



CCADET

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO
TECNOLÓGICO
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Fuente de poder bipolar de potencia y generador de señales

José Castillo Hernández
Benjamín Valera Orozco
Maria Herlinda Montiel Sánchez

Septiembre 2013

Proyecto interno

Fuente de poder bipolar de potencia y generador de señales

José Castillo Hernández, Benjamín Valera Orozco y María Herlinda Montiel Sánchez

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Universidad Nacional Autónoma de México,
Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria AP 70-186, C.P. 04510, México D.F. México

Resumen

Una fuente de poder bipolar de potencia es un dispositivo electrónico que proporciona una tensión continua positiva o negativa que alimenta a otros dispositivos para su funcionamiento. Su principal aplicación es en dispositivos que requieren ser impulsados con inversión de voltaje y corriente sin la necesidad de cambiar las conexiones eléctricas para invertir la polaridad. Algunos ejemplos son el control de motores bidireccionales y generación de campos magnéticos bidireccionales. A este tipo de fuentes de poder también se les conoce como “fuentes de poder cuatro cuadrantes” o “amplificadores operacionales de potencia”. En el presente informe reportamos el diseño y construcción de una fuente de poder bipolar de $\pm 10\text{A}$ y $\pm 40\text{V}$. La fuente es controlada localmente en voltaje a través de un teclado y despliegue y de forma remota mediante una fuente de señal de baja potencia. En el presente informe se incluye el diseño y construcción de un generador de señales de baja potencia controlado por PC con conexión USB. El generador de funciones es capaz de sintetizar formas de onda de dc, senoidal, rampa cuadrada y forma de onda arbitraria de hasta 174,000 muestras por segundo. El conjunto de fuente bipolar y generador de funciones constituyen un instrumento completo para generar voltajes con alta corriente controlados desde una computadora y software de desarrollo específico. Se reportan pruebas de operación sobre cargas inductivas.

Indice

Introducción	4
Definición del problema	5
Entorno actual	5
Descripción del problema a resolver y motivación	5
Relevancia y limitaciones	5
Relación con otras áreas	5
Método	5
Objetivos y resultados esperados	6
Organización del informe	7
1 Descripción de la componente electrónica	8
1.1 Descripción general	8
1.2 Fuente bipolar	8
1.2.1 Microcontrolador	9
1.2.2 Amplificador tipo AB	9
1.2.3 Sensores de corriente y voltaje	10
1.2.4 Limitador de corriente	11
1.2.5 Multiplexor	11
1.2.6 Firmware en el microcontrolador	12
1.3 Generador de funciones	13
1.3.1 Etapa de control	13
1.3.2 Etapa de conversión digital a analógica	13
1.3.3 Firmware en el microcontrolador	14
1.4 Operación local de la fuente bipolar	15
1.5 Procedimiento típico para operar la fuente bipolar localmente	16
2 Descripción del software de operación	18
2.1 Procedimiento de instalación	18
2.1.1 Requisitos mínimos	18
2.1.2 Instalación del software	18
2.2 Descripción del programa en el ámbito del operador	19
2.3 Descripción del programa en el ámbito del programador	20
2.3.1 Clase CAboutDlg	20
2.3.2 Clase CFuenteApp	21
2.3.3 Clase CFuenteDlg	21
2.4 Procedimiento típico para generar una forma de onda	23
3 Resultados y discusión	25
3.1 Resultados	26
3.1.1 Generación de campo magnético	26
3.1.2 Limitador de corriente	28
3.1.3 Generador de funciones	30
3.2 Discusión	31
Conclusiones	32
Anexo A Diagramas electrónicos	33
A.1 Fuente bipolar, sensores de corriente y voltaje, limitador de corriente y multiplexor	33
A.2 Fuente bipolar, microcontrolador	35
A.3 Fuente bipolar, amplificador tipo AB	36

A.4 Fuente bipolar, fuente de poder	37
A.5 Generador de funciones	38
Anexo B Circuitos impresos	39
B.1 Fuente bipolar, sensores de corriente y voltaje, limitador de corriente y multiplexor	39
B.2 Fuente bipolar, microcontrolador	41
B.3 Fuente bipolar, amplificador tipo AB	42
B.4 Fuente bipolar, fuente de poder	44
B.5 Generador de funciones	46
Anexo C Lista de material	47
C.1 Fuente bipolar, sensores de corriente y voltaje, limitador de corriente y multiplexor	47
C.2 Fuente bipolar, microcontrolador	49
C.3 Fuente bipolar, amplificador tipo AB	50
C.4 Fuente bipolar, fuente de poder	52
C.5 Generador de funciones	53
Referencias	54

Introducción

Las fuentes de poder más populares son las de voltaje fijo o variable entre un rango de voltajes unipolares. Son dispositivos de dos terminales que se utilizan comúnmente para impulsar diversos dispositivos electrónicos o desarrollo de prototipos. Sus características de operación más comunes son 0 a 15V y 0 a 3A. La figura 1 muestra la conexión convencional de una fuente de poder.

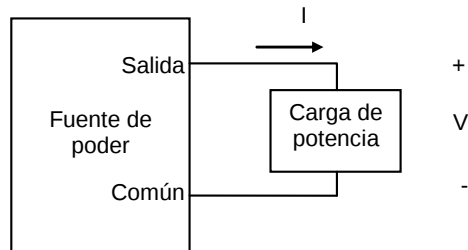


Figura 1. Polaridad convencional de una fuente de poder.

En la figura 1 la corriente, I , fluye de la terminal "Salida" hacia la terminal "Común" en un solo sentido sobre la carga. No obstante la utilidad de este tipo de fuentes de poder, existen aplicaciones en donde es deseable que la corriente fluya en ambos sentidos sobre la carga sin la necesidad de intercambiar las terminales de la fuente. Los dispositivos que hacen posible la inversión de voltaje y corriente sobre la carga sin la necesidad de cambiar las terminales de conexión se les denomina fuentes bipolares o fuentes cuatro cuadrantes, ya que su funcionamiento permite alternar los valores de voltaje y corriente entre positivos y negativos, como se muestra en la figura 2.

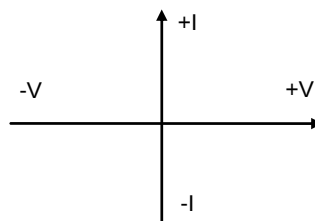


Figura 2. Operación en cuatro cuadrantes de una fuente de poder.

En las fuentes unipolares es suficiente especificar los valores de voltaje y corriente mediante perillas o controles digitales operados por el usuario. Sin embargo, en las fuentes bipolares es común observar que se controlan por medio de una fuente de señal de baja potencia o generador de funciones de baja potencia, como se muestra en la figura 3.

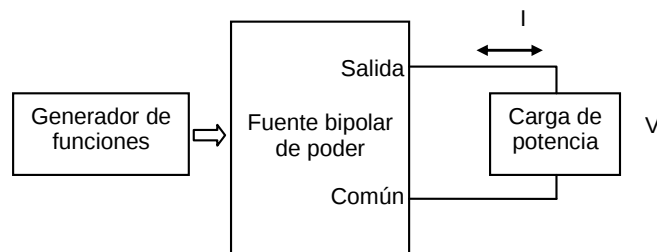


Figura 3. Fuente bipolar de potencia con generador de funciones.

Las cargas típicas en la figura 3 son motores, ya que bajo este esquema es posible invertir el sentido de giro y bobinas de Helmholtz, ya que es posible generar campos magnéticos alternos.

Definición del problema

En este trabajo se plantea el problema de diseñar y construir una fuente bipolar de poder y generador de funciones. El presente trabajo servirá para habilitar con infraestructura al Laboratorio de Materiales y Nanotecnología para diversos experimentos en magnetismo.

Entorno actual

En la actualidad existen diversas fuentes bipolares de poder comerciales. Como ejemplo tenemos las fuentes bipolares marca Kepco y sus diversas interfaces de control [Kepco, 2013]. Kepco es una compañía que diseña y construye fuentes de poder y equipo electrónico asociado. La principal desventaja de estas fuentes comerciales es su elevado costo.

Por otra parte, los generadores de funciones para controlar las fuentes Kepco son de una gran variedad y pueden ser desde los programadores digitales de la misma empresa hasta sistemas de diseño específico con base en sistemas analógicos.

Un antecedente al presente trabajo es el amplificador clase AB desarrollado por el Laboratorio de Electrónica del CCADET.

Descripción del problema a resolver y motivación

La motivación en el presente trabajo es proporcionar una solución específicamente elaborada para los requisitos del cliente y disminuir el costo de materiales con respecto a lo comercialmente existente.

Los requisitos del cliente se mencionan a continuación.

- Interface de operación remota (computadora personal del tipo laptop).
- Carga de potencia inductiva (bobinas de Helmholtz).
- Costo económico del material.

Relevancia y limitaciones

La principal relevancia del presente proyecto es la creación de infraestructura de desarrollo propio y la experiencia que adquiere el personal participante.

Por el contrario, las principales limitaciones están relacionadas con las limitaciones en potencia de los dispositivos electrónicos que se ocupan para implementar la fuente bipolar y sus limitaciones en ancho de banda.

Relación con otras áreas

Existe gran relación con las áreas de electrónica de potencia, microprocesadores, electrónica analógica, electrónica digital y medición e instrumentación.

Método

El método utilizado consiste en desarrollar una fuente bipolar de poder con base en un microcontrolador PIC18F4553, un amplificador clase AB y circuitos analógicos para limitar la corriente como se muestra en la figura 4.

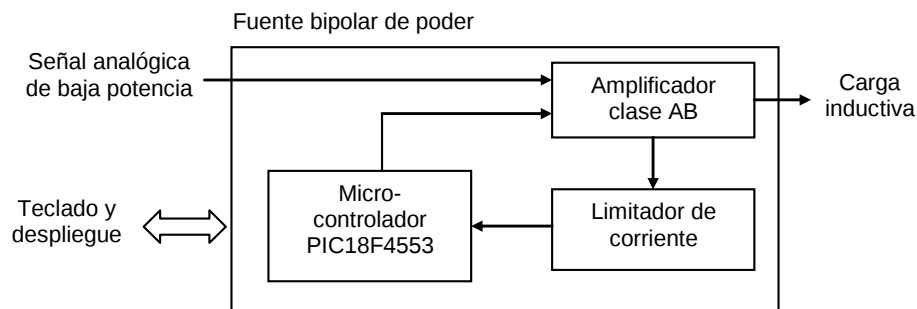


Figura 4. Metodología para la fuente bipolar de poder.

La fuente bipolar puede ser operada localmente por medio de su teclado y despliegue integrados. La funcionalidad de la fuente se puede extender al conectar una fuente de señal de baja potencia y deshabilitar su interface local.

Adicionalmente, para el generador de funciones el método a emplear es desarrollar un sistema electrónico con base en el microcontrolador PIC18F4550 y convertidor digital a analógico, CDA, como se muestra en la figura 5.

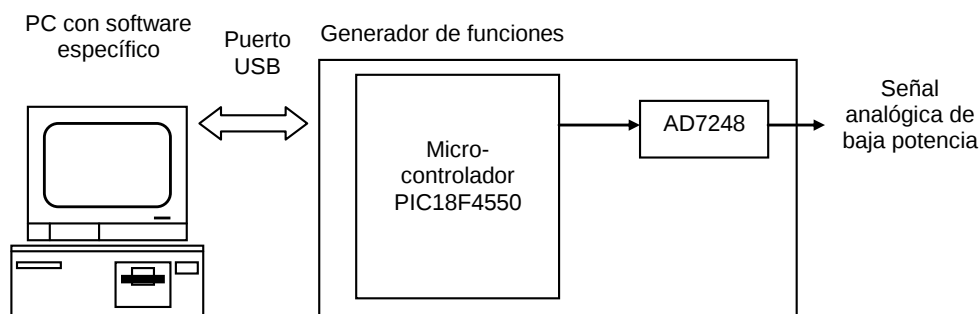


Figura 5. Metodología para el generador de funciones.

En la figura 5 el sistema electrónico implementa dos funciones principales:

- El microcontrolador es programado para recibir datos del puerto USB.
- El microcontrolador envía la información recibida al circuito convertidor digital a analógico AD7248 para generar la señal analógica de baja potencia.

El software específico implementa la interface entre el usuario y genera las muestras para que el sistema electrónico sintetice diversas formas de onda.

Objetivos y resultados esperados

Diseñar y construir una fuente bipolar de poder de $\pm 40V$, $\pm 10A$.

Diseñar y construir un generador de funciones digital controlable por USB.

Desarrollar software para PC para enviar formas de onda sintetizadas al generador de funciones.

Organización del informe

En el capítulo uno del informe se describen los sistemas electrónicos desarrollados. En el capítulo dos se describe el software desarrollado en Visual C++ en los ámbitos del usuario y del programador. En el capítulo tres se muestran los resultados obtenidos de un experimento de generación de campo magnético que verifican el desempeño del sistema. Finalmente se mencionan las conclusiones y se plantea el trabajo a futuro. Los anexos contienen los elementos útiles para reproducir lo reportado en el presente informe y se incluye un CD conteniendo la siguiente estructura de directorios.

Informe

CodigoFuente

PICFuente

PICGenerador

VisualC

Programa

Instalacion

Manejadores

1 Descripción de la componente electrónica

En la presente sección se describen la fuente bipolar y el generador de funciones tanto en el hardware como en el firmware al interior de sus respectivos microcontroladores.

1.1 Descripción general

El conjunto de fuente bipolar y generador de funciones se utilizan para aplicar energía a una carga de potencia mediante el esquema de la figura 6.

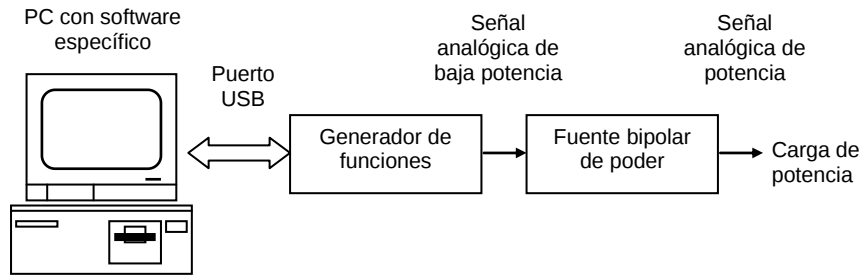


Figura 6. Fuente de poder y generador de funciones.

Bajo el esquema de la figura 6 se pueden llevar a cabo una gran cantidad de experimentos ya que el sistema es susceptible de ser controlado por una PC y automatizar procesos de medición.

La fuente bipolar puede prescindir de la computadora y generador de funciones para operar en modo local solamente generando niveles de DC que se ingresan a través de su teclado y despliegue propios.

A continuación la descripción de los circuitos electrónicos.

1.2 Fuente bipolar

La fuente bipolar es un sistema electrónico con base en un microcontrolador, un amplificador clase AB y circuitos de monitoreo como se muestra en la figura 7.

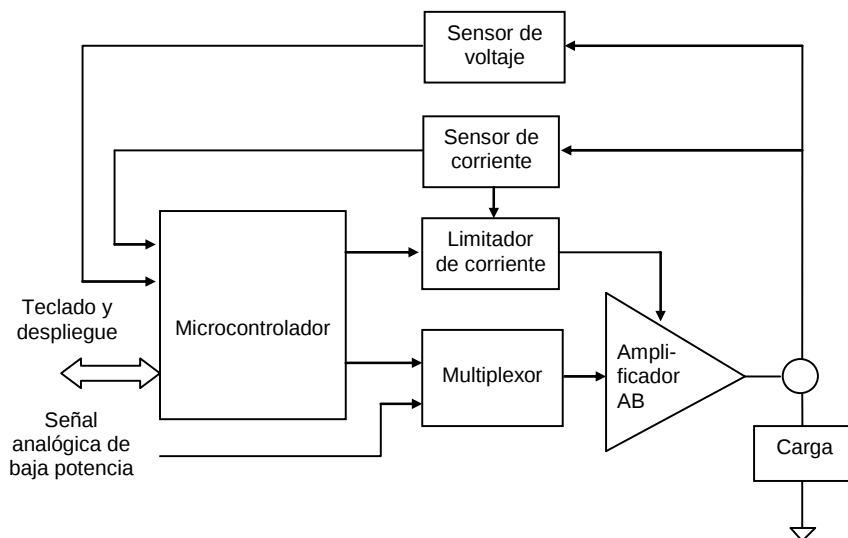


Figura 7. Esquema general de la fuente bipolar.

El sistema incluye realimentación de sensores de voltaje y corriente para limitar la corriente en la etapa de amplificación. El microcontrolador maneja las señales realimentadas para generar las correcciones necesarias en el limitador. Además controla la interface local que contiene un despliegue alfanumérico y un teclado de cuatro botones. El microcontrolador controla un subsistema de multiplexaje en donde se decide si la carga recibirá la señal analógica de baja potencia de entrada o la propia generada localmente por el microcontrolador. A continuación una descripción de los subsistemas mostrados en la figura 7. Para los detalles en la implementación, consultar los anexos A y B.

1.2.1 Microcontrolador

El subsistema microcontrolador se muestra en la figura 8.

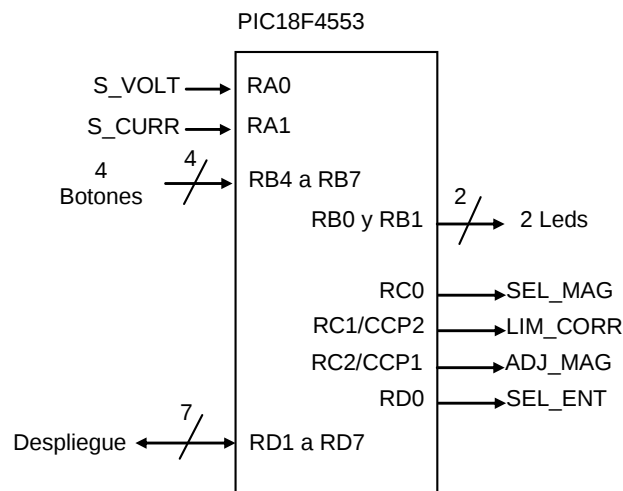


Figura 8. Microcontrolador.

Con referencia a la figura 8, el microcontrolador PIC18F4553 [Microchip, 2007b] realiza las siguientes funciones:

- Convierte de analógico a digital las señales S_VOLT y S_CURR provenientes del subsistema de sensado. El algoritmo de control utiliza estos valores para generar la señal de corrección PWM LIM_CORR hacia el subsistema limitador de corriente.
- Controla un teclado de cuatro botones y despliegue alfanumérico en donde el usuario puede acceder a la configuración básica de la fuente y generar voltajes de nivel CD. El voltaje de CD es una señal PWM en la terminal ADJ_MAG que es enviada al subsistema de multiplexaje para ser aplicada a la carga. La misma interface es utilizada para seleccionar la fuente de señal que se aplicará sobre la carga. Las terminales SEL_MAG y SEL_ENT determinan la fuente de señal a conmutar en el subsistema de multiplexaje. La fuente de señal es el nivel de CD seleccionado por el usuario o la fuente de señal de baja potencia.
- Se utilizaron dos leds con propósitos de depuración.

1.2.2 Amplificador tipo AB

El amplificador tipo AB está construido sobre la base de arreglos complementarios de transistores MJ350 y se muestra en la figura 9.

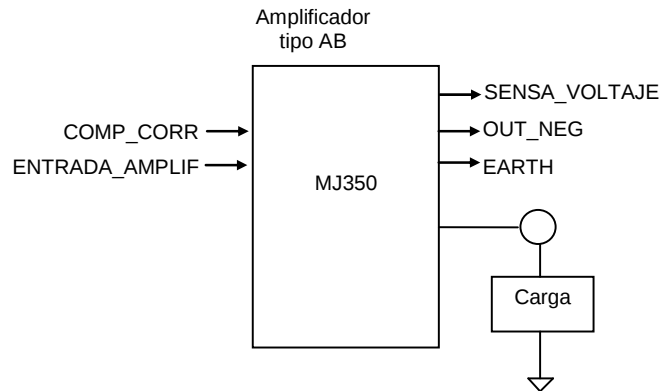


Figura 9. Amplificador tipo AB.

Con referencia a la figura 9, el amplificador recibe la señal COMP_CORR del subsistema limitador de corriente para realizar los ajustes en la corriente que circula sobre la carga. De esta manera se evita cualquier daño en los circuitos de salida de potencia. También se recibe la señal ENTRADA_AMPLIF proveniente del subsistema de multiplexaje. Esta señal es la que se amplifica en potencia y se aplica a la carga.

El amplificador contiene redes eléctricas para la medición de corriente y voltaje. Estas señales son enviadas al subsistema sensor por medio de las terminales SENSA_VOLTAJE para la medición de voltaje y OUT_NEG en conjunto con EARTH para la medición de corriente.

1.2.3 Sensores de corriente y voltaje

El subsistema para el sensado de corriente y voltaje está formado por circuito de adecuación de señales con base en amplificadores operacionales y convertidores de RMS a DC AD736C [Analog Devices, 2012], como se muestra en la figura 10.

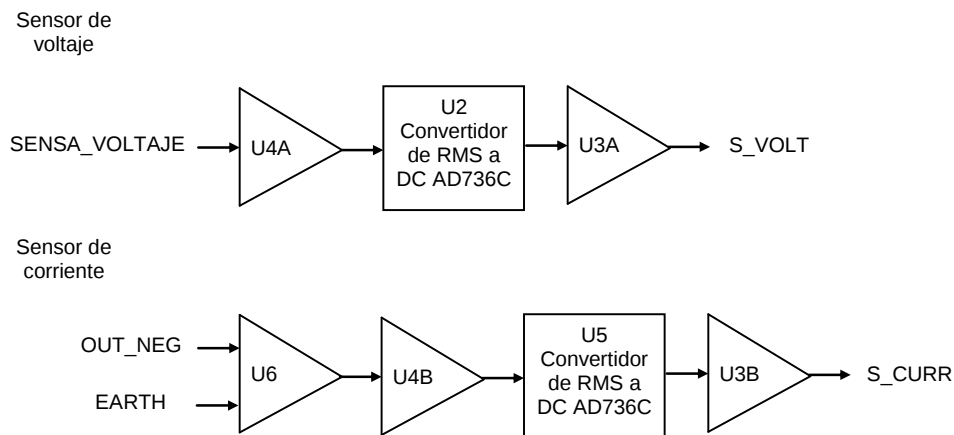


Figura 10. Sensores de corriente y voltaje.

Con referencia a la figura 10, el sensor de voltaje recibe la señal SENSA_VOLTAJE del subsistema amplificador y la adecua en amplitud por medio del amplificador operacional U4A. La señal analógica resultante es convertida a un nivel de DC por medio del convertidor de RMS a DC U2. La señal de DC entonces es adecuada al intervalo de operación del microcontrolador por medio de un amplificador no

inversor U3A. La señal resultante S_VOLT es enviada al subsistema microcontrolador para procesar la información de retroalimentación de voltaje.

Algo similar ocurre con el sensor de corriente, solamente que la primera etapa es el amplificador operacional U6, en donde se amplifican diferencialmente las señales OUT_NEG y EARTH provenientes del subsistema amplificador. La señal de retroalimentación al subsistema microcontrolador es S_CURR.

1.2.4 Limitador de corriente

El subsistema limitador de corriente de la figura 11 recibe información generada a partir del algoritmo de control y medición de corriente y la procesa para compensar la corriente que circula sobre la carga. De esta manera es posible proteger la fuente bipolar o prevenir su excesivo calentamiento

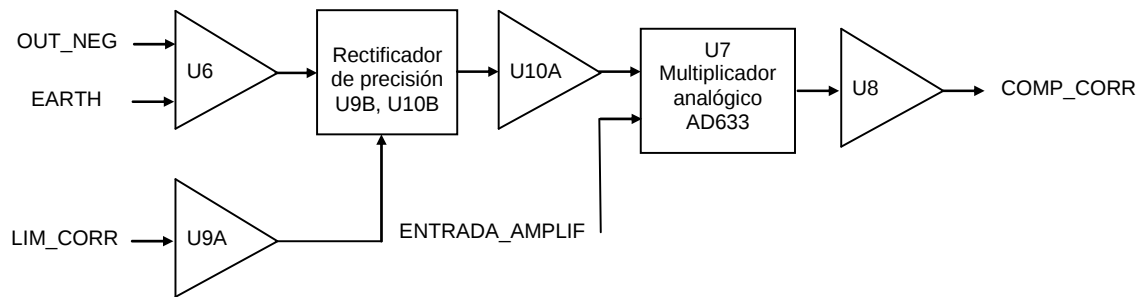


Figura 11. Limitador de corriente.

Con referencia a la figura 11, las señales de medición de corriente OUT_NEG y EARTH en conjunto con la instrucción del microcontrolador LIM_CORR son procesadas en un circuito rectificador de precisión síncrono de dos etapas [Aranda, 2009]. La señal es adecuada en amplitud y multiplicada con la señal de retroalimentación del amplificador ENTRADA_AMPLIF para crear un lazo de control negativo en la señal COMP_CORR. Esta última señal se utiliza para administrar la potencia que entrega la etapa de amplificación.

1.2.5 Multiplexor

El subsistema multiplexor de la figura 12 permite canalizar la fuente de señal deseada hacia la etapa de amplificación en donde será aplicada a la carga.

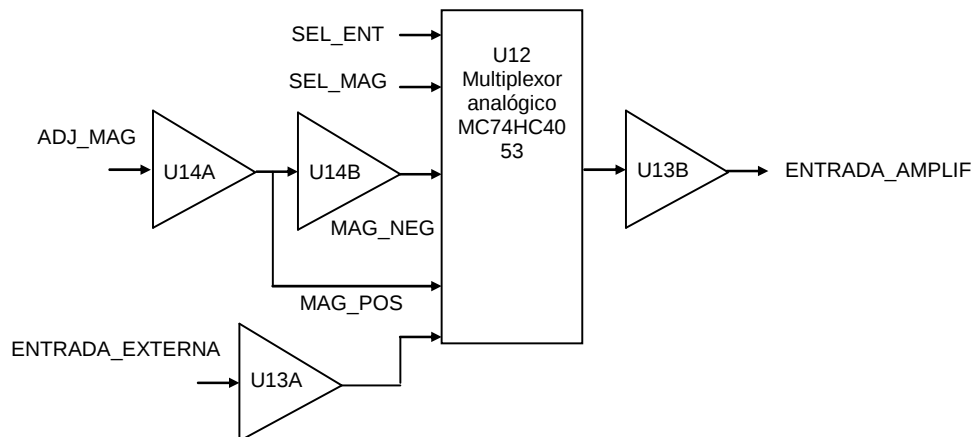


Figura 12. Multiplexor.

Con referencia a la figura 12, la fuente de señal es seleccionada por las señales de control SEL_ENT y SEL_MAG provenientes del microcontrolador. La selección se especifica por el usuario mediante el teclado y despliegue del microcontrolador. La fuente de señal a multiplexar es una de las siguientes tres opciones:

- MAG_NEG. Representa los niveles CD negativos de la señal de PWM ADJ_MAG generada por el microcontrolador de manera local.
- MAG_POS. Representa los niveles CD positivos de la señal de PWM ADJ_MAG generada por el microcontrolador de manera local.
- ENTRADA_EXTERNA. Es la señal de baja potencia que se alimenta al sistema electrónico de manera externa.

La señal de salida ENTRADA_AMPLIF es enviada a la etapa de amplificación en donde será aplicada a la carga.

1.2.6 Firmware en el microcontrolador

El programa en el microcontrolador, desarrollado en lenguaje C para PIC [Custom Computer Services, 2007], encuesta constantemente el teclado para ejecutar una de cuatro opciones, presentar la selección en el despliegue alfanumérico y ejecutar la opción seleccionada como se muestra en la figura 13. Para mayores detalles consulte el código fuente en CodigoFuente/PICFuente del CD anexo.

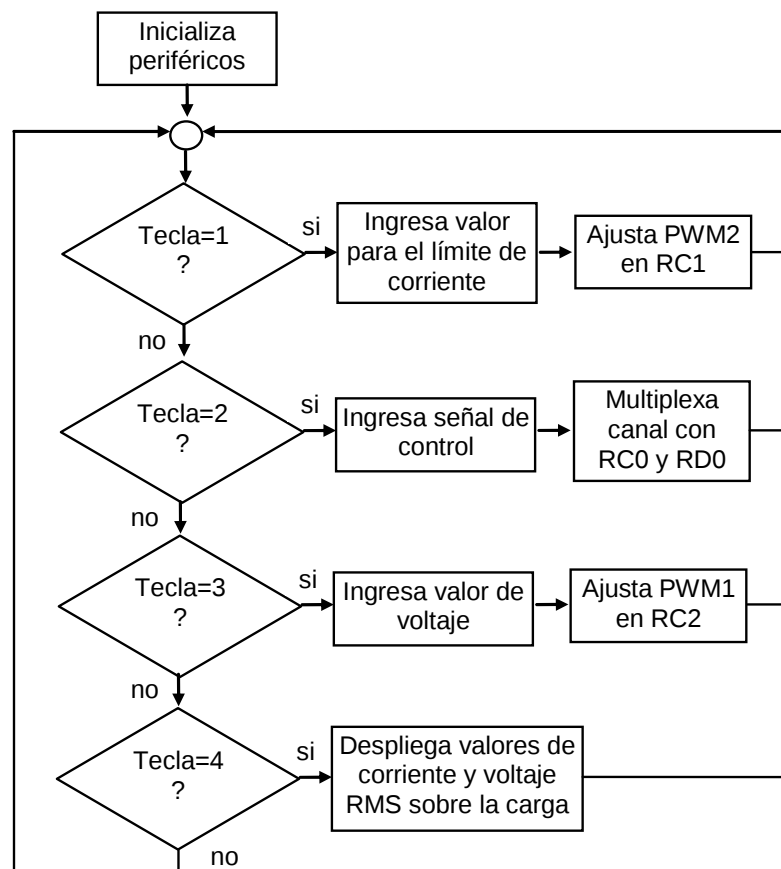


Figura 13. Firmware en el microcontrolador.

1.3 Generador de funciones

El generador de funciones es un sistema electrónico con base en el microcontrolador PIC18F4550 y convertidor digital a analógico que sintetiza formas de onda $V(t)$ a partir de datos enviados por una PC como se muestra en la figura 14.

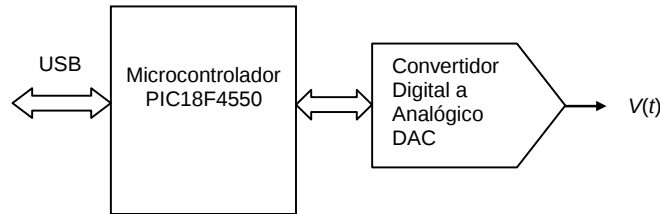


Figura 14. Esquema general del generador de funciones.

El sistema no requiere de polarización externa ya que toma los 5V del conector USB y los transforma a $\pm 12V$ para energizar el DAC. El funcionamiento de cada etapa de la figura 14 se muestra en las siguientes dos sub-secciones. Para los detalles en la implementación, consultar los anexos A y B.

1.3.1 Etapa de control

El corazón del generador de funciones es el microcontrolador PIC18F4550 [Microchip, 2007a] de la figura 15. El microcontrolador se encarga de manipular la conexión USB y el Convertidor Digital a Analógico DAC.

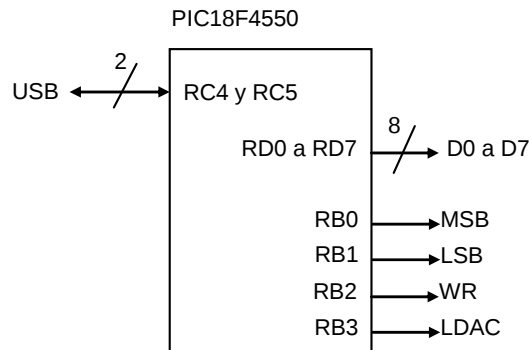


Figura 15. Microcontrolador.

Con relación a la figura 15 la conexión USB es en RC4 y RC5. La conexión con el DAC es por el puerto RD y los cuatro bits menos significativos de RB.

1.3.2 Etapa de conversión digital a analógica

La figura 16 muestra el convertidor DAC AD7248 [Analog Devices, 2011] en configuración bipolar con 12 bits de resolución. Con referencia a la figura, las líneas D0 a D7 son utilizadas para transferir 12 bits de datos de la siguiente manera. El bus de control se habilita para transferir 8 bits de datos de conversión por D0 a D7. Posteriormente el bus de control se configura para transferir los restantes 4 bits de datos de conversión por D4 a D7. La señal analógica de baja potencia $V(t)$ es sintetizada en la terminal R_{FB} .

La configuración bipolar del DAC requiere polarización triple 5V y $\pm 12V$. Estos tres niveles de voltaje se obtienen de la polarización USB de la computadora y con un circuito convertidor DC a DC IA0512S [Xperts in power, 2011].

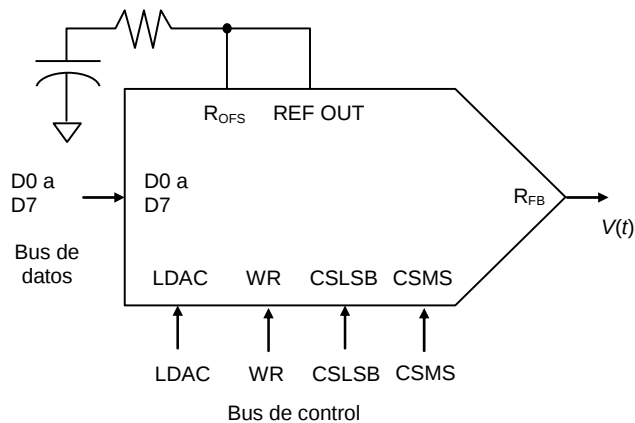


Figura 16. Convertidor digital a analógico.

1.3.3 Firmware en el microcontrolador

El firmware en el microcontrolador, desarrollado en lenguaje C para PIC [Custom Computer Services, 2007], tiene como base las siguientes variables que definen la forma de onda a sintetizar:

- unsigned int16 T_muestra: Es el período de muestreo
- int8 N_muestra: Es el número de muestras a generar
- int T_datoMSB[256]: Es un arreglo de 256 valores que contiene los cuatro bits más significativos del valor de la muestra a generar.
- int T_datoLSB[256]: Es un arreglo de 256 valores que contiene los ocho bits menos significativos del valor de la muestra a generar.

El programa es una terminal USB en espera de recibir los valores que generan la forma de onda y su secuencia se muestra en la figura 17. Para mayores detalles consulte el código fuente en CódigoFuente/PICGenerador del CD anexo.

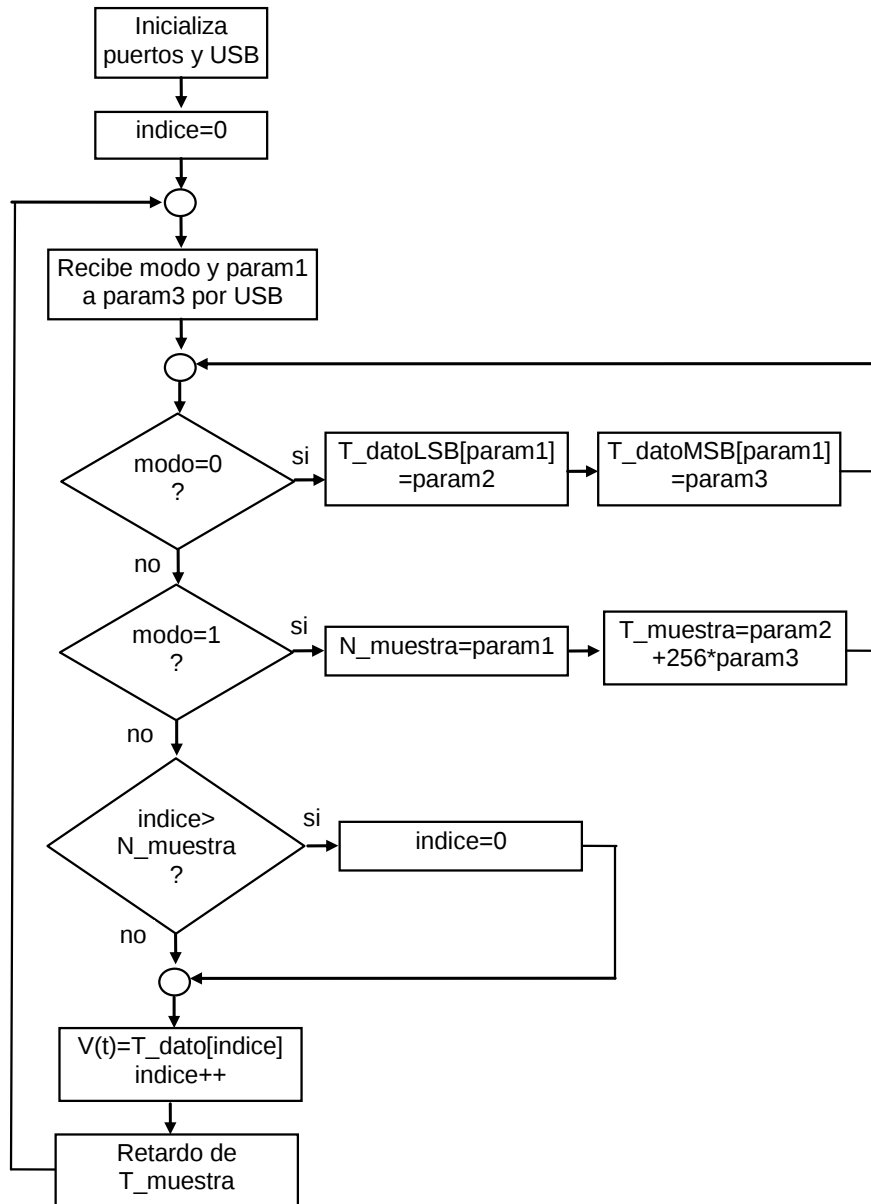


Figura 17. Firmware en el microcontrolador.

1.4 Operación local de la fuente bipolar

La fuente bipolar puede ser operada localmente mediante su teclado y despliegue incorporados o de forma remota desde una PC con software específico y generador de funciones. En esta sección se describe la operación local.

La fuente bipolar, operada localmente, tiene dos modos de funcionamiento:

- Menú de Opciones. En este modo de operación el usuario puede ingresar, mediante el teclado, los siguientes parámetros de operación: Corriente limite, seleccionar el tipo de señal de control, voltaje a generar y despliegue de medidas de voltaje y corriente RMS.

- Modo de Medición. En este modo la fuente bipolar se encuentra generando el voltaje seleccionado en el modo de opciones y presenta en pantalla las mediciones de voltaje y corriente RMS.

La siguiente tabla muestra los diferentes modos de operación y la funcionalidad que se habilita en cada tecla.

Despliegue	Botones 1 2 3 4				Comentarios	Modo de operación
= Corriente Limite = 0.00 Amperes	-	+	Menu -	Menu +	Presione + o - para modificar el valor de corriente límite y Menú+ Menú- para desplazarse por las Opciones	Opciones
==== Entrada ==== ** I N T E R N A **	Externa	Interna	Menu -	Menu +	Presione Externa o Interna para seleccionar la señal de control y Menú+ Menú- para desplazarse por las Opciones	
= Voltaje Interno = 0.00 Volts	-	+	Menu -	Menu +	Presione + o - para modificar el valor del voltaje interno a generar y Menú+ Menú- para desplazarse por las Opciones	
=== Medidas? === ***** NO *****	Si		Menu -	Menu +	Presione Si para ingresar al modo de Medición y Menú+ Menú- para desplazarse por las Opciones	
Vrms = 40.00 Volts Irms = 8.80 Amperes			Menu -	Menu +	En este modo la fuente se encuentra generando el voltaje interno y presentando las mediciones de voltaje y corriente RMS sobre la carga. Presione Menú+ Menú- para desplazarse por las Opciones	Medición

Tabla 1. Modos de operación en el sistema electrónico

1.5 Procedimiento típico para operar la fuente bipolar localmente

1. Realice las conexiones de la figura 18.

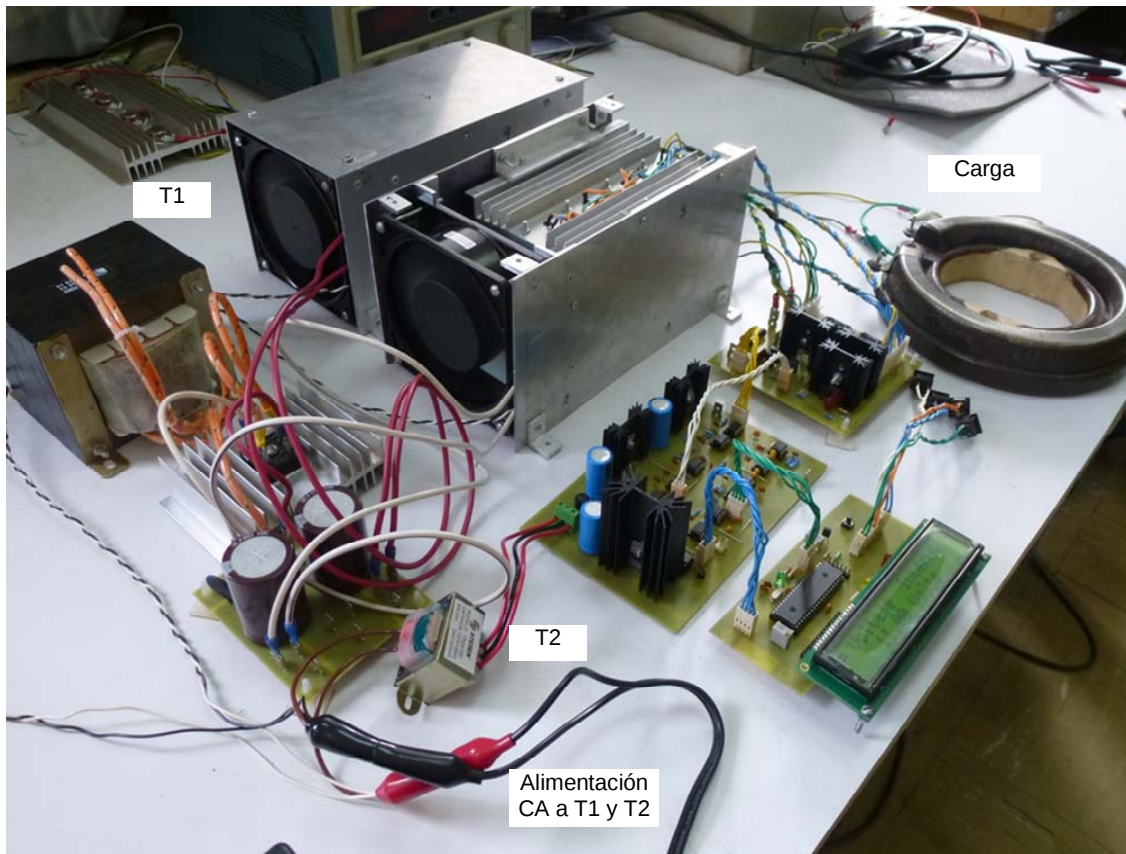


Figura 18. Conexiones para la fuente bipolar en modo local.

2. Encienda la fuente bipolar y espere a que se deshabilite el letrero de bienvenida.
3. Presione los botones 1 y 2 para ajustar el valor de la corriente límite deseada.
4. Presione dos veces el botón 4 para acceder a la opción "Voltaje Interno".
5. Presione los botones 1 y 2 para ajustar el valor del voltaje deseado.
6. Presione el botón 4 para acceder a la opción "Medidas?".
7. Presione el botón 1 para activar el modo de Medición y despliegue de voltaje y corriente RMS.
8. Observe el despliegue para verificar que el voltaje sobre la carga sea el especificado y que la corriente no sobrepasa el valor especificado.

2. Descripción del software de operación

El generador de funciones es operado de manera remota a través de una computadora conectada mediante la interface USB. De esta manera la señal de baja potencia es enviada desde el generador de funciones hacia la fuente bipolar y de la fuente a la carga. El software de operación permite especificar la forma de onda deseada y modificar otros parámetros para establecer la amplitud, número de muestras e intervalo de muestreo. Con estos parámetros se define la forma de onda y se puede determinar la frecuencia como se muestra en la figura 19.

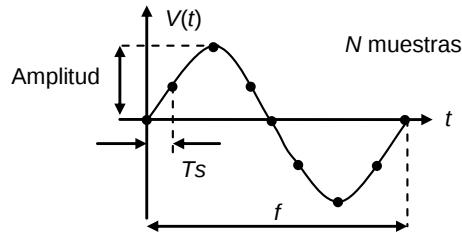


Figura 19. Forma de onda y sus parámetros.

En el caso de la figura 19, para una onda senoidal con N número de muestras, si el tiempo de muestreo (intervalo entre muestras) es T_s (s), la frecuencia f de la forma de onda senoidal es

$$f = \frac{1}{(N-1)T_s} \text{ (Hz)} \quad (2.1)$$

En esta sección se describe el software de operación desarrollado con Visual C++ y la MFC [Kruglinski et al, 1988]. Se abordan dos enfoques en la descripción. En primer lugar, una descripción en el ámbito del operador como manual de referencia. En segundo lugar, en el ámbito del programador para futuras modificaciones o depuraciones. Además se proporciona una guía para la instalación del software y un procedimiento típico para realizar un experimento de generación de voltaje.

2.1 Procedimiento de instalación

Para instalar el software en una computadora anfitriona se requiere el CD anexo al presente informe.

2.1.1 Requisitos mínimos

- Procesador Core 2 Duo
- 4 GB de RAM
- 1 GB de espacio libre en disco duro
- Monitor 1600X900 pixeles de resolución y 24 bits
- Windows Vista Home Premium de 64 bits
- Puerto USB disponible

2.1.2 Instalación del software

1. Copiar el contenido del directorio Programa/Instalacion del CD anexo a un directorio en el disco duro de la computadora anfitriona, por ejemplo, C:Fuente.
2. Conectar el cable USB entre la computadora y el generador de funciones.
3. En este momento Windows indicará la presencia de nuevo hardware encontrado. Indicar que el software controlador se instalará desde el directorio Programa/Manejadores en la unidad de disco.

4. Verifique que el controlador ha sido correctamente instalado desde el Panel de control de Windows. El controlador se deberá desplegar como "Custom USB Devices/UNAM".
5. Para verificar la correcta operación del software y del generador de funciones, conecte un osciloscopio en la salida de señal del generador y desde el explorador de archivos de Windows ejecute el archivo C:Fuente/Fuente.exe. Establezca en el software los parámetros de una forma de onda y verifique que la forma de onda deseada haya sido generada en el osciloscopio.

2.2 Descripción del programa en el ámbito del operador

El programa Fuente.exe despliega una pantalla como la mostrada en la figura 20.

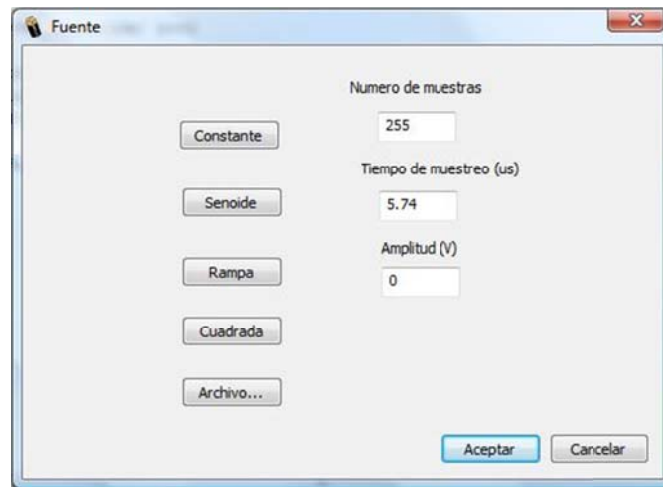


Figura 20. Pantalla de operación.

La pantalla de operación contiene los siguientes elementos de control:

- El botón "Constante". Utilizado para enviar al generador de funciones la instrucción para generar la forma de onda con voltaje constante.
- El botón "Senoide". Utilizado para enviar al generador de funciones la instrucción para generar la forma de onda senoidal.
- El botón "Rampa". Utilizado para enviar al generador de funciones la instrucción para generar la forma de onda rampa.
- El botón "Cuadrada". Utilizado para enviar al generador de funciones la instrucción para generar la forma de onda cuadrada.
- El botón "Archivo". Utilizado para enviar al generador de funciones la instrucción para generar una forma de onda especificada desde un archivo de texto.
- La caja de texto "Numero de muestras". Sin importar el tipo de forma de onda, este parámetro indica el número de muestras por periodo de la señal a generar.
- La caja de texto "Tiempo de muestreo (us)". Sin importar el tipo de forma de onda excepto "Archivo", este parámetro indica el intervalo entre muestras de la señal a generar.

- La caja de texto “Amplitud (V)”. Sin importar el tipo de forma de onda excepto “Archivo”, este parámetro indica la amplitud en volts de pico de la forma de onda simétrica a generar.
- El botón “Cancelar”. Utilizado para salir de la aplicación.
- El botón “Aceptar”. Utilizado para salir de la aplicación.

2.3 Descripción del programa en el ámbito del programador

El programa “Fuente” es una aplicación del tipo caja de diálogo desarrollado sobre la base de la MFC en lenguaje Visual C++ con Visual Studio como entorno de desarrollo [Kruglinski et al,1988]. El proyecto se organiza en las tres clases que se muestran en la figura 21.

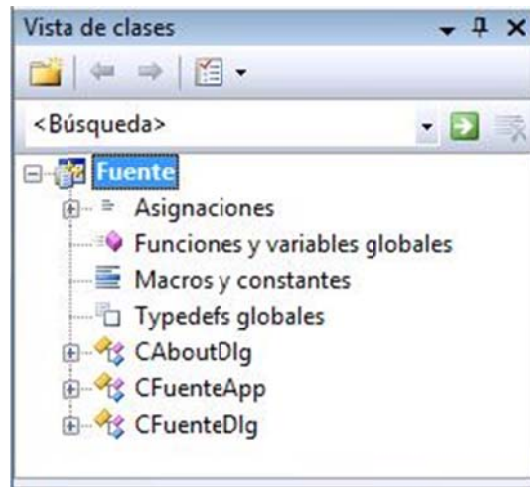


Figura 21. Clases del proyecto “Fuente”.

Para compilar adecuadamente el programa se requiere que el archivo mpusbapi.dll resida en la carpeta del código fuente del proyecto. El archivo es de libre distribución por parte de Microchip [JVR, 2013]. En forma adicional, la sección de inicialización del programa debe cargar la librería DLL como se describe en la siguiente sección.

Las clases se describen a continuación. El código fuente completo se encuentra en el CD anexo en el directorio CodigoFuente/VisualC

2.3.1 Clase CAboutDlg

La clase CAboutDlg se crea por omisión en el ambiente de desarrollo y se utiliza para desplegar la caja de diálogo “Acerca de”. Sus métodos se muestran en la figura 22 y su descripción a continuación.

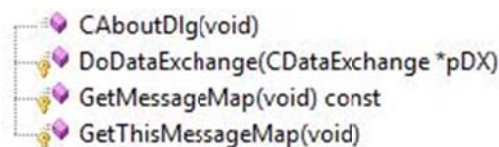


Figura 22. Clase CAboutDlg.

CAboutDlg(); Constructor insertado por el ambiente de desarrollo. Por omisión no contiene código alguno.

DoDataExchange(CDataExchange* pDX); Insertado por omisión por el ambiente de desarrollo. Agrega la compatibilidad para el intercambio de datos, DDX, y la validación de datos, DDV.

GetMessageMap(void); Habilita la estructura de manejo de mapas de mensajes. Insertado por el ambiente de desarrollo. Por omisión esta clase no maneja mapas de mensajes.

GetThisMessageMap(void); Habilita la estructura de manejo de mapas de mensajes. Insertado por el ambiente de desarrollo. Por omisión esta clase no maneja mapas de mensajes.

2.3.2 Clase CFuenteApp

La clase CFuenteApp se crea por omisión en el ambiente de desarrollo y se utiliza para controlar la ejecución de la aplicación. Sus métodos se muestran en la figura 23 y su descripción a continuación.

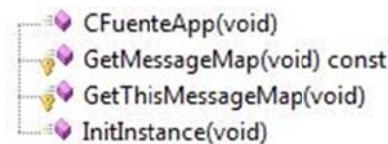


Figura 23. Clase CFuenteApp.

CFuenteApp(); Constructor insertado por el ambiente de desarrollo. Por omisión no contiene código alguno.

GetMessageMap(void); Habilita la estructura de manejo de mapas de mensajes. Insertado por el ambiente de desarrollo. Por omisión esta clase no maneja mapas de mensajes.

GetThisMessageMap(void); Habilita la estructura de manejo de mapas de mensajes. Insertado por el ambiente de desarrollo. Por omisión esta clase no maneja mapas de mensajes.

InitInstance(); Habilita el tipo de controles que utiliza la aplicación. Aunque no se implementa código alguno. Se puede utilizar para la inicialización estándar en los archivos de registro y las acciones a ejecutar cuando se presionan los botones “Aceptar” y “Cancelar”.

2.3.3 Clase CFuenteDlg

La clase CFuenteDlg se crea por omisión en el ambiente de desarrollo y se utiliza para implementar las funciones específicas del generador de funciones. Sus métodos se muestran en la figura 24 y su descripción a continuación.

CFuenteDlg(CWnd* pParent = NULL); Constructor estándar de la aplicación. Se utiliza para inicializar variables globales.

DoDataExchange(CDataExchange* pDX); Permite el intercambio de datos entre la caja de diálogo y los métodos de la clase.

GetMessageMap(void); Declara el mapa de mensajes de la aplicación de manera que se puedan atender los diversos eventos que se generan con la interacción del usuario o con los mensajes de Windows.

GetThisMessageMap(void); Declara el mapa de mensajes de la aplicación de manera que se puedan atender los diversos eventos que se generan con la interacción del usuario o con los mensajes de Windows.

OnBnArchivo(); Despliega la caja de diálogo para ingresar el nombre del archivo que contiene las muestras como texto. Extrae de la aplicación el número de muestras y el intervalo de muestreo para

enviarlos al generador de funciones mediante la función PICConfiguraCDA. Abre el archivo de texto y envía, uno a la vez, el valor de la muestra y el índice que especifica el número que corresponde a esa muestra, desde cero hasta el número total de muestras mediante la función PICTabla.

OnBnConstante(); Extrae de la aplicación el número de muestras y el intervalo de muestreo para enviarlos al generador de funciones mediante la función PICConfiguraCDA. Calcula las muestras para una función constante y envía, uno a la vez, el valor de la muestra y el índice que especifica el número que corresponde a esa muestra, desde cero hasta el número total de muestras mediante la función PICTabla.

OnBnCuadrada(); Extrae de la aplicación el número de muestras y el intervalo de muestreo para enviarlos al generador de funciones mediante la función PICConfiguraCDA. Calcula las muestras para una función cuadrada y envía, uno a la vez, el valor de la muestra y el índice que especifica el número que corresponde a esa muestra, desde cero hasta el número total de muestras mediante la función PICTabla.

OnBnRampa(); Extrae de la aplicación el número de muestras y el intervalo de muestreo para enviarlos al generador de funciones mediante la función PICConfiguraCDA. Calcula las muestras para una función rampa y envía, uno a la vez, el valor de la muestra y el índice que especifica el número que corresponde a esa muestra, desde cero hasta el número total de muestras mediante la función PICTabla.

OnBnSenoide(); Extrae de la aplicación el número de muestras y el intervalo de muestreo para enviarlos al generador de funciones mediante la función PICConfiguraCDA. Calcula las muestras para una función senoide y envía, uno a la vez, el valor de la muestra y el índice que especifica el número que corresponde a esa muestra, desde cero hasta el número total de muestras mediante la función PICTabla.

OnInitDialog(); Realiza la inicialización estándar de la aplicación. Carga la DLL mpushapi.dll en memoria y obtiene la dirección de sus funciones.

OnPaint(); Aunque no se dibuja en la aplicación, establece el contexto para dibujar sobre la aplicación. Realiza la inicialización estándar del icono: Centra el icono en el rectángulo del cliente y lo dibuja.

OnQueryDragIcon(); El sistema llama a esta función para obtener el cursor que se muestra mientras el usuario arrastra la ventana minimizada.

OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam); Despliega la caja de diálogo “Acerca de...”.

PICConfiguraCDA(BYTE Nmuestra, BYTE TmuestraLSB, BYTE TmuestraMSB); Forma un buffer de 4 bytes conteniendo el código de entrada para el comando que le indica al microcontrolador del generador de funciones que configure el convertidor digital a analógico, el número muestras a generar y el intervalo de muestreo. El buffer es enviado al llamar al método USBSendPacket().

PICTabla(BYTE indice, BYTE LSB, BYTE MSB); Forma un buffer de 4 bytes conteniendo el código de entrada para el comando que le indica al microcontrolador del generador de funciones que almacene la muestra, el índice de la muestra y el valor de la muestra. El buffer es enviado al llamar al método USBSendPacket().

USBClosePipes(void); Cierra los tubos de comunicación USB.

USBOpenPipes(void); Abre los tubos de comunicación USB.

USBReceivePacket(BYTE* ReceiveData, DWORD* ReceiveLength); Llama a la función USBOpenPipes. Obtiene información del tubo de comunicación y llama a la función USBClosePipes.

USBSendPacket(byte* SendData, DWORD SendLength); Llama a la función USBOpenPipes. Escribe información en el tubo de comunicación y llama a la función USBClosePipes.

```

CFuenteDlg(CWnd *pParent = 0)
DoDataExchange(CDataExchange *pDX)
GetMessageMap(void) const
GetThisMessageMap(void)
OnBnArchivo(void)
OnBnConstante(void)
OnBnCuadrada(void)
OnBnRampa(void)
OnBnSenoide(void)
OnInitDialog(void)
OnPaint(void)
OnQueryDragIcon(void)
OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam)
PICConfiguraCDA(BYTE Nmuestra, BYTE TmuestraLSB, BYTE TmuestraMSB)
PICTabla(BYTE indice, BYTE LSB, BYTE MSB)
USBClosePipes(void)
USBOpenPipes(void)
USBReceivePacket(BYTE *ReceiveData, DWORD *ReceiveLength)
USBSendPacket(byte *SendData, DWORD SendLength)

```

Figura 24. Clase CFuenteDlg.

2.4 Procedimiento típico para generar una forma de onda

- Realizar las conexiones que se muestran en la figura 25.

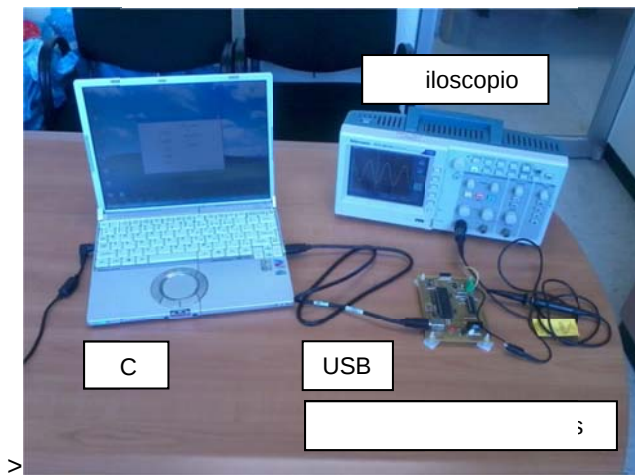


Figura 25. Conexiones para el generador de funciones.

- Verificar el proceso de instalación del software como se describió en la sección 2.1.2.
- En la computadora, ejecutar el archivo C:Fuente/Fuente.exe e ingresar los parámetros de la figura 26.

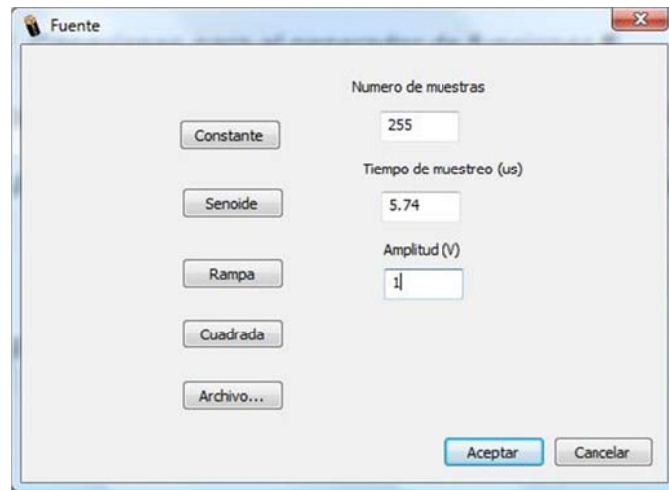


Figura 26. Parámetros para una forma de onda de prueba.

- Presionar el botón “Senoide”.
- Verificar en el osciloscopio que se muestre la señal de la figura 27.

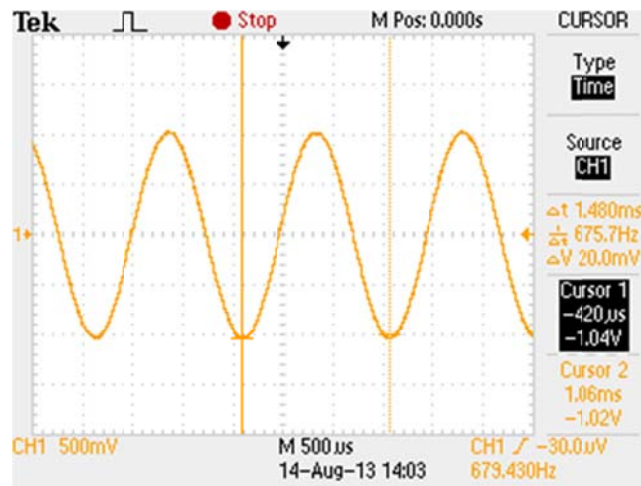


Figura 27. Forma de onda en el osciloscopio.

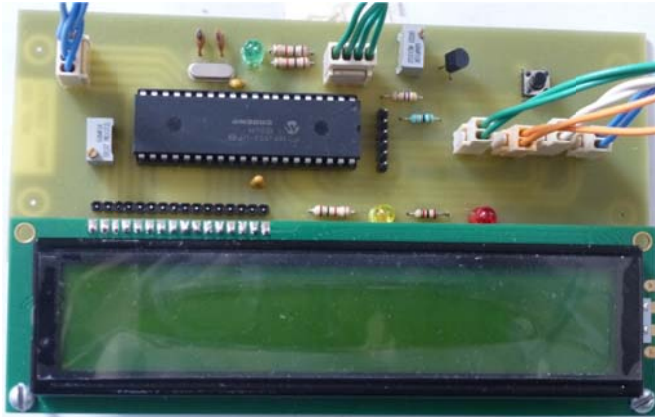
- De los datos reportados por el osciloscopio y la ecuación 2.1 se puede hacer la comparación que se muestra en la tabla 2.1.

	Software Fuente.exe	Registro en el osciloscopio
Amplitud pico (V)	1	1
Frecuencia (Hz)	$\frac{1}{(255-1)5.74\mu s}$ 685.9	675.7

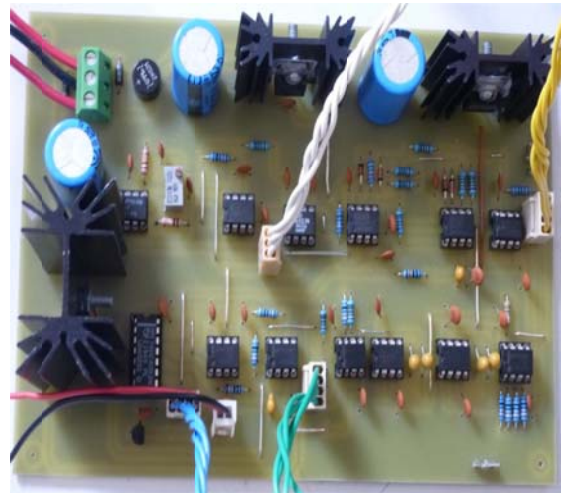
Tabla 2. Comparación entre parámetros del software y forma de onda real.

3. Resultados y discusión

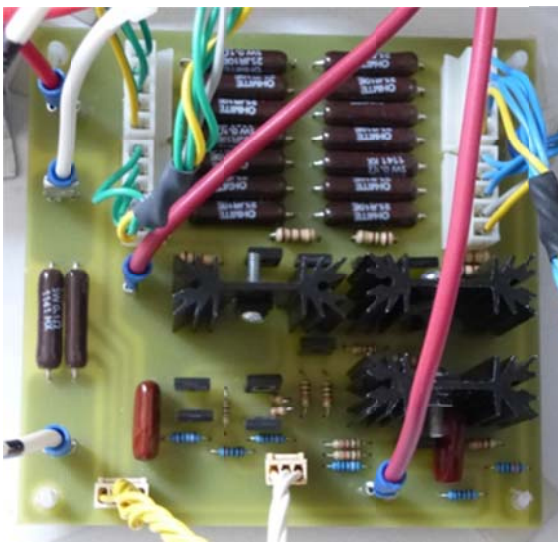
Como resultados se presentan los sistemas electrónicos desarrollados para la fuente bipolar, generador de funciones y la interface gráfica para computadora personal que se muestran en las figuras 28 a 30.



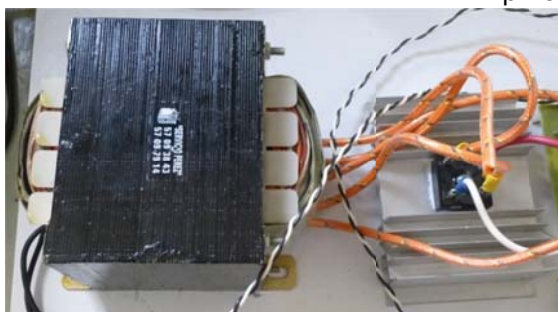
Microcontrolador y despliegue local



Sensores de corriente y voltaje, limitador de corriente y multiplexor



Amplificador tipo AB



Fuente de poder



Figura 28. Sistema electrónico para la fuente bipolar.

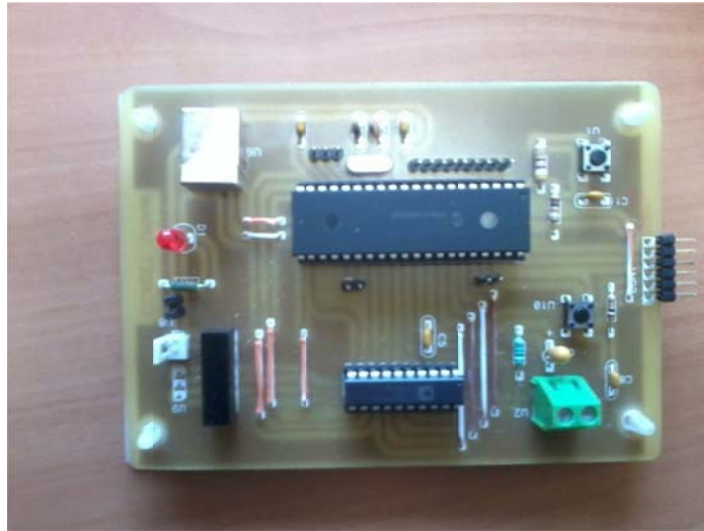


Figura 29. Sistema electrónico para el generador de funciones.



Figura 30. Interface gráfica para computadora personal.

3.1 Resultados

Como parte de los resultados, se realizaron los tres experimentos que se describen a continuación.

3.1.1 Generación de campo magnético

Se desarrolló una prueba para la generación de campo magnético en unas bobinas de Helmholtz. El experimento consiste en generar niveles de voltaje CD desde la interface local de la fuente bipolar, V_{CD} , y medir, con la ayuda de un osciloscopio de dos canales, la corriente que circula por las bobinas, I_{CD} . La figura 31 muestra el arreglo experimental y la figura 32 la relación casi lineal que existe entre V_{CD} e I_{CD} , ya que al medir voltajes rms predomina la componente resistiva de la carga.

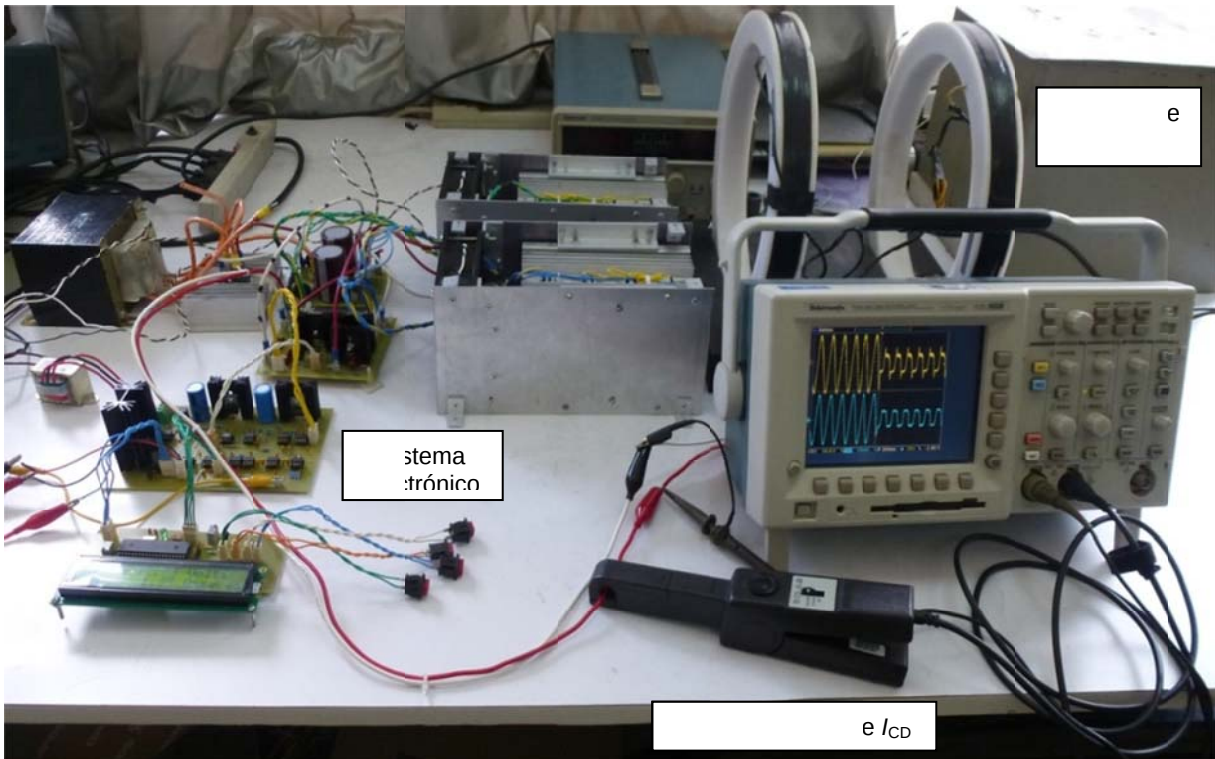


Figura 31. Arreglo experimental para la fuente bipolar.

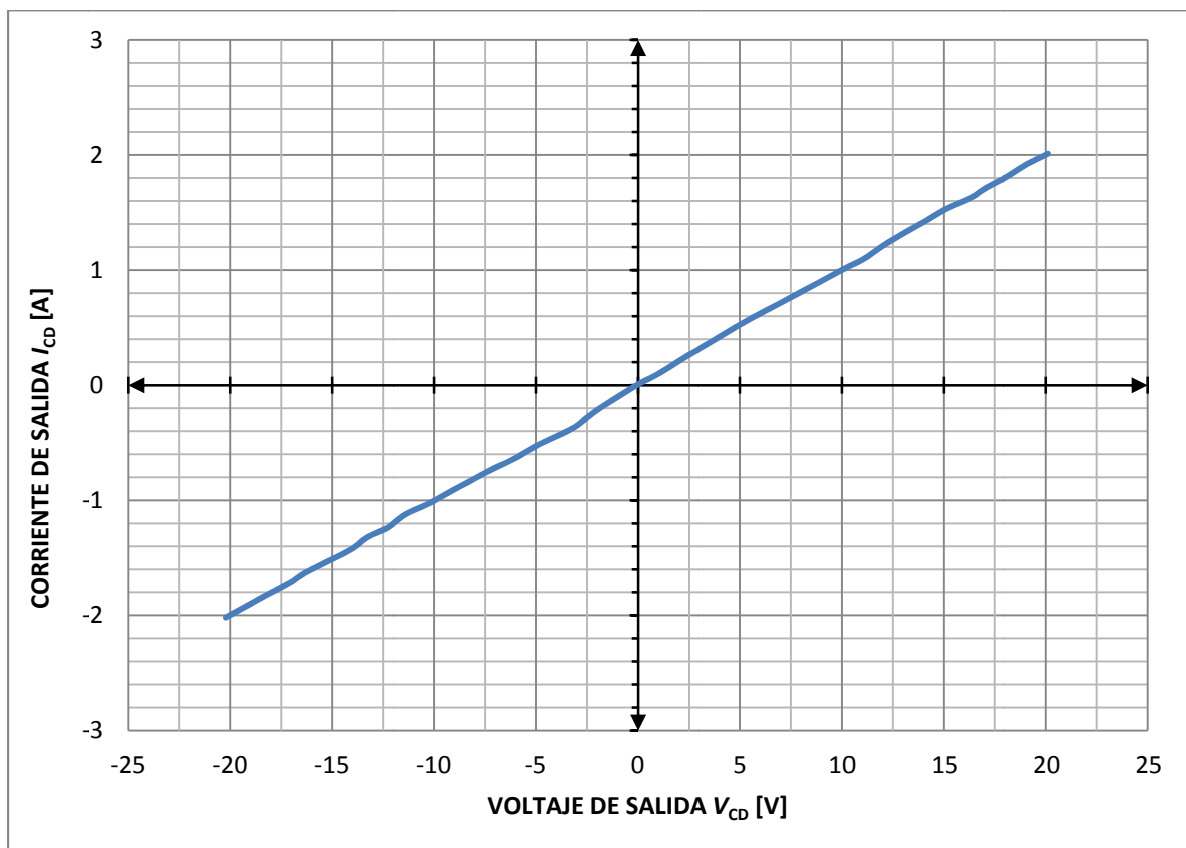


Figura 32. Gráficas voltaje contra corriente en una bobina de Helmholtz.

3.1.2 Limitador de corriente

Para comprobar el desempeño del limitador de corriente se realizaron diversas pruebas, que se muestran en la siguiente serie de imágenes, en donde: el canal 1 (trazo amarillo) corresponde al voltaje de salida y el canal 2 (trazo azul) a la corriente de carga. El canal 1 tiene una escala de 10V/div y el canal 2 una escala de 100mV/div. En el canal 2 se tiene una sonda de corriente que convierte 1A en 100mV. En el extremo superior derecho se muestra la lectura del cursor horizontal aplicado al canal 2.

La figura 33 corresponde a una carga que demanda 1.62A (162mV) con límite de corriente de 2A. Es claro que en esta situación el limitador de corriente no entra en operación.

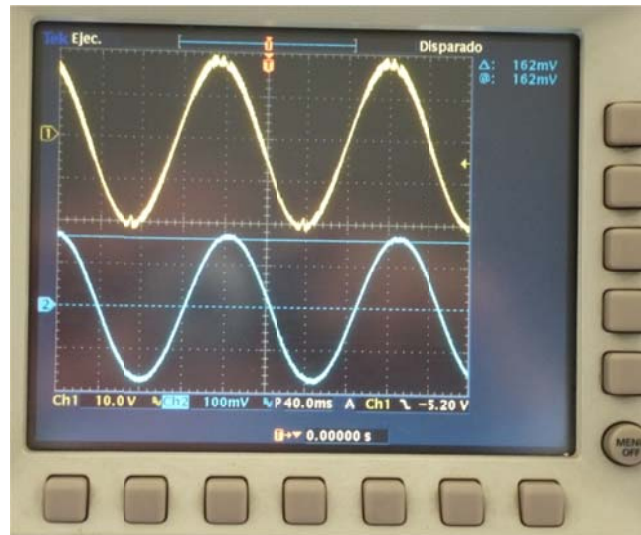


Figura 33. Límite de corriente superior a la corriente en la carga.

Para la figura 34 se mantienen las mismas condiciones de la carga, 1.62A, pero se ajusta el límite de corriente a 1.5A. En esta condición el limitador de corriente entra en operación y la corriente queda acotada a 1.4A (140mV).

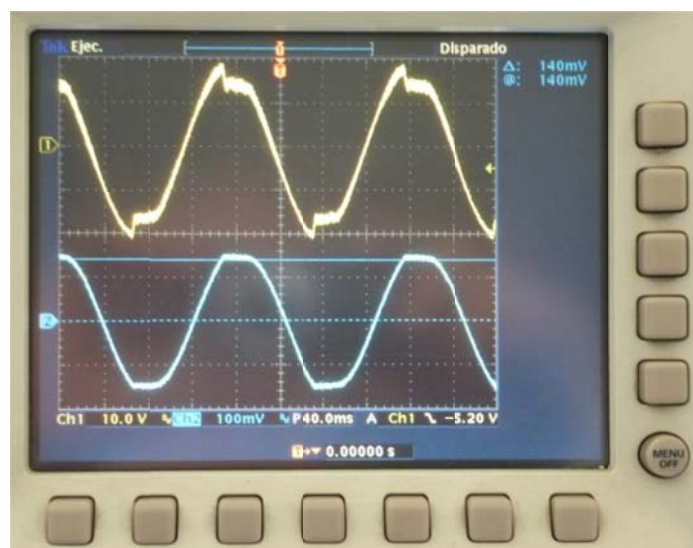


Figura 34. Límite de corriente 1.5A.

Para la figura 35 se mantienen las mismas condiciones de la carga, 1.62A, pero se ajusta el límite de corriente a 1.3A. En esta condición el limitador de corriente entra en operación y la corriente queda acotada a 1.24A (124mV).

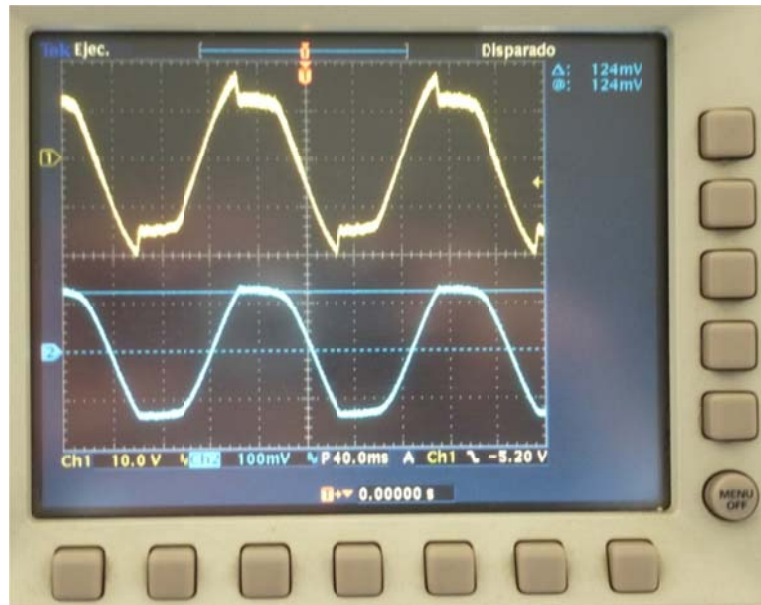


Figura 35. Límite de corriente 1.3A.

Para la figura 36 se mantienen las mismas condiciones de la carga, 1.62A, pero se ajusta el límite de corriente a 0.6A. En esta condición el limitador de corriente entra en operación y la corriente queda acotada a 0.6A (60mV).

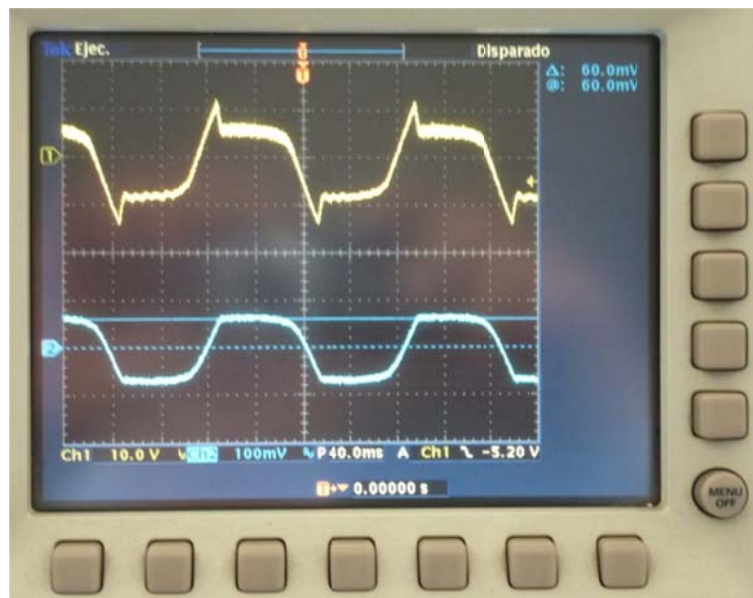


Figura 36. Límite de corriente 0.6A.

Finalmente, la figura 37 muestra la generación de una señal senoidal con límite de corriente de 2A en donde abruptamente se cambia el límite de corriente a 0.6A.

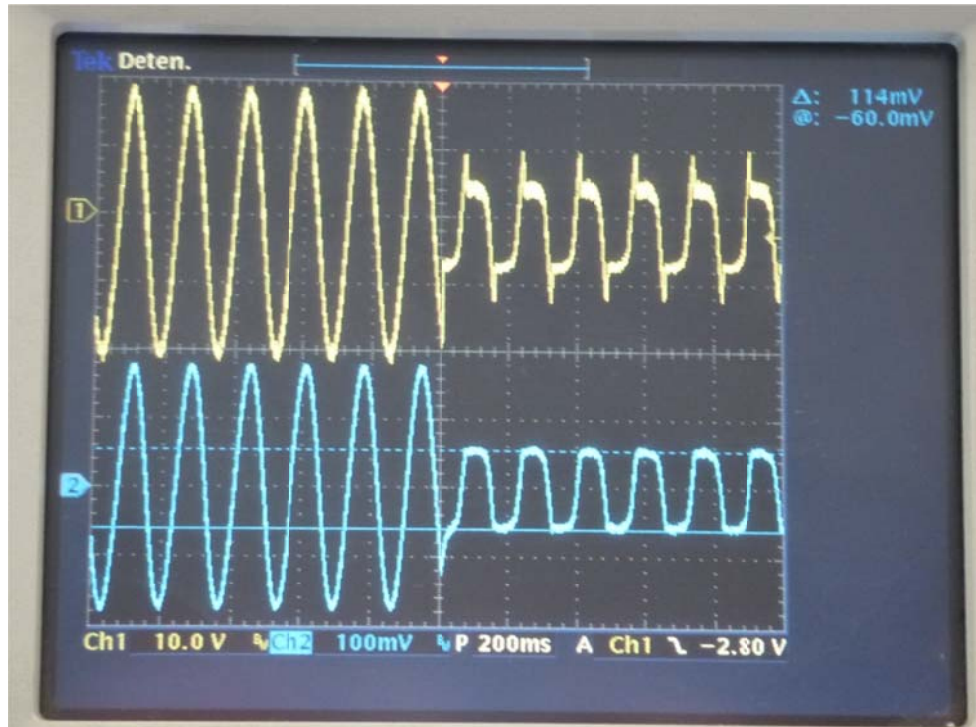


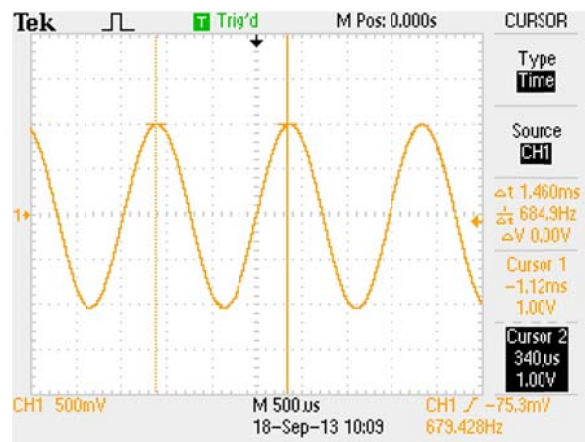
Figura 37. Límite de corriente 0.6A para una onda senoidal.

3.1.3 Generador de funciones

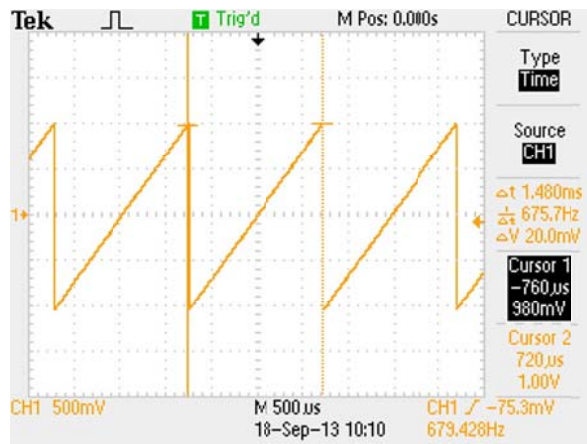
Para comprobar el desempeño del generador de funciones se desarrolló un experimento que consistió en generar las 5 formas de onda posibles desde el software de operación y observar la señal en un osciloscopio común, mediante el procedimiento descrito en la sección 2.4. Las formas de onda obtenidas se muestran en la figura 38.



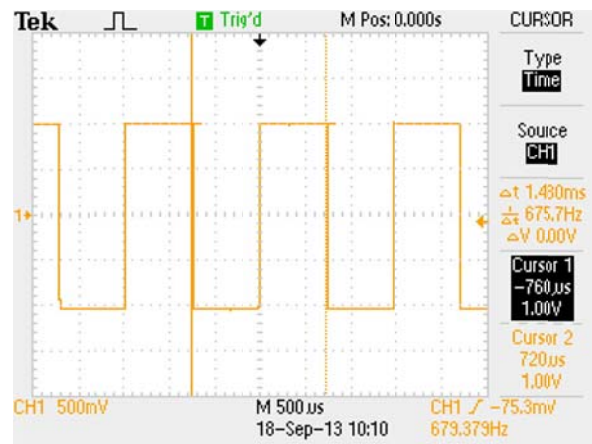
Forma de onda constante



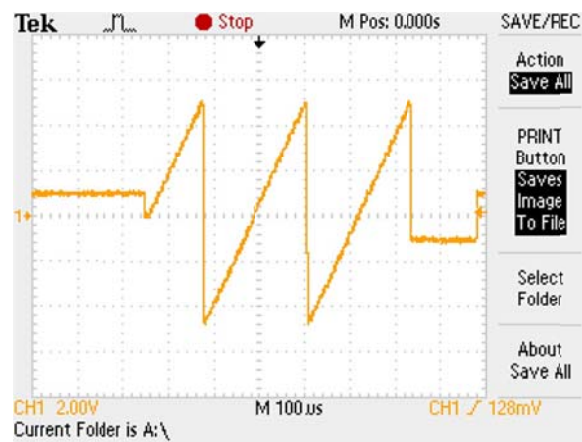
Forma de onda senoidal



Forma de onda triangular



Forma de onda cuadrada



Forma de onda arbitraria

Figura 38. Formas de onda constante, senoide, rampa, cuadrada y arbitraria.

3.2 Discusión

Los sistemas electrónicos desarrollados constituyen un conjunto de herramientas útiles para la generación de campos magnéticos principalmente. No obstante, se pueden utilizar para diversos experimentos con diversas cargas de potencia en donde sea necesario alternar el sentido en que circula la corriente sin la necesidad de intercambiar los cables de conexión.

La fuente bipolar desarrollada es un sistema confiable con características similares a los equipos comerciales con la ventaja de su menor costo.

El generador de funciones es un sistema versátil que puede utilizarse en conjunto con una computadora personal para generar diversas formas de onda en diversas situaciones ya que no requiere de polarización externa.

El sistema completo tiene la capacidad de automatizar diversas pruebas ya que su comando principal se puede ejecutar desde una computadora.

El trabajo a futuro puede ir encaminado a desarrollar la ingeniería de producto para proporcionarle, a los sistemas desarrollados, calidad de producto terminado.

Conclusiones

Se desarrolló una fuente bipolar de poder de $\pm 40\text{Volts}$ y 10 Amperes. Su principal aplicación es en la generación de campos magnéticos alternos.

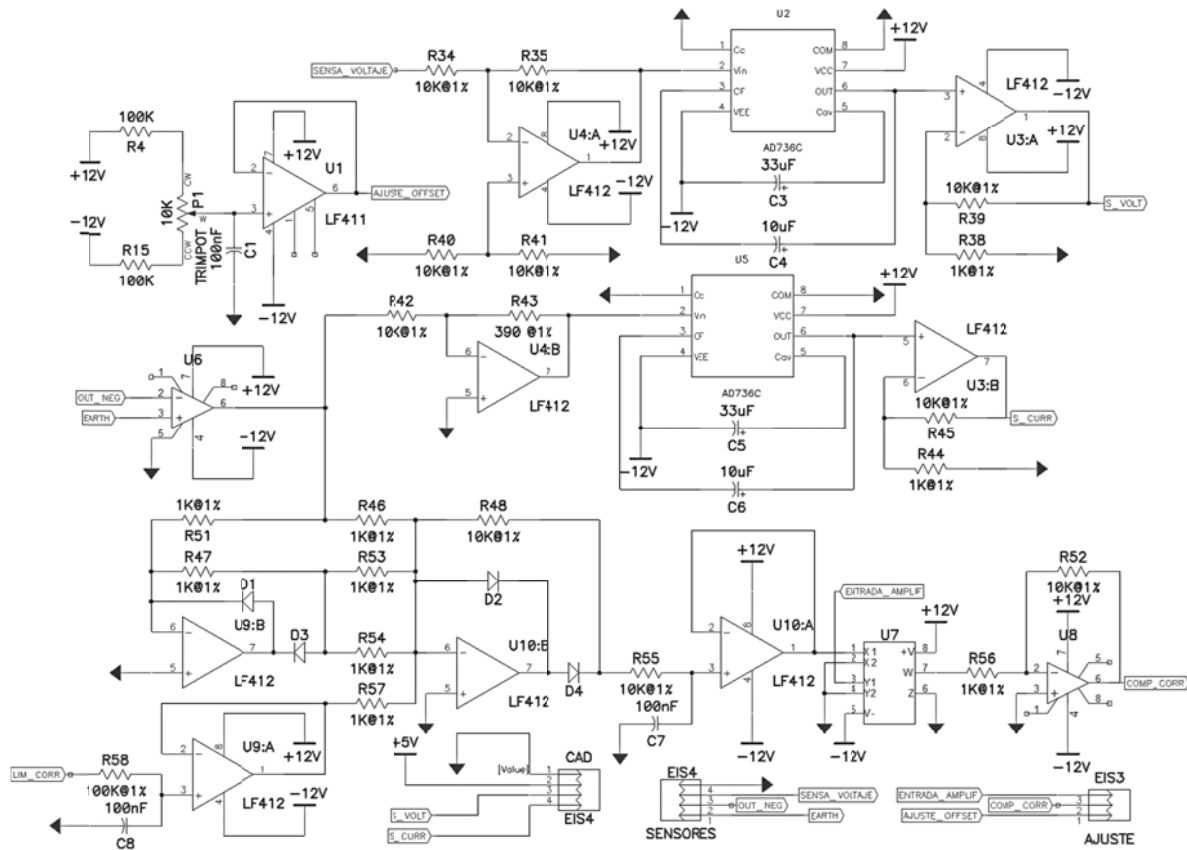
Se desarrolló un generador de funciones digital controlable por USB que no requiere polarización externa.

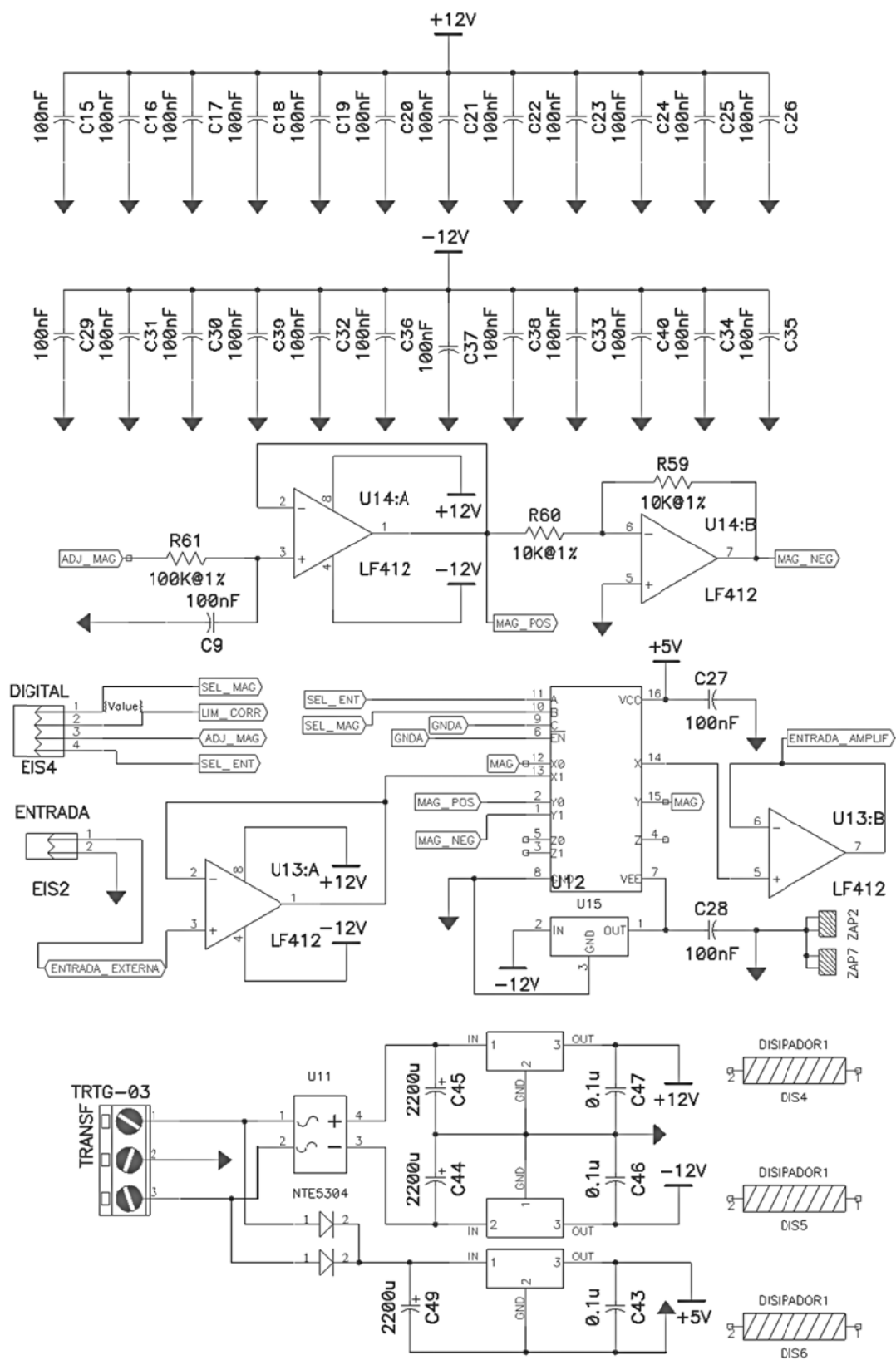
Se desarrolló software para PC para enviar formas de onda sintetizadas al generador de funciones.

Con el conjunto de elementos desarrollados es posible automatizar una gran cantidad de experimentos en donde se requiere llevar a cabo tareas programadas y el manejo de cargas de potencia.

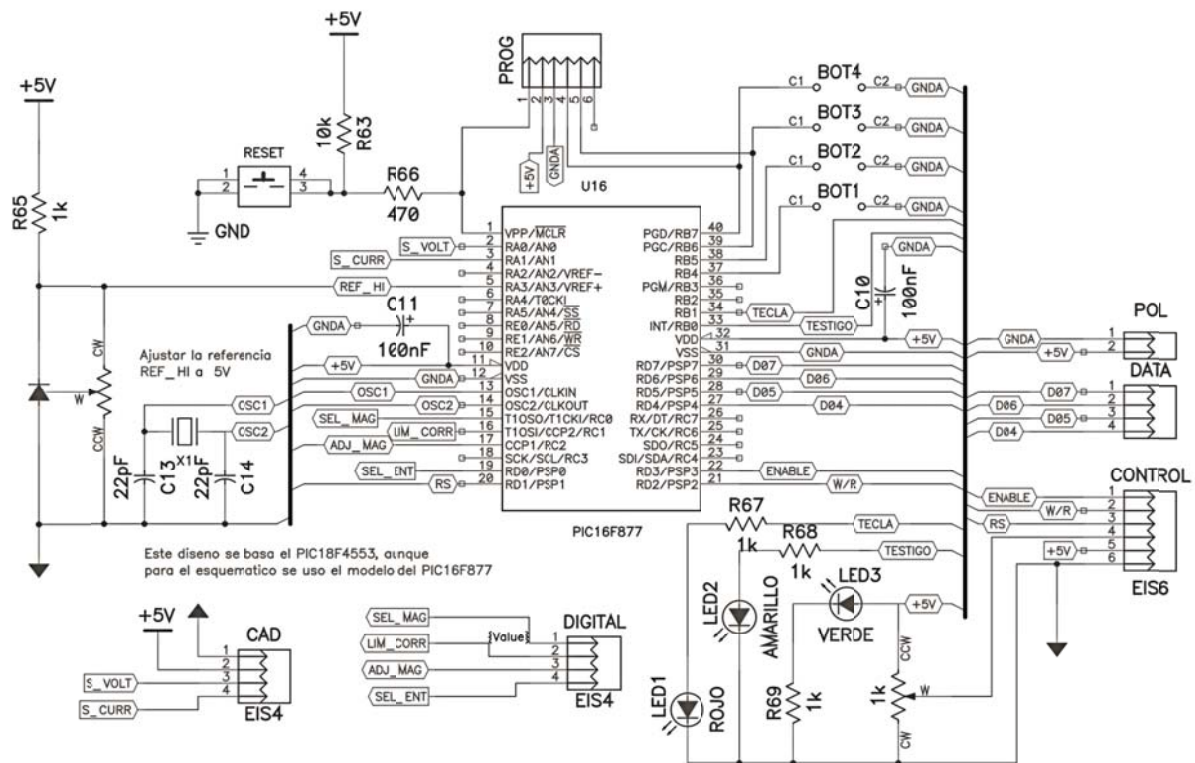
Anexo A Diagramas electrónicos

A.1 Fuente bipolar, sensores de corriente y voltaje, limitador de corriente y multiplexor

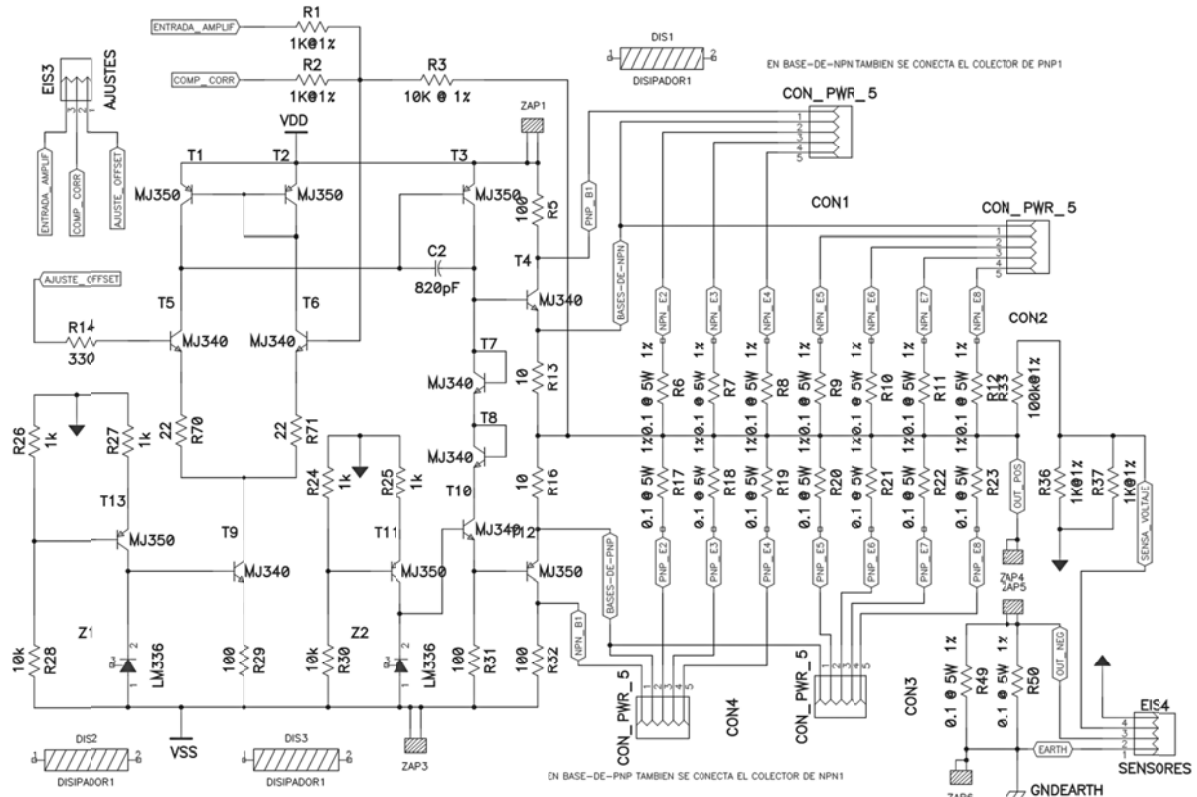




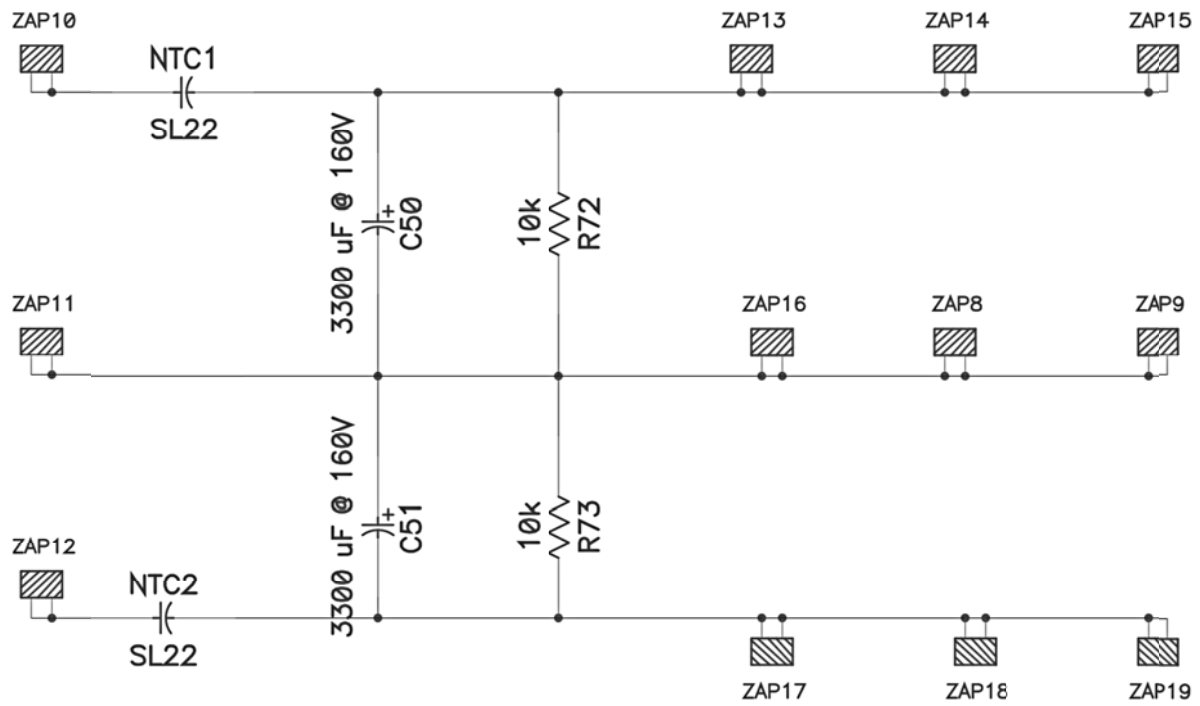
A.2 Fuente bipolar, microcontrolador



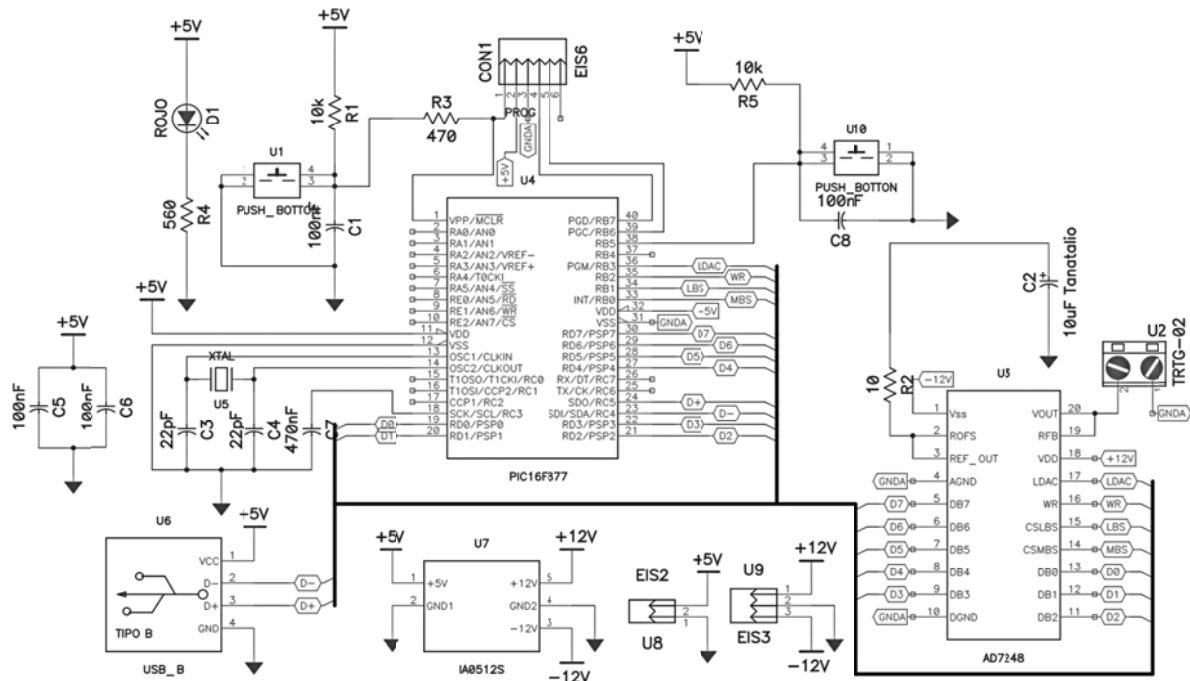
A.3 Fuente bipolar, amplificador tipo AB



A.4 Fuente bipolar, fuente de poder

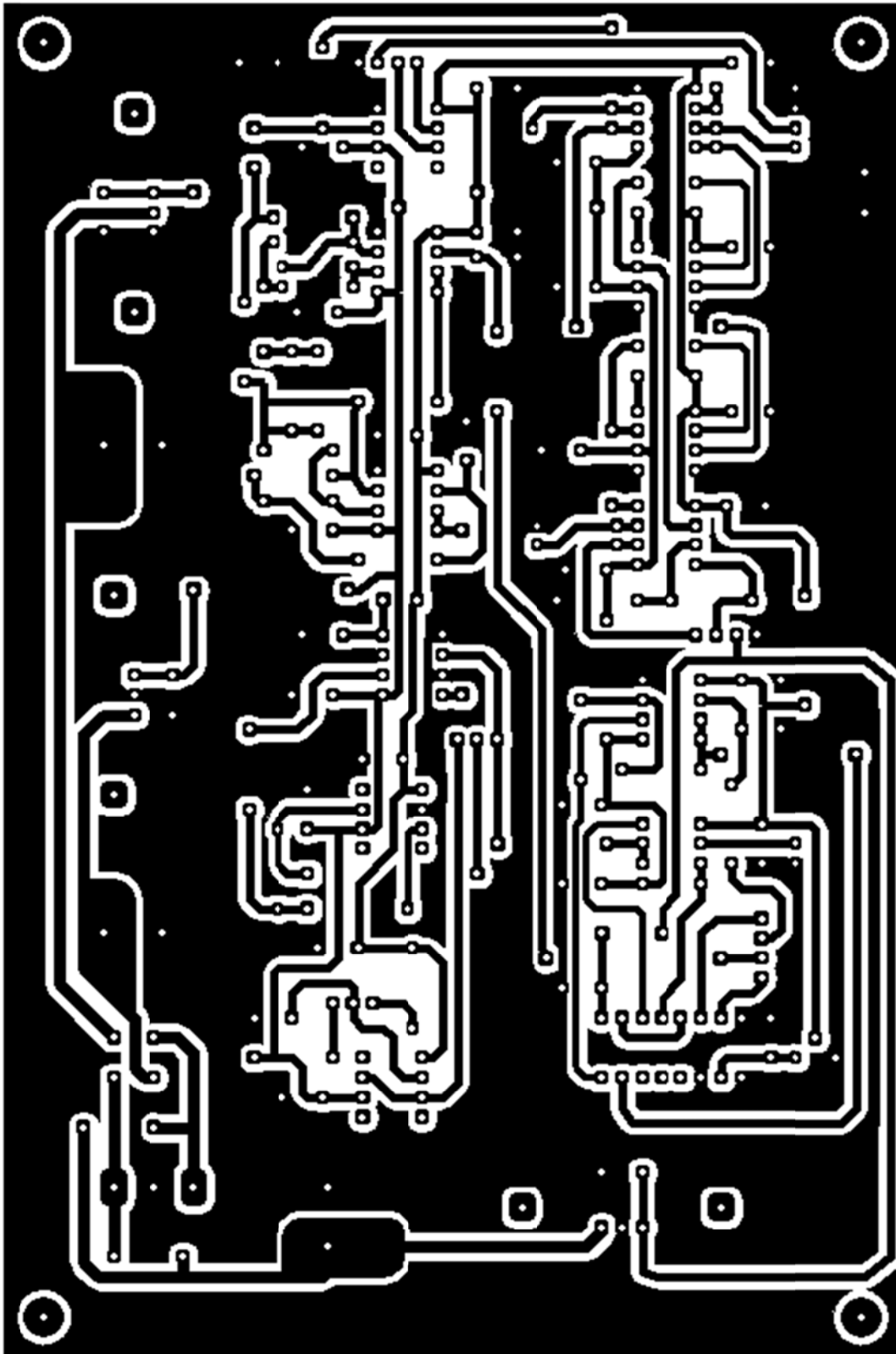


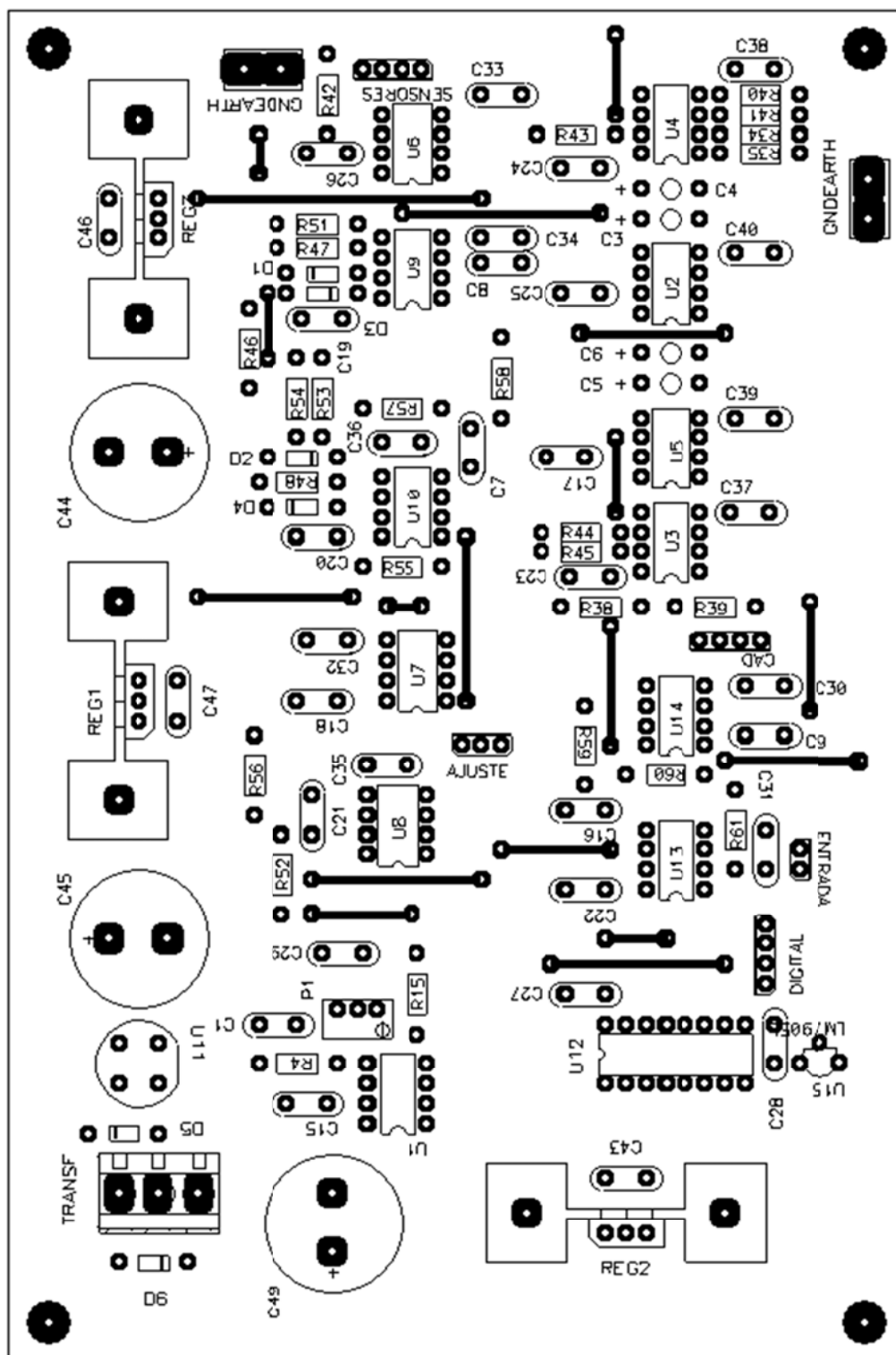
A.5 Generador de funciones



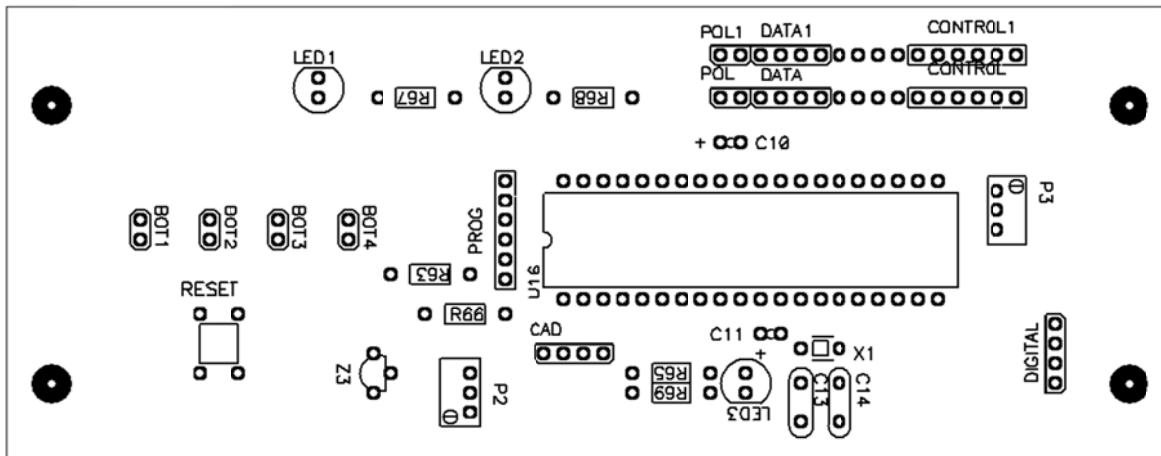
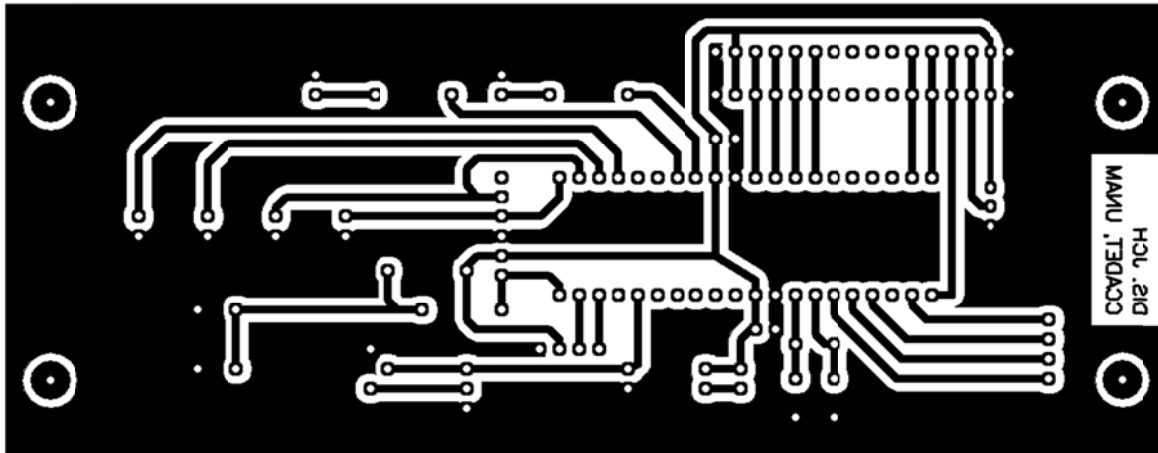
Anexo B Circuitos impresos

B.1 Fuente bipolar, sensores de corriente y voltaje, limitador de corriente y multiplexor

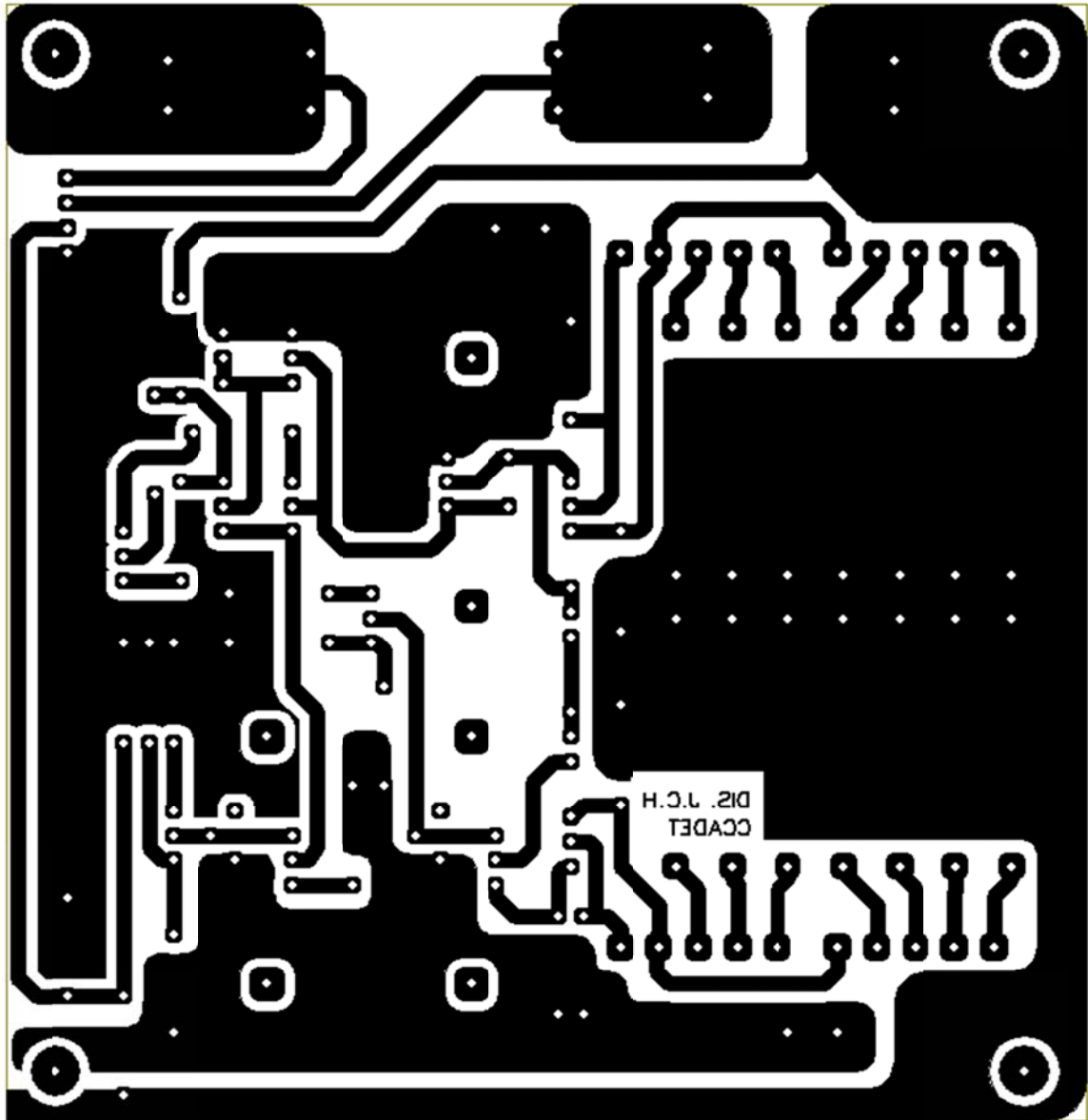


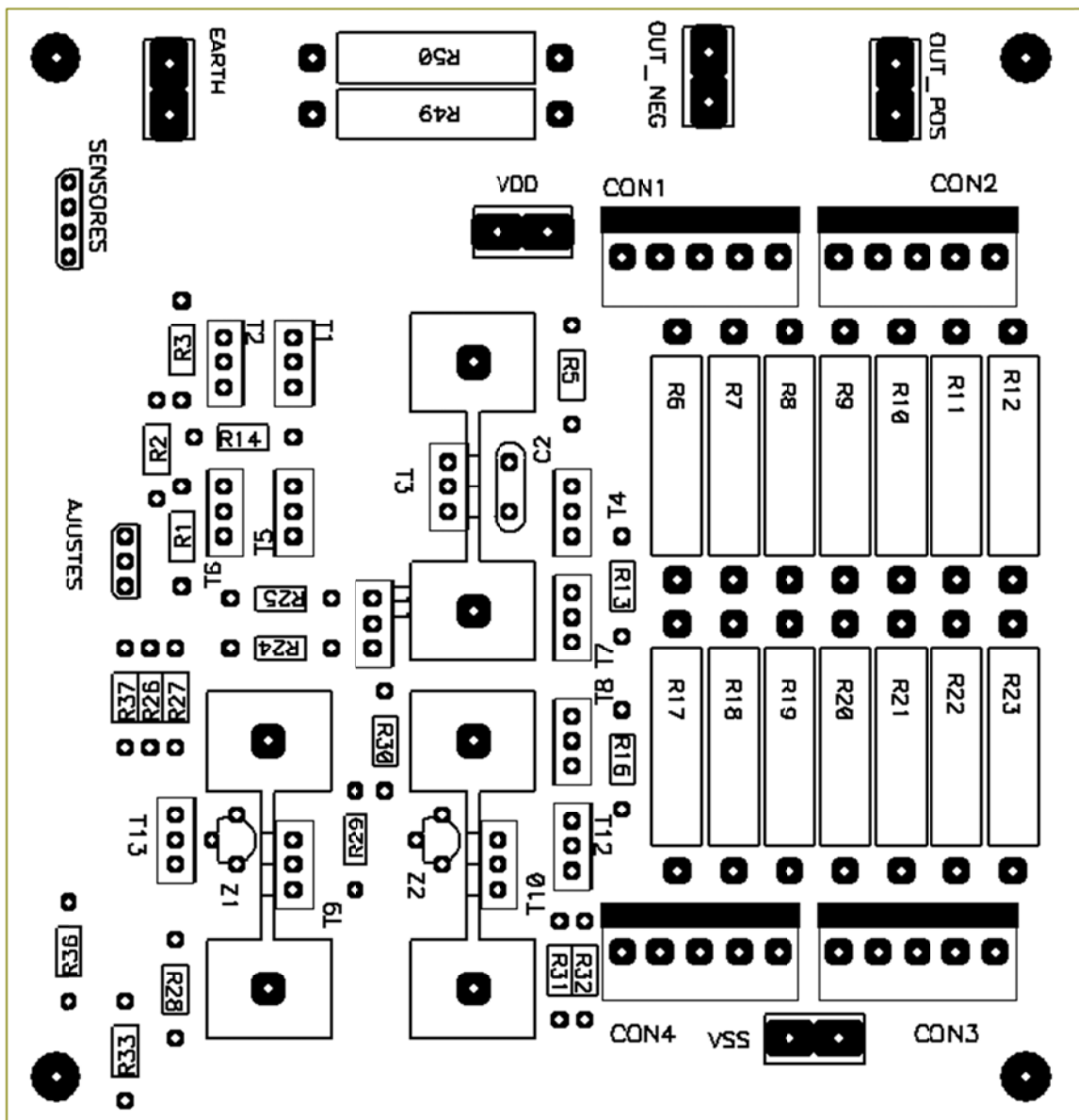


B.2 Fuente bipolar, microcontrolador

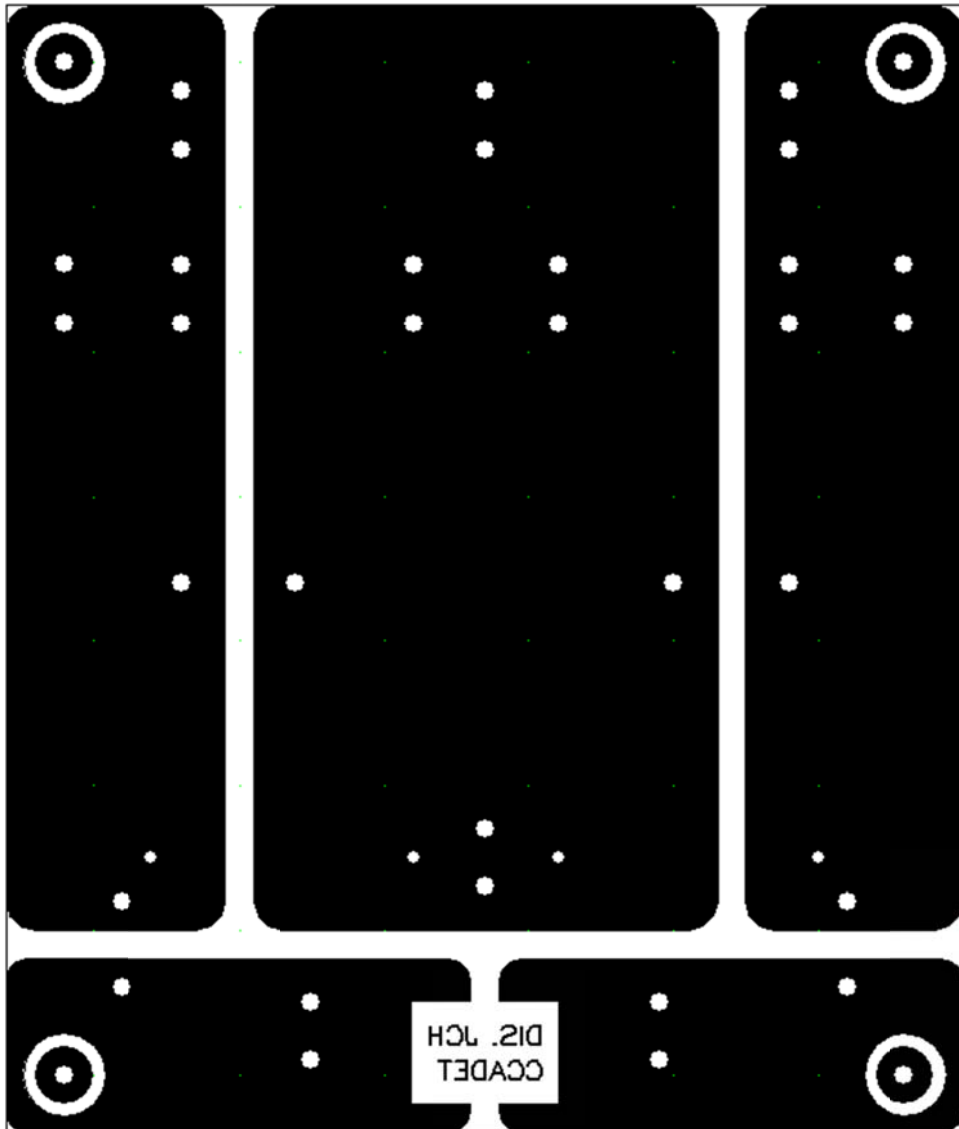


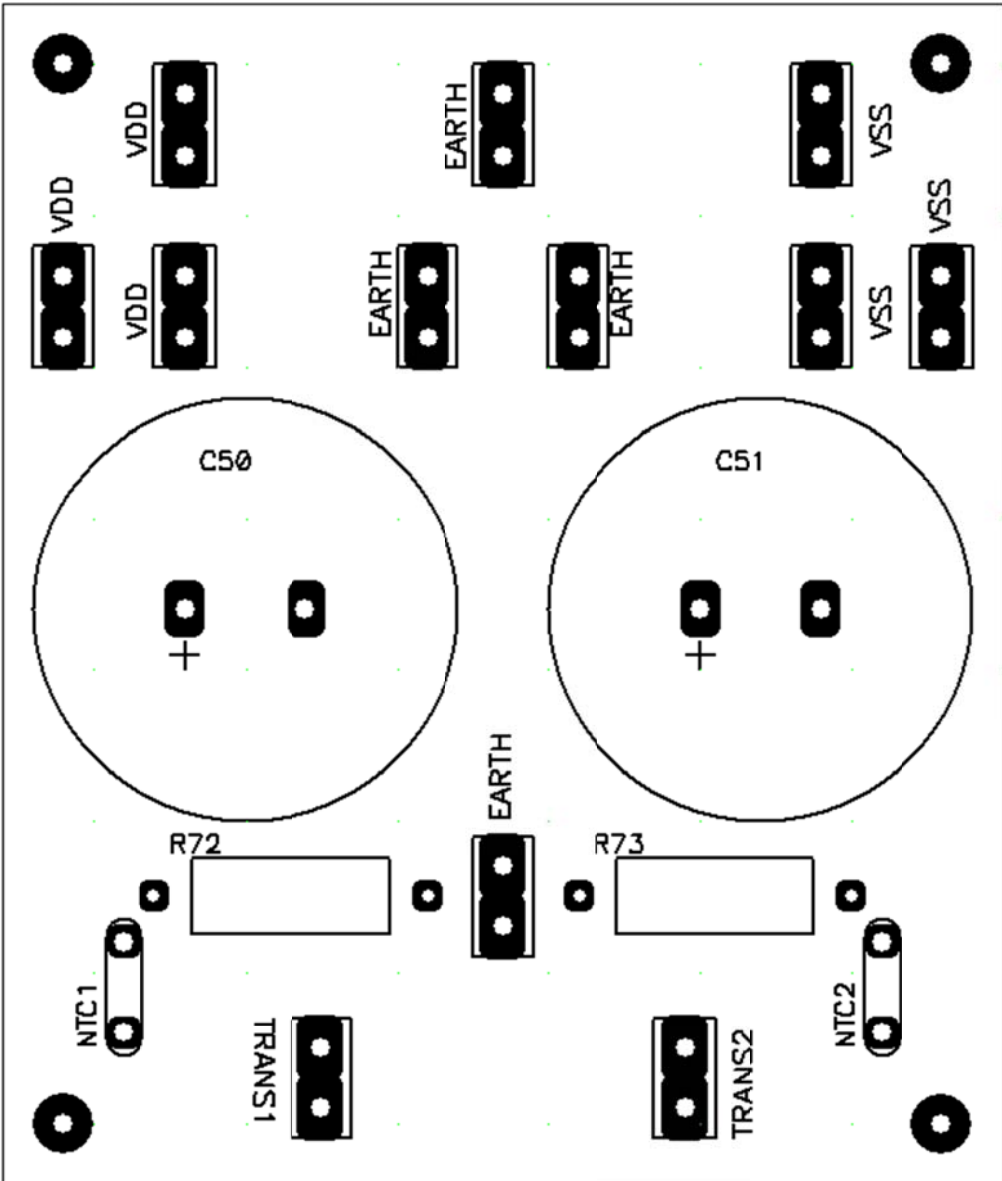
B.3 Fuente bipolar, amplificador tipo AB



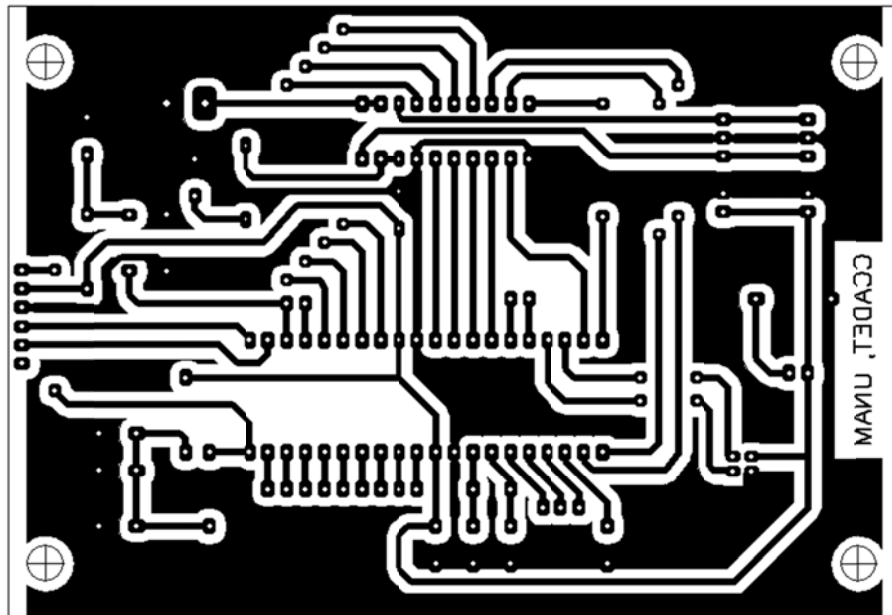
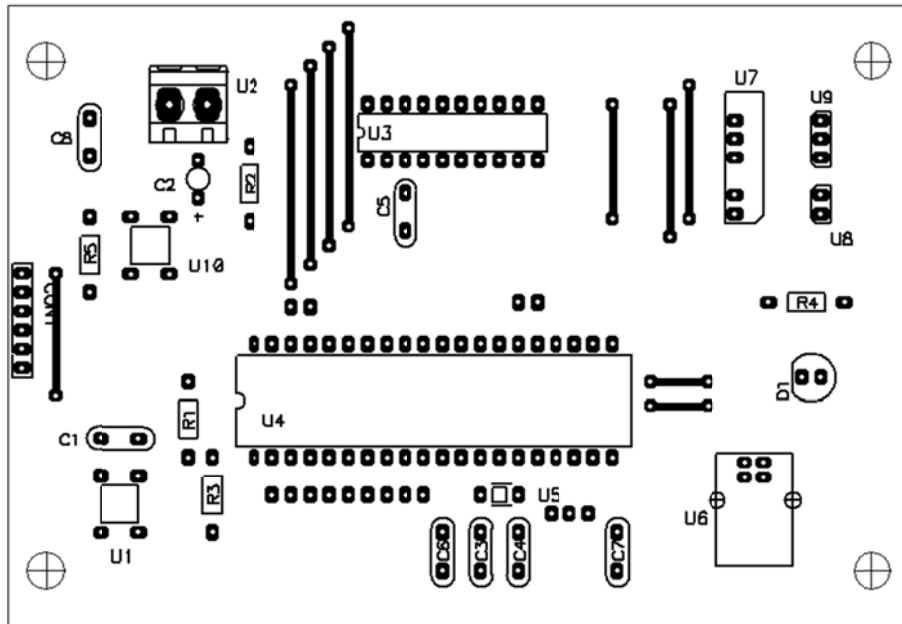


B.4 Fuente bipolar, fuente de poder





B.5 Generador de funciones



Anexo C Lista de material

C.1 Fuente bipolar, sensores de corriente y voltaje, limitador de corriente y multiplexor

Id	Descripción
D1	Diodo de alta velocidad 1N4148
D2	Diodo de alta velocidad 1N4148
D3	Diodo de alta velocidad 1N4148
D4	Diodo de alta velocidad 1N4148
D5	Diodo de alta velocidad 1N4148
D6	Diodo de alta velocidad 1N4148
U6	Circuito integrado AD621AN
U7	Circuito integrado AD633JN
U2	Circuito integrado AD736C
U5	Circuito integrado AD736C
C1	Capacitor cerámico 100nF
C3	Capacitor electrolítico 33uF
C4	Capacitor electrolítico 10uF
C5	Capacitor electrolítico 33uF
C6	Capacitor electrolítico 10uF
C7	Capacitor cerámico 100nF
C8	Capacitor cerámico 100nF
C9	Capacitor cerámico 100nF
C15	Capacitor cerámico 100nF
C16	Capacitor cerámico 100nF
C17	Capacitor cerámico 100nF
C18	Capacitor cerámico 100nF
C19	Capacitor cerámico 100nF
C20	Capacitor cerámico 100nF
C21	Capacitor cerámico 100nF
C22	Capacitor cerámico 100nF
C23	Capacitor cerámico 100nF
C24	Capacitor cerámico 100nF
C25	Capacitor cerámico 100nF
C26	Capacitor cerámico 100nF
C27	Capacitor cerámico 100nF
C28	Capacitor cerámico 100nF
C29	Capacitor cerámico 100nF
C30	Capacitor cerámico 100nF
C31	Capacitor cerámico 100nF
C32	Capacitor cerámico 100nF
C33	Capacitor cerámico 100nF
C34	Capacitor cerámico 100nF
C35	Capacitor cerámico 100nF
C36	Capacitor cerámico 100nF
C37	Capacitor cerámico 100nF
C38	Capacitor cerámico 100nF
C39	Capacitor cerámico 100nF
C40	Capacitor cerámico 100nF
C43	Capacitor electrolítico 0.1uF
C44	Capacitor electrolítico 2200uF
C45	Capacitor electrolítico 2200uF
C46	Capacitor cerámico 0.1u
C47	Capacitor cerámico 0.1u

C49	Capacitor electrolítico 2200uF
DIS4	Disipador de calor
DIS5	Disipador de calor
DIS6	Disipador de calor
ENTRADA	Conector EIS2
AJUSTE	Conector EIS3
CAD	Conector EIS4
DIGITAL	Conector EIS4
SENSORES	Conector EIS4
U1	Circuito integrado LF411
U3	Circuito integrado LF412
U4	Circuito integrado LF412
U8	Circuito integrado OP27AZ
U9	Circuito integrado LF412
U10	Circuito integrado LF412
U11	Circuito integrado NTE5304
U12	Circuito integrado MC74HC4053N
U13	Circuito integrado LF412
U14	Circuito integrado LF412
U15	Circuito integrado LM7905L
REG2	Circuito integrado LM7805
REG1	Circuito integrado LM7812
REG3	Circuito integrado LM7912
R4	Resistencia de carbón 100K
R15	Resistencia de carbón 100K
R34	Resistencia metálica de precisión 10K@1%
R35	Resistencia metálica de precisión 10K@1%
R38	Resistencia metálica de precisión 1K@1%
R39	Resistencia metálica de precisión 10K@1%
R40	Resistencia metálica de precisión 10K@1%
R41	Resistencia metálica de precisión 10K@1%
R42	Resistencia metálica de precisión 10K@1%
R44	Resistencia metálica de precisión 1K@1%
R43	Resistencia metálica de precisión 390 @1%
R45	Resistencia metálica de precisión 10K@1%
R46	Resistencia metálica de precisión 1K@1%
R47	Resistencia metálica de precisión 1K@1%
R48	Resistencia metálica de precisión 10K@1%
R51	Resistencia metálica de precisión 1K@1%
R53	Resistencia metálica de precisión 1K@1%
R52	Resistencia metálica de precisión 10K@1%
R54	Resistencia metálica de precisión 1K@1%
R55	Resistencia metálica de precisión 10K@1%
R56	Resistencia metálica de precisión 1K@1%
R57	Resistencia metálica de precisión 1K@1%
R58	Resistencia metálica de precisión 100K@1%
R59	Resistencia metálica de precisión 10K@1%
R60	Resistencia metálica de precisión 10K@1%
R61	Resistencia metálica de precisión 100K@1%
P1	Trimpot de cermet 10K
TRANSF	Conector TRTG-03
ZAP2	Conector ZAP_IMP
ZAP7	Conector ZAP_IMP

C.2 Fuente bipolar, microcontrolador

Id	Descripción
C10	Capacitor cerámico 100nF
C11	Capacitor cerámico 100nF
C13	Capacitor cerámico 22pF
C14	Capacitor cerámico 22pF
POL	Conector EIS2
CAD	Conector EIS4
DATA	Conector EIS4
DIGITAL	Conector EIS4
PROG	Conector PROG
CONTROL	Conector EIS6
BOT1	Conector JMP
BOT2	Conector JMP
BOT3	Conector JMP
BOT4	Conector JMP
LED2	Led amarillo
LED1	Led rojo
LED3	Led verde
Z3	Circuito integrado LM385
U16	Circuito integrado PIC18F4553
RESET	Conector PUSH_BOTTON
R65	Resistencia de carbón 1k
R67	Resistencia de carbón 1k
R68	Resistencia de carbón 1k
R69	Resistencia de carbón 1k
R63	Resistencia de carbón 10k
R66	Resistencia de carbón 470
P3	Trimpot de cermet 1k
P2	Trimpot de cermet 10k
X1	Cristal de cuarzo 20MHz

C.3 Fuente bipolar, amplificador tipo AB

Id	Descripción
C2	Capacitor cerámico 820pF
CON1	Conector CON_PWR_5
CON2	Conector CON_PWR_5
CON3	Conector CON_PWR_5
CON4	Conector CON_PWR_5
DIS1	Disipador de calor
DIS2	Disipador de calor
DIS3	Disipador de calor
AJUSTES	Conector EIS3
SENSORES	Conector EIS4
Z1	Diodo zener LM336 2.5V
Z2	Diodo zener LM336 2.5V
T1	Transistor de potencia MJ350
T2	Transistor de potencia MJ350
T3	Transistor de potencia MJ350
T4	Transistor de potencia MJ340
T5	Transistor de potencia MJ340
T6	Transistor de potencia MJ340
T7	Transistor de potencia MJ340
T8	Transistor de potencia MJ340
T9	Transistor de potencia MJ340
T10	Transistor de potencia MJ340
T11	Transistor de potencia MJ350
T12	Transistor de potencia MJ350
T13	Transistor de potencia MJ350
R1	Resistencia metálica de precisión 1K@1%
R2	Resistencia metálica de precisión 1K@1%
R3	Resistencia metálica de precisión 10K @ 1%
R5	Resistencia de carbón 100
R6	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R7	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R8	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R9	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R10	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R11	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R12	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R13	Resistencia de carbón 10
R14	Resistencia de carbón 330
R16	Resistencia de carbón 10
R17	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R18	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R19	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R20	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R21	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R22	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R23	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R24	Resistencia de carbón 1k
R25	Resistencia de carbón 1k
R26	Resistencia de carbón 1k
R27	Resistencia de carbón 1k

R28	Resistencia de carbón 10k
R29	Resistencia de carbón 100
R30	Resistencia de carbón 10k
R31	Resistencia de carbón 100
R32	Resistencia de carbón 100
R33	Resistencia metálica de precisión 100k@1%
R36	Resistencia metálica de precisión 1K@1%
R37	Resistencia metálica de precisión 1K@1%
R49	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R50	Resistencia metálica de precisión 0.1 @ 5W 1%
R70	Resistencia de carbón 22
R71	Resistencia de carbón 22
ZAP1	Conector ZAP_IMP
ZAP3	Conector ZAP_IMP
ZAP4	Conector ZAP_IMP
ZAP5	Conector ZAP_IMP
ZAP6	Conector ZAP_IMP

C.4 Fuente bipolar, fuente de poder

Id	Descripción
NTC1	Capacitor SL22
NTC2	Capacitor SL22
C50	Capacitor electrolítico 3300 uF @ 160V
C51	Capacitor electrolítico 3300 uF @ 160V
R72	Resistencia de alambre 10k @ 5w
R73	Resistencia de alambre 10k @ 5w
ZAP8	Conector ZAP_IMP
ZAP9	Conector ZAP_IMP
ZAP10	Conector ZAP_IMP
ZAP11	Conector ZAP_IMP
ZAP12	Conector ZAP_IMP
ZAP13	Conector ZAP_IMP
ZAP14	Conector ZAP_IMP
ZAP15	Conector ZAP_IMP
ZAP16	Conector ZAP_IMP
ZAP17	Conector ZAP_IMP
ZAP18	Conector ZAP_IMP
ZAP19	Conector ZAP_IMP
P_DIO	Puente rectificador GBPC3510

C.5 Generador de funciones

Id	Descripción
C1	Capacitor cerámico 100nF
C2	Capacitor de tantálio 10uF
C3	Capacitor cerámico 22pF
C4	Capacitor cerámico 22pF
C5	Capacitor cerámico 100nF
C6	Capacitor cerámico 100nF
C8	Capacitor cerámico 100nF
C7	Capacitor cerámico 470nF
U1	Micro push botton
U2	Conector TRTG-02
U4	Circuito integrado PIC18F4550
U3	Circuito integrado AD7248
U5	Cristal de cuarzo 20M
U6	Conector USB_B
U7	Circuito integrado IA0512S
U8	Conector EIS2
U9	Conector EIS3
U10	Micro push botton
CON1	Conector EIS6
D1	Led rojo
R1	Resistencia de carbón 10k
R2	Resistencia de carbón 10
R3	Resistencia de carbón 470
R4	Resistencia de carbón 560
R5	Resistencia de carbón 10k

Referencias

- [1]. Analog Devices. (2012) *Low Cost, Low Power, True RMS-to-DC Converter*. Analog Devices, USA, 20 pp.
- [2]. Analog Devices. (2011) *LC2MOS 12-Bit DACPORTs*. Analog Devices, USA, 16 pp.
- [3]. Aranda AR. (2009) *Amplificadores operacionales Rectificador*. Universidad de Granada, España 15 pp.
- [4]. Custom Computer Services. (2007) *PCD C Compiler Reference Manual*. Custom Computer Services, USA, 319 pp.
- [5]. JVR. (2013) "PIC Calculadora USB" en Mucho trasto. [On line]. Available at: <http://www.muchostrasto.com/PICCalculadoraUSBC++.php>. [Accessed on Sept 12, 2013].
- [6]. Kepco. (2013) "Power supplies" en Kepco. [On line]. Available at: <http://www.kepcopower.com/> [Accessed on Sept 12, 2013].
- [7]. Kruglinski DJ, Shepherd G y Wingo S. (1988) *Programming Microsoft Visual C++*. Microsoft Press, USA, 1153 pp.
- [8]. Microchip. (2007) *PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet*. Microchip, USA, 430 pp.
- [9]. Microchip. (2007) *PIC18F2458/2553/4458/4553 Data Sheet*. Microchip, USA, 46 pp.
- [10]. Xperts in power. (2011) *1W 1A series dc to dc converters*. Xperts in power, USA, pp 1.