Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:

AMPLIFICADOR DE AUDIO CLASE D CON ECUALIZADOR DIGITAL PROGRAMABLE

audio class d amplifier with digital equalizer programmable

Sanabria Michael S.*, Lozano Sergio D., Jacinto G. Edwar*****

Resumen: Con la finalidad de obtener un amplificador de audio que cuente con alta eficiencia, se diseñó un amplificador de audio clase D digital que contó con una etapa de ecualización gráfica manipulable por el usuario. La etapa de ecualización se realizó en la plataforma para dispositivos móviles Android, además se implementó un microcontrolador encargado de generar una señal PWM a partir de una señal de audio de entrada y una señal portadora de 71.5KHz generada por el mismo y por último se aplicó una etapa de amplificación basada en transistores MOSFET en estado de conmutación.

Palabras Clave: Amplificador, señal PWM, microcontrolador, señal portadora, transistores.

* Michael Steve Sanabria Guio Estudiante de Tecnología en Electrónica, Universidad Distrital, Colombia. e-mail: mssguio@gmail.com, mssanabriag@correo.udistrital.edu.co.
** Sergio David Lozano Niño Estudiante de Tecnología en Electrónica, Universidad Distrital, Colombia. e-mail: santafe_gars_@hotmail.com, sdlozanon@correo.udistrital.edu.co.
*** Edwar Jacinto Ingeniero en control electrónico e instrumentación Msc en ciencias de la información y las comunicaciones, Universidad Distrital, Colombia. Correo ejacintog@udistrital.edu.co

Abstract: In order to obtain an audio amplifier that has high efficiency , amplifier digital class D which featured a graphic equalization stage manipulated by the user are designed. The

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:

equalization stage was conducted in the Android platform for mobile devices, in addition to this microcontroller responsible for generating a PWM signal from an audio signal input and 71.5 KHz carrier signal generated by the same and finally implemented He applied an amplifier stage based on MOSFET transistors in switch state.

Keywords: Amplifier, PWM signal, microcontroler, carrier signal, transistors.

1. INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de un amplificador de audio que brinde al usuario lo que es un verdadero amplificador clase D con una máxima potencia de salida, se diseñó e implemento un amplificador de audio clase D y un ecualizador gráfico programable; para el desarrollo de estas herramientas se desarrolló la implementación de nuevas tecnologías como dispositivos móviles con plataforma Android y microcontroladores que brindan un procesamiento digital de señales análogas o digitales, además se implementó un driver de compuerta llamado IR2110 con el cual se genera la conmutación de transistores de efecto campo los cuales son ideales para conmutar entre ellos ya que cuentan con tiempos de encendido y apagado bastante cortos, para cumplir con este fin se maneja la compuerta de cada uno aplicando señales inversas con un tiempo muerto entre ellas, por ende se logra que la relación señal a ruido sea baja en los transistores.

2. DESCRIPCIÓN CONFIGURACIÓN IR2110

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:

Se hizo importante para el proyecto la correcta configuración del integrado Ir2110 para lo cual se tuvó en cuenta diferentes factores, tales como: Diodo y condensador de boopstrap, tiempos de encendido y apagado de los mosfet, alimentación de compuerta de los mosfet y alimentación del integrado. Para el cálculo del condensador de boopstrap se tuvo en cuenta la siguiente ecuación:

$$C \geq \frac{2\left[2Q_g + \frac{I_{qbs(\max)}}{f} + Q_{ls} + \frac{I_{Cbs(leak)}}{f}\right]}{V_{cc} - V_f - V_{LS} - V_{Min}}$$

Figura 1. Ecuación para obtener el valor del condensador. [1]

Cabe resaltar que algunos parámetros se obtienen de los transistores de efecto campo MOSFET que se utilizaron en el amplificador, y para la selección del diodo de bootstrap se tuvo en cuenta que fuera un diodo fast recovery que soportará los pequeños tiempos de conmutación que se requieren para los transistores Mosfet.

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:

3. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMENTO DEL AMPLIFICADOR CLASE D Y LA ETAPA DE ECUALIZACIÓN

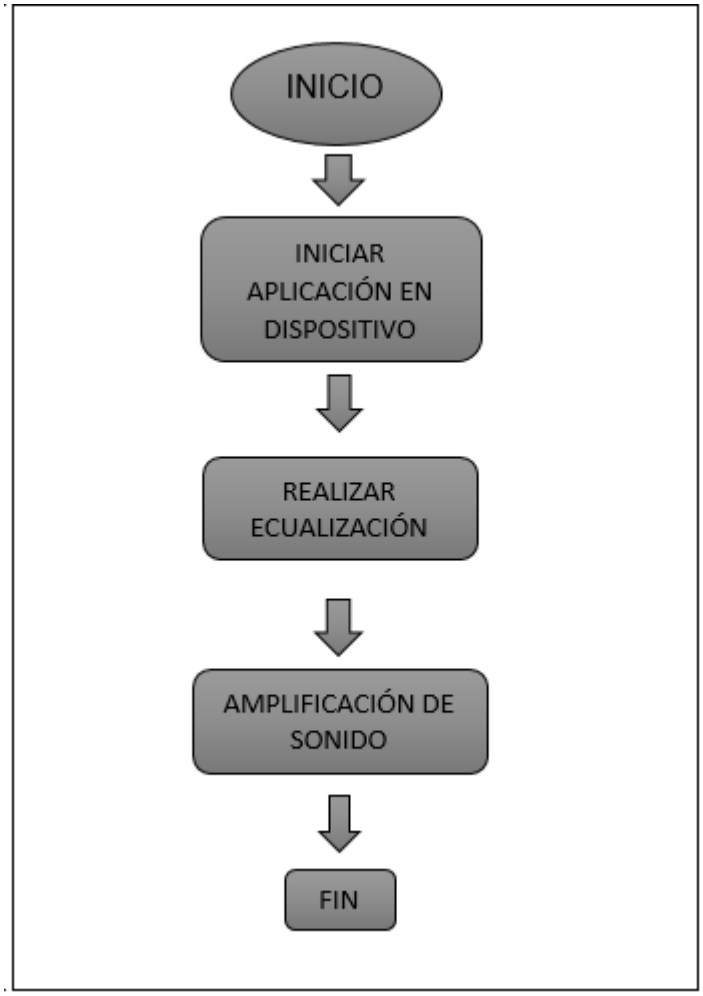


Figura 2. Diagrama de bloques amplificador clase D y ecualizador programable

(Fuente: tomada por autor)

Para el funcionamiento (Figura 1) del amplificador es necesario que el mismo sea conectado a la entrada de fluido eléctrico residencial, luego de esto se procede a conectar la señal de audio al mismo, dicha señal puede ser la enviada por un dispositivo que cuente con plataforma Android y dentro del mismo el ecualizador o también pude conectarse cualquier

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:

señal de audio de otro dispositivo que genere audio por el puerto Jack. Luego de que se conecte la señal de audio el amplificador se encargará de realizar la toma de muestras de la misma mediante un conversor análogo-digital y seguido se generará una señal PWM con base a los datos tomados, esta señal se encargará de controlar los transistores MOSFET mediante un driver, por último se filtrará la señal y por último se tendrá el parlante que será el encargado de convertir esa señal analógica en señal audible.

4. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROTOTIPO

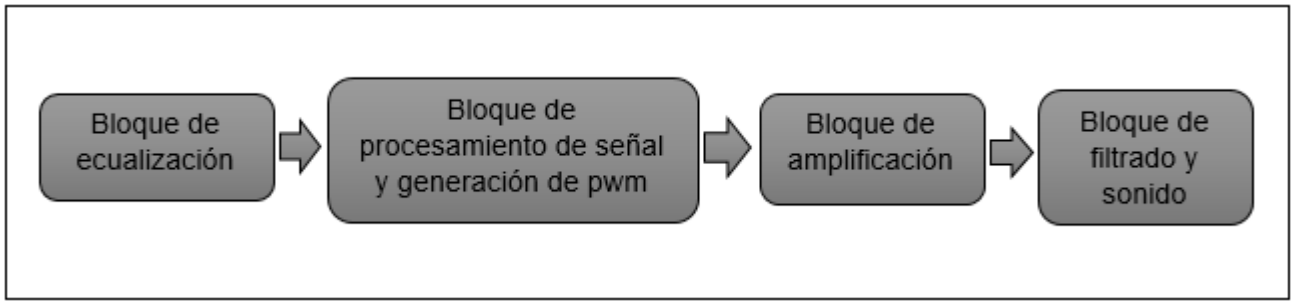


Figura 3. Diagrama de bloques del prototipo. (Fuente: tomada por autor)

4.1 ETAPA DE ECUALIZACIÓN

En esta etapa se observó la ecualización de sonido mediante una aplicación desarrollada en el programa Android Studio, la cual funcionó en dispositivos que cuentan con plataforma Android instalada, originalmente la aplicación estaba diseñada para funcionar en dispositivos con versiones de Android iguales o superiores a la 4.0, más sin embargo la aplicación ha sido probada en versiones anteriores y no se evidencio ningún mal funcionamiento de la misma en los dispositivos con dicha versión.

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:

El ecualizador contiene cinco frecuencias base estandarizadas, un selector de volumen y dos botones selectores de Play o Pause de la canción; para ecualizar la canción se debe seleccionar el botón Play y seguido a eso desplazar alguna de las cinco SeekBar de ecualización según se desee para variar la amplitud en decibeles de las frecuencias dadas. En la Figura 3. Se ilustra la interfaz gráfica del ecualizador. [2,3,4]

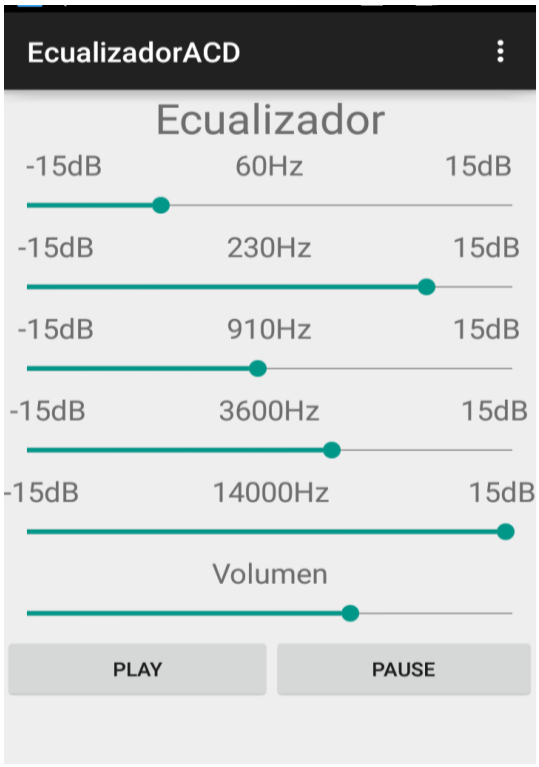


Figura 4. Ecualizador de Audio (Fuente: tomada por autor)

4.2 ETAPA DE PROCESAMIENTO DE SEÑAL Y GENERACIÓN DE PWM

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:

En esta etapa como se muestra en la Figura 4. Se implementa el Microcontrolador PSoC® 4200 Protoyping Kit (CY8CKIT-049-42xx) para la captura, procesamiento de señal y generación de PWM (Modulación por ancho de pulso).

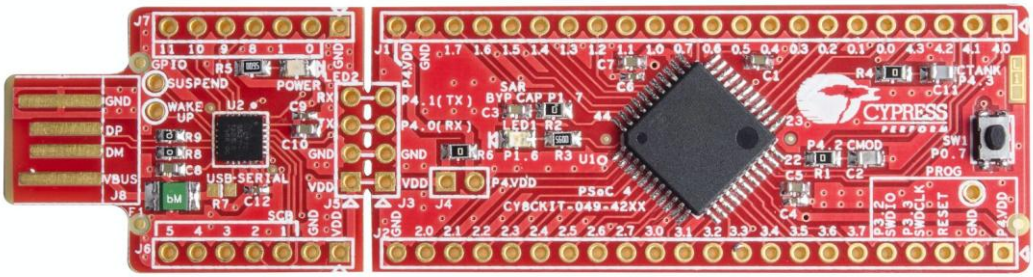


Figura 5. Microcontrolador PSoC® 4200 Protoyping Kit (CY8CKIT-049-42xx), procesamiento de señal [6]

Para la captura de los datos y procesamiento digital de señal de audio de entrada se implementó un conversor ADC que funciona tomando como voltaje de referencia 5v y una tasa de muestreo de setenta y un mil quinientas muestras por segundo que se basa en una frecuencia de reloj interno de 14MHz, cabe resaltar que este Microcontrolador cuenta con DMA(Direct Memory Access) una parte fundamental al momento de realizar tratamiento de señales pese a que permite guardar los datos tomados por el ADC en la memoria de manera directa cosa que no se encuentra en muchos microcontroladores del mismo precio en el mercado; seguido a esto el microcontrolador se encarga de generar la señal PWM a partir de una portadora de 71.5KHz creada por el mismo, esto hace que los datos de la frecuencia moduladora(señal de audio) sean almacenados en ella y se cree la modulación por ancho de pulso, en la etapa de filtrado y sonido se explica en detalle cómo se obtiene la señal de audio a partir de la portadora.[5]

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:

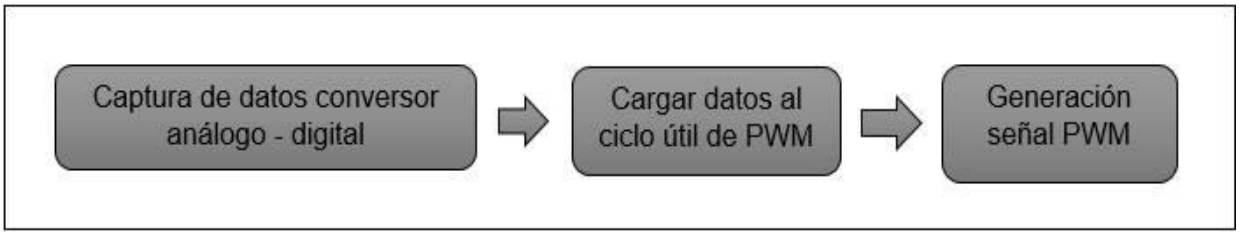


Figura 6. Diagrama bloques generación PWM (Fuente: tomada por autor)

4.3 ETAPA DE AMPLIFICACIÓN

Esta etapa es una de las más importantes del prototipo ya que maneja de manera directa la señal PWM y la parte de potencia; se implementa un driver de compuerta llamado IR2110 (ilustrado en la Figura 5.) un integrado diseñado especialmente para el control de transistores MOSFET ya que es capaz de funcionar a altas frecuencias y generar los voltajes necesarios para las compuertas de los transistores sin dañar la señal PWM, el IR2110 recibe las señales (original e invertida) del microcontrolador y las amplifica para así crear dos señales de salida para los transistores MOSFET que entraran en los estados de corte y saturación y de manera inversa en cada uno de ellos, esto significa que solo se tendrá encendido un transistor a la vez. Los transistores de efecto campo están alimentados con la fuente que se encarga de darle potencia al sistema, esta va de GND a VCC (40V) y cuenta con una corriente máxima de salida de aproximadamente 5A lo que es más que suficiente para suministrar una potencia bastante buena a la salida del amplificador.[7,8,9,10]

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:

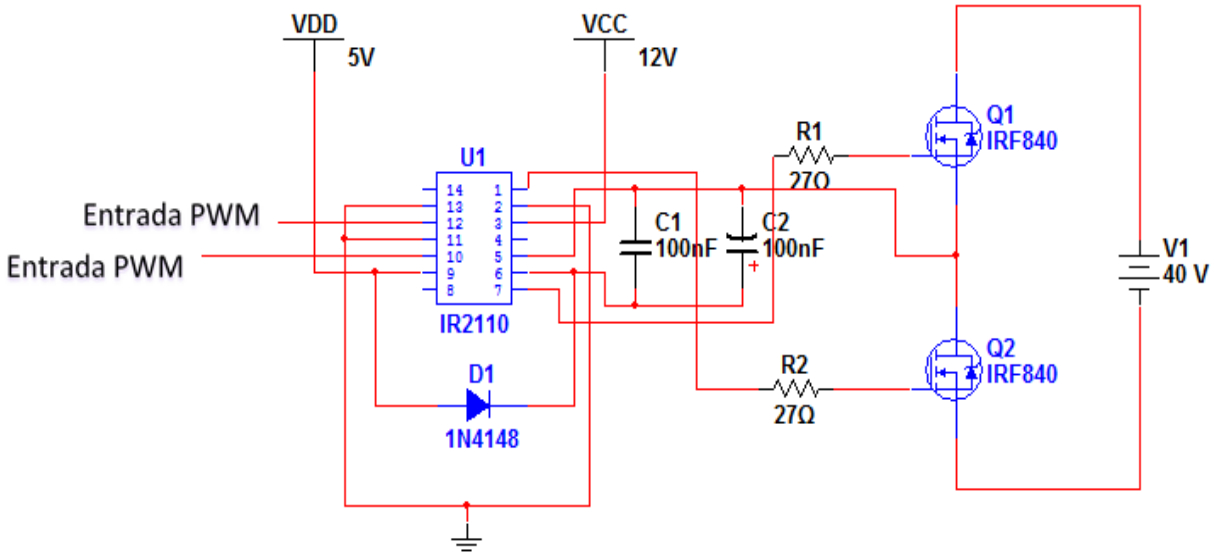


Figura 7. Diagrama circuito Amplificación (Fuente: tomada por autor)

4.4 ETAPA DE FILTRADO Y SONIDO

Tal como se ilustra en el diagrama de bloques y en la Figura 8. Esta es la etapa final del amplificador donde se filtran las frecuencias que están por encima de 20KHz, para esto se utiliza un filtro pasa bajos pasivo de segundo orden el cual está compuesto por una bobina conectada a un condesador de poliéster o cerámico aterrizado a tierra (estos condensadores son ideales para el manejo de altas frecuencias como no lo son los electrolíticos), es indispensable que la bobina cuente con un Q (factor de calidad) alto y para evitar daños el calibre debe ser el adecuado (el calibre se calcula tomando en cuenta la corriente que pasará por la bobina).

Seguido al filtro se observa un condensador de acople para eliminar el nivel DC de la señal y poder de esta manera aplicar una señal AC al parlante el cual la convertirá en señal audible y se tendrá el audio conectado originalmente al amplificador.

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:

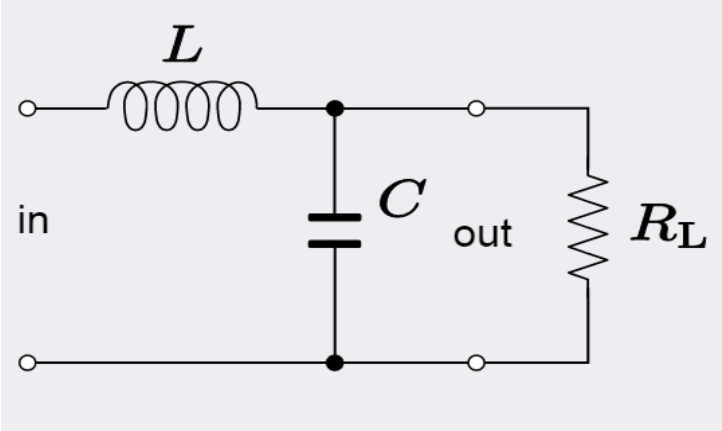


Figura 8. Diagrama circuito filtro pasa bajos [11]

5. RESULTADOS

- Al momento de diseñar el amplificador con el driver de compuerta IR2110 se hizo necesario un diodo de rápida conmutación y un condensador de bootstrap.
- Para realizar la modulación por ancho de pulso se hizo necesario un microcontrolador que contará con una tasa de muestreo del conversor análogo digital (ADC) elevada porque en el mercado hay muchos microcontroladores que al implementar ADC no proporcionan esta tasas de muestreo del conversor.
- Durante la realización del amplificador se evidencio que en el PWM teníamos que hacer pequeños retardos de nanosegundo y hasta menores ya que el driver de compuerta no controlaba muy bien estos tiempos de prendido y apagado de los transistores de potencia.
- Para el cálculo de la eficiencia se tomó como base la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{Potencia\ de\ Salida}{Potencia\ de\ Entrada}$$

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:

La potencia se calcula con la multiplicación de la corriente por el voltaje en un elemento en concreto, la potencia de salida del amplificador se obtiene al medir el voltaje y la corriente efectiva que llega al parlante, mientras que la potencia de entrada se calcula con el voltaje y la corriente que se tienen a la salida de la fuente de potencia.

En el parlante se tuvo un voltaje de 30V AC y una corriente de 707mA, cuando se multiplican estos dos valores se tiene una potencia de salida de 21,21W.

En la fuente se tuvo un voltaje de 40V DC y una corriente de 550mA, al multiplicar estos dos valores se obtiene una potencia de entrada de 22W.

Cabe resaltar que las mediciones se realizaron con multímetro para el voltaje DC, osciloscopio para el voltaje AC (se toma la amplitud de la señal de salida), y pinzas amperimetricas para las corriente, todos prestados por los laboratorios de eléctrica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica.

- Para la fuente de alimentación de 5V DC del Psoc se implementó un tranformador con entrada AC y salida DC pero el ruido causado por el mismo dañaba la señal de salida del amplificador y por ende se decidió retirarlo y alimentar el Psoc mediante el puerto USB de un computador donde se tienen 5V DC de salida ya filtrados.

6. CONCLUSIONES

- Se logró implementar satisfactoriamente el controlador de conmutación de los transistores de potencia MOSFET.

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:

- La señal de modulación PWM se logró realizar con el microcontrolador PSoC® 4200 Protoyping Kit (CY8CKIT-049-42xx) y su gran funcionalidad al procesar señales digitales.
- La señal de acople entre el microcontrolador y el driver se logró obtener a partir de la implementación de amplificador de corriente y voltaje.
- Se logró desarrollar la aplicación Android que permite la manipulación del usuario para que el elija la ecualización deseada.
- La eficiencia total del amplificador cumple con el parámetro teórico de amplificador clase D, cuando se divide la potencia de salida sobre la potencia de entrada se tiene:

$$\eta = \frac{21{,}21W}{22W} \text{ x } 100\% = 96{,}4\%$$

El valor teórico de eficiencia de un amplificador clase D expresa que está debe ser superior al 90%, en los cálculo se observó que la eficiencia del amplificador diseñado cumple con el valor dado.

Referencias:

[1] International Rectifier, 2015 [Online]. Available: http://www.irf.com.

[2] J. Símuta, “Diseño de un ecualizador gráfico de sonido,” 2006.

[3] F. Miyara, “Ecualizadores,” 2004.

[4] E. Amaro, *Android: programación de dispositivos móviles a través de ejemplos*. 2003, p. 268.

[5] P. Harden, “MOSFET MOSFET ‘ Switched ’ Switched Mode ‘ Mode ’ Amplifiers Amplifiers Introduction to Class C , D , E and F,” 2001.

[6] Cypress, 2015. [Online]. Available: http://www.cypress.com/.

[7] A. Volta, “Etapas de Potencia Clase ‘ D ’ para Audio,” 2012.

[8] S. Sánchez, “Class D Audio Amplifiers - Theory and Design,” *Rod Elliot*, 2005. [Online]. Available: http://sound.westhost.com/articles/pwm.htm.

[9] M. M. Cirovic, Electrónica fundamental: Dispositivos, circuitos y sistemas. 1995, p. 630.

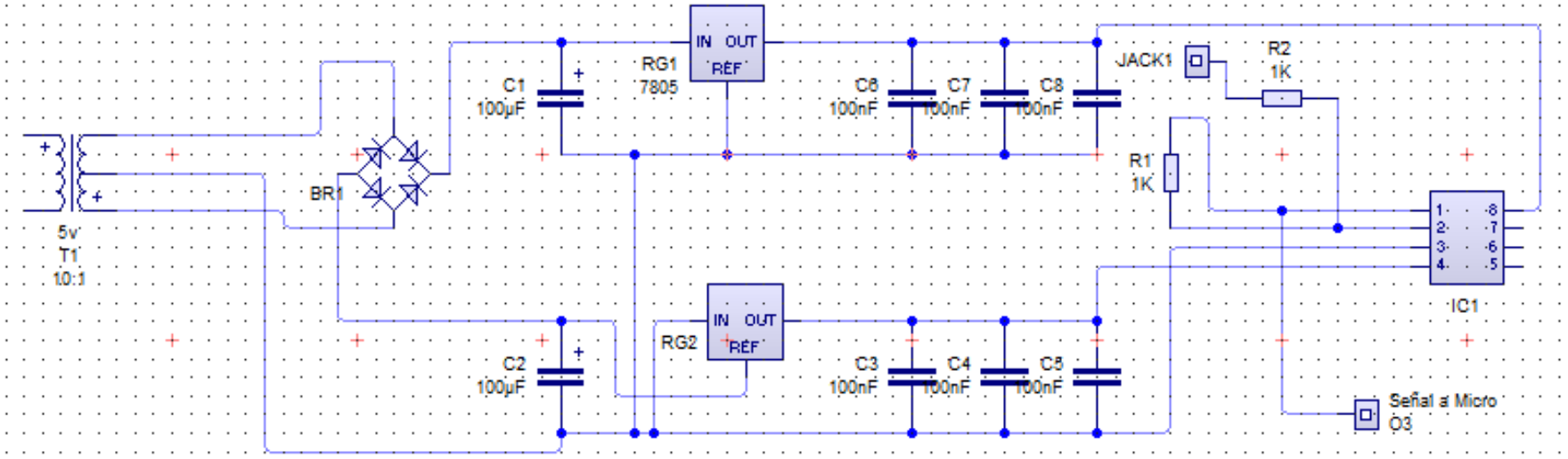
[10] D. A. Neamen, Dispositivos y Circuitos Electrónicos. 2012, p. 708.

[11] Sigma, 2015. [Online]. Available: http://www.sigmaelectronica.net/.

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:

Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:

Anexo 1 el diagrama circuito del amplificador



VISIÓN ELECTRÓNICA

Preparación de Artículos revista VISIÓN ELECTRÓNICA: algo más que un estado sólido
Fecha de envío:
Fecha de recepción:
Fecha de aceptación:

