

Capítulo 5

Diseño e implementación

5.1 Diseño de la Unidad de Control

Sobre la base de la estructura general que se muestra en la figura 5.1 se diseña cada etapa que la compone.

El estricto control de tiempos y frecuencia de los pulsos es controlado por un microcontrolador PIC18F452 el cual es el corazón de la unidad de control, además de ser una magnífica solución para ahorrar espacio y costo en esta aplicación de instrumentación biológica. Las tareas del microcontrolador: son la obtención de los parámetros del tratamiento, leer el voltaje indicado por el usuario, generar los pulsos necesarios para el tratamiento y al finalizar el proceso emitirá una señal auditiva y mostrará los parámetros de tratamiento realizados.

Las especificaciones de diseño de los pulsos son las siguientes:

- ✓ Ancho de pulso desde 1 ms hasta 999 ms con resolución de 1 ms.
- ✓ Separación entre pulsos desde 50ms hasta 950 ms con resolución de 50 ms.
- ✓ Número de pulsos de 1 hasta 99 pulsos.

Para esto y de acuerdo a lo visto en los capítulos anteriores se desarrolló el hardware necesario y cuyo esquema eléctrico se muestra en la figura 5.1.

El PIC18F452 de 10 MIPS (Millones de Instrucciones Por Segundo) con 40 Terminales y tecnología CMOS, dispone de memoria flash y un convertor A/D de 10 bits, espacio para código de programa de 16kbytes, 32 kbytes de RAM, 256 bytes de memoria EEPROM, comunicación SPI™, I²C™ y AUSART con un consumo mínimo de corriente, funciones "power-on reset" (POR) y watchdog programable y un amplio número de herramientas de desarrollo y notas de aplicación. Todas estas características lo convierten en un sistema ideal para la instrumentación, monitorización y adquisición de datos biológicos.

Los conectores K1 y K7 permiten la conexión al display LCD la cual está conectada al puerto D del microcontrolador en modo de 4 bits, lo que requiere que los datos sean enviados dos veces usando el separador superior del puerto.

De igual forma los conectores K2 y K8 ofrecen el acceso al puerto B para la conexión de un teclado matricial de 4x4, se utilizan resistores de jalón internas del microcontrolador para establecer el nivel lógico de las teclas.

El microcontrolador puede ser programado en la propia tarjeta utilizando el conector K3 ICSP.

El conector K4 es la unión entre la unidad de control y la unidad de energía, el cual recibe el valor del voltaje censado y entrega los pulsos del tratamiento introducido.

En las figuras 5.2 (a) y 5.2 (b) se muestra las caras inferior y superior de la tarjeta de control dedicada al sistema de electroporación y en la figura 5.3 se observa la tarjeta ya ensamblada lista para ser utilizada en el sistema.

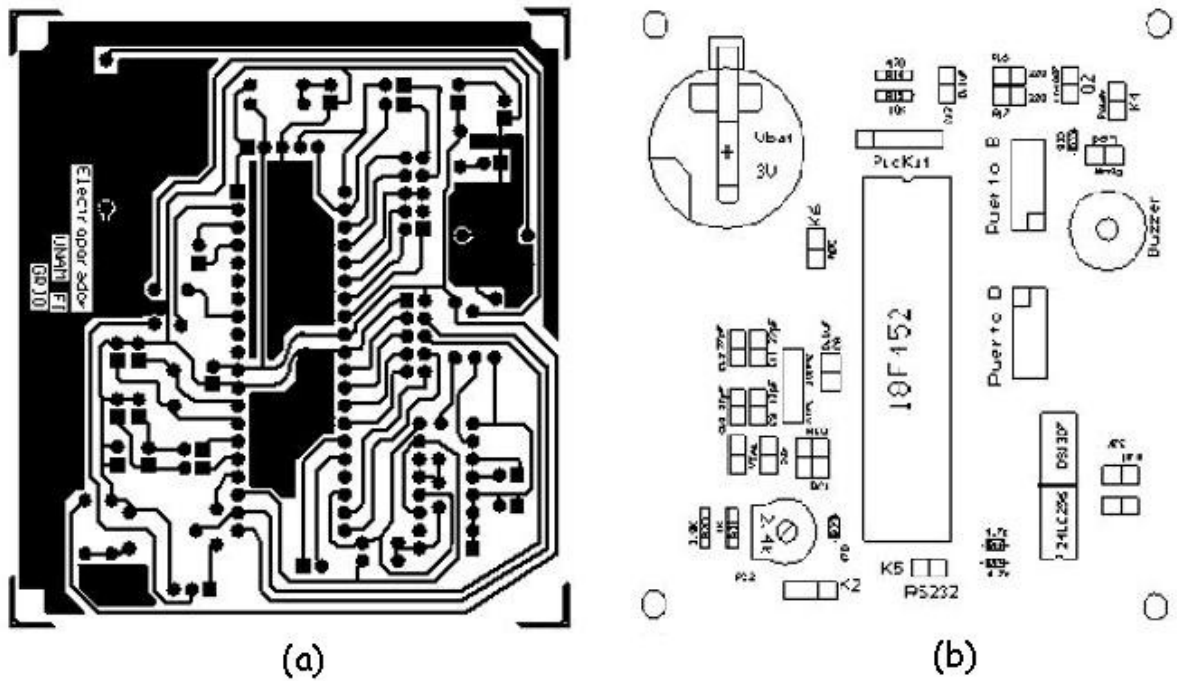


Figura 5.2 (a) “PCB de la placa de Control” (b) “Cara de componentes de la placa de Control”

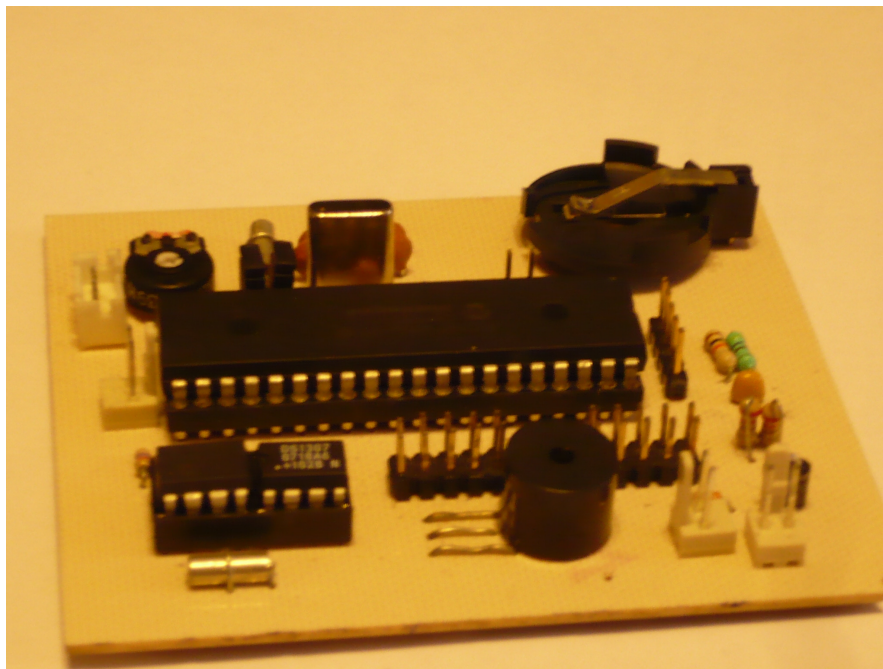


Figura 5.3 “Vista de la placa de control”

5.2 Diseño de la Unidad de Potencia

Muchas cuestiones se han planteado durante el proceso de diseño, principalmente por el nivel de energía que participa y debido a la necesidad de seguridad asociados con un instrumento de laboratorio. Gracias a la naturaleza de la electroporación reversible, la generación de pulsos cuadrados a 80 V es fácil de lograr, no así como lo requiere el diseño de uno de muy alto voltaje para un electroporador irreversible. El enfoque utilizado para el diseño de la unidad de potencia es a través de una fuente lineal regulada, cuyo componente principal es el CI TL783, por razones de seguridad en caso de falla se utiliza un transistor 2N2907 que limita la corriente máxima. Dado que las especificaciones permiten una corriente máxima de 0.7 A, se utilizará para el control de la corriente entregada a cada pulso un transistor de paso TIP 32C.

El sistema controla la generación de pulsos por medio de un dispositivo optoacoplador MOC 3031 y un transistor driver PN2222. Ambos dispositivos tienen diferentes propósitos, el primero está directamente manejado por el microprocesador acoplado el pulso TTL a la unidad de potencia y el segundo es utilizado para manejar un transistor MOSFET de potencia IRF110 que conmuta de estado de acuerdo a las ordenes del microcontrolador.

Para el diseño se consideró el uso de dispositivos de aislamiento para los circuitos que manejan altos voltajes; para controlar el voltaje de entrada se utilizó un transformador que aísla cualquier falla de la toma de corriente hacia la unidad de potencia. Para alimentar a la carga y a la circuitería interna del regulador, es necesario un voltaje de entrada no mayor a 84 volts.

En base que
$$V_p = \frac{V_{rms}}{\sqrt{2}} = \frac{84}{\sqrt{2}} = 59.396 \text{ Volts}$$

Así que debemos escoger un transformador a 60 V y 1 A de corriente.

A continuación se muestra el procedimiento y las ecuaciones básicas de diseño para el cálculo de una fuente práctica reguladora de voltaje y limitadora de corriente. Se supone que la fuente de potencia de ca rectificadas es la salida de un rectificador puente con una capacitancia de filtro de 2200 μ Farads; aislada de la línea por el transformador escogido.

Las condiciones de funcionamiento deseadas se eligieron así:

Condiciones de entrada

Voltaje de entrada:
$$V_i = 127\sqrt{2} \approx 180 \text{ V}$$

Variación en el voltaje de entrada: 123-127 VAC

Condiciones de Salida

Voltaje de salida $V_o = 2-80 \text{ VDC}$

Corriente de salida máxima $I_{o(max)} = 0.7 \text{ A}$

El suministro de corriente de salida será dado por un transistor serie externo de paso. Esto es para proteger al regulador de la disipación excesiva de potencia ocasionando que se dañe y donde la figura 5.8 representa su configuración.

Inicialmente el transistor debe satisfacer los siguientes requerimientos:

$$V_{CE} \geq V_{in(reg)} - V_{out(min_reg)} \quad (\text{Ec. 5.1})$$

$$I_{C(max)} \geq I_{o(max)} \quad (\text{Ec.5.2})$$

Donde $V_{in(reg)}$ es el voltaje de alimentación de entrada, $V_{out(min_reg)}$ es el voltaje de salida mínima del regulador, I_C el régimen máximo de corriente de colector e $I_{o(max)}$ la corriente de salida máxima. Se ha elegido un transistor TIP 32C como transistor de paso por que satisface estas condiciones

$$100 \geq (84-2=82) \text{ V}$$

$$3 \text{ A} \geq 0.7 \text{ A}$$

Se elige un transistor Q_L limitador de corriente, el régimen de voltaje máximo colector-emisor de este transistor V_{CEO} debe ser mayor que, $R_{SC(I_{o(max)})} > V_{BE(ON)Q2}$. El transistor 2N2907 es adecuado como dispositivo limitador de corriente porque satisface el siguiente requerimiento:

$$60 > 2.66$$

En base a la ecuación 3.8 del capítulo 3 la resistencia de sensado RSC es:

$$R_{SC} = R_2 = \frac{1.3}{0.7} = 1.857\Omega, 1\text{W}$$

Para asegurar el funcionamiento del regulador se escoge una $I_{reg(max)}=150\text{mA}$, el transistor de paso Q_1 empieza a funcionar cuando se alcanza su $V_{BE(ON)}$, y haciendo uso de las ecuaciones 3.6 y 3.7 del capítulo 3.

$$R_B = R_1 = \frac{1.8}{150\text{mA} - \frac{700\text{mA}}{25}} = 14.75 \Omega$$

$$I_{sal(max)} = 25(150\text{mA} - \frac{1.8\text{V}}{14.75\Omega}) = 0.69915 \text{ A}$$

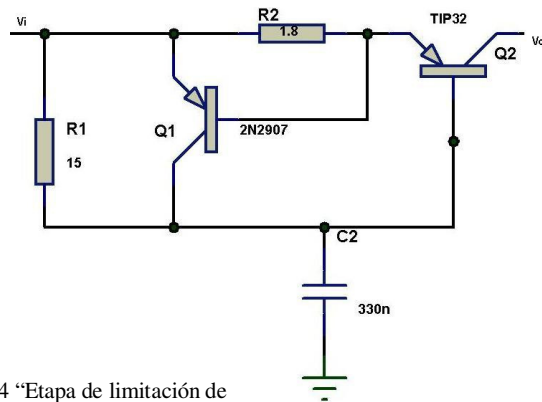


Figura 5.4 "Etapa de limitación de corriente y amplificación de corriente"

El CI TL783 es un regulador de alto voltaje ajustable de 3 Terminales de Texas Instruments, con un voltaje de salida desde (1.27-127) V. La referencia interna de voltaje (V_{ref}) es de 1.25V entre la Terminal de salida y el de ajuste, este voltaje se crea a través de R_1 y provoca una corriente constante a través de R_1 y el resistor de ajuste R_2 originando una salida de voltaje descrita por la siguiente ecuación:

$$V_o = 1.27 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (\text{Ec. 5.1})$$

De acuerdo a las condiciones de salida el voltaje máximo deseado en el sistema es de 80 volts, sustituyendo y despejando la relación de resistores de la ecuación 5.1 se tiene que:

$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{80}{1.27} - 1 \right) = 61.992$$

R2 es proporcional a R1 por un factor prácticamente de 62, para el ajuste del voltaje del regulador se propone que R2 sea un potenciómetro de alambre de 10 kΩ a 1W, debido a la potencia disipada entre sus bornes. De esta forma si R2=10 kΩ;

$$R_1 = \frac{R_2}{61.992} = \frac{10k}{61.992} = 161.311\Omega$$

No existe un valor comercial para este valor de resistencia por lo que se usará un arreglo de resistores en serie de tal forma que se alcance este valor. Entonces:

$$R_1 = R_3 + R_4 = 150 + 12 = 162 \Omega$$

De igual forma el voltaje mínimo deseado de salida es de 2 volts, así que sustituyendo y despejando la relación de resistores de la ecuación 5.1 se tiene que:

$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{2}{1.27} - 1 \right) = 0.5748$$

De esta forma el valor de $R_2 = 0.5748R_1$, R1 es el valor obtenido Dado que R1=161.311Ω

$$R_2 = 0.5748 \cdot (161.311\Omega) = 92.721\Omega$$

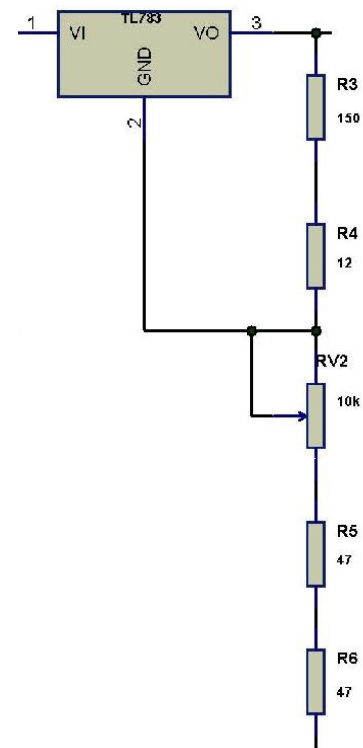


Figura 5.5 “Configuración del Regulador TL783 con un voltaje de salida de 2-80V”

De igual forma no existe un valor comercial para este valor por lo que se usara un arreglo de resistencia en serie de tal forma que alcancemos este valor, entonces:

$$R_1 = R_5 + R_6 = 47 + 47 = 94 \Omega$$

Por otra parte es necesario acondicionar la señal para que la UC lea los parámetros del voltaje, por lo que es necesaria una etapa de acondicionamiento de la señal. Para esto, se tomará una muestra del voltaje de salida a través de un divisor de voltaje, el cual reducirá el voltaje máximo de salida de 80 V al voltaje máximo permitido a la entrada del microcontrolador de 5 V.

$$V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i$$

$$\frac{80}{5} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

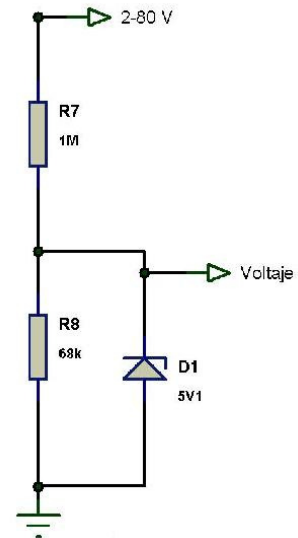
$$R_1 = R_2(16 - 1)$$

$$R_1 = R_2 \cdot 15$$

Considerando un $R_2 = 68 \text{ k}\Omega$, entonces:

$$R_1 = 68 \text{ k}\Omega \cdot 15 \approx 1 \text{ M}\Omega$$

Figura 5.6 "Adecuación del voltaje de salida hacia la UC"



En caso de un mal funcionamiento de la unidad de potencia el cual origine un voltaje excesivo a las consideraciones de diseño del divisor de voltaje, se añade un diodo zener de 5.1 V como medida de protección hacia el microcontrolador.

Con el fin de evitar la destrucción de la etapa de control como consecuencia de las sobretensiones que podrían aparecer sobre la línea de alimentación de AC, se ha decidido equipar este interfase con una alimentación de 5 V aislada (U2) y un optoacoplador (U3).

Dado que el transistor driver no demandará más de 10 mA la fuente se diseña con los siguientes datos

$$V_o = R_L I_o$$

$$R_L = \frac{V_o}{I_o} = \frac{5V}{10mA} = 500\Omega$$

Por medio de un divisor de voltaje

$$V_o = \frac{R_2 \parallel R_L}{R_1 + R_2 \parallel R_L} V_i$$

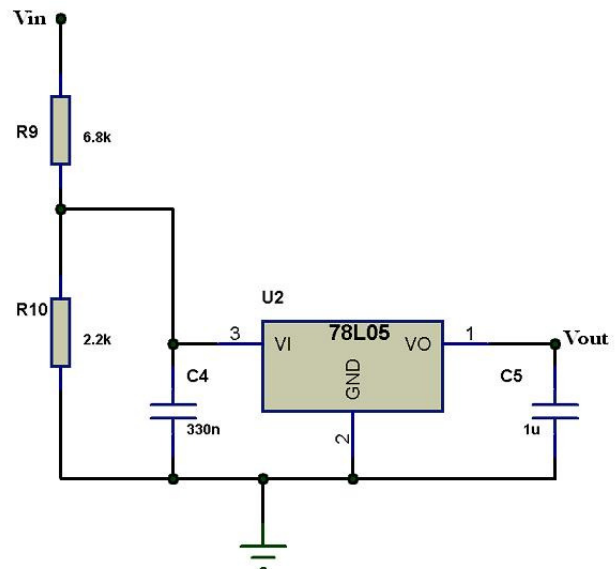


Figura 5.7 "Fuente de alimentación a 5V que alimenta la etapa de acoplación"

Despejando el denominador

$$R_1 + R_2 \parallel R_L = \frac{V_i}{V_o} R_2 \parallel R_L \quad \Rightarrow \quad R_1 = (R_2 \parallel R_L) \cdot \left(\frac{V_i}{V_o} - 1 \right)$$

$$R_1 = (R_2 \parallel 500\Omega) \cdot \left(\frac{84}{5} - 1 \right)$$

Si $R_2 = R_{10} = 2.2 \text{ k}\Omega$

$$R_1 = (2.2 \text{ k}\Omega \parallel 500\Omega) \cdot (16)$$

$$R_1 = R_9 = 6.518 \text{ k}\Omega, 1\text{W}$$

Por último el manejo de corriente al embrión será controlada por un transistor controlado por una corriente-límite de base y una fuente de voltaje. Como se explicó al inicio, un transistor driver PN2222 será directamente manejado por el microprocesador acoplado el pulso TTL a la unidad de potencia y un transistor MOSFET de potencia IRF110 conmutará el estado de la carga de acuerdo a las ordenes del microcontrolador.

Para esto, ambos transistores trabajarán en las zonas de corte y saturación que los definen como interruptores electrónicos.

Para ubicar al transistor Q_4 en la zona de saturación es necesario romper el voltaje de ruptura $V_{GS(TH)}$, haciendo uso de la ecuación 3.17 del capítulo 3.

$$R_C \approx \frac{v_i}{I_C} = \frac{4\text{V}}{2\text{mA}} = 2\text{k}\Omega$$

Como no existe valor comercial de $2 \text{ k}\Omega$ se utilizará el valor más cercano de $1.8 \text{ k}\Omega$.

Y una resistencia de polarización R_{11} de $150 \text{ k}\Omega$ como se muestra en la figura.

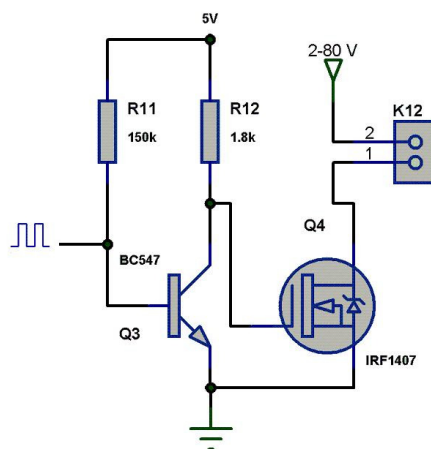
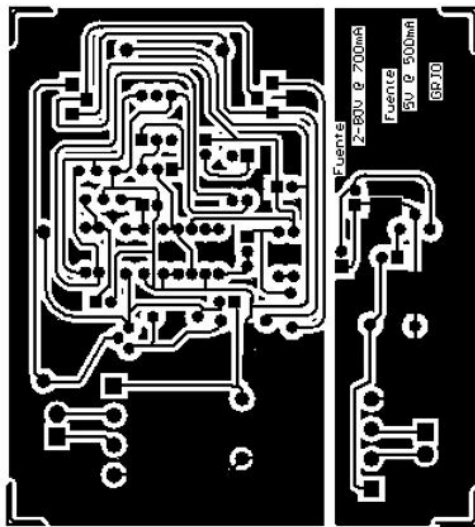
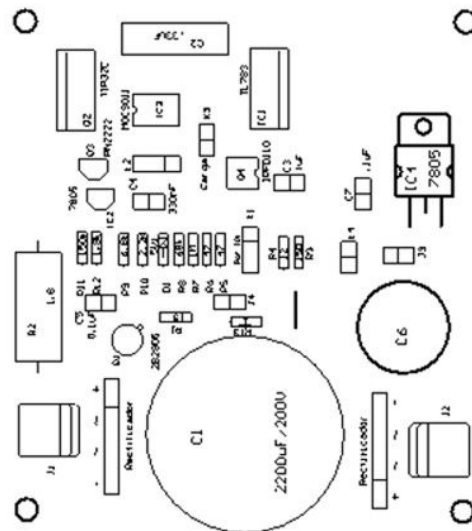


Figura 5.8 “Conexión a la carga”



(a)



(b)

Figura 5.10 (a) “PCB placa de la Unidad de Energía” (b) “Cara de componentes del PCB de la UE”

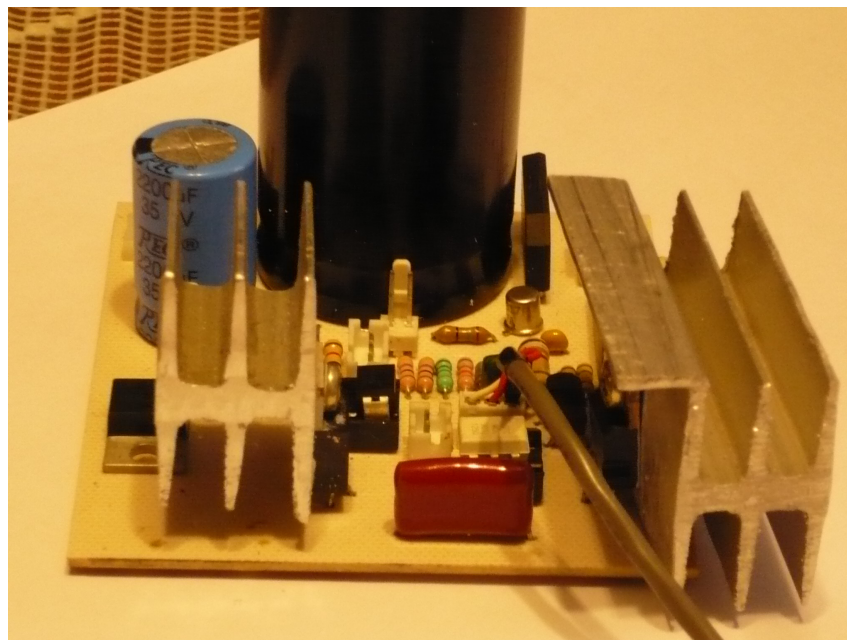


Figura 5.11 ” Vista de la unidad de potencia”

Por último las etapas de control, potencia e interfase humana son ensambladas como todo un sistema para lo cual se adecua una caja de prototipos de PROKIT como se muestra en las figuras 5.12.a y 5.12.b para ser presentado como el nuevo sistema de electroporación al Laboratorio de Medicina Gnómica y Toxicología Ambiental.



Figura 5.12.a “Sistema de electroporación ensamblado en una caja de proyectos PROKIT”

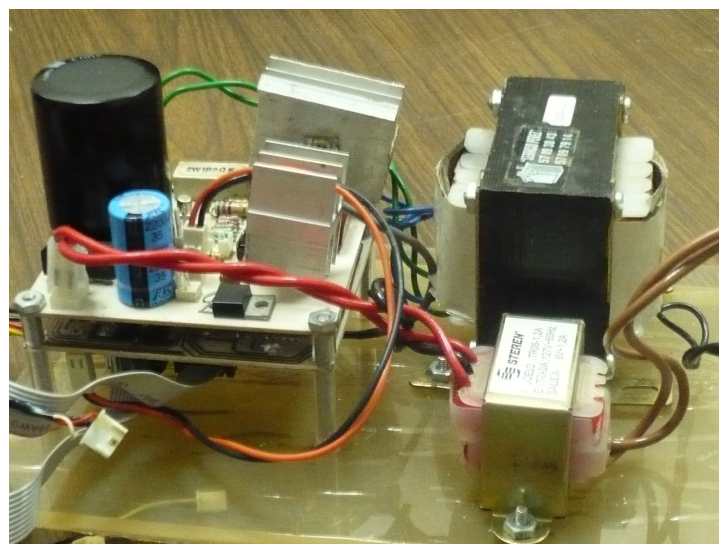


Figura 5.12.b “Sistema de electroporación ensamblado”