

## PARTE 1: ANTECEDENTES

### 1.1. INTRODUCCIÓN

El vúmetro transistorizado es una versión diferente al del integrado LM3914 y LM3915, como su nombre lo indica está compuesto por transistores y no contiene en su construcción ningún integrado.

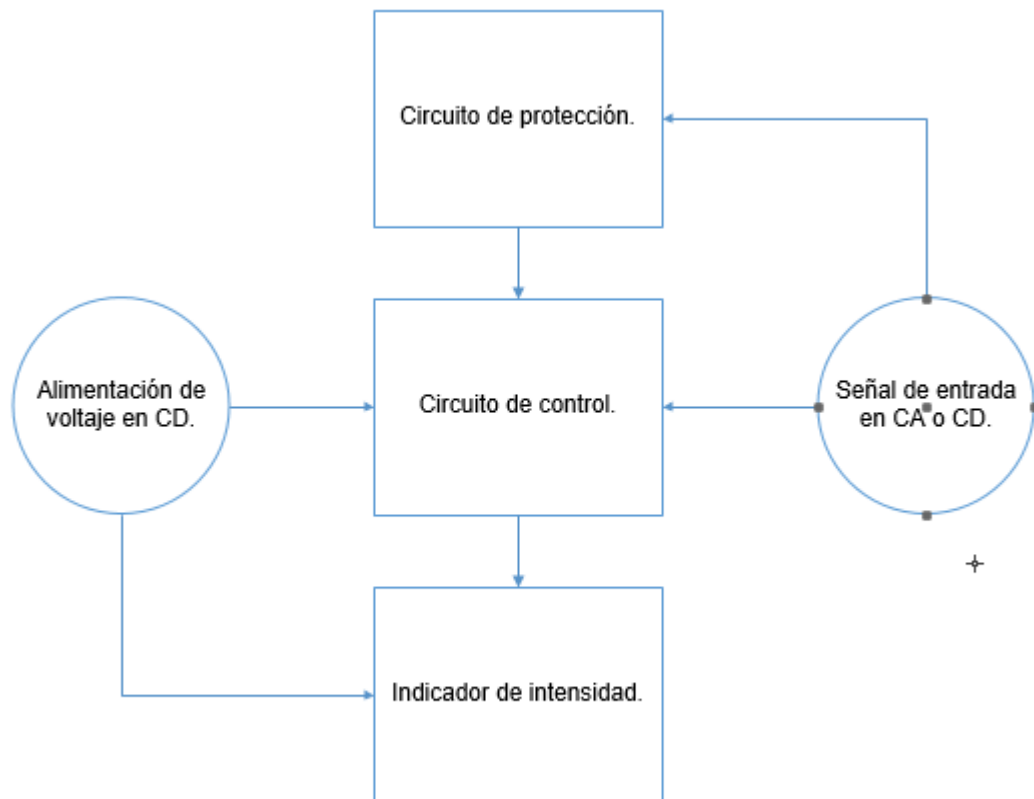
\*El diagrama del circuito se obtuvo de Google Imágenes y este motor de búsqueda lo obtuvo de la siguiente página web:

- <http://electgpl.blogspot.com/2012/04/vumetro-transistorizado.html>

### 1.2. OBJETIVOS

- Construir un vúmetro transistorizado que pueda medir la intensidad del sonido.
- Analizar el circuito parte por parte (por bloques).

### 1.3. DIAGRAMA DE BLOQUES



*Diagrama de bloques del vúmetro transistorizado.*

## PARTE 2: MARCO TEÓRICO

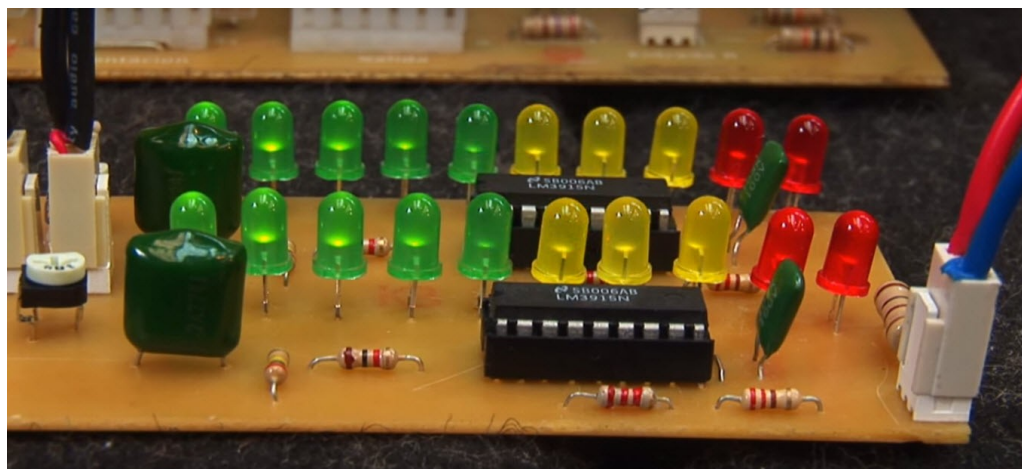
**2.1. Vúmetro.-** El vúmetro es un dispositivo indicador en equipos de audio para mostrar el nivel de señal en unidades de volumen, también es llamado indicador del volumen.



*Vúmetro analógico con indicador LED de saturación.*

**2.1.1. Unidad VU.-** La unidad de volumen VU (del inglés Volume Unit) se define como: "El indicador de volumen marca 0 VU cuando se conecta a una salida con una resistencia interna de 600 Ohmios, para una señal sinusoidal de 1000 Hz y una amplitud de +4 dBu."

**2.1.2. Vúmetro digital.-** Un vúmetro digital es aquel circuito que no depende ya de un galvanómetro para medir la intensidad de sonido, en su lugar son utilizados LEDs.



*Ejemplo de vúmetro digital con LEDs.*

**2.2. Fuente de voltaje.-** Es un dispositivo que convierte las tensiones alternas de la red de suministro, en una o varias tensiones, prácticamente continuas, que alimentan los distintos circuitos del aparato electrónico al que se conecta.



*Ejemplo de fuente de voltaje.*

La fuente se compone de cuatro bloques principalmente:

Transformador, Rectificador, Filtro y Regulador o Estabilizador.

### **2.2.1. Funcionamiento:**

El Transformador proporciona una tensión alterna senoidal, aumenta o disminuye la amplitud de una tensión alterna, mantiene la frecuencia y proporciona aislamiento galvánico.

El Rectificador proporciona una señal pulsante, compuesta de una señal continua y rizada.

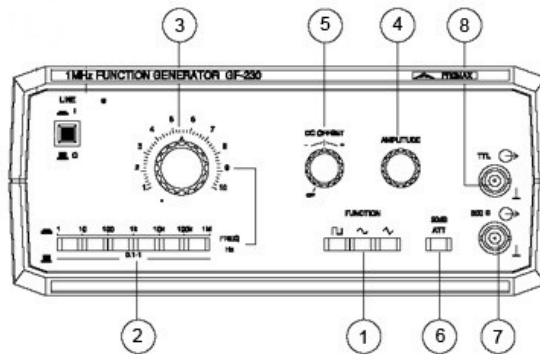
El Filtro proporciona una señal continua, reduce el rizado de la tensión, aísla la componente alterna de la continua y asegura un comportamiento lineal.

El Regulador, el cual termina por estabilizar la señal y nos ayuda a obtener una señal continua a la salida de la fuente.

**2.3. Generador de funciones.-** El generador de funciones es un equipo capaz de generar señales variables en el dominio del tiempo para ser aplicadas posteriormente sobre el circuito bajo prueba.

Las formas de onda típicas son las triangulares, cuadradas y senoidales. También son muy utilizadas las señales TTL que pueden ser utilizadas como señal de prueba o

Aunque existen multitud de generadores de funciones de mayor o menor complejidad todos incorporan ciertas funciones y controles básicos que pasamos a describir a continuación:

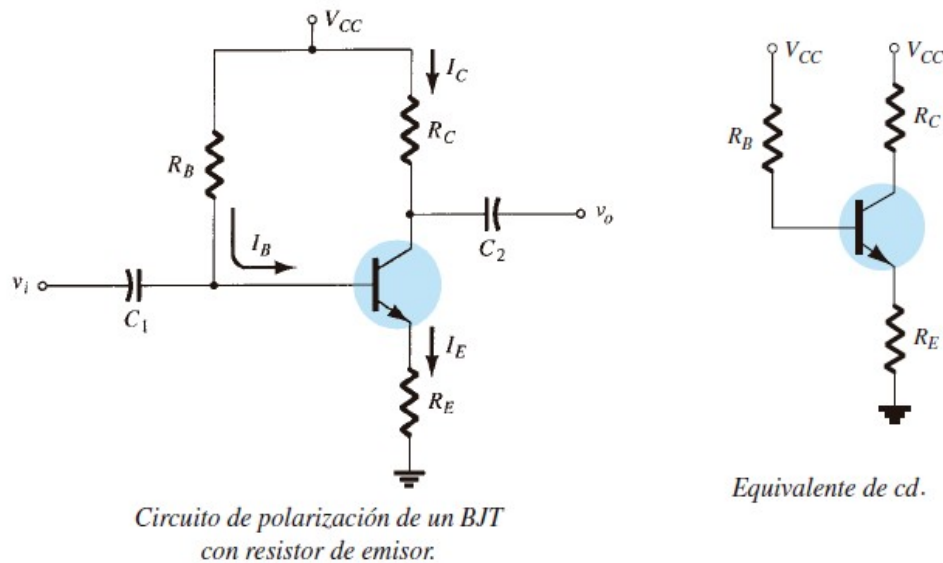


3. Control de frecuencia. Regula la frecuencia de salida dentro del margen seleccionado mediante el selector de rango.

4. Control de amplitud. Mando que regula la amplitud de la señal de salida.
5. DC offset. Regula la tensión continua de salida que se superpone a la señal variable en el tiempo de salida.
6. Atenuador de 20dB. Ofrece la posibilidad de atenuar la señal de salida 20 dB (100 veces) sobre la amplitud seleccionada con el control número 4.
7. Salida 600ohm. Conector de salida que entrega la señal elegida con una impedancia de 600 ohmios.
8. Salida TTL. Entrega una consecución de pulsos TTL (0 - 5V) con la misma frecuencia que la señal de salida.

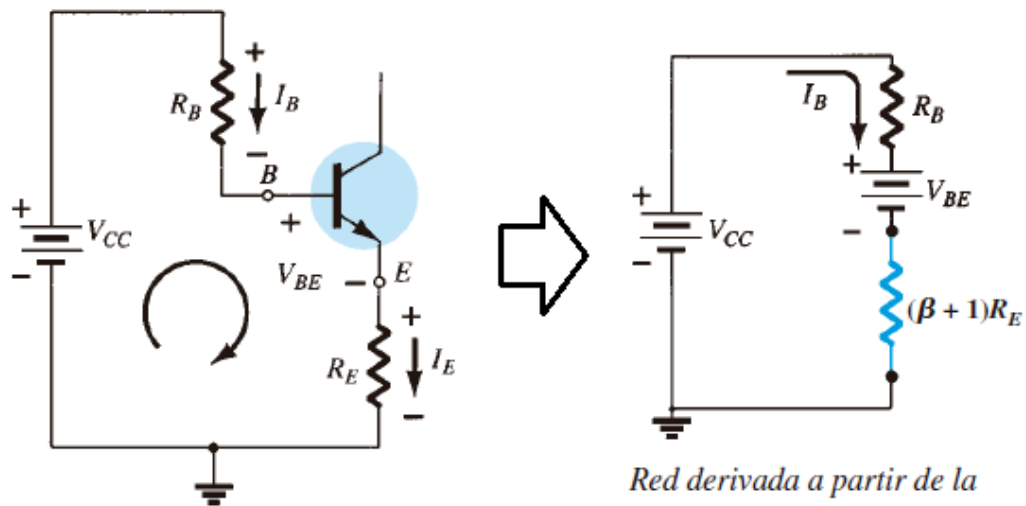
#### 2.4. Transistor.- Configuración polarización de emisor:

La red de polarización de cd de la figura contiene un resistor emisor para mejorar la estabilidad del nivel en relación con la de la configuración de polarización fija.



*Circuito tradicional de polarización de emisor común.*

## Malla base-emisor

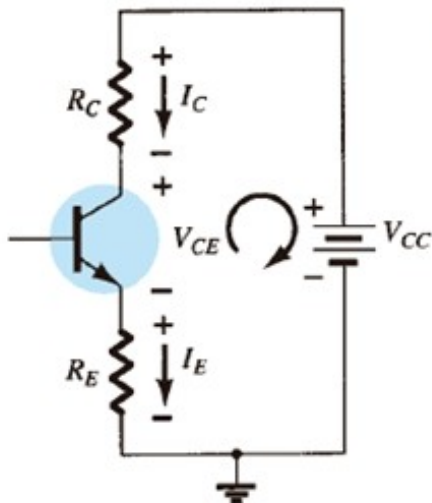


*Malla base-emisor.*

Analizando la malla con la ley de voltajes y despejando  $I_B$  se obtiene:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

## Malla colector-emisor



*Malla colector-emisor.*

Analizando la malla con LVK, obtenemos:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

Pero también tenemos:

$$V_E = I_E R_E$$

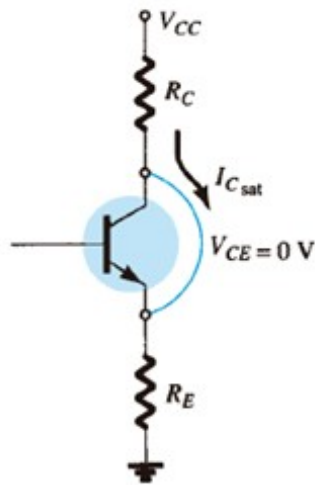
$$V_C = V_{CE} + V_E$$

$$V_B = V_{CC} - I_B R_B$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

$$V_B = V_{BE} + V_E$$

## Nivel de saturación



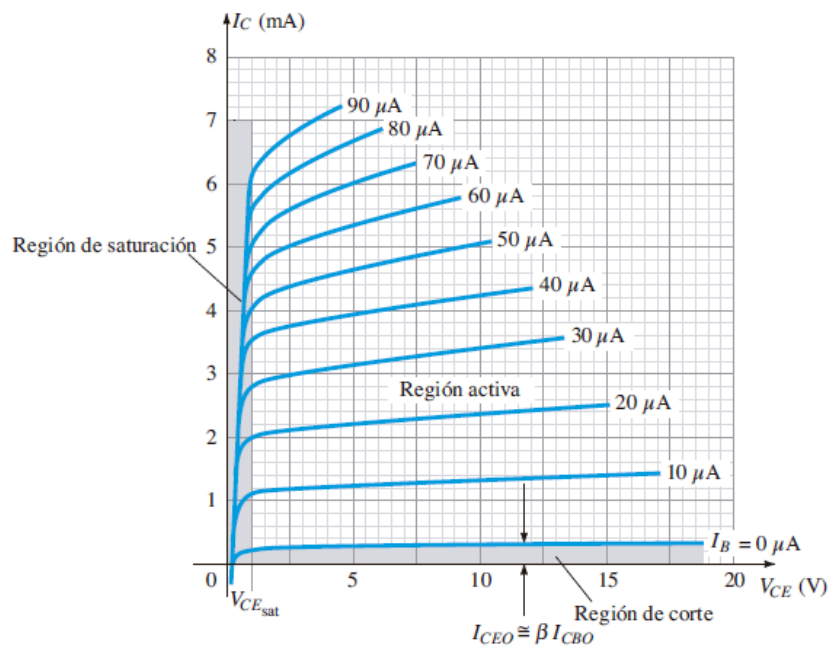
Se tiene que  $V_{CE} = 0V$ , entonces despejando de la siguiente ecuación se obtiene  $I_{C\text{sat}}$ :

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

$$I_{C\text{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

*Determinación de  $I_{C\text{sat}}$  para el circuito de polarización estabilizado por emisor.*

Para este caso la malla Colector-Emisor trabaja en cortocircuito.



*Características de un transistor de silicio en la configuración en emisor común: características*

*Gráfica que nos muestra las regiones de trabajo de un transistor.*





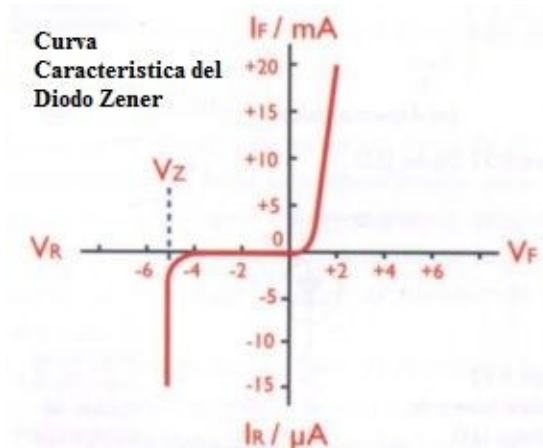
*Ejemplo de transistor (2N3904).*

**2.5. Diodo zener.-** Los diodos zener o simplemente zener, son diodos que están diseñados para mantener un voltaje constante en su terminales, llamado Voltaje o Tensión Zener ( $V_Z$ ) cuando se polarizan inversamente, es decir cuando está el cátodo con una tensión positiva y el ánodo negativa. Un zener en conexión con polarización inversa siempre tiene la misma tensión en sus extremos (tensión zener).

**2.5.1. Funcionamiento.-** Cuando lo polarizamos inversamente y llegamos a  $V_Z$  el diodo conduce y mantiene la tensión  $V_Z$  constante aunque nosotros sigamos aumentando la tensión en el circuito. La corriente que pasa por el diodo zener en estas condiciones se llama corriente inversa ( $I_Z$ ).

Se llama zona de ruptura por encima de  $V_Z$ . Antes de llegar a  $V_Z$  el diodo zener NO Conduce. Como ves es un regulador de voltaje o tensión. Fijate en la gráfica de funcionamiento del zener más abajo. Cuando está polarizado directamente el zener se comporta como un diodo normal.

Pero, mientras la tensión inversa sea inferior a la tensión zener, el diodo no conduce, solo conseguiremos tener la tensión constante  $V_Z$ , cuando esté conectado a una tensión igual a  $V_Z$  o mayor. Aquí puedes ver una la curva característica de un zener:





*Curva característica del diodo zener.*



*Ejemplo de diodo zener (1N4148).*

**2.6. Diodo LED.-** El LED (Light-Emitting Diode: Diodo Emisor de Luz), es un dispositivo semiconductor que emite luz incoherente de espectro reducido cuando se polariza de forma directa la unión PN en la cual circula por él una corriente eléctrica. Este fenómeno es una forma de electroluminiscencia, el LED es un tipo especial de diodo que trabaja como un diodo común, pero que al ser atravesado por la corriente eléctrica, emite luz.

COLOR DEL LED	TENSIÓN UMBRAL
Rojo	1,6V
Rojo alta luminosidad	1,9v
Amarillo	1,7V a 2V
Verde	2,4V
Naranja	2,4V
Blanco brillante	3,4V
Azul	3,4V
Azul 430nm	4,6V

*Umbral de voltajes de diodos LED para su encendido.*

**2.7. Capacitor.-** Un condensador eléctrico (también conocido frecuentemente con el anglicismo capacitor, proveniente del nombre equivalente en inglés) es un dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico.

También el capacitor funciona como un filtro de señales, en este caso se supone que una señal de entrada que pueda tener alguna señal parasita es filtrada en el capacitor, resultando así la señal sin alguna alteración después de que esta haya pasado por el condensador.



*Ejemplos de capacitores cerámicos y electrolíticos.*

**2.8. Resistencia.-** Es un componente pasivo que ofrece una oposición que presenta un conductor al paso de la corriente eléctrica.

Su funcionamiento se basa en la ley de Ohm:

$$I = \frac{V}{R}$$

En unidades del Sistema internacional:

$I$  = Intensidad en Amper (A)

$V$  = Diferencia de potencial en Volt (V)

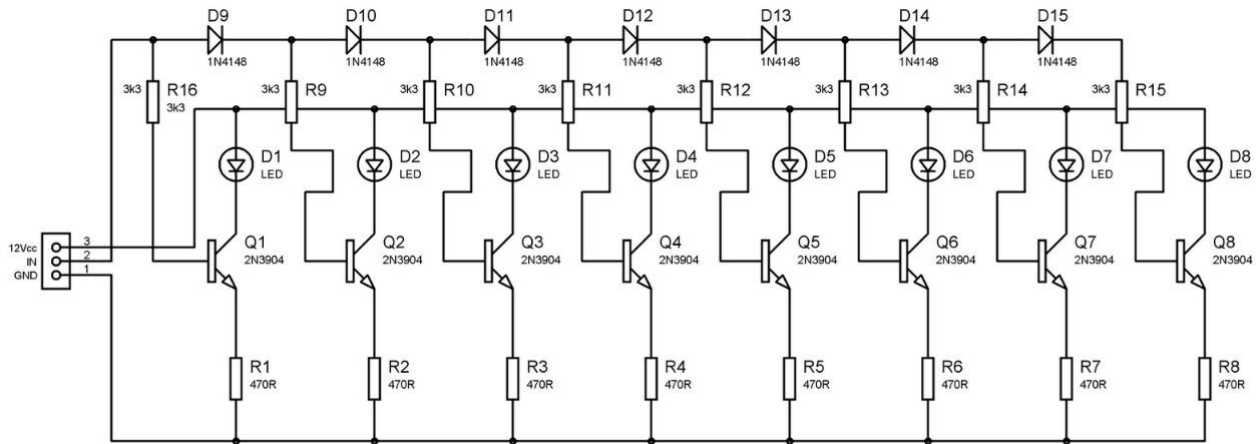
$R$  = Resistencia en Ohms ( $\Omega$ )

*Fórmula de la ley de Ohm.*

## PARTE 3: INGENIERÍA DEL PROYECTO

### 3.1. INTRODUCCIÓN

Para el análisis del vúmetro transistorizado se utilizó el siguiente diagrama que muestra el circuito:



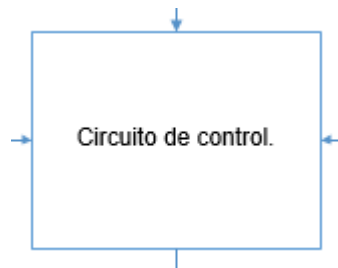
Para poder verificar el funcionamiento del vúmetro fue necesario utilizar un generador de funciones el cual brinda señales de tipo alterna para el análisis del circuito. Para la medición y calibración del circuito fue necesaria una fuente de alimentación en DC regulable.

El generador de funciones nos entregará una señal con una determinada frecuencia que cuando es baja los LEDs tienden a parpadear, mientras que cuando se aumenta la frecuencia los LEDs empiezan a mostrarse totalmente encendidos (aunque realmente están parpadeando pero de manera imperceptible al ojo humano). Pero es la amplitud de la onda la que regula el número de LEDs a encenderse, a mayor amplitud mayor el número de LEDs encendidos.

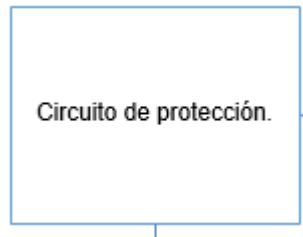
Para la fuente de voltaje los LEDs no parpadearán (ya que la señal es continua) y con el aumento progresivo de voltaje se irán encendiendo los LEDs uno por uno, eso es práctico en la calibración del instrumento, porque nos permite saber la amplitud con la que un LED se encenderá y eso no dejará saber cuál es la intensidad en cada LED.

### 3.2. DIAGRAMA DE BLOQUES

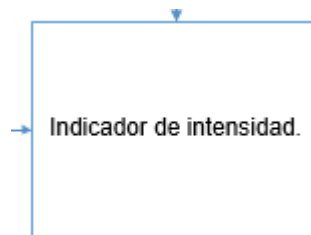
**3.2.1. Circuito de control.-** Está conformado por los transistores, estos una vez alimentado el circuito pasan a estar en zona de saturación dejando al indicador de intensidad encenderse y mostrar los resultados.



**3.2.2. Circuito de protección.-** Conformado por los diodos zener, estos protegen al circuito de control y la indicador de intensidad, tomando parte del voltaje de alimentación y no dejando pasar corriente cuando este no está encendido.



**3.2.3. Indicador de intensidad.-** Son los LEDs que muestran la intensidad de sonido una vez que este alimentado.



**3.2.4. Alimentación de voltaje en CD.-** Una fuente de voltaje o batería que suministre la alimentación del circuito.



**3.2.5. Señal de entrada CA o CD.-** Este es la señal entrante a ser mostrada por el indicador de intensidad, puede ser CA o CD (análisis), puede ser una fuente de voltaje, así como un generador de funciones, pero esto es para análisis. Si se requiere de forma más práctica es necesario tener un micrófono o una entrada de audífonos con conector Jack, etc.



### 3.3. CÁLCULOS Y MEDIDAS

Los cálculos más importantes para este proyecto, fueron el voltaje CE de los transistores y su corriente de saturación, además de los voltajes en los diodos zener.

Para que el diodo sea conductor en inversa es necesario que  $V_{INVERSA} \geq V_Z$ .

En la práctica el multímetro no daba un voltaje de aproximadamente 0,66V siempre que el voltaje de entrada sea igual a  $V_{CC}$ .

Para la corriente de saturación es necesario utilizar:

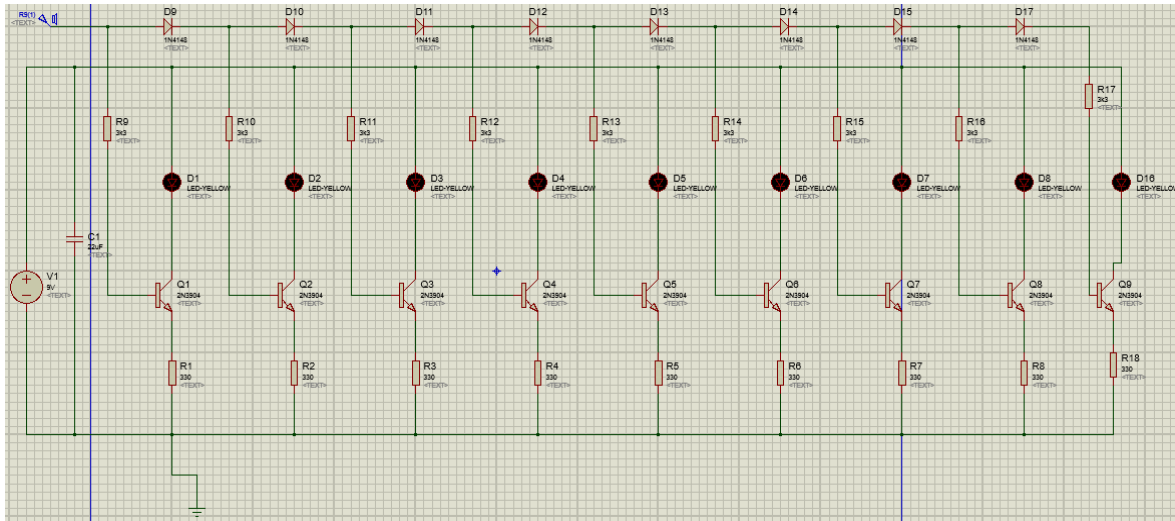
$$I_{C_{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

Se sabe que  $R_C = 0\Omega$  y teóricamente  $V_{CE} = 0V$  entonces:  $I_{CSAT} = 27mA$ .

Pero en la práctica al regular el voltaje de entrada es necesario saber que VCE varía hasta aproximarse al cero entonces si  $V_{IN} = V_{CC}$ ,  $I_{CSAT} = 18mA$ .

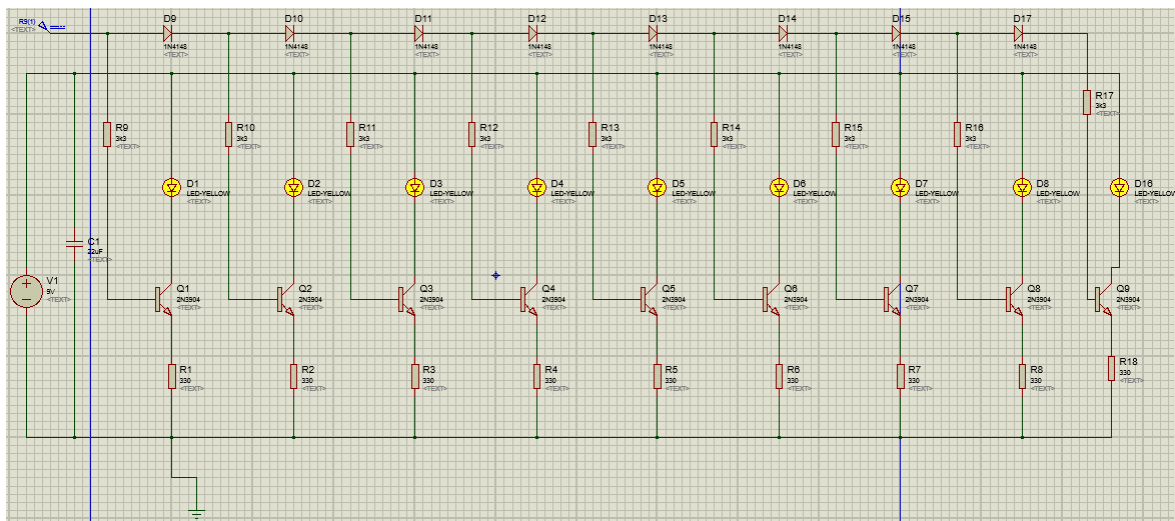
### 3.4. SIMULACIONES Y PRUEBAS

**3.4.1. Simulaciones.-** Para las simulaciones se utilizó el software de simulación electrónica Proteus 8 y como puede observarse se muestran dos imágenes, la primera es el circuito armado pero no en funcionamiento y la segunda es el circuito armado y simulado (en funcionamiento).



*Circuito armado en Proteus.*

Una vez armado se inició con la simulación del circuito, primero con diferentes LEDs (en cuanto a los colores se refiere) y se probó diferentes resistencias de base del transistor, dando resultados esperados pero dificultando el análisis de cada componente.

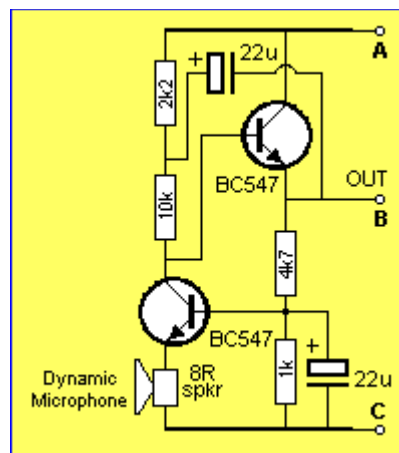


*Circuito armado y simulado en Proteus.*

En la simulación final se usó una fuente en CD en vez de una CA para poder visualizar mejor el funcionamiento de cada LED, estos al variar el voltaje tienden a encenderse uno por uno (con el aumento de voltaje). Realizada la simulación se pudo pasar a las pruebas en tiempo real.

**3.4.2. Pruebas.-** Las pruebas se realizaron de un circuito armado en un protoboard, resultando en el siguiente circuito:

- 1ra prueba.- Armado el circuito, conectado al generador de funciones y este alimentado y con la señal de entrada en su máximo valor, no hubo ninguna respuesta visible en los LEDs.
- 2da prueba.- Se cambió la impedancia del generador de funciones de  $50\Omega$  a  $600\Omega$ , y se logró encender el circuito pudiendo observarse una respuesta en los LEDs, aunque no en todos.
- 3ra prueba.- Se reemplazaron los LEDs rojos y verdes por amarillos, debido a que no funcionaban (rojos), no mostraban la intensidad deseada (verdes) y no mostraban alguna respuesta de la señal de entrada, una vez reemplazados, el circuito mostró una respuesta completa.
- 4ta prueba.- Se utilizó un circuito que cuenta con un micrófono y dos transistores para la amplificación de la señal de entrada, una vez que se reemplace el generador de funciones por un micrófono capaz de recibir sonido, este debería mostrar alguna respuesta, pero debido a varios factores (mal armado, transistor quemado) no había respuesta a ningún sonido.



*Circuito amplificador con micrófono.*

- 5ta prueba.- Una vez armado el circuito sin errores y reemplazando los componentes dañados, se hizo la prueba mostrando respuestas nulas. Entonces se supuso que el micrófono no funcionaba y en vez del micrófono se conectó un cable de audífonos con conector "Jack" para celular, en el circuito amplificador suponiendo que este iba dar la señal deseada, pero los intentos fueron infructuosos, desechando totalmente el circuito amplificador.
- 6ta prueba.- Para el análisis del vúmetro componente por componente se utilizó un multímetro para la medición de los valores de manera práctica. Se usaron dos fuentes de voltaje, una fija que suministre 9V y otra variable que actúe como la señal de entrada.

#### **PARTE 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



#### **4.1. CONCLUSIONES**

Se pudo construir un vúmetro transistorizado que pueda mostrar la intensidad de sonido de una señal entrante, mediante el indicador de intensidad (LEDs).

El análisis de este circuito fue un poco complicado en el aspecto de la creencia de que lo que medía era la frecuencia, pero en realidad mide la intensidad. Además se creía que este circuito amplificaba la señal y mostraba el resultado en el indicador de intensidad, pero lo que hace es estar en la zona de saturación (transistor).

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

Si se quieren utilizar LEDs de diferentes colores es necesario calcular el valor de la resistencia de emisor, para que este permita que el LED tenga el voltaje suficiente para que pueda encenderse.

La construcción del circuito no es muy difícil y no requiere de gran esfuerzo, pero es necesario saber cuál es base, emisor y colector del transistor para no cometer errores y hay que tener cuidado en no confundirse donde se colocan los diodos zener respecto a las resistencias de base.

### **PARTE 5: BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS**

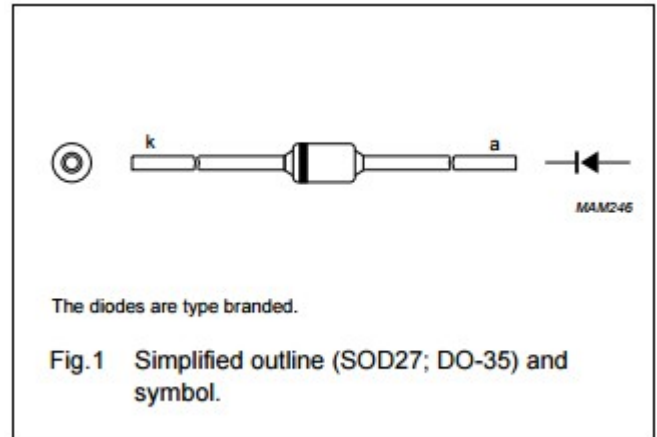
#### **5.1. BIBLIOGRAFÍA.-**

- <http://electgpl.blogspot.com/2012/04/vumetro-transistorizado.html>
- <http://www.taringa.net/post/ciencia-educacion/12623317/Fuente-de-Voltaje-Teoria-y-Practica.html>
- [http://www.electronicam.es/generador\\_funciones.html](http://www.electronicam.es/generador_funciones.html)
- Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos, 10ma edición. Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky. Cap. 4, pág. 171 – 174.
- <http://www.monografias.com/trabajos60/diodo-led/diodo-led.shtml>
- [www.areatecnologia.com/electronica/diodo-zener.html](http://www.areatecnologia.com/electronica/diodo-zener.html)
- Imágenes proporcionadas por Google Imágenes.

#### **5.2. ANEXOS.-**

**Datasheet (Diodo zener):**

- Hermetically sealed leaded glass SOD27 (DO-35) package
- High switching speed: max. 4 ns
- General application
- Continuous reverse voltage: max. 100 V
- Repetitive peak reverse voltage: max. 100 V
- Repetitive peak forward current: max. 450 mA.



#### LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{RRM}$	repetitive peak reverse voltage		–	100	V
$V_R$	continuous reverse voltage		–	100	V
$I_F$	continuous forward current	see Fig.2; note 1	–	200	mA
$I_{FRM}$	repetitive peak forward current		–	450	mA
$I_{FSM}$	non-repetitive peak forward current	square wave; $T_j = 25\text{ °C}$ prior to surge; see Fig.4			
		$t = 1\text{ }\mu\text{s}$	–	4	A
		$t = 1\text{ ms}$	–	1	A
		$t = 1\text{ s}$	–	0.5	A
$P_{tot}$	total power dissipation	$T_{amb} = 25\text{ °C}$ ; note 1	–	500	mW
$T_{stg}$	storage temperature		–65	+200	°C
$T_j$	junction temperature		–	200	°C

#### Note

1. Device mounted on an FR4 printed-circuit board; lead length 10 mm.

#### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_j = 25\text{ °C}$  unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_F$	forward voltage	see Fig.3			
	1N4148	$I_F = 10\text{ mA}$	–	1	V
	1N4448	$I_F = 5\text{ mA}$	0.62	0.72	V
$I_R$	reverse current	$V_R = 20\text{ V}$ ; see Fig.5		25	nA
		$V_R = 20\text{ V}$ ; $T_j = 150\text{ °C}$ ; see Fig.5	–	50	$\mu\text{A}$
$I_R$	reverse current; 1N4448	$V_R = 20\text{ V}$ ; $T_j = 100\text{ °C}$ ; see Fig.5	–	3	$\mu\text{A}$
$C_d$	diode capacitance	$f = 1\text{ MHz}$ ; $V_R = 0\text{ V}$ ; see Fig.6	–	4	pF
$t_{rr}$	reverse recovery time	when switched from $I_F = 10\text{ mA}$ to $I_R = 60\text{ mA}$ ; $R_L = 100\text{ }\Omega$ ; measured at $I_R = 1\text{ mA}$ ; see Fig.7	–	4	ns
$V_{fr}$	forward recovery voltage	when switched from $I_F = 50\text{ mA}$ ; $t_r = 20\text{ ns}$ ; see Fig.8	–	2.5	V

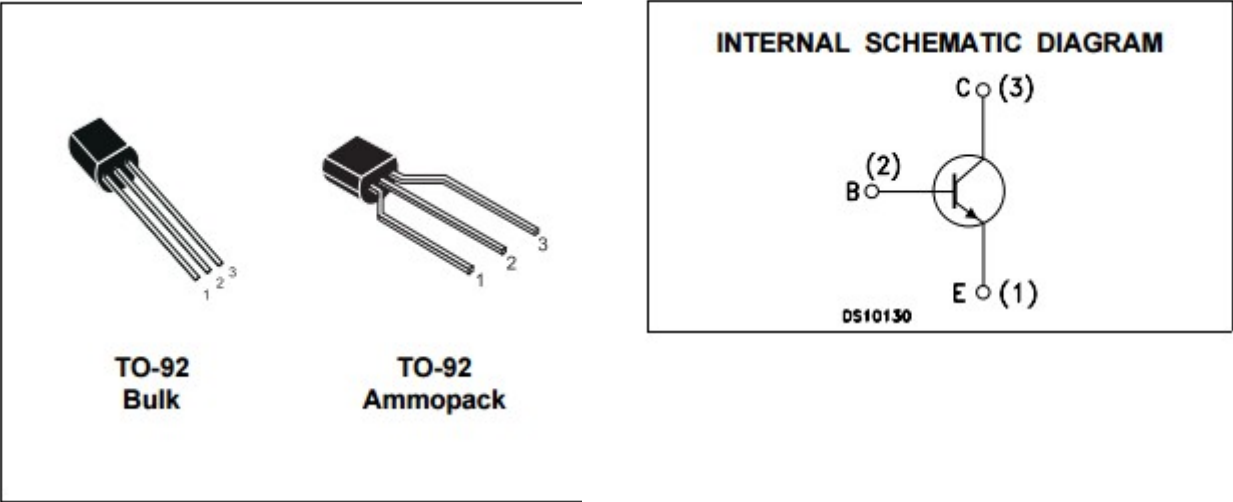
**THERMAL CHARACTERISTICS**

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th(j-tp)}$	thermal resistance from junction to tie-point	lead length 10 mm	240	K/W
$R_{th(j-a)}$	thermal resistance from junction to ambient	lead length 10 mm; note 1	350	K/W

**Note**

1. Device mounted on a printed-circuit board without metallization pad.

**Datasheet (Transistor):**



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage ( $I_E = 0$ )	60	V
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage ( $I_B = 0$ )	40	V
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage ( $I_C = 0$ )	6	V
$I_C$	Collector Current	200	mA
$P_{tot}$	Total Dissipation at $T_C = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	625	mW
$T_{stg}$	Storage Temperature	-65 to 150	$^{\circ}\text{C}$
$T_J$	Max. Operating Junction Temperature	150	$^{\circ}\text{C}$

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_{case} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$I_{CEX}$	Collector Cut-off Current ( $V_{BE} = -3\text{ V}$ )	$V_{CE} = 30\text{ V}$			50	nA
$I_{BEX}$	Base Cut-off Current ( $V_{BE} = -3\text{ V}$ )	$V_{CE} = 30\text{ V}$			50	nA
$V_{(BR)CEO}^*$	Collector-Emitter Breakdown Voltage ( $I_B = 0$ )	$I_C = 1\text{ mA}$	40			V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage ( $I_E = 0$ )	$I_C = 10\text{ }\mu\text{A}$	60			V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage ( $I_C = 0$ )	$I_E = 10\text{ }\mu\text{A}$	6			V
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}$ $I_B = 1\text{ mA}$ $I_C = 50\text{ mA}$ $I_B = 5\text{ mA}$			0.2 0.2	V V
$V_{BE(sat)}^*$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{ mA}$ $I_B = 1\text{ mA}$ $I_C = 50\text{ mA}$ $I_B = 5\text{ mA}$	0.65		0.85 0.95	V V
$h_{FE}^*$	DC Current Gain	$I_C = 0.1\text{ mA}$ $V_{CE} = 1\text{ V}$ $I_C = 1\text{ mA}$ $V_{CE} = 1\text{ V}$ $I_C = 10\text{ mA}$ $V_{CE} = 1\text{ V}$ $I_C = 50\text{ mA}$ $V_{CE} = 1\text{ V}$ $I_C = 100\text{ mA}$ $V_{CE} = 1\text{ V}$	60 80 100 60 30		300	
$f_T$	Transition Frequency	$I_C = 10\text{ mA}$ $V_{CE} = 20\text{ V}$ $f = 100\text{ MHz}$	250	270		MHz
$C_{CBO}$	Collector-Base Capacitance	$I_E = 0$ $V_{CB} = 10\text{ V}$ $f = 1\text{ MHz}$		4		pF
$C_{EBO}$	Emitter-Base Capacitance	$I_C = 0$ $V_{EB} = 0.5\text{ V}$ $f = 1\text{ MHz}$		18		pF
NF	Noise Figure	$V_{CE} = 5\text{ V}$ $I_C = 0.1\text{ mA}$ $f = 10\text{ Hz}$ to 15.7 KHz $R_G = 1\text{ K}\Omega$		5		dB
$t_d$	Delay Time	$I_C = 10\text{ mA}$ $I_B = 1\text{ mA}$			35	ns
$t_r$	Rise Time	$V_{CC} = 30\text{ V}$			35	ns
$t_s$	Storage Time	$I_C = 10\text{ mA}$ $I_{B1} = -I_{B2} = 1\text{ mA}$			200	ns
$t_f$	Fall Time	$V_{CC} = 30\text{ V}$			50	ns

\* Pulsed: Pulse duration = 300  $\mu\text{s}$ , duty cycle  $\leq 2\%$

