-bit, 2.5V-to-5.5V rail-to-rail voltage-output DACs, in a tiny 8-lead MSOP package. They have built-in high performance output buffers and are guaranteed monotonic.

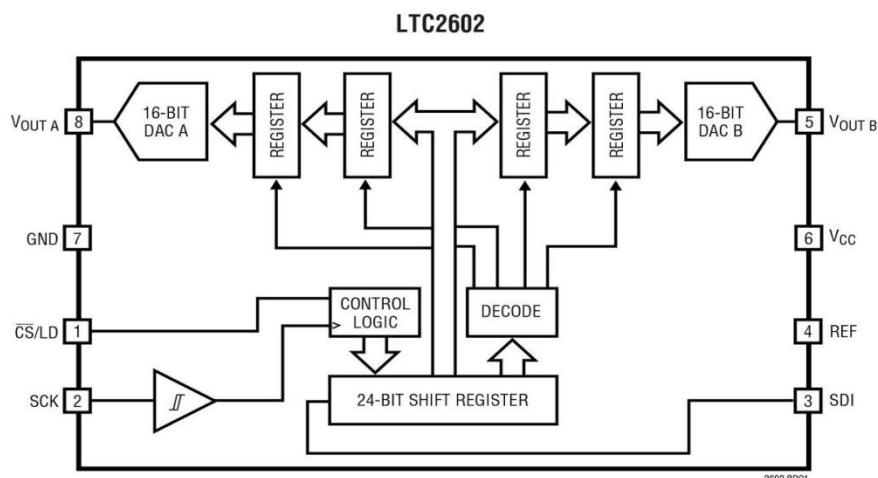
These parts establish advanced performance standards for output drive, crosstalk and load regulation in single-supply, voltage output multiples.

The parts use a simple SPI/MICROWIRE™ compatible 3-wire serial interface which can be operated at clock rates up to 50MHz.

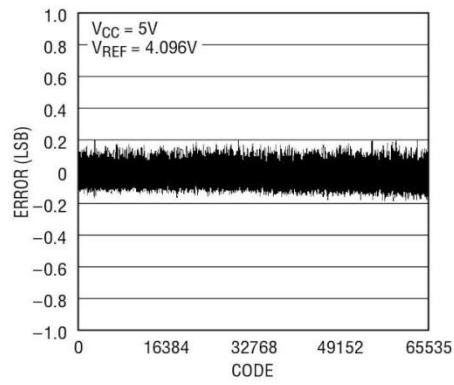
The LTC2602/LTC2612/LTC2622 incorporate a power-on reset circuit. During power-up, the voltage outputs rise less than 10mV above zero scale, and after power-up, they stay at zero scale until a valid write and update take place.

LTC, LTC and LT are registered trademarks of Linear Technology Corporation.
All other trademarks are the property of their respective owners.

BLOCK DIAGRAM



Differential Nonlinearity (DNL)(LTC2602)



TL07xx Low-Noise JFET-Input Operational Amplifiers

1 Features

- Low Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- Low Total Harmonic Distortion: 0.003% (Typical)
- Low Noise
 $V_n = 18 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ (Typical) at $f = 1 \text{ kHz}$
- High-Input Impedance: JFET Input Stage
- Internal Frequency Compensation
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate: 13 V/ μs (Typical)
- Common-Mode Input Voltage Range
Includes V_{CC+}

2 Applications

- Motor Integrated Systems: UPS
- Drives and Control Solutions: AC Inverter and VF Drives
- Renewables: Solar Inverters
- Pro Audio Mixers
- DLP Front Projection System
- Oscilloscopes

3 Description

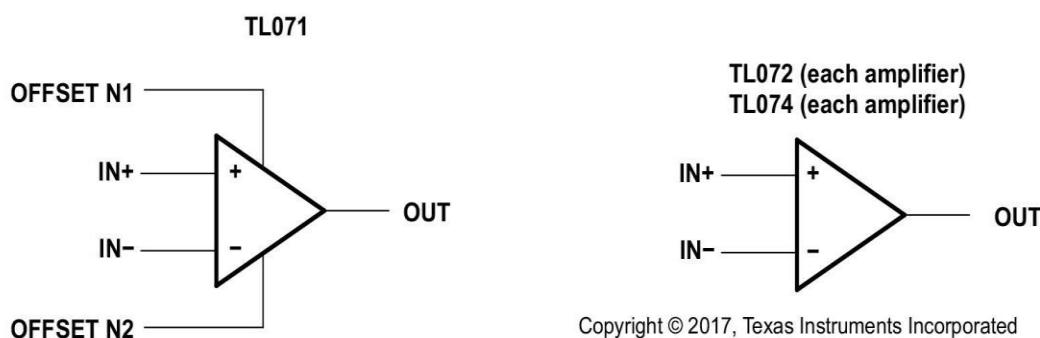
The TL07xx JFET-input operational amplifiers incorporate well-matched, high-voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit. The devices feature high slew rates, low-input bias and offset currents, and low offset-voltage temperature coefficient. The low harmonic distortion and low noise make the TL07x series ideally suited for high-fidelity and audio pre-amplifier applications. The TL071 device has offset pins to support external input offset correction.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
TL07xxD	SOIC (14)	8.65 mm × 3.91 mm
	SOIC (8)	4.90 mm × 3.90 mm
TL07xxJG	CDIP (8)	9.59 mm × 6.67 mm
TL074xJ	CDIP (14)	19.56 mm × 6.92 mm
TL07xxP	PDIP (8)	9.59 mm × 6.35 mm
TL07xxPS	SO (8)	6.20 mm × 5.30 mm
TL074xN	PDIP (14)	19.3 mm × 6.35 mm
TL074xNS	SO (14)	10.30 mm × 5.30 mm
TL07xxPW	TSSOP (8)	4.40 mm × 3.00 mm
TL074xPW	TSSOP (14)	5.00 mm × 4.40 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

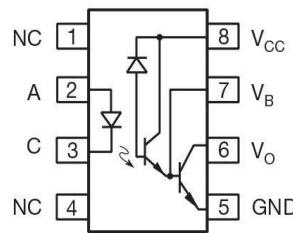
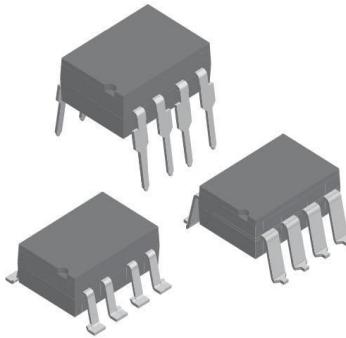
Logic Symbols



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

Amplificador Operacional TL074

High Speed Optocoupler, 100 kBd, Low Input Current, Photodiode Darlington Output



FEATURES

- High current transfer ratio, 300 %
- Low input current, 0.5 mA
- High output current, 60 mA
- Isolation test voltage, 5300 V_{RMS}
- TTL compatible output, V_{OL} = 0.1 V
- High common mode rejection, 500 V/μs
- Adjustable bandwidth-access to base
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



RoHS
COMPLIANT

DESCRIPTION

High common mode transient immunity and very high current ratio together with 5300 V_{RMS} insulation are achieved by coupling and LED with an integrated high gain photo detector in an eight pin dual-in-line package. Separate pins for the photo diode and output stage enable TTL compatible saturation voltages with high speed operation.

Access to the base terminal allows adjustment to the gain bandwidth.

The 6N138 is ideal for TTL applications since the 300 % minimum current transfer ratio with an LED current of 1.6 mA enables operation with one unit load-in and one unit load-out with a 2.2 kΩ pull-up resistor.

The 6N139 is best suited for low power logic applications involving CMOS and low power TTL. A 400 % current transfer ratio with only 0.5 mA of LED current is guaranteed from 0 °C to 70 °C.

Caution: Due to the small geometries of this device, it should be handled with Electrostatic Discharge (ESD) precautions. Proper grounding would prevent damage further and/or degradation which may be induced by ESD.

APPLICATIONS

- Microprocessor system interface
- PLC, ATE input / output isolation
- EIA RS232 line receiver
- TTL, CMOS voltage level translation
- Multiplexed data transmission
- Digital control power supply
- Ground loop and electrical noise elimination

AGENCY APPROVALS

- UL1577, file no. E52744, double protection
- DIN EN 60747-5-5 available with option 1

Optoacoplador 6n137

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_{amb} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)					
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT					
Reverse voltage			V_R	5	V
Forward current			I_F	25	mA
Average input current ⁽¹⁾			$I_{f(\text{avg})}$	20	mA
Input power dissipation ⁽²⁾			P_{diss}	35	mW
OUTPUT					
Supply and output voltage	Pin 8 to 5, pin 6 to 5	6N138	V_{CC}, V_O	-0.5 to 7	V
	Pin 8 to 5, pin 6 to 5	6N139	V_{CC}, V_O	-0.5 to 18	V
Emitter base reverse voltage	Pin 5 to 7			0.5	V
Peak input current	50 % duty cycle - 1 ms pulse width			40	mA
Peak transient input current	$t_p \leq 1 \mu\text{s}$, 300 pps			1	A
Output current	Pin 6		I_O	60	mA
Output power dissipation ⁽³⁾⁽⁴⁾			P_{diss}	100	mW
COUPLER					
Isolation test voltage	$t = 1 \text{ min}$		V_{ISO}	5300	V_{RMS}
Isolation resistance	$V_{IO} = 500 \text{ V}$, $T_{amb} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$		R_{IO}	$\geq 10^{12}$	Ω
	$V_{IO} = 500 \text{ V}$, $T_{amb} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$		R_{IO}	$\geq 10^{11}$	Ω
Storage temperature			T_{stg}	-55 to +150	$^{\circ}\text{C}$
Operating temperature			T_{amb}	-55 to +100	$^{\circ}\text{C}$
Lead soldering temperature ⁽⁵⁾	$t = 10 \text{ s}$		T_{sld}	260	$^{\circ}\text{C}$

Notes

- Stresses in excess of the absolute maximum ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods of the time can adversely affect reliability.
- (1) Derate linearly above $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ free-air temperature at a rate of $0.333 \text{ mA}/^{\circ}\text{C}$.
- (2) Derate linearly above $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ free-air temperature at a rate of $0.467 \text{ mW}/^{\circ}\text{C}$.
- (3) Derate linearly above $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ free-air temperature at a rate of $0.6 \text{ mA}/^{\circ}\text{C}$.
- (4) Derate linearly above $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ free-air temperature at a rate of $1 \text{ mW}/^{\circ}\text{C}$.
- (5) Refer to reflow profile for soldering conditions for surface mounted devices (SMD). Refer to wave profile for soldering conditions for through hole devices (DIP).



20-Pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 instructions to learn:
 - All single-cycle instructions except branches
- Operating speed:
 - DC – 20 MHz oscillator/clock input
 - DC – 200 ns instruction cycle
- Interrupt capability
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes

Special Microcontroller Features:

- Precision Internal Oscillator:
 - Factory calibrated to $\pm 1\%$
 - Software selectable frequency range of 8 MHz to 32 kHz
 - Software tunable
 - Two-Speed Start-up mode
 - Crystal fail detect for critical applications
 - Clock mode switching during operation for power savings
- Power-Saving Sleep mode
- Wide operating voltage range (2.0V-5.5V)
- Industrial and Extended Temperature range
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRTE) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Reset (BOR) with software control option
- Enhanced low-current Watchdog Timer (WDT) with on-chip oscillator (software selectable nominal 268 seconds with full prescaler) with software enable
- Multiplexed Master Clear/Input pin
- Programmable code protection
- High Endurance Flash/EEPROM cell:
 - 100,000 write Flash endurance
 - 1,000,000 write EEPROM endurance
 - Flash/Data EEPROM retention: > 40 years
- Enhanced USART module:
 - Supports RS-485, RS-232 and LIN 2.0
 - Auto-Baud Detect
 - Auto-wake-up on Start bit

Low-Power Features:

- **Standby Current:**
 - 50 nA @ 2.0V, typical
- **Operating Current:**
 - 11 μ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
 - 220 μ A @ 4 MHz, 2.0V, typical
- **Watchdog Timer Current:**
 - <1 μ A @ 2.0V, typical

Peripheral Features:

- 17 I/O pins and 1 input only pin:
 - High current source/sink for direct LED drive
 - Interrupt-on-Change pin
 - Individually programmable weak pull-ups
 - Ultra Low-Power Wake-up (ULPWU)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (CVREF) module (% of VDD)
 - Comparator inputs and outputs externally accessible
 - SR Latch mode
 - Timer 1 Gate Sync Latch
 - Fixed 0.6V VREF
- A/D Converter:
 - 10-bit resolution and 12 channels
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Enhanced Timer1:
 - 16-bit timer/counter with prescaler
 - External Timer1 Gate (count enable)
 - Option to use OSC1 and OSC2 in LP mode as Timer1 oscillator if INTOSC mode selected
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Enhanced Capture, Compare, PWM+ module:
 - 16-bit Capture, max resolution 12.5 ns
 - Compare, max resolution 200 ns
 - 10-bit PWM with 1, 2 or 4 output channels, programmable “dead time”, max frequency 20 kHz
 - PWM output steering control
- Synchronous Serial Port (SSP):
 - SPI mode (Master and Slave)
- I²CTM (Master/Slave modes):
 - I²CTM address mask
- In-Circuit Serial ProgrammingTM (ICSPTM) via two pins

PIC16F631/677/685/687/689/690

PIC16F690 Pin Diagram (PDIP, SOIC, SSOP)

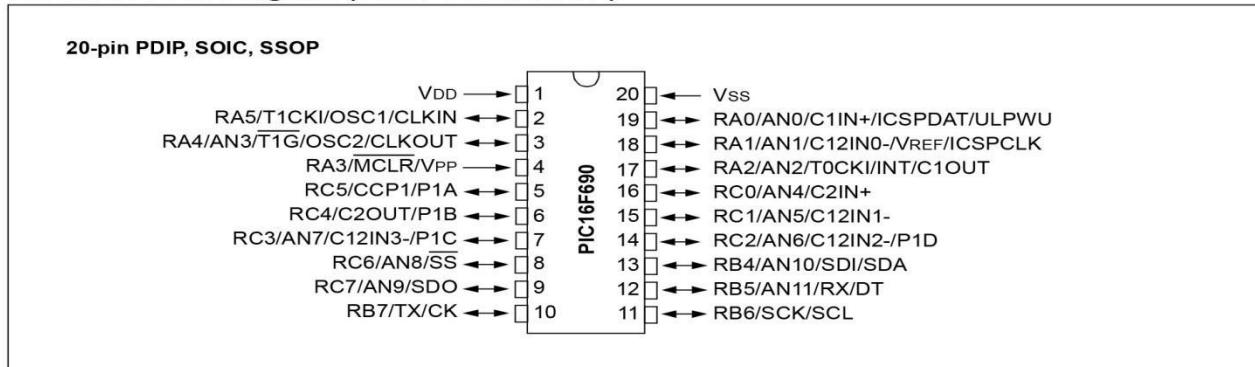


TABLE 5: PIC16F690 PIN SUMMARY

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	SSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	19	AN0/ULPWU	C1IN+	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RA1	18	AN1/VREF	C12IN0-	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RA2	17	AN2	C1OUT	T0CKI	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RA3	4	—	—	—	—	—	—	IOC	Y ⁽¹⁾	MCLR/VPP
RA4	3	AN3	—	T1G	—	—	—	IOC	Y	OSC2/CLKOUT
RA5	2	—	—	T1CKI	—	—	—	IOC	Y	OSC1/CLKIN
RB4	13	AN10	—	—	—	—	SDI/SDA	IOC	Y	—
RB5	12	AN11	—	—	—	RX/DT	—	IOC	Y	—
RB6	11	—	—	—	—	—	SCL/SCK	IOC	Y	—
RB7	10	—	—	—	—	TX/CK	—	IOC	Y	—
RC0	16	AN4	C2IN+	—	—	—	—	—	—	—
RC1	15	AN5	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RC2	14	AN6	C12IN2-	—	P1D	—	—	—	—	—
RC3	7	AN7	C12IN3-	—	P1C	—	—	—	—	—
RC4	6	—	C2OUT	—	P1B	—	—	—	—	—
RC5	5	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC6	8	AN8	—	—	—	—	SS	—	—	—
RC7	9	AN9	—	—	—	—	SDO	—	—	—
—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	20	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS

Note 1: Pull-up activated only with external MCLR configuration.

ANEXO B

Resumen Curricular



**SAMUEL DARIO
BALLESTEROS GARCÍA**
Electronic Engineer
Musician

CONTACT

- @samuelda.rio
- +58 424 838 66 18
- sssamuelll@gmail.com
- San Cristóbal, Táchira,
Venezuela

SKILLS

Python	● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
Flutter	● ● ● ● ● ● ○ ○ ○
Tecnología MIDI	● ● ● ● ● ● ○ ○ ○
Cisco Certified Network Associate	● ● ● ● ● ● ○ ○ ○
Web Developer	● ● ● ● ● ● ○ ○ ○

LANGUAGE

English	100%
French	40%
Japanese	25%

PASSIONS

-
-
-
-

ABOUT ME

I'm a full stack developer and music producer specialized in electronics and I'm creating my own synthesizers using my acknowledge of both worlds.

EDUCATION

1998 - 2003
BACHELOR
Colegio Cervantes, San Cristóbal

2004 - 2020
UNIVERSITY
Universidad Yacambú

EXPERIENCE

2009 - 2013
Electronics Technician at SUCRA,
Barquisimeto

2013 - 2017
Electronics Technician at INMETRA,
Caracas