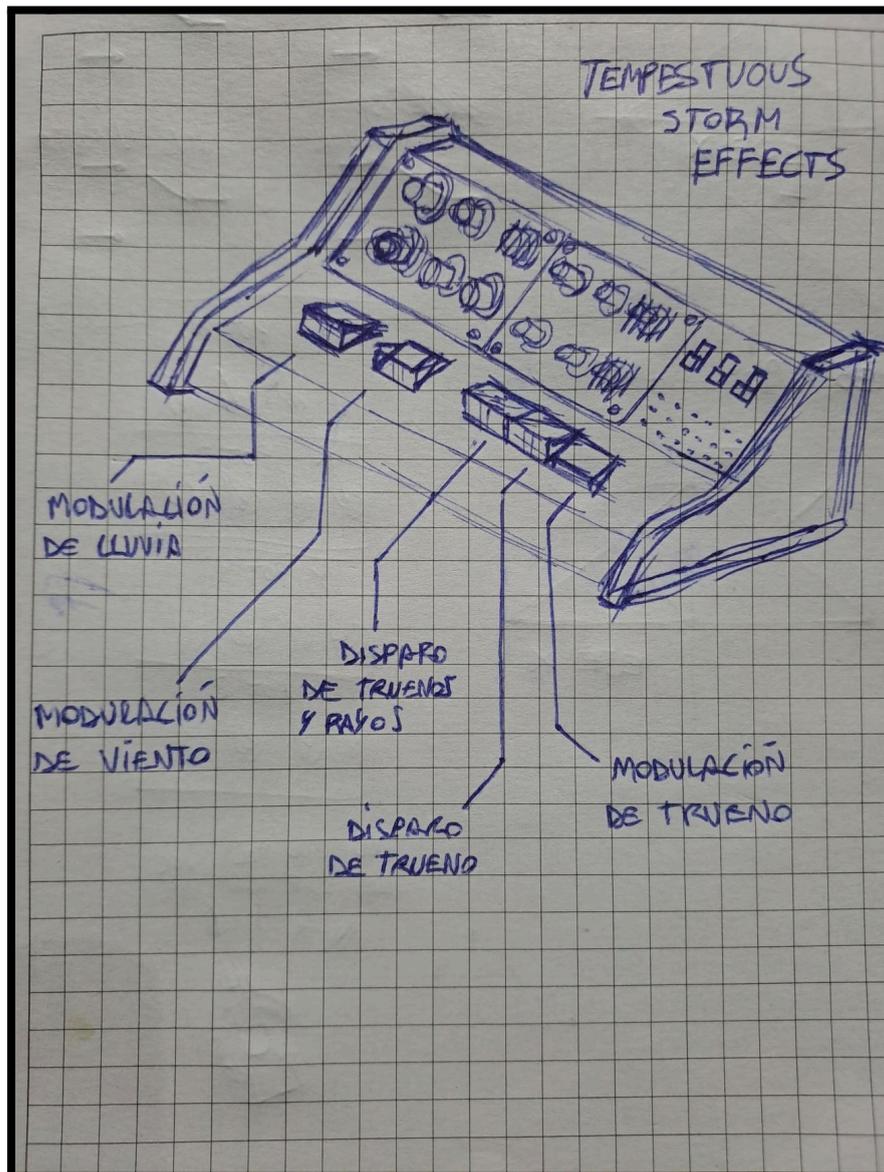


Proyecto final

# ***Generador de sonidos de tormenta***

- Dispositivo generador de sonido automático de efectos
- Efectos de sonido electrónico, de Viento y Lluvia, Rayos y Truenos



Alumno: Rodrigo Alejandro Aparicio  
Año: 4to  
Carrera: Técnico Superior de Electrónica  
Institución: Instituto Manuel Savio "ISE"

## Resumen

La idea de cómo comenzó este proyecto surgió con el hallazgo de varias revistas de electrónica antiguas de los años 80s en PDF en una página web de radioaficionados (WorldRadioHistory). En una publicación de la revista inglesa "Practical Electronics" de junio de 1986, había un proyecto muy interesante llamado "TEMPESTUOUS STORM EFFECTS" por John M. H. Becker. El título de este fascículo lo describe así

*"Trueno, Rayos, Viento y Lluvia, la respuesta electrónica a Thor".*

Con esa premisa es que se buscó entender la lógica que se usó en el diseño del circuito para mejorarlo o ampliar sus capacidades.

## Índice

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Índice</b>   | <b>3</b>  |
| <b>Introducción</b>   | <b>4</b>  |
| Fenómenos meteorológicos:   | 4         |
| Objetivos:  | 5         |
| <b>Ruido Blanco</b>   | <b>6</b>  |
| Introducción al ruido   | 6         |
| ¿Qué es el ruido?   | 6         |
| Ruido térmico   | 7         |
| Definición  | 8         |
| <b>Armado del Circuito</b>  | <b>11</b> |
| Metodología   | 11        |
| <b>Análisis del circuito original</b>   | <b>12</b> |
| Diagrama de bloques (viento y lluvia)   | 13        |
| Esquemático completo (viento y lluvia)  | 14        |
| Generador de ruido blanco   | 15        |
| Filtro controlado por tensión (lluvia)  | 16        |
| Oscilador fijo de baja frecuencia (lluvia y truenos)                                    | 17        |
| Oscilador variable de baja frecuencia (viento)  | 18        |
| Segundo filtro controlado por tensión (viento)  | 19        |
| Circuito de desplazamiento de fase (efecto Phaser)                                      | 20        |
| Mezclador   | 24        |
| <b>Cambios en el circuito</b>   | <b>26</b> |
| Problemas con el circuito original  | 26        |
| Posibles Modificaciones   | 27        |
| Objetivos a mejorar dentro del circuito   | 27        |
| Descripción del circuito desarrollado   | 28        |
| <b>Implementación de las modificaciones</b>   | <b>29</b> |
| Triple fuente de voltaje variable   | 29        |
| Selector de transistores  | 31        |
| Circuito de picos de voltaje aleatorios (lluvia)  | 38        |
| <b>Anexo I</b>  | <b>42</b> |
| <b>Mini laboratorio de experimentos con corrientes de fuga en diodos y transistores</b> | <b>42</b> |
| Características:  | 42        |
| Funciones:  | 42        |
| <b>Anexo II</b>   | <b>43</b> |
| Gabinete  | 43        |
| Descripción de los paneles de control:  | 47        |
| Funcionamiento:   | 50        |
| <b>Anexo III</b>  | <b>51</b> |
| Errores de diseño   | 51        |

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| Ruido indeseado:     | 52        |
| Jaula de Faraday:    | 52        |
| <b>Anexo IV</b>      | <b>53</b> |
| Ideas inconclusas    | 53        |
| <b>Anexo V</b>       | <b>55</b> |
| <b>Anexo VI</b>      | <b>56</b> |
| <b>Bibliografía:</b> | <b>59</b> |
| libros:              | 60        |

## Introducción

Este dispositivo de audio intenta recrear los sonidos producidos por una tormenta eléctrica, el sonido del viento, la lluvia, los rayos y truenos, y hasta puede lograrse un sonido del oleaje del mar, generando su propio sonido en base a sistemas electrónicos de estado sólido, como transistores y circuitos integrados Cmos.

Este circuito emula o recrea los sonidos producidos por fenómenos meteorológicos (sonidos ambientales que son causados por efectos físicos que ocurren en la naturaleza).

### Fenómenos meteorológicos:

Son eventos atmosféricos que ocurren en la Tierra y que pueden ser naturales, como la lluvia, el viento, y el granizo, o provocados por la actividad humana, como la contaminación del aire. Estos fenómenos son causados por la energía del sol y se manifiestan en cambios en la temperatura, la presión, la humedad y el movimiento del aire, afectando el clima y el medio ambiente.

Tipos de fenómenos meteorológicos:

- **Lluvia:** Precipitación en forma líquida.
- **Viento:** Movimiento del aire.
- **Granizo:** Precipitación en forma de bolas de hielo.
- **Nieve:** Precipitación en forma de cristales de hielo.

- **Tormentas eléctricas:** Fenómenos que involucran rayos y truenos.
- **Ciclones tropicales (huracanes, tifones, etc.):** Sistemas de baja presión con fuertes vientos y lluvias torrenciales.
- **Sequías:** Períodos prolongados sin lluvias.
- **Olas de calor:** Períodos de altas temperaturas.
- **Olas de frío:** Períodos de bajas temperaturas.
- **Inundaciones:** Desbordamiento de agua debido a lluvias intensas o crecidas de ríos.
- **Heladas:** Formación de hielo en superficies debido a bajas temperaturas.
- **Niebla:** Nube cerca del suelo que reduce la visibilidad.

#### Aplicaciones:

Este dispositivo fue pensado para emular sonidos de tormenta en ambientes controlados, sin necesidad de presencia de líquidos como la lluvia, vientos, o el riesgo de electrocución por la caída de un rayo; puede ser utilizado en actividades artísticas (como en el cine, el teatro, etc) o en cualquier ámbito donde se requiera algún tipo de sonido en especial (como por ejemplo la estimulación por medio de sonido en el crecimiento de plantas y vegetales). Se puede utilizar como un instrumento musical autónomo experimental o para la medición de ruido en dispositivos semiconductores (transistores, diodos). Las aplicaciones son variadas y están en desarrollo.

#### Objetivos:

- Indagar sobre el ruido como fuente sonora.
- Aproximar hacia un sonido real un sonido recreado artificialmente a partir de técnicas electrónicas.
- Experimentar controlando diferentes gamas de ruidos combinados (efectos de sonidos).
- Experimentar con el modelado del ruido, cambiando la forma de la señal y su sonido.

## Ruido Blanco

### Introducción al ruido

Una de las tantas fuentes de ruido que produce un circuito electrónico es la propia agitación de sus moléculas en función de la temperatura. Cualquier cuerpo que esté a una temperatura por encima del cero absoluto ( $-273\text{ ° C}$ ) produce ruidos debido a la agitación de sus átomos.

En un semiconductor, esta agitación puede causar la liberación de portadores de cargas y consecuentemente la aparición de una cierta corriente, denominada corriente de fuga.

Si polarizamos un transistor inversamente, de modo que su unión no conduzca corriente alguna, aun así notaremos la circulación de una pequeña cantidad de portadores de cargas que son debidos a la agitación térmica.

Esta corriente depende de la temperatura, los portadores son liberados aleatoriamente generando así una corriente no continua pero sí pulsante en frecuencia que se esparce por todo el espectro.

### ¿Qué es el ruido?

El ruido (una fluctuación espontánea de la corriente o el voltaje) se genera en todos los dispositivos semiconductores. La intensidad de estas fluctuaciones depende del tipo de dispositivo, su proceso de fabricación y las condiciones de funcionamiento. El ruido resultante, como superposición de diferentes fuentes de ruido, se define como ruido inherente. Los modelos de ruido equivalentes (que incluyen todas las fuentes de ruido) se crean para un dispositivo específico: por ejemplo, un transistor bipolar (BJT), un transistor de efecto de campo de unión (JFET) o un transistor de efecto de campo semiconductor de óxido metálico (MOSFET).

El ruido inherente de los dispositivos semiconductores se considera un efecto no deseado y, en ocasiones, se considera una señal útil. Es especialmente importante para las etapas de entrada (front-end) de los sistemas electrónicos.

Sin embargo, el ruido inherente también puede utilizarse para la evaluación de la calidad de los dispositivos semiconductores. Con frecuencia, se ha utilizado como un factor importante durante el desarrollo del proceso de producción de nuevos dispositivos semiconductores. El ruido inherente también se utiliza para clasificar los dispositivos semiconductores en grupos con diferente calidad y fiabilidad. Las fuentes de ruido más importantes son el ruido térmico, el ruido de disparo, el ruido de generación-recombinación, el ruido  $1/f$  (ruido de parpadeo), el ruido  $1/f^2$ , el ruido de ráfaga o ruido de señal telegráfica aleatoria (RTS) y el ruido de avalancha.

### Ruido térmico

El ruido térmico se crea por el movimiento aleatorio de los portadores de carga debido a la excitación térmica. Este ruido se conoce a veces como ruido de Johnson. En 1905, Einstein presentó su teoría del movimiento fluctuante de cargas en equilibrio térmico. Esta teoría fue verificada experimentalmente por Johnson en 1928. El movimiento térmico de los portadores crea un voltaje fluctuante en los terminales de cada elemento resistivo.

El ruido térmico es proporcional al ancho de banda de frecuencia  $\Delta f$ . Puede representarse mediante la fuente de tensión en serie con la resistencia  $R$  o mediante la fuente de corriente en paralelo con la resistencia  $R$ . La potencia máxima de ruido puede suministrarse a la carga cuando  $R_L = R$ . En este caso, la potencia máxima de ruido en la carga es  $kT\Delta f$ .

$k$  es la constante de Boltzmann

$T$  es la temperatura absoluta

La densidad de potencia de ruido,  $dP_n/df = kT$ , es independiente de la frecuencia. Por lo tanto, el ruido térmico es el ruido blanco. La tensión y la corriente de ruido RMS son proporcionales a la raíz cuadrada del ancho de banda de frecuencia  $\Delta f$ . El ruido térmico está asociado a cada resistencia física del circuito. La función de densidad espectral del ruido térmico equivalente de tensión y corriente se expresa como

$$S_{thvR} = 4kTR$$

o

$$S_{thiG} = 4kTG$$

4 kT es igual a  $1,61 \cdot 10^{-20}$  V·C a temperatura ambiente

Estas densidades espectrales de ruido son constantes hasta 1 THz y son proporcionales a la temperatura y a la resistencia de los elementos, por lo que pueden utilizarse para medir indirectamente lo siguiente:

- La temperatura del dispositivo
- La resistencia de dispersión de base del BJT
- La calidad de los contactos y las conexiones

## Definición

La característica que define al ruido es la de no tener una frecuencia definida sino muchas a la vez. Si tomamos un aparato radioreceptor de FM y lo sintonizamos entre dos estaciones oiremos un intenso soplido. Este soplido es como un ejemplo general de ruido blanco, en este caso todas las audiofrecuencias de las emisoras desintonizadas producen este efecto.

La forma de onda de un ruido blanco visualizado en un osciloscopio presenta constantes variaciones de frecuencia y amplitud y dista mucho de la forma perfectamente definida de una señal periódica tal como una onda triangular o una cuadrada.

Técnicamente diremos que el ruido blanco está formado por un número indefinido de señales simples cuyos niveles de energía correspondientes a cada una de estas frecuencias son igualmente para un ancho de banda determinado. Así pues, un ruido blanco cuyo ancho de banda es 15kHz estará compuesto de iguales cantidades de señales de todas las frecuencias, desde variaciones de tensión extremadamente lentas hasta señales cuya frecuencia llegara a 15kHz.

La denominación “Blanco” se le ha dado por analogía con la luz; es perfectamente conocido el hecho de que mezclando aditivamente y en idénticas proporciones luz roja, verde y azul la resultante es una coloración blanca; por ello y siguiendo esta tónica existen otras clasificaciones del ruido en función de la forma de distribución del espectro de sus frecuencias, denominándose ruido rosa, ruido gris, etc.

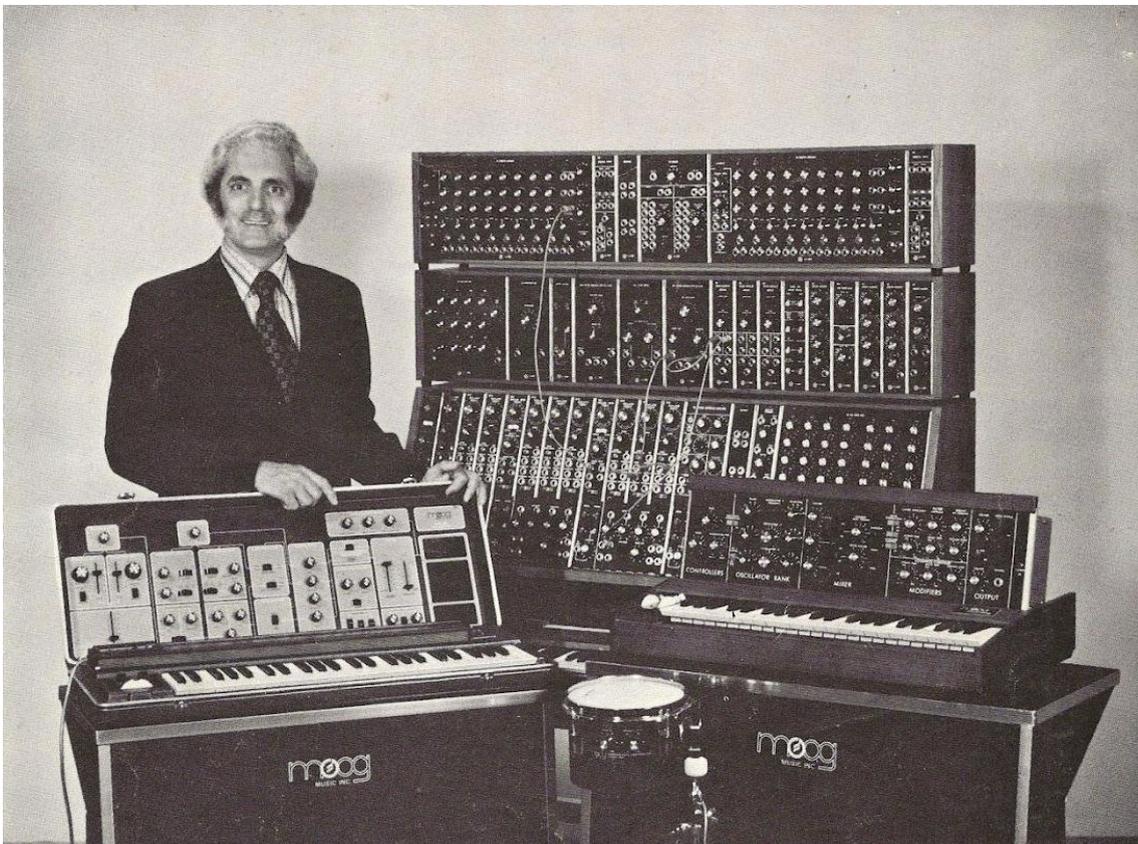
Cuando la energía de las diferentes frecuencias decae en amplitud a medida que aumenta la frecuencia, la denominación que toma este ruido es el de rosa; si esta variación del nivel se da solamente en alguna zona del ancho se dice que el ruido es gris.

Con la asimilación de los revolucionarios conceptos de Moog (Robert Arthur Moog\*) y su genial idea del control por tensión en la síntesis de sonidos, el uso de generadores de ruido blanco han adquirido una decisiva importancia en los medios de producción de sonido electrónico y, hoy por hoy, se aplican ampliamente como fuentes de señal de audio o control.

En la planificación que Moog hace del sintetizador incluye estos generadores como fuentes básicas de sonido a partir de las cuales se sintetizan sonidos de címbalos, castañuelas, platillos, gongs, percusiones, sand-paper, oleajes, viento, lluvia, reactores, explosiones, truenos, disparos, etc. Y así una inagotable variedad de sonidos de esta índole cuyo común denominador es el de no tener una frecuencia definida ni tampoco un sentido musical propiamente dicho. Asimismo los sonidos generados por muchos instrumentos orquestales son acompañados por un cierto grado de siseos, imperfecciones y efectos espurios que le dan carácter y personalidad propia. También en la fase de ataque de determinados instrumentos se producen una serie de transitorios iniciales; esto puede ser imitado en un sintetizador mediante la adición de pequeñas cantidades de ruido filtrado (llamado también coloreado) al tono de audio fundamental.

\*Robert Arthur Moog (Nueva York, 23 de mayo de 1934 - Asheville, Carolina del Norte, 21 de agosto de 2005), conocido también como Bob Moog, fue un inventor estadounidense famoso por crear, junto con otras personas, la versión práctica del sintetizador, instrumento musical electrónico con el que se puede crear una gama infinita de sonidos.

En el número de marzo de 1974 de la revista Popular Mechanics (Mecánica Popular) se asevera que es posible crear más de siete millones de sonidos diferentes y que, para reproducirlos todos, un humano tendría que vivir 210 años.



## Armado del Circuito

Para poder analizar su funcionamiento es que se llevó a cabo el armado del circuito, buscando los componentes que utiliza, usando diferentes métodos para la creación de

las pistas y las plaquetas que las componen , soldando cada componente a la plaqueta y a sus respectivas derivaciones, cables, potenciómetros, llaves, conectores, etc.

### Metodología

1. Buscar si los componentes electrónicos que utiliza el circuito están disponibles en las tiendas de electrónica o son piezas difíciles de conseguir. Afortunadamente la mayoría de los componentes hoy en día todavía se utilizan en la electrónica cotidiana, aunque en este caso hubo dos semiconductores que fueron difíciles de conseguir; el LM13600/13700 que es un amplificador de transconductancia y el TDA1022 que es un circuito integrado BBD (Bucket Brigade Delay) o Delay de Brigada de Baldes. Se necesitan dos unidades de cada uno ya que son dos plaquetas (pcb); un LM13600 y un TDA1022 por cada plaqueta.
2. Realizar el PCB (placa de circuito impreso). El pcb figura en el artículo de la revista ya citada con los componentes ya montados, en este caso el método fue usar el calcado directamente en una hoja, solamente las pistas, una vez terminado de calcar se saca una foto, se edita para que las pistas se vean con mucha intensidad de negro no haya pistas tocándose o suciedad, y se blanquea el fondo, se pone fecha y marca y después se imprimen varios tamaños hasta conseguir el tamaño ideal para montar los integrados.
3. Realizar las plaquetas con la técnica de planchado de tóner. Se imprime el pcb con las pistas invertidas en una hoja ilustración con impresión láser (tóner), esta hoja se plancha directamente sobre la placa de cobre previamente pulida con virulana y limpia de residuos con algodón y alcohol isopropílico. El pcb original del artículo está pensado para poder hacer cualquiera de los dos circuitos “Rayos y Truenos” o “Viento y Lluvia” cambiando algunas combinaciones de componentes.

Con un solo pcb se pueden hacer las dos plaquetas.



4. Agujerear con una mecha fina, utilizando un mini torno, en donde van a ir montados los pines o patillas de los componentes.
5. Montar y Soldar con estaño los componentes asociados a cada plaqueta.

## Análisis del circuito original

Este proyecto está basado en el circuito “ Tempestuous storm effects” de junio de 1986, publicado en la revista inglesa Practical Electronics por John M. H. Becker.

A continuación se analizarán las diferentes etapas de los circuitos que componen el proyecto original de 1986.

Este es un dispositivo que combina circuitos que se utilizan en el desarrollo de sintetizadores analógicos. Circuitos como; osciladores de baja frecuencia (lfo), osciladores de alta frecuencia (hfo), osciladores controlados por tensión (vco), amplificadores controlados por tensión (vca), filtros controlados por tensión (vcf), circuitos de desplazamiento de fase (phase shifter), circuitos de filtros envolventes

(envelope filter), circuitos de modulación, circuitos de mezcla y generadores de ruido blanco (white noise).

Diagrama de bloques (viento y lluvia)

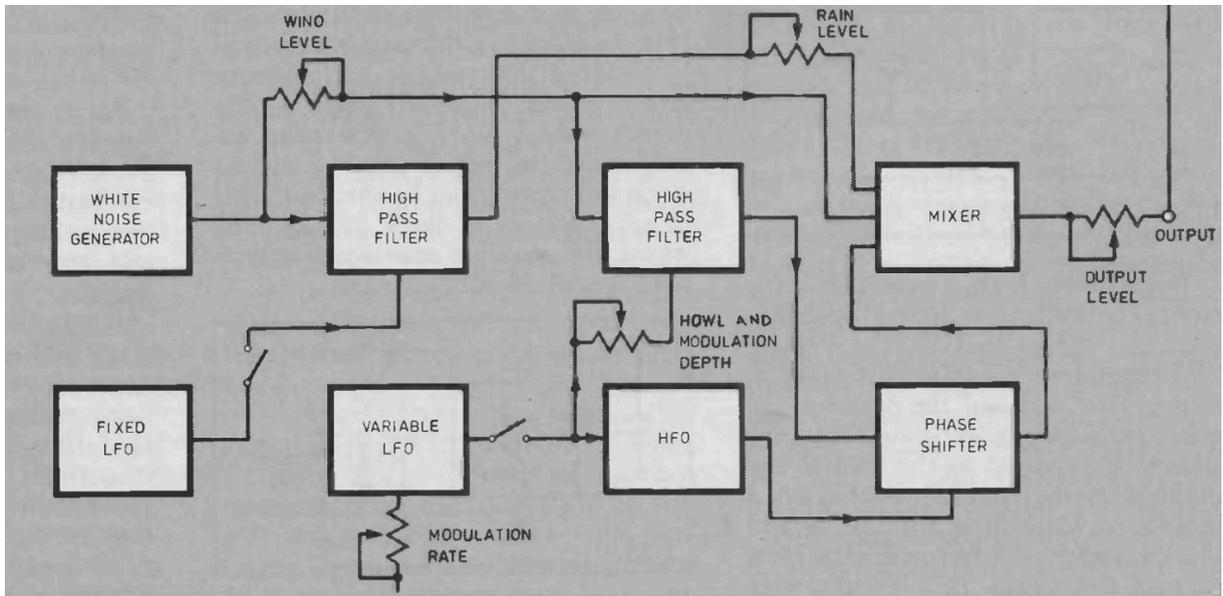


fig.1

En el diagrama de bloques de la fig.1 se muestra como están configuradas las diferentes etapas del circuito.

Un mismo generador de ruido blanco es utilizado para entregar dos salidas, viento y lluvia :

La salida de lluvia pasa a través de un filtro de paso alto (filtro 1) y puede ser controlado mediante un switch (S3) por un oscilador fijo de baja frecuencia (lfo1) modulando la señal, la salida de este filtro ingresa al mezclador a través de un potenciómetro de ajuste de nivel (VR1, nivel de lluvia).

La salida del viento inicia con un potenciómetro de ajuste de señal (VR2, nivel de viento), una parte va directo al mezclador y la otra ingresa a un filtro de paso alto (filtro 2) que puede ser modulado mediante un switch (S4) que activa el oscilador variable de baja frecuencia (lfo2), este oscilador utiliza dos potenciómetros; VR4 como ajuste de frecuencia y VR5 que inyecta una corriente de control de ganancia al filtro 2, la señal del oscilador (lfo2) también ingresa en un oscilador de alta frecuencia (hfo) que controla el tiempo de reloj (clock) en el circuito de desplazamiento de fase, este

circuito toma la salida del filtro (filtro 2) cambiando la fase de la señal e inyectandola en el mezclador.

En la salida del mezclador se obtienen la combinación de las tres señales (lluvia, viento sin desplazamiento de fase, viento con desplazamiento de fase) y por último un regulador de volumen maestro que controla el nivel de señal en el jack de salida.

Esquemático completo (viento y lluvia)

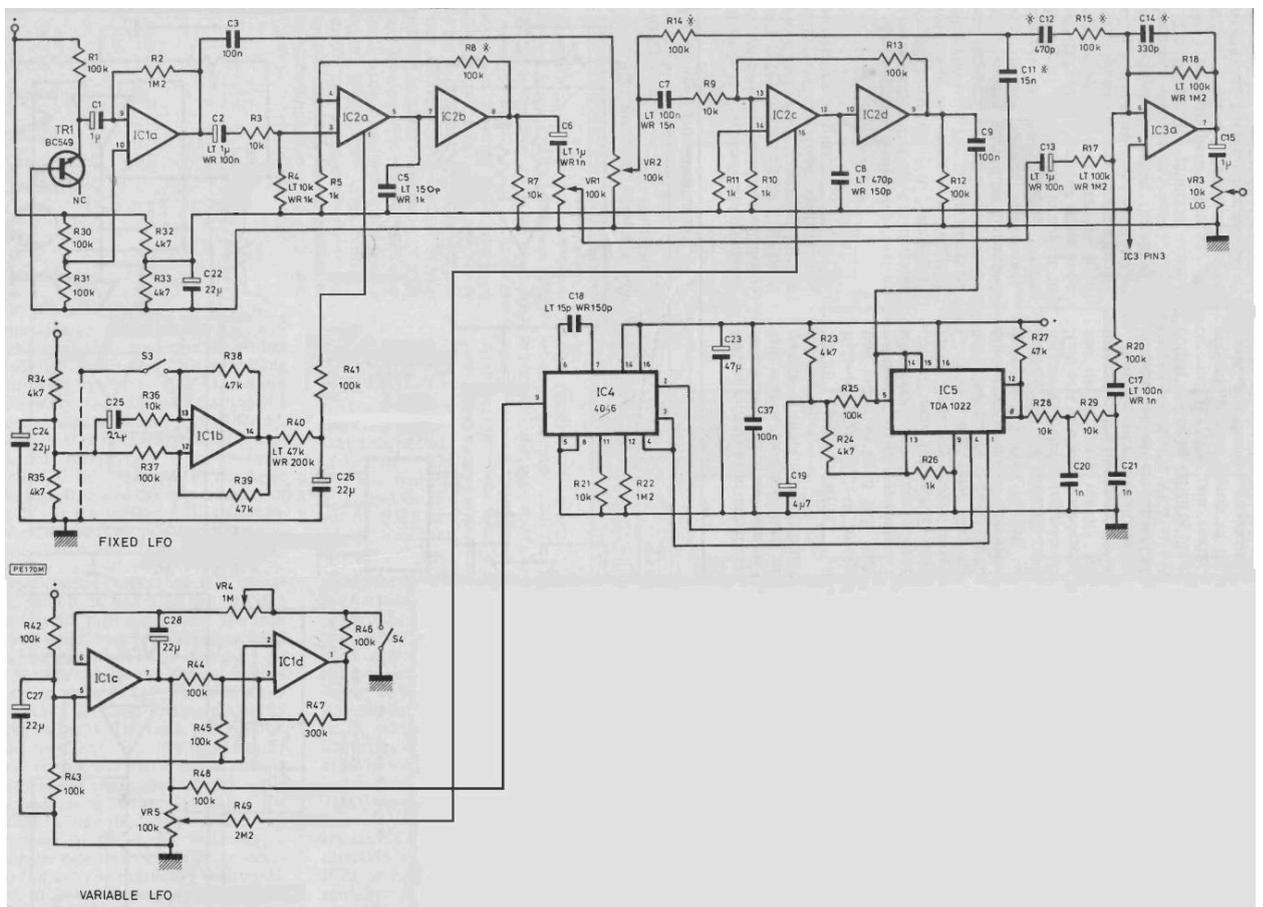


fig.2

Generador de ruido blanco

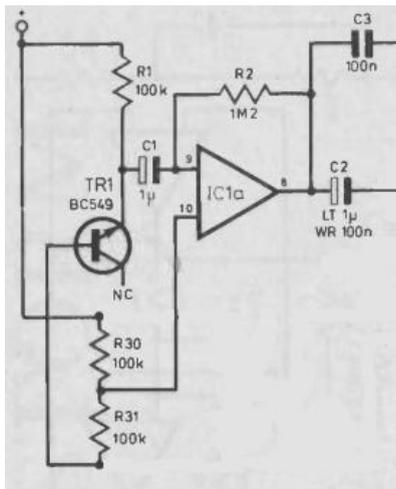


fig.3

Inicio del circuito y de la generación de sonido como ruido de base, en este circuito se utiliza un transistor npn con la terminal de base a tierra, el emisor mediante la resistencia limitadora de corriente R1 al voltaje de fuente (para el bc549 entre 9.70 y 10 voltios de corriente continua - para no saturar), el colector no se conecta, la salida se toma desde el emisor por medio de C1 e ingresa en la entrada inversora de un circuito operacional en modo amplificador, la entrada no inversora recibe 4,5 V de suministro mediante el divisor resistivo R30 y R31 haciendo que el voltaje en ambas entradas tenga una base de corriente continua elevada de la tierra haciendo que los picos negativos de la señal de ruido blanco no sean recortados, R2 es la resistencia de retroalimentación negativa conectándose desde la salida hacia la entrada inversora aumentando la ganancia en el amplificador operacional (LM324). Los dos capacitores C2 y C3 son de desacoplo interetapa, uno ingresa a un filtro para volverse un sonido a lluvia y el otro a otro filtro para convertirse en sonido a viento, ambos utilizan el mismo generador.

### Filtro controlado por tensión (lluvia)

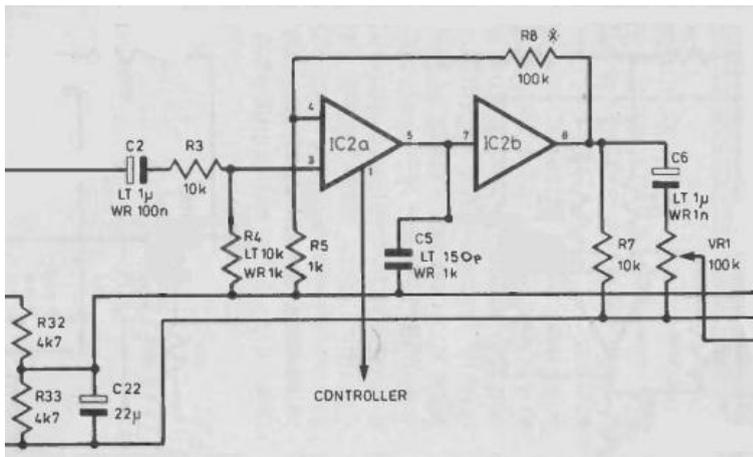


fig.4

La salida del generador de ruido blanco ingresa mediante C2, R3 y R4 conformando un filtro de paso alto hacia la entrada no inversora del circuito integrado LM13600, R4 y R5 están conectados a un divisor resistivo R32, R33, C22 (que funciona como una fuente de voltaje media entre 9V y 0V) entregando un voltaje de 4,5V. La entrada inversora está conectada a los 4,5V mediante la resistencia limitadora de corriente R5 y utiliza una resistencia de retroalimentación R8 que se conecta a la salida del buffer que tiene incorporado el propio circuito integrado. Entre el amplificador operacional y el buffer se conecta un capacitor C5 a los 4,5V y a la salida del buffer se conecta una resistencia a tierra R7, que funcionan como parte del filtro pasa alto.

La patilla 1 del LM13600 se controla mediante corriente en mA, esta controla el nivel de conducción de la señal de entrada y aumenta la ganancia en corriente. Esta entrada denominada "corriente de polarización de amplificación" modula la señal de entrada, esta funciona como la señal moduladora y el ruido blanco como la portadora.

Mención aparte del LM13600:

Los amplificadores operacionales de transconductancia, al igual que los amplificadores operacionales comunes como el 741, tienen entradas inversoras y no inversoras, pero también una entrada adicional denominada "entrada de polarización del amplificador". La ganancia del dispositivo se controla mediante la corriente de polarización que se alimenta a esta tercera entrada, y con este tipo de amplificador operacional, es la

corriente de salida, y no la tensión de salida, la que se rige por la tensión de entrada diferencial.

Aunque la corriente de salida de IC2, y no el voltaje de salida, es la señal de entrada a la que regula, al añadir una resistencia de carga a la salida, la corriente de salida produce un voltaje proporcional a través de esta resistencia, y el circuito actúa como un amplificador de voltaje. En este circuito, R8 es la resistencia de carga. De igual manera, aunque es la corriente de polarización alimentada a la entrada de polarización del amplificador la que determina la ganancia del mismo, al añadir una resistencia en serie con esta entrada, la corriente de polarización se vuelve proporcional al voltaje aplicado, y el circuito pasa a estar controlado por voltaje en lugar de por corriente. R41 es la resistencia que realiza esta función en el circuito del oscilador de baja frecuencia que se menciona más abajo.

Por último el capacitor de desacople C6 y el potenciómetro de volumen de la lluvia VR1.

### Oscilador fijo de baja frecuencia (lluvia y truenos)

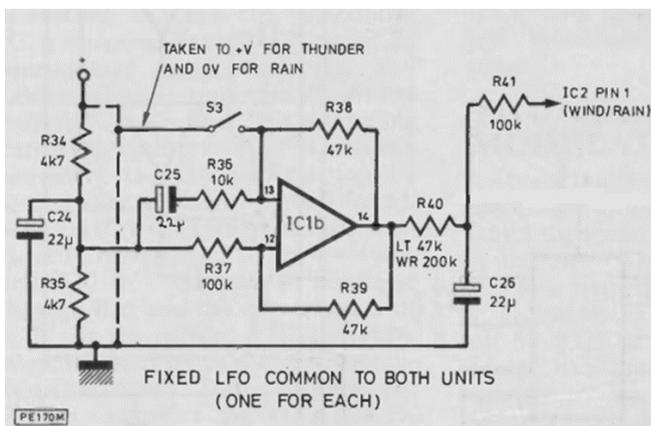


fig.5

Se trata de un oscilador de relajación con salida de señal cuadrada filtrada para entregar una onda senoidal, R34, R35 y C24 conforman una fuente de voltaje de 4,5V que ingresa por medio de una resistencia limitadora de corriente R37 a la entrada no inversora, mientras tanto el capacitor C25 empieza a almacenar carga, R35 limita la corriente de descarga del capacitor y R38 es la resistencia de retroalimentación

negativa y también la que controla la frecuencia y la velocidad en que se carga y descarga el capacitor. Cuando C25 supera el voltaje de umbral de 4,5V el amplificador operacional manda una señal de salida a tierra, esta señal se retroalimenta positivamente gracias a la resistencia R39 la señal de umbral cambia a 0V, el capacitor empieza a descargarse, cuando llega a los 0V la señal de salida se dispara positivamente introduciendo 4,5V de voltaje de umbral a la entrada no inversora permitiendo que el capacitor pueda volver a cargarse y empezar el ciclo de oscilación nuevamente.

La resistencia R40 y C26 actúan como un filtro de paso bajo para convertir la señal cuadrada en una señal senoidal de baja frecuencia, R41 ya se nombró anteriormente limitando la corriente que ingresa en la etapa de modulación del LM13600.

#### Oscilador variable de baja frecuencia (viento)

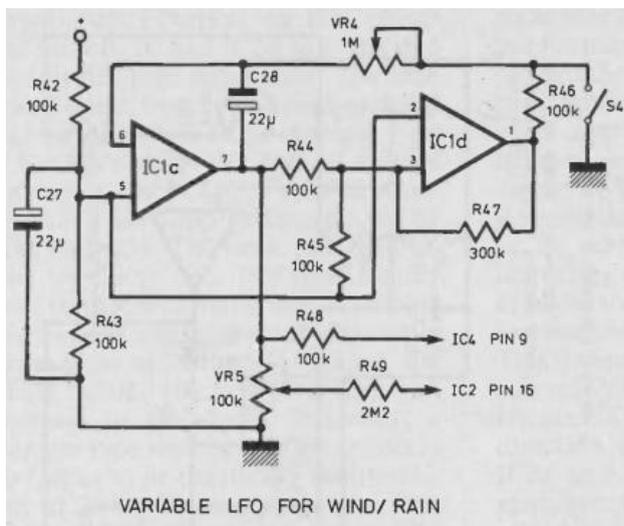


fig.6

En este caso es un oscilador con salida triangular donde el conjunto R42,R43,C27 conforman una fuente de voltaje de 4.5V (esto se debe a que el circuito funciona con fuente simple no simétrica, y una forma de lograr la simetría en las señales es ingresar un voltaje que se encuentre a la mitad entre 9V y 0V a la entrada no inversora) que ingresa en la entrada no inversora del amplificador operacional en modo integrador, el voltaje de referencia de 4,5V ingresa en la entrada inversora del 2do amplificador en modo comparador, R45 ajusta un voltaje de referencia en la entrada no inversora, R47

es la resistencia de retroalimentación positiva que da lugar a la histéresis en el comparador que junto con R44 determinan el umbral superior e inferior de trabajo para el comparador, R46 junto a VR4 limitan la corriente que va a ingresar por C28 (la entrada inversora de IC1c casi no deja entrar corriente), el ajuste de VR4 proporciona el cambio de frecuencia al ingresar mas o menos corriente en el capacitor y este se carga más o menos rápido, cuando la salida de IC1d satura positivamente la salida del integrador (IC1c) es una rampa negativa que cambia el valor de umbral dando lugar a que IC1d sature negativamente haciendo que el integrador a su salida tenga una rampa positiva, el umbral vuelve a cambiar su margen y el ciclo vuelve a renovarse. Podría decirse que el circuito tiene dos salidas sincronizadas una triangular y una cuadrada.

Por último R48 toma la salida del oscilador limitando la corriente y esta señal ingresa en un Oscilador controlado por voltaje (VCO) a la entrada del circuito integrado CD4046 (PHASE-LOCKED LOOP), VR5 ajusta el nivel de amplitud de la señal triangular que pasa a través R49 proporcionando un bajo nivel de corriente (AC) de control para el circuito integrado LM13600 modulando el ruido blanco con la señal triangular de baja frecuencia.

### Segundo filtro controlado por tensión (viento)

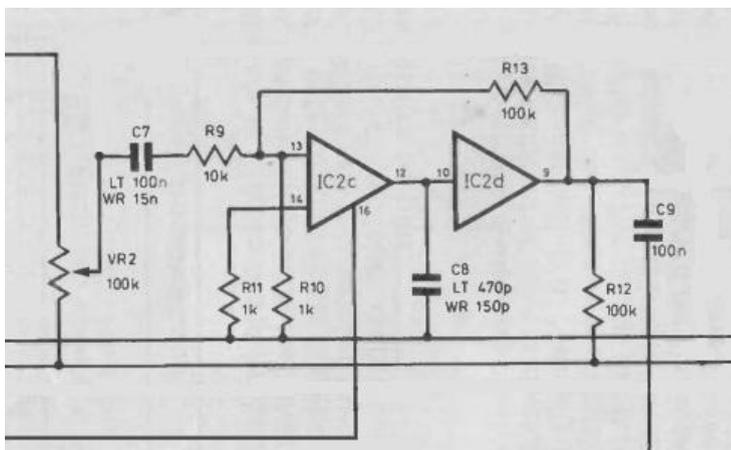


fig.7

La señal de ruido blanco ingresa por C3 (fig.3) hacia el potenciómetro de volumen del viento VR2 que regula la señal de entrada, pasa a través de C7, R9 y R10 conectado al voltaje de referencia de 4,5V, que funcionan como un filtro paso alto que es controlado mediante la modulación. Estos tipos de circuitos se los denominan filtros controlados por tensión(VCF) donde la tensión suministrada pasa por una resistencia limitadora

(R49 en la fig.6) y esa corriente que ingresa por la patilla 16 es la que controla el paso de la señal. R11 limita la corriente que pasa a través del voltaje de referencia (4.5V) e ingresa a la entrada no inversora, C8 conectado al voltaje de referencia y R12 conectado a masa actúan como una continuidad del filtro una vez amplificada la señal, R13 es la resistencia de retroalimentación negativa, limitando la ganancia del circuito. La salida pasa por el capacitor C9 para ingresar en la entrada del circuito integrado TDA1022.

### Circuito de desplazamiento de fase (efecto Phaser)

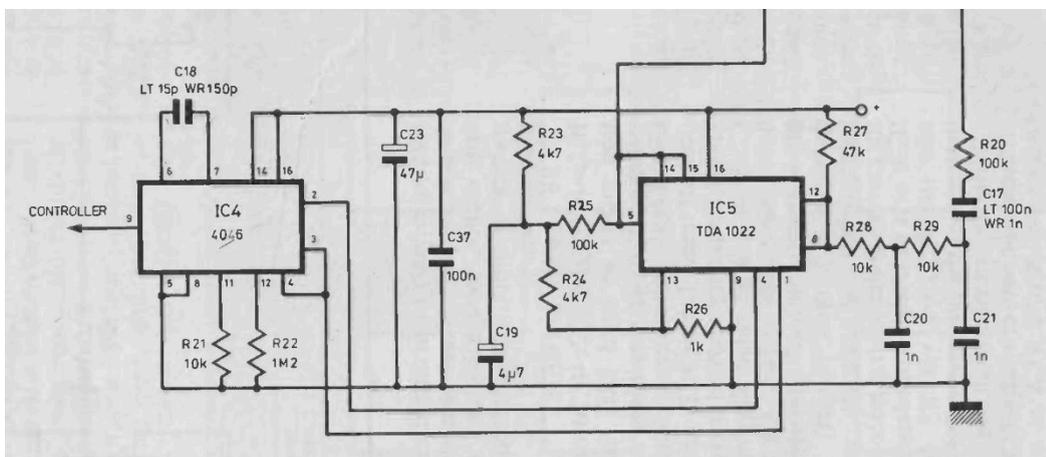
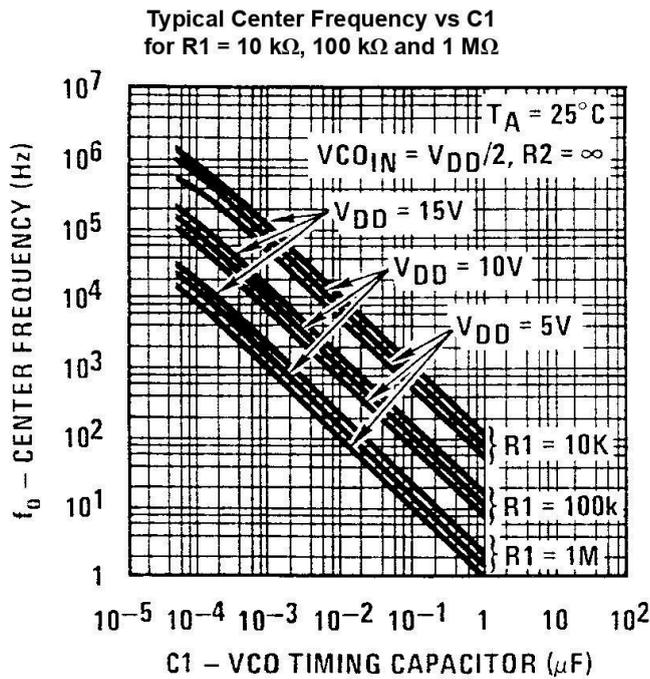
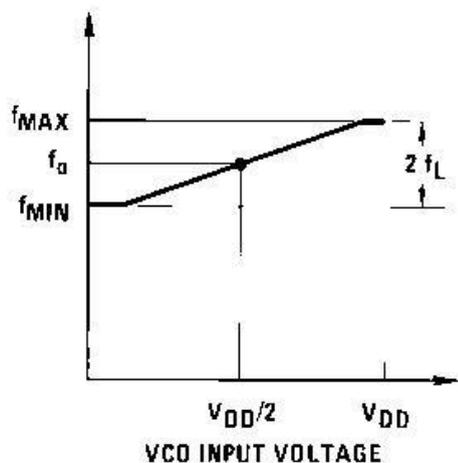


fig.8

La salida de R48 del oscilador variable de baja frecuencia (fig.6) ingresa a la patilla 9 del circuito integrado CD4046 (Micropower Phase-Locked Loop), esta es la entrada del oscilador controlado por tensión (VCO). La señal de voltaje que ingresa en la entrada del VCO activa un oscilador interno donde las resistencias R21, R22 y C18 determinan la frecuencia de trabajo; R21 es la resistencia que controla la corriente en el oscilador y es la encargada de ajustar la frecuencia máxima (Fmax), R22 es la resistencia de offset y ajusta la frecuencia mínima (Fmin), C18 es el capacitor de temporización y define la frecuencia de salida, este capacitor no debe ser polarizado para su óptimo funcionamiento.



## VCO With Offset



FL = frequency lock (frecuencia de bloqueo)

$2*FL$  = full VCO frequency range

$2*FL = F_{max} - F_{min}$

La frecuencia de salida aumenta o disminuye dependiendo del voltaje de entrada constituyendo un convertidor de tensión a frecuencia (salida de señal cuadrada). La señal de entrada del VCO es un oscilador de baja frecuencia triangular que en la práctica funciona como una tensión continua donde varía su nivel de amplitud muy

lentamente (eje Y, en el osciloscopio) haciendo que la salida del CD4046 cambie su periodo de conmutación o frecuencia en el tiempo (eje X, en el osciloscopio) en un rango en Mhz desempeñándose como un convertidor de alta frecuencia.

La salida del VCO (pin 4) entra en un comparador interno (pin 3), el comparador I es una compuerta OR exclusiva que provee de una señal digital de error (salida del comparador de fase I) y mantiene un desplazamiento de fase de 90° de la frecuencia central del VCO. La entrada de señal (pin 14) está conectada al voltaje de alimentación (aproximadamente 9V) donde se compara con la salida de alta frecuencia del VCO.

La compuerta OR exclusiva es una puerta lógica digital que produce una salida verdadera (1) solo si una de sus entradas es verdadera (1) y la otra es falsa (0). Si ambas entradas son iguales (ambas 0 o ambas 1), la salida es falsa (0). En otras palabras, la XOR implementa la función de desigualdad, donde la salida es 1 si las entradas son diferentes, dando como resultado a la salida un cambio de fase de 180°.

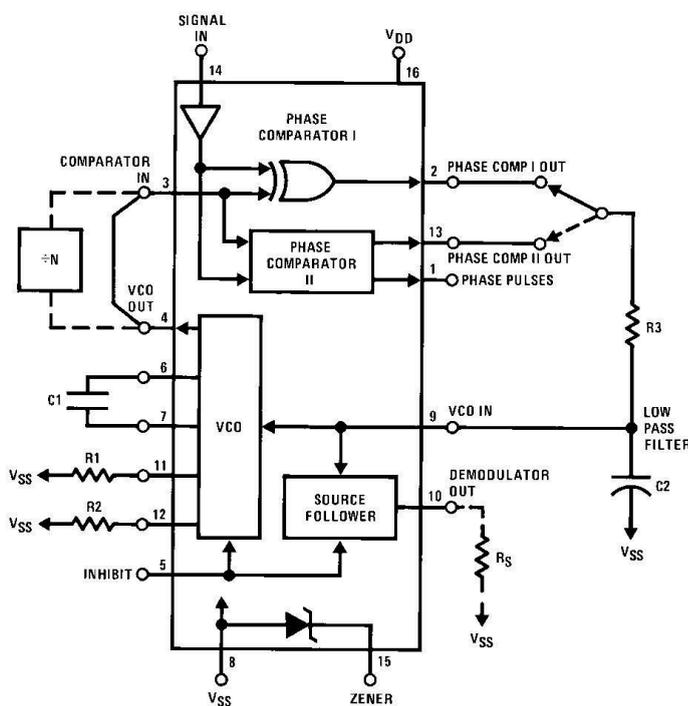


FIGURE 1.

C23 y C37 son capacitores que se conectan directamente entre voltaje positivo y masa, su función es atenuar el ripple o ruido que puede generar la alta frecuencia a la salida del CD4046.

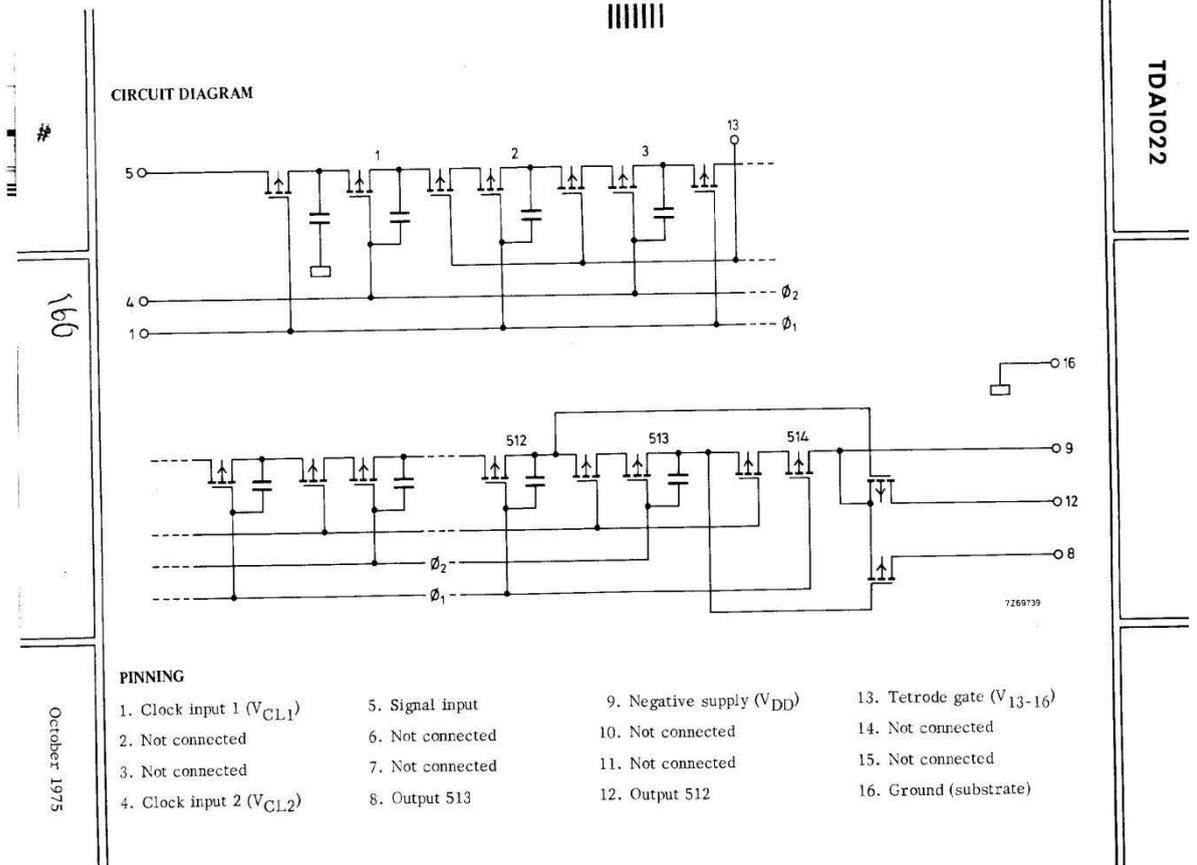
R23 y R24 conforman un divisor resistivo junto a C19 que se utiliza para filtrar ruido y R25 que es una resistencia limitadora de corriente, elevando el voltaje de la señal de entrada que ingresa al pin 5 del circuito TDA1022 desde C9, el pin 13 controla las compuertas (gate) de los tetrodos que utilizan un voltaje cercano a masa conectándose entre R24 y R26 que se conecta al pin 9 (negative supply) que va directamente a conectado a tierra.

El TDA1022 es un circuito integrado monolítico que implementa una línea de retardo de 512 etapas con un rango de frecuencia de reloj de 5–500 kHz (dispositivo de brigada de baldes, o BBD). Consiste en una serie de secciones de capacitancia de  $C_0$  a  $C_n$ . La señal analógica almacenada se mueve a lo largo de la línea de condensadores, un paso por cada ciclo de reloj. El nombre proviene de la analogía con el término brigada de cubos, utilizado para una fila de personas que pasan cubos de agua. Generalmente utilizado para el uso de delay analógicos (tiempo de delay =  $512/2 F_o$ ).

El pin 1 del TDA1022 es la entrada de reloj 1 donde ingresa la salida del VCO del CD4046, el pin 4 es la entrada de reloj 2 donde ingresa la señal desfasada de la compuerta XOR del CD4046.

El pin 12 es la salida de la etapa 512 de los capacitores de almacenamiento, el pin 8 es la salida de la etapa 513, estos dos pines se conectan entre sí a un voltaje de referencia por medio de R27 y utilizan unos filtros de paso bajo para eliminar los pulsos de reloj y corregir las irregularidades de la señal (R28, C20, R29, C21). C17 es el capacitor de desacople de salida.

This Material Copyrighted By Its Respective Manufacturer



Mezclador

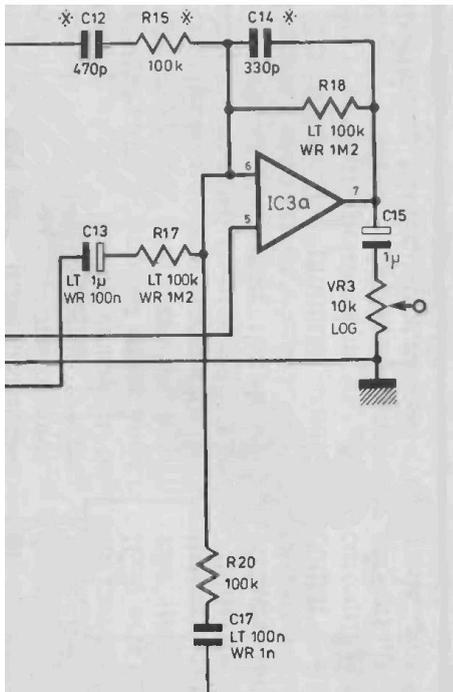
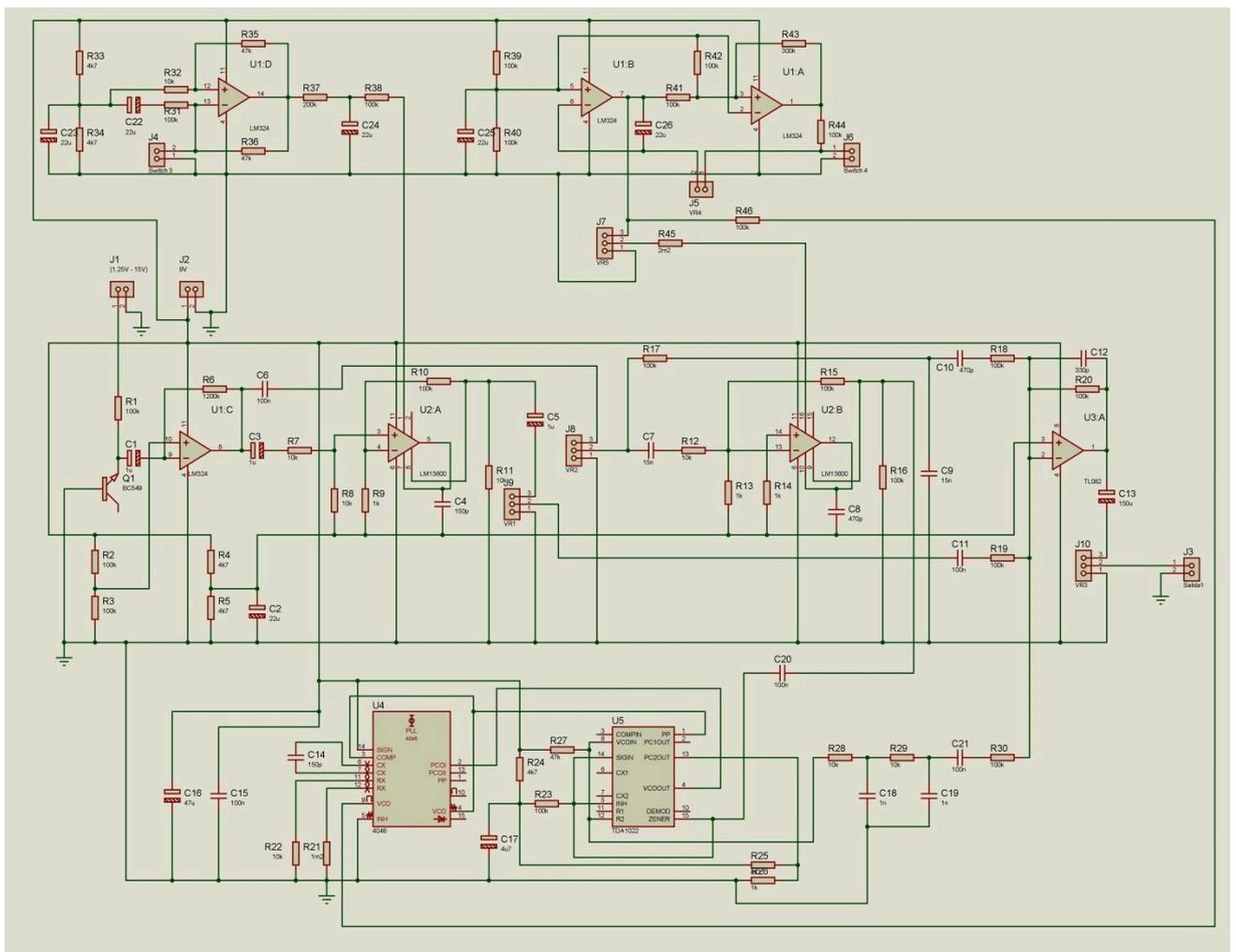


fig.9

El circuito mezclador no es más que un OP. AMP en modo sumador, lo que hace es combinar las tres señales ( dos señales de viento y una de lluvia) en una única salida monofónica.

Esquema Completo de Viento y Lluvia:



## Cambios en el circuito

### Problemas con el circuito original

1. La etapa de viento y lluvia están acopladas a un mismo generador de ruido blanco y esto causa que en la etapa de mezcla las componentes armónicas de los distintos filtros que se utilizan para cada etapa (viento y lluvia) se mezclen y produzcan un sonido uniforme sin poder diferenciar entre “la lluvia” y “el viento”, sin embargo, esa mezcla crea un nuevo sonido de “soplido” muy interesante.
2. El circuito de modulación del “viento” utiliza un oscilador de baja frecuencia (lfo) variable mediante un potenciómetro que regula la velocidad del movimiento del “viento”, la salida del oscilador es una señal triangular que ingresa a la entrada del bias de amplificación de corriente (patilla 16) del circuito integrado LM13600 (amplificador de transconductancia) modulando el sonido que entra por la entrada inversora (patilla 13) y actuando como un filtro controlado por tensión (vcf). El problema es que el oscilador es un sonido constante y por más baja frecuencia que tenga (no se percibe tanto la repetición del sonido) la modulación no es aleatoria, siendo un sonido que se repite constantemente.
3. Este mismo problema ocurre en la etapa de “lluvia” siendo esta vez un oscilador fijo (no puede variarse la frecuencia) el que modula al amplificador de transconductancia con una salida senoidal.
4. No se puede controlar la cantidad de lluvia que “cae”. La etapa de “lluvia” funciona como un ruido blanco filtrado y modulado, escuchando solo el efecto de lluvia con la modulación activada (switch on) se oye como un efecto de “oleaje del mar”, ese efecto no es posible modificarlo solamente aumentar o bajar el volumen. Con la modulación desactivada (switch off) se oye un efecto a “lluvia lejana”, no hay forma de controlar si llovizna o si llueve torrencialmente.

5. La corriente de fuga en cada transistor es distinto aunque sean del mismo modelo y fabricante siendo que puede producir ruido blanco un transistor y otro no a un valor de tensión fijo, como el circuito utiliza dos generadores blancos uno para “lluvia y viento” y otro para “rayos y truenos” deberían de tener voltajes distintos, ya que un voltaje elevado proporcionado para producir el ruido blanco también puede hacer saturar el transistor y tener un sonido sucio u oscilaciones, y un bajo valor no generar ruido en absoluto.

### Posibles Modificaciones

- Joystick (controlador de modulación)
- Tres fuentes de voltaje variable independientes 0-14V (para controlar la corriente de fuga en cada transistor generador de ruido blanco)
- Voltímetro analógico (testeo del Voltaje de fuga de cada transistor)
- Selector de transistores
- Banco de transistores de prueba (transistores de silicio - germanio)
- Sistema de conexionado manual para transistores irregulares (E-B-C)
- Circuito de picos de voltaje aleatorios
- Circuito de muestreo y almacenamiento (generador de tono y frecuencia aleatorio)

### Objetivos a mejorar dentro del circuito

Viento: poder modular el sonido del viento de forma aleatoria no repetitiva y lograr un sonido natural. La búsqueda también es lograr un sonido de viento furioso u torbellino y un viento suave (mejor regulación)

Lluvia: poder variar la cantidad de lluvia desde unas pocas gotas (el inicio de una tormenta) a una lluvia con mucha cantidad de agua cayendo (sonido individual de las gotas) y emplear una

modulación a baja frecuencia para que se controle automáticamente y no utilizando un potenciómetro.

Ruido indeseado: mejorar la relación señal/ruido, ya que al elevar el voltaje en el que el transistor trabaja se amplifica también el ruido provocado por la fuente de alimentación.

Ruido externo: impedir que el ruido de las señales rf entren en el circuito

Fuentes de voltajes variables independientes: como cada transistor tiene un nivel distinto de voltaje de fuga es imprescindible tener fuentes que varíen su voltaje aproximadamente de 0 a 15V individuales para cada generador de ruido blanco y poder testear el voltaje en el que el transistor deja pasar la corriente de fuga utilizando un Voltímetro analógico de panel.

Poder seleccionar entre distintos tipos de transistores; tanto de silicio como de germanio, tanto NPN como PNP.

### Descripción del circuito desarrollado

El circuito consta de tres generadores maestros de ruido blanco, ruido que es moldeado para la transformación de estos sonidos mediante circuitos de filtros como son filtros de paso alto; se busca que tenga cierto movimiento y no sea un sonido estático para ese propósito se le agrega modulación mediante unos osciladores de muy baja frecuencia que hacen que el sonido crezca o se desvanezca muy lentamente en un periodo de tiempo que puede regularse con un potenciómetro, se utiliza también un circuito de desplazamiento de fase, lo que produce es que combina la fase de la señal original con otra fase desplazada y al combinar las dos señales es cuando se aprecia el efecto de cambio de fase donde las señales se anulan o se duplican, creando un efecto sonoro de chiflido del viento o explosiones de truenos.

El circuito de lluvia utiliza el mismo generador de ruido blanco filtrado para generar picos de voltaje aleatorios mediante un circuito integrado comparador, con un potenciómetro puede graduarse la cantidad de gotas que caen independientemente del volumen o puede modularse para que el goteo sea automático.

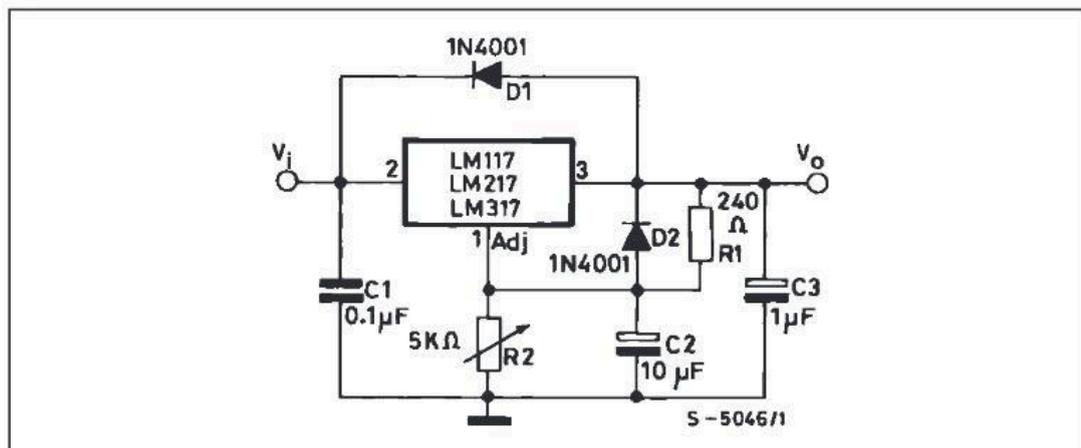
Estas dos señales (viento y lluvia) son mezcladas a la salida obteniendo la primera mitad de los efectos que componen este proyecto, se pueden distinguir perfectamente los dos sonidos distintos y pueden regularse desde un torbellino lluvioso hasta una leve llovizna matutina.

## Implementación de las modificaciones

### Triple fuente de voltaje variable

Se utilizaron tres reguladores LM317 para generar tres voltajes variables independientes a partir de un mismo transformador de 15+15V 1Amp. El circuito consta de un solo puente rectificador y dos capacitores de filtro y amortiguación del voltaje a la entrada de cada LM317, el circuito posee dos diodos de protección por sobretensión y corriente inversa por cada etapa de rectificación.

Figure 5 : Voltage Regulator with Protection Diodes.



D1 protect the device against input short circuit, while D2 protects against output short circuit for capacitors discharging

El diseño del circuito se basó en el esquema presentado en el datasheet del LM317.

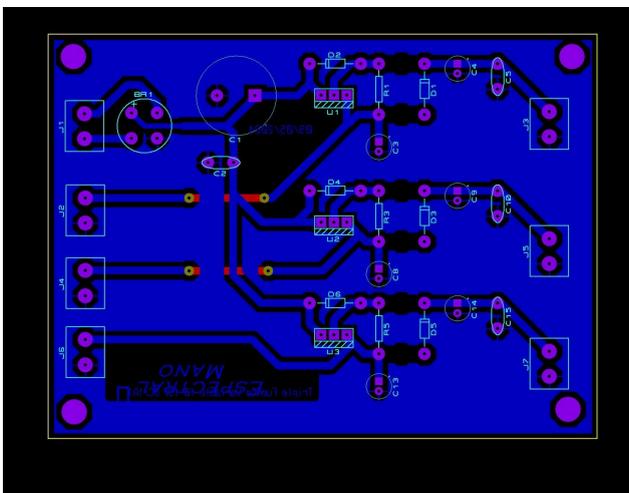


fig.10

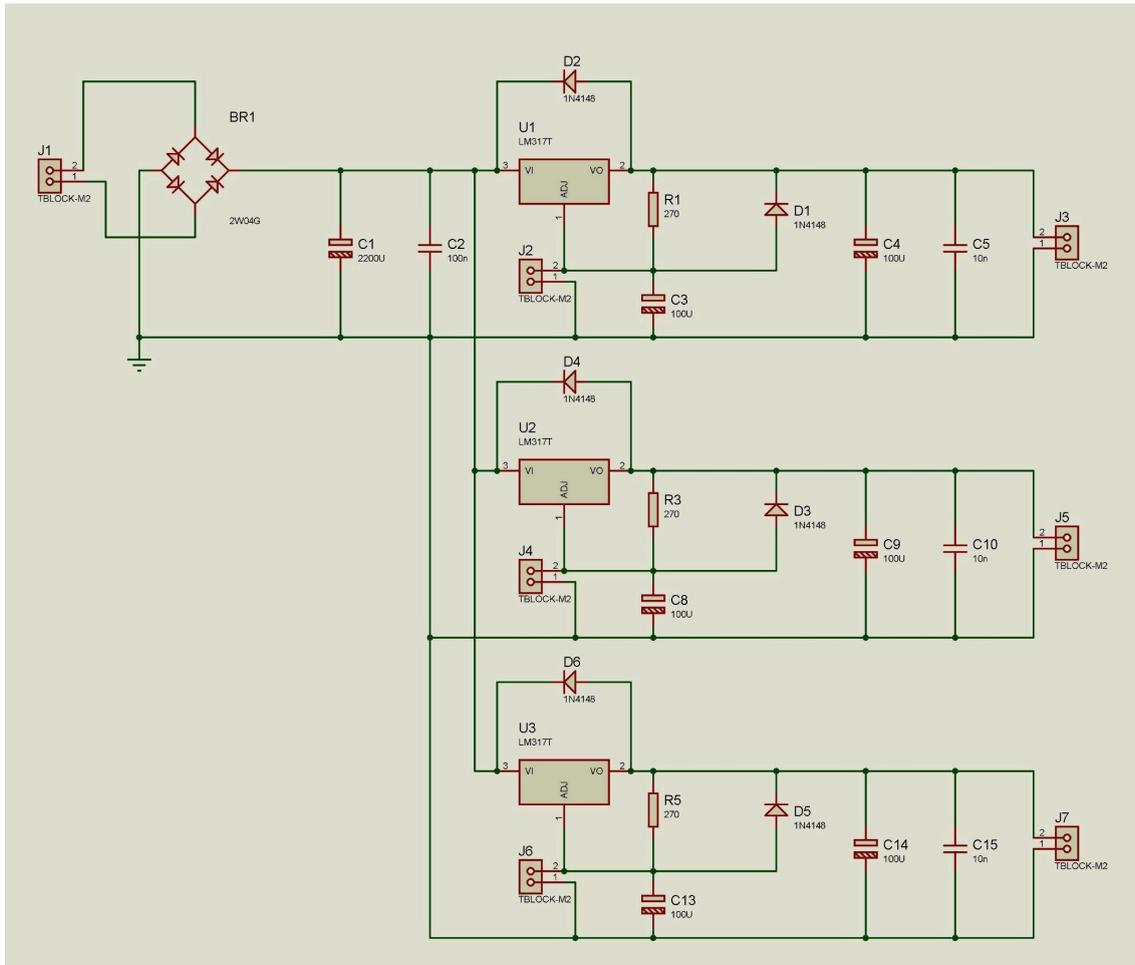


fig.11

Las salidas J2 - J4 - J5 son las conexiones a los potenciómetros de 2k5, valor que marca todo el recorrido del voltímetro analógico usado. El voltaje en las salidas J3 - J5 - J7 ronda entre los 1.25V - 14V de corriente continua. Los capacitores C3, C8 y C13 son recomendados en el datasheet del LM317 para disminuir el Ripple del voltaje de suministro, son electrolíticos de 10uF 50V , los diodos de protección (D1-D6) son 1N4007.



fig.12

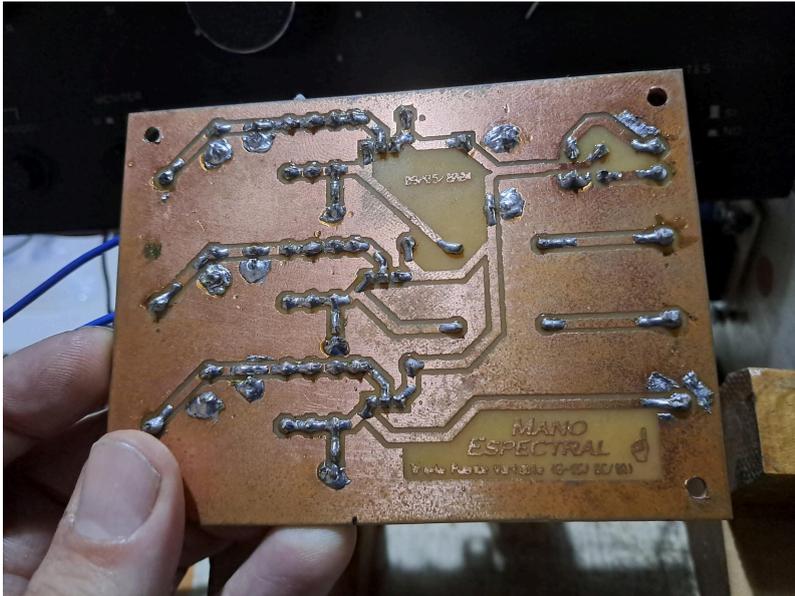


fig.13

Cada fuente inicia con un voltaje independiente cuando se enciende el dispositivo, una llave selectora de 3 posiciones selecciona una entre las tres salidas que ingresa en el voltímetro analógico para su medición, cada potenciómetro actúa sobre el voltaje de salida de cada regulador de voltaje, estas tres salidas ingresan a un selector de transistores.

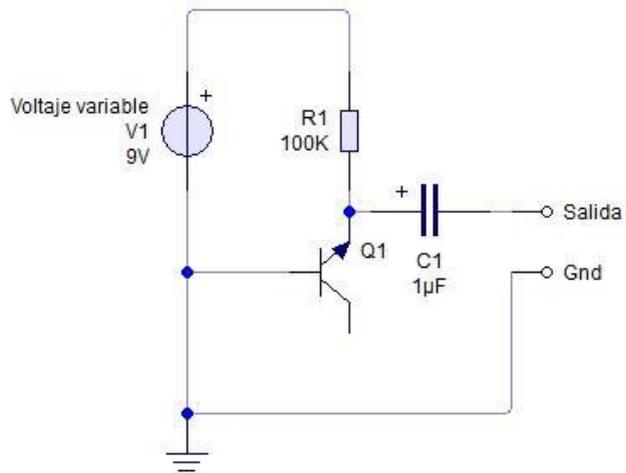
### Selector de transistores

El selector de transistores se compone de un panel de 12 llaves selectoras y una llave rotativa de 4 polos - 3 posiciones y un banco de transistores con un sistema de conexión manual en la parte trasera del gabinete.

El banco de transistores está constituido por 3 filas de 4 borneras de 3 pines y 3 conexiones a tornillo (12 borneras en total), donde va montado cada transistor, de esos tres pines van soldados tres cables que se conectan manualmente a otra bornera, esto es para poder conectar cualquier tipo de transistor (pnp-npn) con el mismo sistema sin tener que doblar patillas de transistores o darlo vuelta, etc

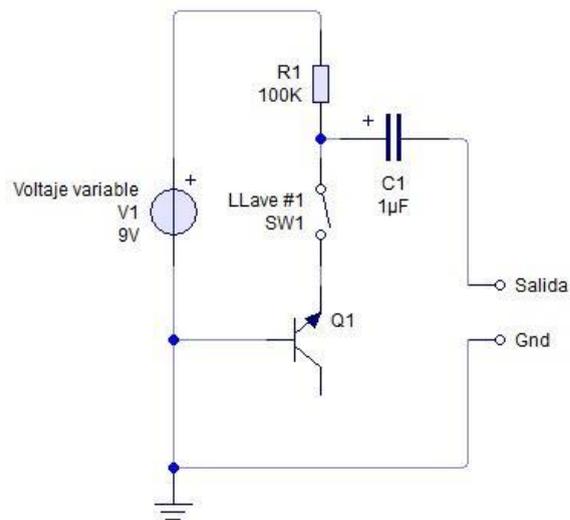
Las salidas de las 12 borneras donde están los transistores se conectan a través de cables (emisor-base-colector) a otras 12 borneras, cada fila tiene las bases interconectadas a tierra, el colector desconectado y los emisores conectados a llaves selectoras.

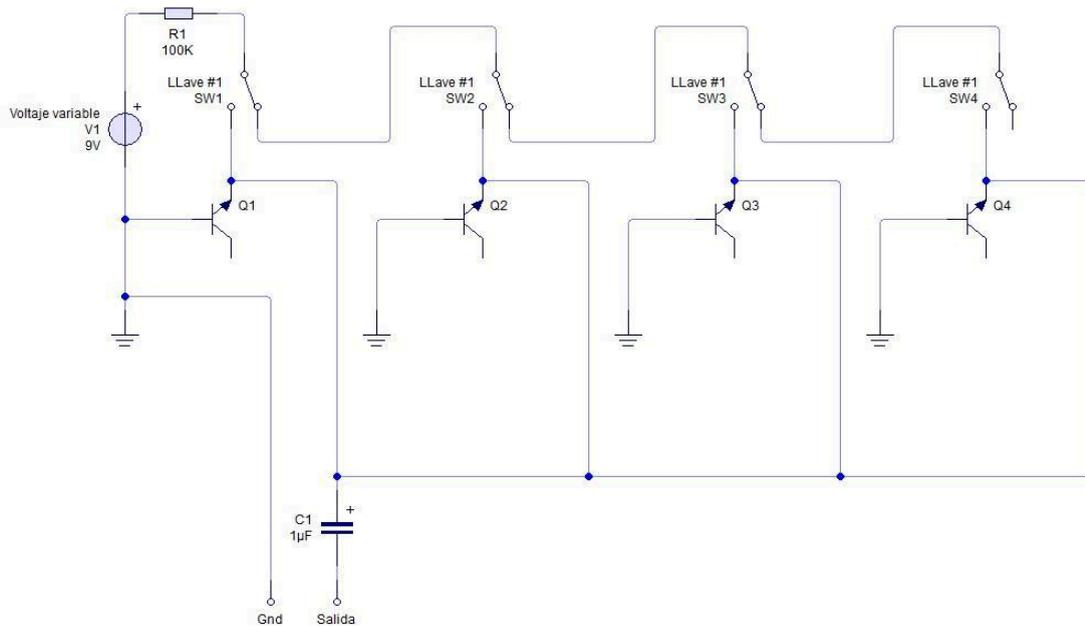
Para la generación de ruido blanco el transistor necesita dos conexiones: base a tierra y emisor a voltaje positivo a través de una resistencia de 100K.



Las tres salidas de voltaje variable se conectan (a través de su respectiva resistencia de 100k) a tres polos de la llave rotativa, esta llave conmuta entre 3 posiciones o filas, donde cada fila tiene 4 llaves que conectan los “emisores” (según la conexión manual puede ser base o colector) al voltaje variable de cada regulador. De cada polo sale una segunda conexión que ingresa a cada circuito (salida del ruido del transistor para ser amplificado).\*

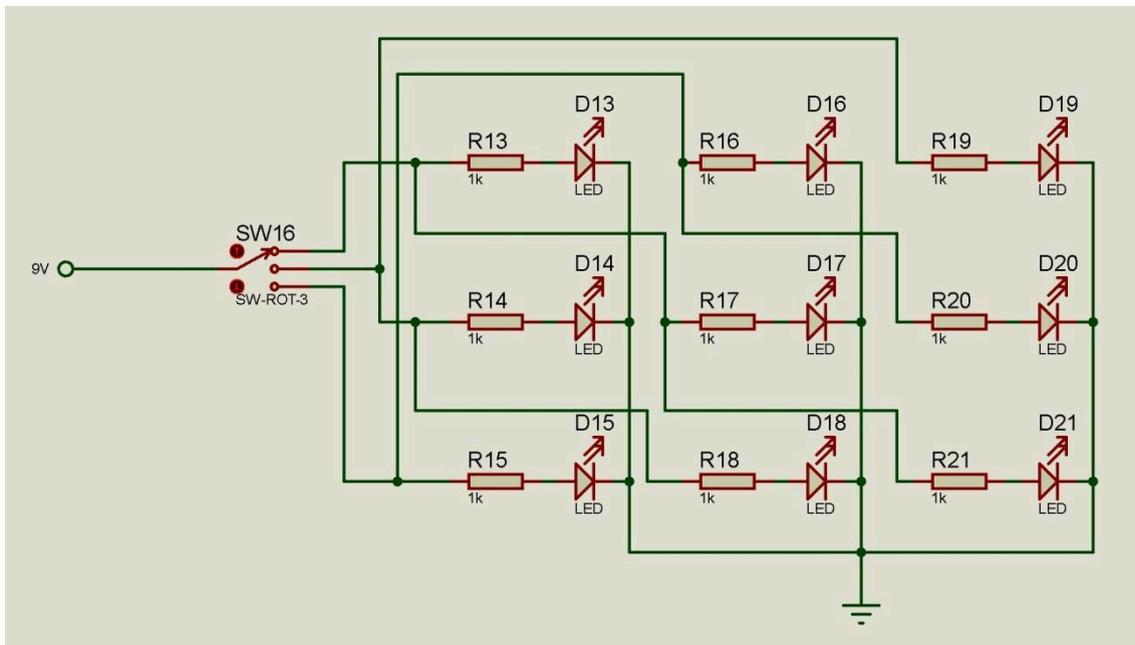
\*La resistencia de 100k fue sustituida de lugar y se colocó directamente sobre la placa, ir a Anexo III - errores de diseño.





El último polo de la llave rotativa se utiliza para la señalización; tres leds azules, tres leds blancos y tres leds rojos puestos verticalmente para el muestreo de cada fila a utilizar, cada led indica que fila se está utilizando para la selección de transistores. Los led también indican que circuito (viento, lluvia, rayos y truenos) está siendo utilizado en qué fila, y cual es el transistor que está utilizando.

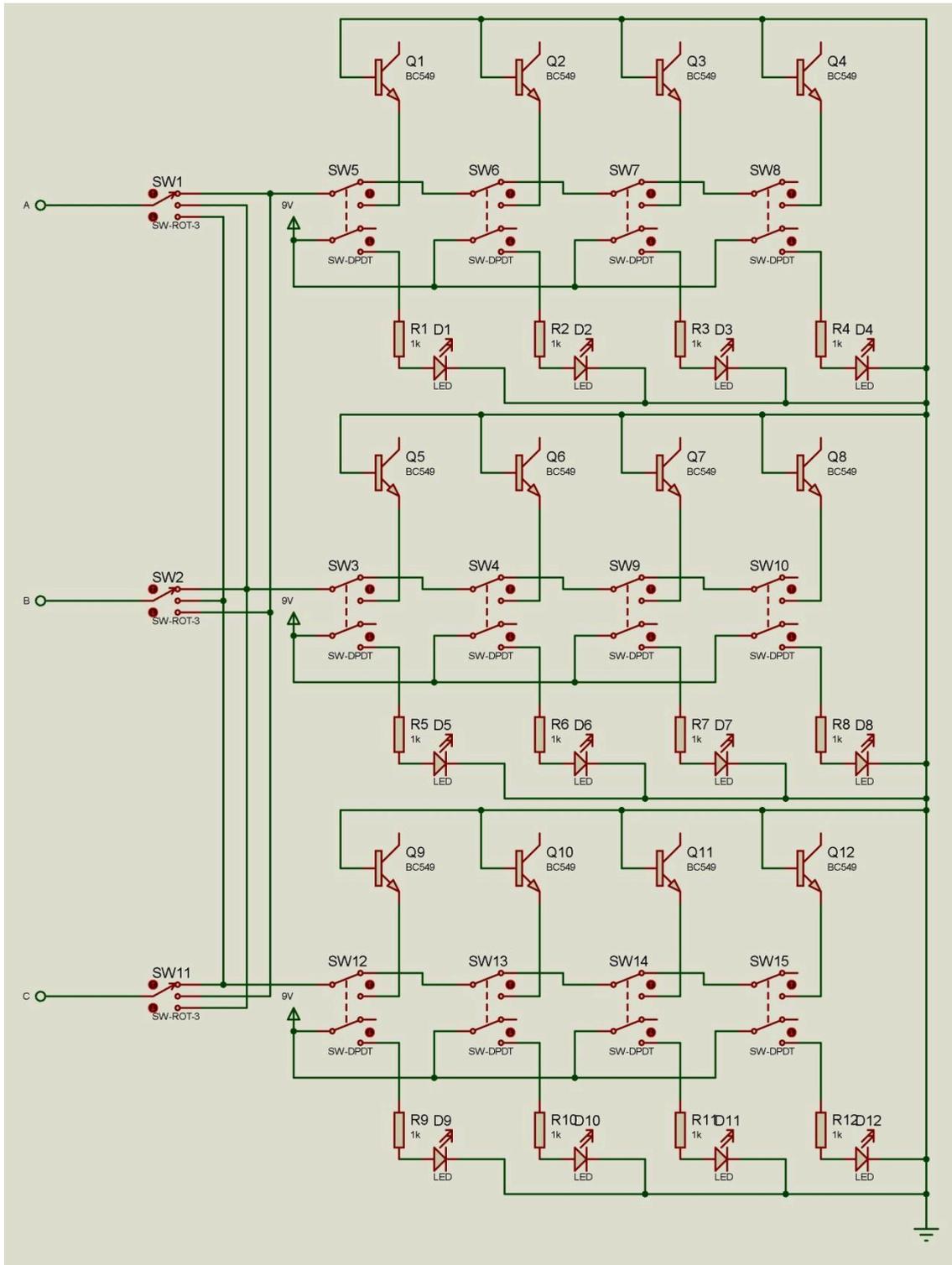
Esquema de señalización:



las llaves selectoras de transistores funcionan en serie, la primera conmuta entre la vinculación con el transistor o la conexión a la siguiente llave, esto sirve para la comparación de sonido entre un transistor y otro, la conexión no permite que se puedan encender dos transistores de la fila a la vez, cada llave posee un led indicador de encendido, la conexión funciona así; con todas las llaves encendidas la primer llave de la izquierda enciende al transistor que está vinculado a esa llave, si esta se encuentra desconectada la segunda llave vincula a su respectivo

transistor, si está se encuentra desconectada, la tercer llave es la que vincula y así hasta la última. Las llaves que estén encendidas del lado izquierdo tienen prioridad, se pueden encender la llave 1 y la llave 4 al mismo tiempo, la prioridad es la llave 1 al apagarla se conecta la llave 4 pudiendo ser la llave 1 como un sistema de encendido entre un transistor y otro. Es decir que se puede programar que transistor se va a utilizar para comparar con el transistor usado en ese momento.

Esquema de selector de transistores completo:



Otra comparación posible es utilizando la llave rotativa, entre las 3 posiciones va cambiando de fila, si algún transistor está encendido el circuito utilizado tomará estos como fuente de ruido. El problema con este método es que los 3 circuitos generadores de ruido blanco van conectados a la misma llave cambiando todos los circuitos de fila y de transistores siendo difícil ajustar las corrientes de fuga de un momento a otro.

Módulo de voltaje variable y selector de transistores:



(A)



(B)



(C)



(D)

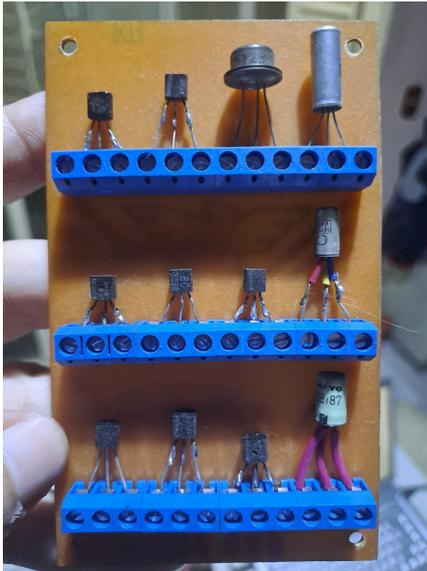
A - Dispositivo apagado

B - Selector en posición 1 (azul fila 1, blanco fila 2, rojo fila 3)

C - Selector en posición 2 (azul fila 2, blanco fila 3, rojo fila 1)

D - Selector en posición 3 (azul fila 3, blanco fila 1, rojo fila 2)

Banco de transistores - (plaqueta de colocación o cambio de transistores)



(A)



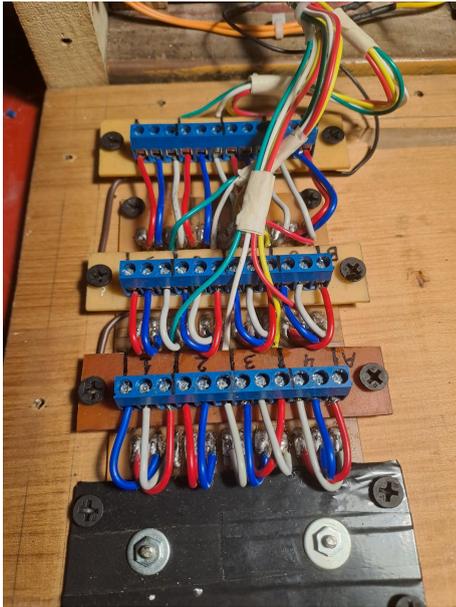
(B)



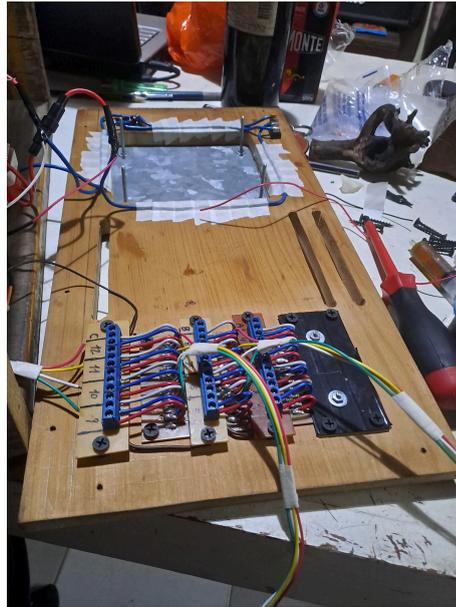
(C)

Se introduce en las borneras sin importar el patillaje, la conexión se realiza por medio de la conexión manual.

Conexión manual de transistores:



(A)

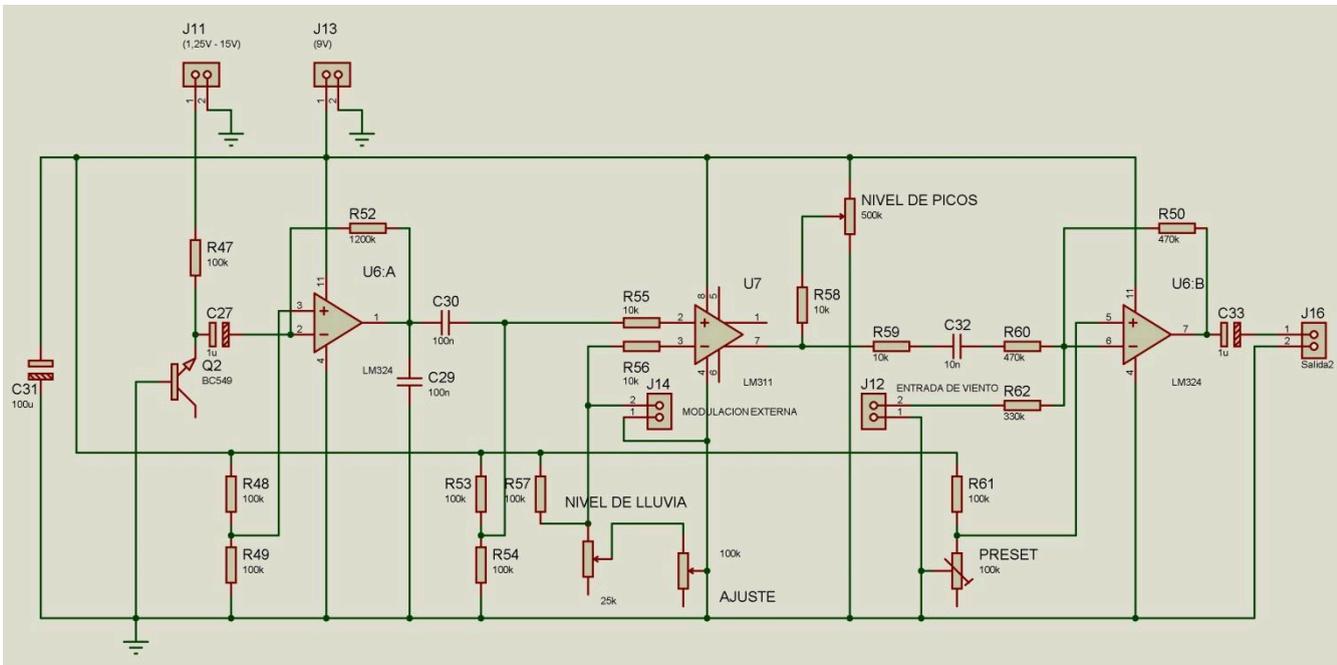


(B)

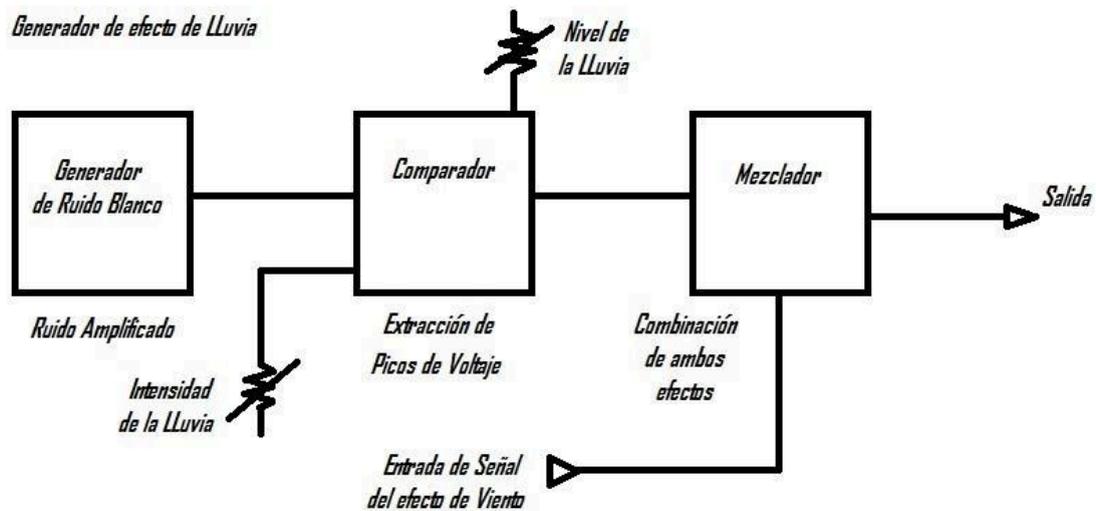
Conexiones: cable azul, blanco y rojo de la bornera

### Circuito de picos de voltaje aleatorios (lluvia)

Al no poder distinguirse entre la lluvia y el viento en el circuito original se creó este circuito con un generador de ruido blanco propio que puede ser utilizado con el selector de transistores, este circuito utiliza el mismo principio de amplificación del ruido blanco de la fig.3



Este circuito se divide en tres etapas:



La primera etapa amplifica el ruido y filtra señales muy agudas.

La segunda etapa se hace un ajuste para que solo puedan pasar las señales más altas, los picos más altos del ruido.

La tercera etapa es mezclar el efecto de la lluvia con el efecto del viento.

Análisis por etapas:

1- La primera etapa es propiamente el generador de ruido blanco, es el mismo diseño de la Fig.3, que utiliza un capacitor a tierra (C29) como filtro de paso bajo en la etapa de retroalimentación del Op. amp.

Etapas de amplificación del modo no inversor

Fórmula aplicada para la ganancia en tensión:

$$V_{out} = - V_{in} \left( \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$V_{out} = - 1_{mV} \left( \frac{1M2}{1} \right)$$

$$V_{out} = - 1200_{mV}$$

C29 junto a R52 constituyen un filtro de paso bajo RC.

Reactancia del Filtro de paso bajo;

Fórmula aplicada para una frecuencia audible de 20Hz y un capacitor de 100nF:

$$X_c = \frac{1}{2\pi * f * c}$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi * 20Hz * 100 * 10^{-9}}$$

$$X_c = 79577,47 \Omega$$

$$X_c = 79,57 K\Omega$$

Fórmula aplicada para una frecuencia audible de 20KHz y un capacitor de 100nF:

$$X_c = \frac{1}{2\pi * f * c}$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi * 20000Hz * 100 * 10^{-9}}$$

$$X_c = 79,57 \Omega$$

El capacitor deja pasar las altas frecuencias y las deriva a tierra.

Frecuencia de corte para filtro de paso bajo:

Fórmula aplicada para una frecuencia de corte con un filtro pasa bajo, con una resistencia en serie de 1M2 y un capacitor a tierra de 100nF:

$$F_c = \frac{1}{2\pi * r * c}$$

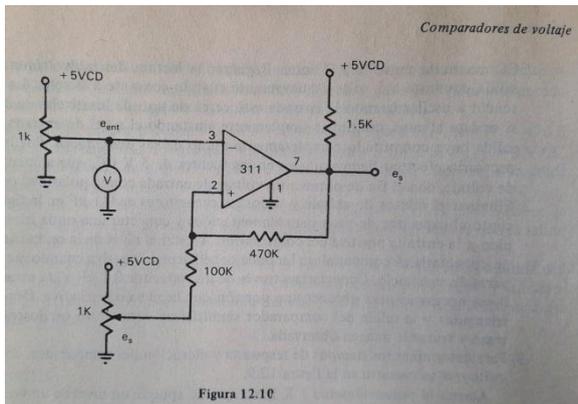
$$F_c = \frac{1}{2\pi * 1,2 * 10^6 * 100 * 10^{-9}}$$

$$F_c = 1,32 Hz$$

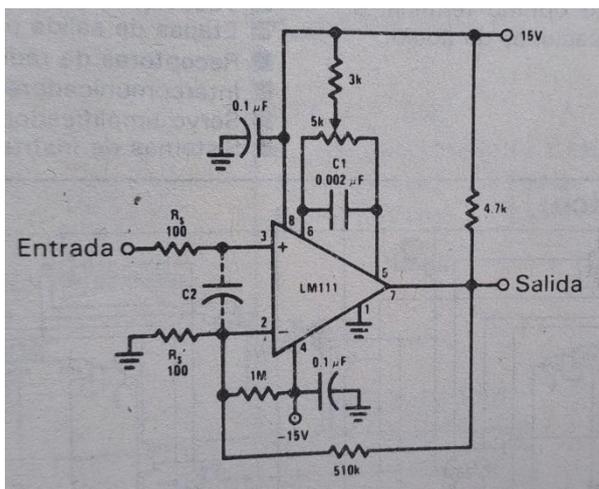
2- La segunda etapa se compone de un comparador como el LM311, la etapa está desacoplada a la corriente continua por el capacitor de entrada (C30), una vez ingresada la señal se le suma un voltaje de referencia de corriente continua ( $\frac{1}{2}$  VCC utilizando un divisor resistivo) y resistencias limitadoras de corriente en varias entradas (10K), la señal ingresa por la entrada no inversora, la otra entrada está conectada a un divisor resistivo 100k - 100K pero para poder manipular el voltaje de umbral la resistencia asociada a tierra se modificó por dos potenciómetros ( P1= 25k , P2= 100k). El potenciómetro P2 actúa como un potenciómetro de ajuste para ajustar con exactitud el inicio de todo el barrido del primer potenciómetro P1 (desde 0V a todo el espectro de ruido blanco). La entrada inversora también puede ser provista de una señal externa (oscilador de baja frecuencia) para un uso automático sin potenciómetros.

El comparador esta en modo de lazo abierto para que los picos de ruido “choquen” con el voltaje de saturación, los picos pueden ser recortados tanto de 4,5V a 9V como de 4,5V a 0V, dando distintos sonidos de armónicos, en la prueba de sonido se decidió utilizar el recorte inferior (4,5V-0V), dando como resultado que solo los picos del voltaje más altos lleguen a pegar en el borde de la saturación lo que crea el efecto de una gota golpeando contra una superficie, la imagen en el osciloscopio es muy similar a una lluvia real. A la salida del comparador se utiliza una resistencia de suministro recomendada en el datasheet, en este caso el ingreso de voltaje es por medio de un potenciómetro de 500K y una resistencia limitadora (se utilizó un valor alto para que la corriente no actúe sobre la salida del comparador) que

suministra el recorte de saturación del comparador aumentando o disminuyendo la amplitud de la señal. La salida utiliza una resistencia de protección de 10K y un capacitor de desacoplo de 10nF.



Esquema de conexión para un comparador de voltaje basado en el LM311. Este mismo diagrama se implementó en el desarrollo del circuito utilizando dos divisores resistivos en las entradas.



Esquema de conexión

El datasheet del LM311 recomienda utilizar resistencias limitadoras en sus entradas, en este caso se utilizó resistencias de 10k en cada entrada.

3- La tercera etapa es un mezclador o sumador de señales donde se mezclan la salida de este circuito con la salida del circuito de viento creando un sonido en conjunto pero con una diferencia audible entre un sonido y el otro.

Etapa de sumador/amplificador del modo no inversor

Fórmula aplicada para la ganancia en tensión:

$$V_{out} = - R_{retr} \left( \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right)$$

$$V_{out} = - 470k\Omega \left( \frac{9V}{470k\Omega} + \frac{4,5V}{330k\Omega} \right)$$

$$V_{out} = - 470k\Omega * 32,785 * 10^{-6}$$

$$V_{out} = - 15,40895_{mV}$$

$$V_{out} = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \left( \frac{R_4}{R_3+R_4} \right) V_2 - \left( \frac{R_2}{R_1} \right) V_1$$

## Anexo I

Distintas formas de analizar el circuito para ver su potencial en distintas aplicaciones

Mini laboratorio de experimentos con corrientes de fuga en diodos y transistores

### Características:

- Fuente de voltaje de corriente continua de 9V
- Posee tres fuentes de voltaje de corriente continua variable de 0V-14V (para la utilización de tres transistores en simultáneo)
- Voltímetro para la medición del voltaje variable y corriente de fuga
- selector de transistores o diodos con pines configurables (pnp/npn)
- dos osciladores moduladores
- filtros

-desfasadores

### **Funciones:**

-Controlar la corriente de fuga de un transistor mediante una fuente de voltaje variable

-Seleccionar transistores de prueba mediante un banco de transistores (12 en total)

-Filtrar picos aislados de ruido

-Amplificar ruido producido por fuga de transistores

-Modular la señal de ruido usando osciladores de baja frecuencia

-Comparar dos fases desplazadas

## **Anexo II**

### **Gabinete**

El armado del gabinete se hizo en madera, usando una caladora se cortaron primero las esquinas del aparato dándole la forma de “zapatilla”, luego se cortó un rectángulo de madera grande para la base con el mismo ancho que el largo de la esquina y se unió todo con tornillos. La parte superior del panel se sujeta con unos soportes de madera que van atornilladas a cada esquina, esta parte se recopiló de un aparato de audio sin funcionar, también el transformador fue recopilado de otro equipo, la parte superior tiene un panel externo donde van montados los potenciómetros y el jack de salida, y otro panel trasero donde van montadas la llave de encendido y las demás llaves de conmutación. Esto se hizo de esta forma por el tipo de encastre que tiene la botonera.

El panel inferior se construyó con distintas chapas de metal cortadas con moladora, se hicieron unos agujeros con un taladro para poder introducir los tornillos de sujeción, los potenciómetros, leds y las llaves de conmutación, también se hizo un agujero más grande para el voltímetro analógico. El panel inferior está montado sobre dos bases de madera que tienen la misma forma de encastre donde van sujetadas por tornillos, las bases de madera van sujetadas a la base del gabinete por tornillos con tuerca.

El transformador lleva en la fase una fusiblera interna, este cable ingresa a una llave de conmutación que conecta a 220V, tiene conector interlock con la base del transformador a tierra.

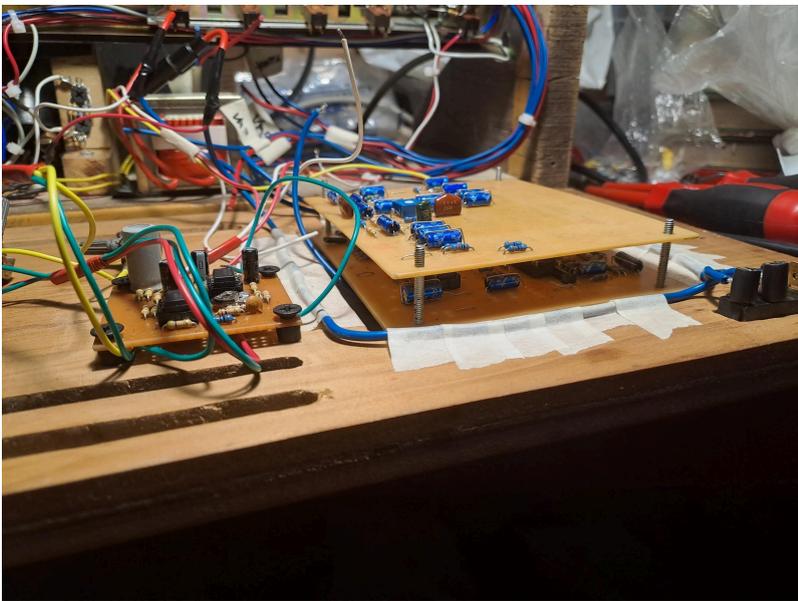
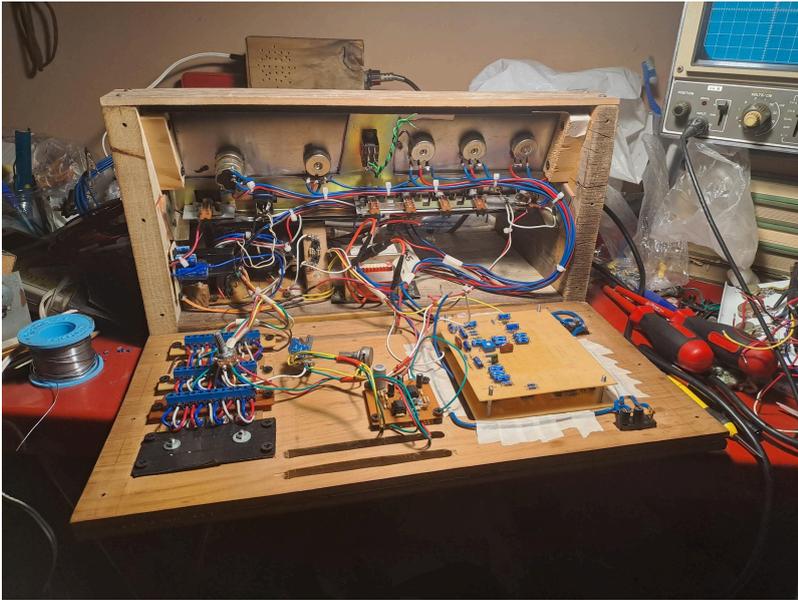
La salida del transformador es de 15+15V 1Amp, y 9V 1Amp, la salida de alterna de 15V ingresa a la llave doble inversora de encendido. La salida alterna de 9V ingresa a una fuente de tensión de corriente continua regulada y la salida ingresa también a la llave de encendido.

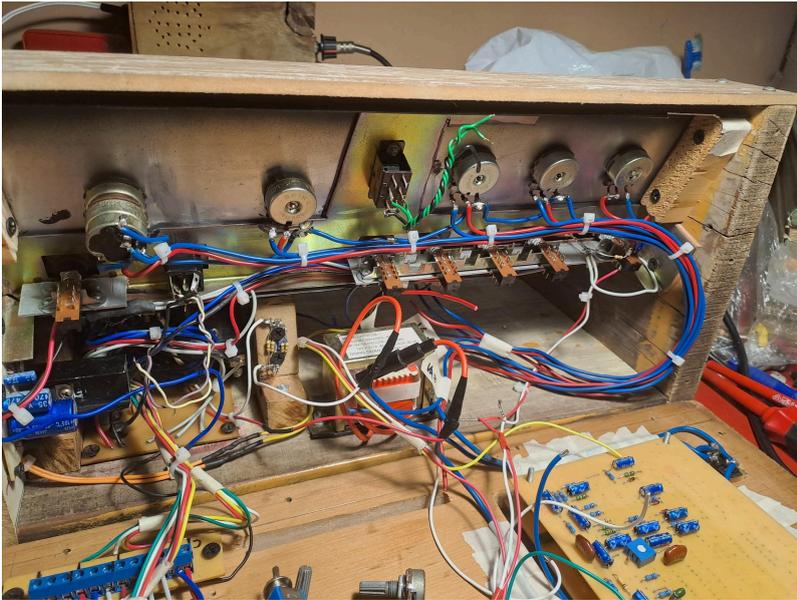
La llave al encenderse da paso a un voltaje de 9V en corriente continua alimentando a los circuitos y da paso a energizar con los 15V de corriente alterna a tres fuentes de corriente continua de voltaje variable entre 1,25V y 14V.



Generador de sonidos de tormenta







### Descripción de los paneles de control:

Parte trasera:

El dispositivo dispone de un conector hembra en la parte trasera del gabinete donde se conecta un cable interlock que se enchufa a la red de alimentación domestica (220VAC).

En la parte superior se provee de una llave de encendido que energiza el transformador pasando por un fusible de protección, pero no da energía a los circuitos, funciona como una llave de seguridad.

Ahora el dispositivo está listo para prenderse.

Panel superior:

Se presiona el primer botón del lado izquierdo del panel delantero, este switch enciende todos los circuitos del dispositivo, encendiendo un led piloto.

En el panel delantero podemos observar cinco perillas de color negro que indican que es el control del circuito del Viento:

(de izquierda a derecha)

Controles del viento:

VR4 Frecuencia del oscilador - VR5 Nivel de desfasaje - VR2 Volumen del Viento -

VR3 Volumen maestro - VR1 Volumen de la Lluvia

Una llave a la izquierda del volumen maestro:

S7 Modulación (manual - automática)

Cuatro botones en la hilera inferior:

S6 sin conexión - S4 Modulación del Viento - S3 Modulación del Viento 2 -

S8 sin conexión (Modulación de la Lluvia)

Arriba de los botones, tres perillas plateadas que indican que es el control del circuito de la Lluvia:

Controles de la Lluvia:

VR7 Nivel de picos - VR8 Ajuste - VR9 Nivel de Lluvia

Salida monofónica:

Un Jack de salida de audio debajo del volumen maestro y un botón S9 sin conexión.

La función de S9 era de tener un amplificador de audio incorporado, este switch encendía o apagaba el sonido en el parlante para poder escucharse con auriculares sin cancelar la salida del jack para poder monitorear la salida.

Panel inferior:

Este panel se divide en dos partes;

-La primera parte es el control de las tres fuentes variables con su respectivo voltímetro, llaves y potenciómetros:

A la izquierda del panel se encuentra un voltímetro analógico (Vp), con una medición de 0 a 15V, arriba a la derecha hay una llave de tres posiciones (S10) que selecciona que salida de la

fuerza va a medir el voltímetro, la posición 1 lee el valor en el voltímetro de VR10 (potenciómetro de arriba), la posición 2 lee el valor de VR11 (potenciómetro de la izquierda), la posición 3 lee el valor de VR12 (potenciómetro de la derecha).

Debajo de esta llave se encuentran tres potenciómetros VR10 - VR11 -VR12 (cada uno se refiere a un regulador de voltaje LM317) que controlan en tiempo real el nivel de voltaje de corriente continua que utiliza cada generador de ruido blanco (tres salidas para generadores).

A la derecha de los potenciómetros se encuentra otra llave (S11) que provee de iluminación al voltímetro, al encenderse una bombilla de Neón dentro de este.

Esta lámpara utiliza muy baja corriente del orden de los miliamperes pero necesita voltaje medianamente alto para su funcionamiento (220V), y permite ser encendida con solo la primer llave de seguridad (para testear la llave de encendido de 220V).

-La segunda parte es el selector de transistores, que ya se nombró anteriormente:

A la izquierda utiliza una llave rotatoria (SR) de 4 polos y 3 posiciones.

Polo A: La primera posición se conecta a la hilera de arriba, la segunda posición se conecta a la hilera del medio, la tercera posición se conecta a la hilera de abajo.

Polo B: La primera posición se conecta a la hilera del medio, la segunda posición se conecta a la hilera de abajo, la tercera posición se conecta a la hilera de arriba.

Polo C: La primera posición se conecta a la hilera de abajo, la segunda posición se conecta a la hilera del arriba, la tercera posición se conecta a la hilera del medio.

Polo D: -La primera posición enciende los leds: azul hilera 1 – blanco hilera 2 – rojo hilera 3.

-La segunda posición enciende los leds: azul hilera 2 – blanco hilera 3 – rojo hilera 1.

-La tercera posición enciende los leds: azul hilera 3 – blanco hilera 1 – rojo hilera 2.

Led Azul corresponde a la salida del voltaje variable que utiliza el circuito del Viento.

Led Blanco corresponde a la salida de voltaje variable que utiliza el circuito de los Rayos y Truenos.

Led Rojo corresponde a la salida de voltaje variable que utiliza el circuito de la Lluvia.

Primera hilera (arriba):

Llave conector de T1 (ST1) - Llave conector de T2 (ST2) - Llave conector de T3 (ST3) - Llave conector de T4 (ST4)

Segunda hilera (medio):

Llave conector de T5 (ST5) - Llave conector de T6 (ST6) - Llave conector de T7 (ST7) - Llave conector de T8 (ST8)

Tercera hilera (abajo):

Llave conector de T9 (ST9) - Llave conector de T10 (ST10) - Llave conector de T11 (ST11) - Llave conector de T12 (ST12)

### Funcionamiento:

Para encenderlo una vez enchufado el equipo se inicia con la llave de seguridad que se encuentra en la parte trasera del gabinete.

Y ahora se puede activar el encendido del equipo con el primer botón a la izquierda del panel delantero.

Una vez encendido se enciende una luz piloto en el panel.

Ajustamos los niveles de volumen (VR2 – VR3 – VR1).

También se encienden las luces de muestreo en el panel inferior (led azul, led blanco, led rojo), dependiendo como este configurado el selector rotativo de hileras (SR).

Se debe elegir un transistor desde la selectora de transistores, activando alguna llave

Según el color que este encendido, es la hilera que corresponde a cada circuito.

Utilizando la hilera que este encendido el led azul representa los transistores que pueden utilizarse para el circuito del viento.

Se activa una llave en esa hilera, como ejemplo tomaremos ST1.

Al activar la llave se enciende un led que muestra que el transistor T1 está conectado, en este caso el transistor seleccionado es un BC559. Se regula el potenciómetro VR10 con la llave selectora de voltajes (S10) en la posición 1 para poder observar la salida de voltaje en el voltímetro analógico (Vp).

Ajustando VR10 hasta llevarlo a un voltaje de aproximadamente 9,5V podemos oír como de un momento al otro el transistor deja pasar la corriente de fuga generando ruido blanco.

Si se aumenta el voltaje el sonido se vuelve más estridente y puede llegar a saturar y oscilar dependiendo de cada transistor.

Utilizando la botonera en el panel superior se le puede agregar modulación y más sentido musical o ambiental.

El botón S4 activa la modulación del viento y esto produce que un oscilador interno module la señal del ruido blanco dándole movimiento, y permitiendo la utilización de VR4 para aumentar o disminuir la frecuencia de oscilación, en la práctica se oye como cambia la velocidad del viento.

El botón S3 activa otra modulación del viento/lluvia este se ve afectado por VR1, ajustando su nivel de volumen, S3 activa otro oscilador que modula la etapa de la lluvia en el circuito original, estas dos modulaciones se mezclan entre si y dan un sonido más a chiflido de viento o silbido dependiendo del ajuste de VR5.

VR5 desfasa una de las dos señales del viento produciendo un efecto de profundidad, como si el viento estuviese atravesando árboles o edificios.

Para utilizar el sonido de la lluvia original se desactiva la modulación en S3 y se disminuye el volumen del viento VR2 y lo que se escucha es una lluvia débil que al combinarlo con el viento se pierde el sonido.

Para utilizar el sonido del mar original se activa la modulación en S3 y se disminuye VR2. Al combinarlo con el viento también se desvanece o se transforma en un sonido más parecido al viento.

Utilizando la hilera que este encendido el led rojo representa los transistores que pueden utilizarse para el circuito de la lluvia.

Se activa una llave en esa hilera, como ejemplo tomaremos ST10.

Al activar la llave se enciende un led que muestra que el transistor T10 está conectado, en este caso el transistor seleccionado es un BC639. Se regula el potenciómetro VR12 con la llave selectora de voltajes (S10) en la posición 3 para poder observar la salida de voltaje en el voltímetro analógico (Vp).

Ajustando VR10 hasta llevarlo a un voltaje de aproximadamente de 12V.

En el panel superior se aumenta el volumen de la lluvia VR7 y se ajusta VR8.

VR8 es un potenciómetro de ajuste que permite la utilización de VR9, se ajusta para que cuando empiece a producirse un pequeño sonido de ruidos cortos aleatorios (gotas de lluvia) se mantenga apenas un poco antes de cuando arranca el sonido. Esto permite que al utilizar VR9 se pueda aprovechar todo el barrido del sonido a lluvia, acrecentando el volumen de la cantidad de agua que cae.

También suponiendo que se cambie a otro transistor con otro voltaje de fuga, con la ayuda de VR8 se puede ajustar los rangos de la lluvia con facilidad.

Esta lluvia se mantiene auditivamente constante a pesar de ser un ruido aleatorio, se podría montar en otra modulación para darle otro sentido no tan repetitivo.

Aun así con la combinación del viento este sonido de lluvia de diseño propio se vuelve independiente, los dos sonidos se escuchan claramente, y se puede jugar y lograr sonidos muy parecidos a una lluvia real.

## Anexo III

### Errores de diseño

## **Ruido indeseado:**

Uno de los errores de diseño fue el ruido inducido en el conductor que sale de la fuente de voltaje variable, y mediante una resistencia de 100k (utilizada para la corriente de fuga) se une por las llaves selectoras a los emisores de los transistores elegidos e ingresa a la etapa amplificadora del ruido blanco. El sistema se había implementado para que en el módulo (voltaje variable/voltímetro y llaves selectoras de transistores/llave selectoras de fila) se interconecten las salidas de los transistores por medio de cables conductores que ingresan a las llaves, luego ingresan a la llave rotativa de selección de filas; el voltaje variable también se interconecta a la salida de la llave rotativa por medio de esta resistencia (100K) y solo una salida ingresa a la placa por un cable conductor; la salida del emisor más la “corriente variable”.

Esta señal entra a un capacitor de desacoplo y a la entrada inversora del 1er amplificador operacional. El amplificador operacional tiene una ganancia de 120000 y está permanentemente absorbiendo señal desde la entrada inversora, aunque el transistor esté apagado (emisor desconectado) y el voltaje variable al mínimo (1.25V) el ruido se mantiene. El cable conductor actúa como antena induciendo señales parásitas en el amplificador operacional.

La solución fue minimizar lo mejor posible el trazado desde la resistencia limitadora de 100k hacia el capacitor de desacople para el ingreso del op. amp.

Las vías de voltaje variable y de salida de emisor viajan separadas hasta la placa principal (generador de ruido blanco) el voltaje pasa por la resistencia de 100k agregada a la placa principal, en la salida de la resistencia ingresa el cable conductor del emisor que entra al capacitor de desacople a la entrada del op. amp.

El ruido disminuyó considerablemente, pero hay que tener en cuenta que los cables conductores que salen del banco de transistores duplicaron su largo, teniendo más resistencia a la salida de los emisores siendo que algunos no lleguen a producir corriente de fuga, como por ejemplo algunos transistores de Germanio como el OC79.

## **Jaula de Faraday:**

El gabinete al ser de madera no tiene un aislamiento completo de ruidos parásitos, como pueden ser estaciones de radio, ruido estático, o perturbaciones de la conexión eléctrica. Por ese motivo es que se le realizó un cubrimiento con capas de papel aluminio pegadas con cola vinílica. El papel aluminio hace de maza en el circuito y funciona como una jaula de faraday que

no permite que entren señales externas al circuito, proporcionándole una mejora hacia el rechazo de ruido.

## Anexo IV

### Ideas inconclusas

#### Joystick

Hacer un menú para control a modo de llaves de contacto selectoras de cada potenciómetro a usar, que cambie la ruta original del potenciómetro (dos contactos o tres) y suplantarlos por el potenciómetro del joystick. Usando un display 16x2 describiendo la selección de los ejes de los 4 potenciómetros (dos potenciómetros seno/coseno para eje Y y dos potenciómetros seno/coseno para eje X) que utiliza el joystick y seleccionando desde un menú cual potenciómetro del joystick va a suplantar a uno del panel superior.

#### Versión digital - sistema híbrido

Crear una versión del dispositivo con electrónica digital a partir de la programación de microprocesadores como puede ser arduino o pic, para generar efectos de sonidos del mismo tipo y luego compararlos y crear un sistema híbrido donde se podrían mezclar los sonidos creando sonidos nuevos o usar cada sonido puro de cada dispositivo individualmente.

### La búsqueda de lo aleatorio:

Investigando cómo mejorar la interacción entre los osciladores y el filtro controlado por tensión (para tener un sonido aleatorio completo que maneje al filtro logrando distintas notas en distintos periodos de tiempo) halle este circuito de “Muestra y Almacenamiento” (sample and hold) esto permite almacenar pequeños periodos de voltaje en el tiempo dentro de una “memoria” como pueden ser un capacitor y un transistor jfet .

Este periodo de almacenamiento puede ser controlado por una señal externa, ya que se utiliza un jfet para activar el paso de voltaje hacia el capacitor como una llave controlada por tensión.

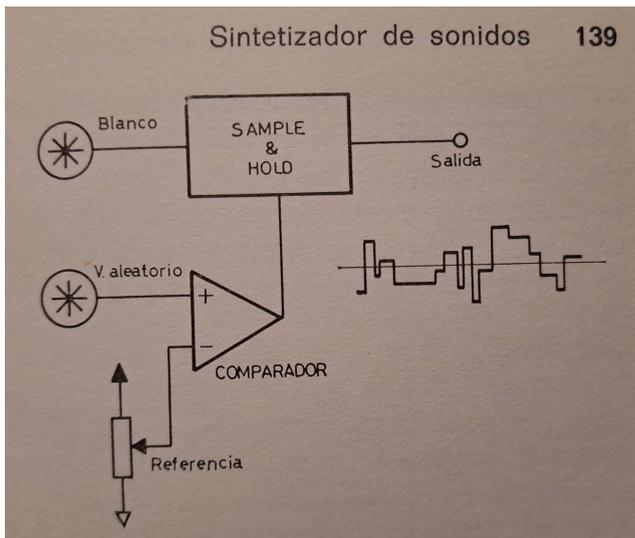


fig.15

Viendo cómo funciona este circuito se deduce como poder lograr un voltaje aleatorio tanto en amplitud como en frecuencia.

Utilizando ruido blanco en la entrada del drenaje del jfet (drain) y picos de tensión aleatorios en la compuerta del jfet (gate), el capacitor va almacenando el voltaje de la entrada por cada pulso de voltaje aleatorio del jfet, donde esta señal controla el paso de la señal que va a ser almacenada. El transistor jfet es activado cada cierto tiempo aleatorio (mediante pulsos) en donde el capacitor de almacenamiento se carga a través del voltaje instantáneo de ruido blanco que sale de la fuente del jfet (source) a un voltaje determinado. Con este dispositivo podría lograrse una señal aleatoria “compuesta” tanto el eje X como el eje Y tendrían un comportamiento aleatorio.

Los picos aleatorios se pueden lograr con un generador de ruido blanco y un comparador. La salida del ruido ingresa en el comparador, este compara un voltaje que se denomina “umbral” que visto desde el osciloscopio es una línea horizontal de voltaje continuo (dc) que puede administrarse con un simple divisor de tensión en la entrada del comparador. La otra entrada es del ruido blanco, si el voltaje de umbral llega hasta los picos de la señal alterna denominada como ruido recorta solo ese pico logrando a la salida un sistema de pulsos aleatorios (con distancias de tiempo aleatorias), discrimina a los picos de voltaje más alejados de masa dejando de lado la mayoría de ruido y solamente pasan los picos elegidos, “filtrando” los picos más alejados obteniendo así pulsos aleatorios.

Con esos pulsos aleatorios en el tiempo se puede controlar los periodos (o la frecuencia) en que se toma la muestra y el almacenamiento, esa misma muestra se toma en una amplitud

aleatoria mediante el ruido blanco de la entrada o sea que el capacitor toma distintos valores de tensión en el tiempo (amplitud en el tiempo).

Momento entre el pulso de entrada y la señal de almacenamiento. La señal una vez que es almacenada en el capacitor se mantiene en un estado de corriente continua hasta que llegue otro pulso, al recibir un pulso el nivel de voltaje de la señal de entrada es ruido, es permanentemente cambiante, en ese preciso momento el capacitor toma un valor exacto y lo mantiene, hasta que otro pulso cambie su valor.

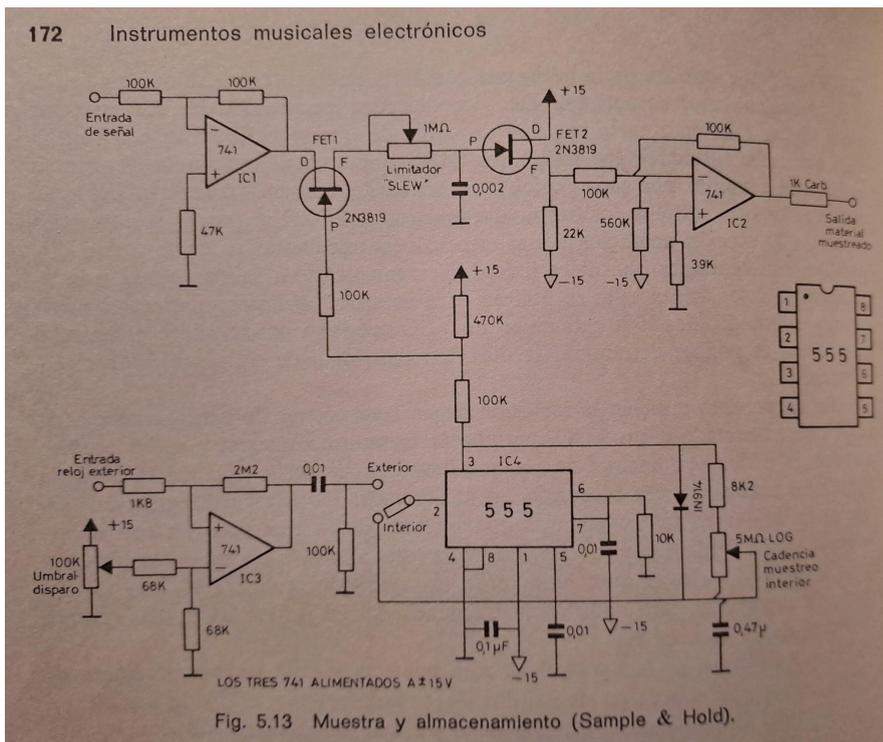


fig.16

## Anexo V

Introducciones en la música contemporánea:

Ejemplos de temas musicales con introducciones de sonido con la utilización de sintetizadores, sonido sintetizado/ambiental (vientos y tormentas) que sirvieron de ejemplos y algunos de inspiración de audio para este proyecto:

Nocturnus – B.C.A.D. (Death Metal) -Viento arremolinado muy cambiante

Slayer – Raining in Blood (Thrash Metal) -Lluvia torrencial

Vader – Creation (Death Metal) -Viento desértico

Traitors gate – Devil takes the high road (Heavy Metal) -Viento en una montaña

Antonio Onorato - Native Wind (Guitar Synth) -Viento en una planicie

P.U.M.A. - NUAGES (Dark Ambient/Electronic/Noise) -Viento y tormenta

Longsword - II (Dungeon Synth, Dungeon Noise) -Ruido a Viento

## Anexo VI

### Conclusiones:

Poder llevar a cabo este proyecto me hizo entender cómo es que se conforman algunos sonidos que son particularmente conocidos, como lo son el viento y la lluvia, pero que no tienen una forma fija y su componente de aleatoriedad de tono, frecuencia, amplitud, ancho de banda, etc, los hacen extremadamente complejos de emular. Sin embargo poder manejar este artefacto se siente como si uno fuese una especie de villano manipulando el clima, un poco minimalista, al ser como un instrumento de baja definición de audio.

Los controles son muy eficientes en su propósito y logran una mezcla homogénea de sonidos que pueden encontrarse en una tormenta eléctrica. Al no ser una copia exacta del audio real las respuestas auditivas a veces son más bien una idea abstracta pero que recuerda algo de lo que se podría oír en una tormenta real.

El desarrollo de señales analógicas y la utilización de circuitos integrados específicos de audio utilizados en sintetizadores me abrió las puertas a un nuevo mundo, donde surgieron muchas inquietudes nuevas y experimentaciones que no pude realizar por un tema de ignorancia, tiempo, falta de equipamiento, etc. Pero este proyecto se podría mejorar en el futuro dado la cantidad de innovaciones que se podrían lograr con un poco de imaginación y esfuerzo.

Las experimentaciones llevan mucho tiempo y la creación de un prototipo desarrollado desde cero son costosos al ir cambiando componentes o la implicación de tener que cambiar una idea que no resulta eficaz y pensar cómo resolver ese cuestionamiento con los problemas con los que surgen al ir avanzando en el circuito.

Para finalizar fue un proyecto que me llena de orgullo, desde 2do año de la carrera que me comprometí en hacerlo solamente por el amor al conocimiento y hacia la electrónica. Mi abuelo reparaba tocadiscos valvulares y yo desde chico veía esas cosas y me daba mucha curiosidad, también nunca tuve la oportunidad de estudiar esta materia hasta hace poco años y me pareció algo alucinante, muy complejo en algunas áreas, pareciera simples en otras pero los fenómenos físicos hacen que algo que parece simple no funciona. Muy agradecido a este

instituto y sus maestros que me permitió desarrollar mi carrera con mucho esfuerzo y dedicación.

Por último mencionar a un grande de la electrónica:



Robert Arthur Penfold

También conocido como **Bob Penfold**, es un prolífico autor y diseñador británico de proyectos electrónicos.

Gracias a muchas de sus publicaciones y varios de sus libros es que pudo concretarse este proyecto.

## Bibliografía:

- Artículo original (tempestuous storm effect - pág.18)  
<https://www.worldradiohistory.com/UK/Practical-Electronics/80s/Practical-Electronics-1986-06.pdf>
- Ruido blanco  
<https://www.incb.com.mx/index.php/banco-de-circuitos/1957-generador-de-ruido-blanco-ins057s>
- Ruido térmico  
[https://www.eng.auburn.edu/~wilambm/pap/2011/K10147\\_C011.pdf](https://www.eng.auburn.edu/~wilambm/pap/2011/K10147_C011.pdf)
- Vca / Vcf  
<https://www.muzines.co.uk/articles/understanding-electronics/5981>
- Osciladores  
[https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Amplificadores\\_Operacionales\\_y\\_Circuitos\\_Integrados\\_Lineales\\_-\\_Teoria\\_y\\_Aplicacion\\_\(Fiore\)/09%3A\\_Osciladores\\_y\\_Generadores\\_de\\_Frecuencia/9.02%3A\\_Osciladores\\_de\\_amplificador\\_operacional](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Amplificadores_Operacionales_y_Circuitos_Integrados_Lineales_-_Teoria_y_Aplicacion_(Fiore)/09%3A_Osciladores_y_Generadores_de_Frecuencia/9.02%3A_Osciladores_de_amplificador_operacional)
- Línea de retardo, TDA1022 (delay)  
<https://www.muzines.co.uk/articles/chip-parade/3298>

### libros:

- Nueva generación de instrumentos musicales electrónicos – 1977 de Juan Bermúdez Costa, editorial Marcombo (Boixareu Editores)
- Circuito de pulsos de estado sólido - 1979 de David A. Bell, editorial Bell S.A.
- Circuitos integrados lineales - 1992 de Theodore F. Bogart JR. , editorial Limusa noriega editores
- Amplificadores operacionales y filtros activos - 1991 de Antonio Pertence Junior, editorial Mc Graw Hill