

Plataforma EMS Programable

Prototipo Inicial

Erick González García
Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica

erick.gonzalez.garcia@iberopuebla.mx

Reunión Virtual: <https://meet.google.com/tsq-hsut-evb>

Introducción:

Un sistema de electroestimulación muscular o EMS (por sus siglas en inglés), es un dispositivo que permite estimular de forma controlada mediante el uso de pulsos eléctricos, los tejidos musculares de un ser humano o animal, aprovechando la naturaleza eléctrica de los impulsos nerviosos a los que dichos músculos responden. Estos dispositivos aplicados de forma adecuada y acompañados de prácticas complementarias, resultan altamente eficaces para la rehabilitación de tejido muscular, así como en la reducción del dolor derivado de contusiones o contracturas.

Resumen:

Mediante este proyecto se presenta una plataforma innovadora que flexibiliza al máximo el potencial de las terapias de electroestimulación muscular, la cual permite ser programada para generar diferentes tipos de onda, con amplio rango de intervalos y voltaje, así como un control preciso sobre dichos valores, midiendo, además, de forma automática si así se requiere, la impedancia corporal entre los electrodos conectados. El sistema es completamente configurable mediante software, sin la necesidad de alterar físicamente el dispositivo, pudiendo además enlazarse con una aplicación móvil mediante el protocolo Bluetooth® o de forma alámbrica a una computadora mediante USB para así poder controlar en tiempo real cada una de las características dentro del sistema y acceder a todas sus prestaciones.

Objetivos:

- Diseñar un circuito capaz de generar múltiples patrones de pulsos eléctricos orientados a su uso en electroestimulación muscular.
- Implementar control por software para el control de dicho circuito.
- Conseguir un producto compacto y portátil de amplias prestaciones.

Características Principales del Dispositivo:

Los sistemas EMS compactos disponibles en el mercado, no poseen el nivel de sofisticación operativa que el dispositivo aquí propuesto es capaz de conseguir. En un formato reducido este dispositivo incorpora hardware cuyo comportamiento es altamente flexible. Considerando las necesidades de portabilidad y gran flexibilidad, así como las pruebas realizadas en laboratorio con un prototipo funcional, se elaboró el diseño mostrado en las figuras 1 y 2, para las que a continuación se describen la ubicación y función de las partes principales del dispositivo.

1 Microcontrolador ATmega 328p:

Circuito integrado encargado de controlar mediante el software que en él se programe, la completa operación del dispositivo. Este microcontrolador es común en la industria, por lo que resulta fácilmente programable y fácil de mantener. Bajo su arquitectura de 8 bits, es capaz de almacenar hasta 32KB de datos de programa y operar a 20 MIPS a 20 MHz.

2 Transformador toroidal de alta frecuencia:

Elemento principal del sistema de generación de alto voltaje; dicho transformador es elaborado de forma manual y específica para su aplicación en este proyecto.

Se consideró el transformador para operar a alta frecuencia (>23kHz), permitiendo que este fuese de tamaño reducido ($r \leq 22\text{mm}$), tuviese una mayor eficiencia que los transformadores E-I convencionales, y no introdujera rizados, sensibles por el usuario en las señales de pulsos a la salida. Así también, la alta frecuencia operativa, permite que no se produzcan sonidos perceptibles y molestos al oído humano mientras opera.

3 Regulación de voltaje de alta precisión:

Sección que, controlada por el microcontrolador, permite ajustar con precisión el voltaje que será entregado a la entrada del transformador, y por tanto, regula la salida de alto voltaje que será aplicada al paciente, esto, en un rango de 30 - 250VDC. La implementación de un control PID en el microcontrolador permite además control de precisión en tiempo real.

4 Medición de resistencia en la piel:

Consta de una serie de diodos y un divisor de tensión incompleto, cuyo resistor R1 es de un valor conocido y de alta precisión. El microcontrolador aplica un pequeño voltaje de 5V al electrodo a medir e interpreta la salida de dicho circuito divisor de tensión al completarse el divisor con la resistencia entre los electrodos R2 (piel del paciente) y calcula dicho valor en base a la fórmula:

$$R_2 = \frac{V_{out} * R_1}{V_{in} - V_{out}}$$

Si así se desea y según se programe, el sistema puede calcular y ajustar automáticamente un voltaje adecuado para aplicar una intensidad deseada en el cuerpo del paciente, dada la resistencia medida entre dos electrodos.

5 Módulo Bluetooth®:

Módulo incorporado al sistema que permite comunicación inalámbrica con cualquier dispositivo compatible con el protocolo Bluetooth 4.0 @.

6 Salidas de electrodos:

Permiten conectar con facilidad los electrodos que serán colocados en el paciente al dispositivo, esto mediante 4 salidas de 3.5mm controladas independientemente por cuatro relevadores de estado sólido.

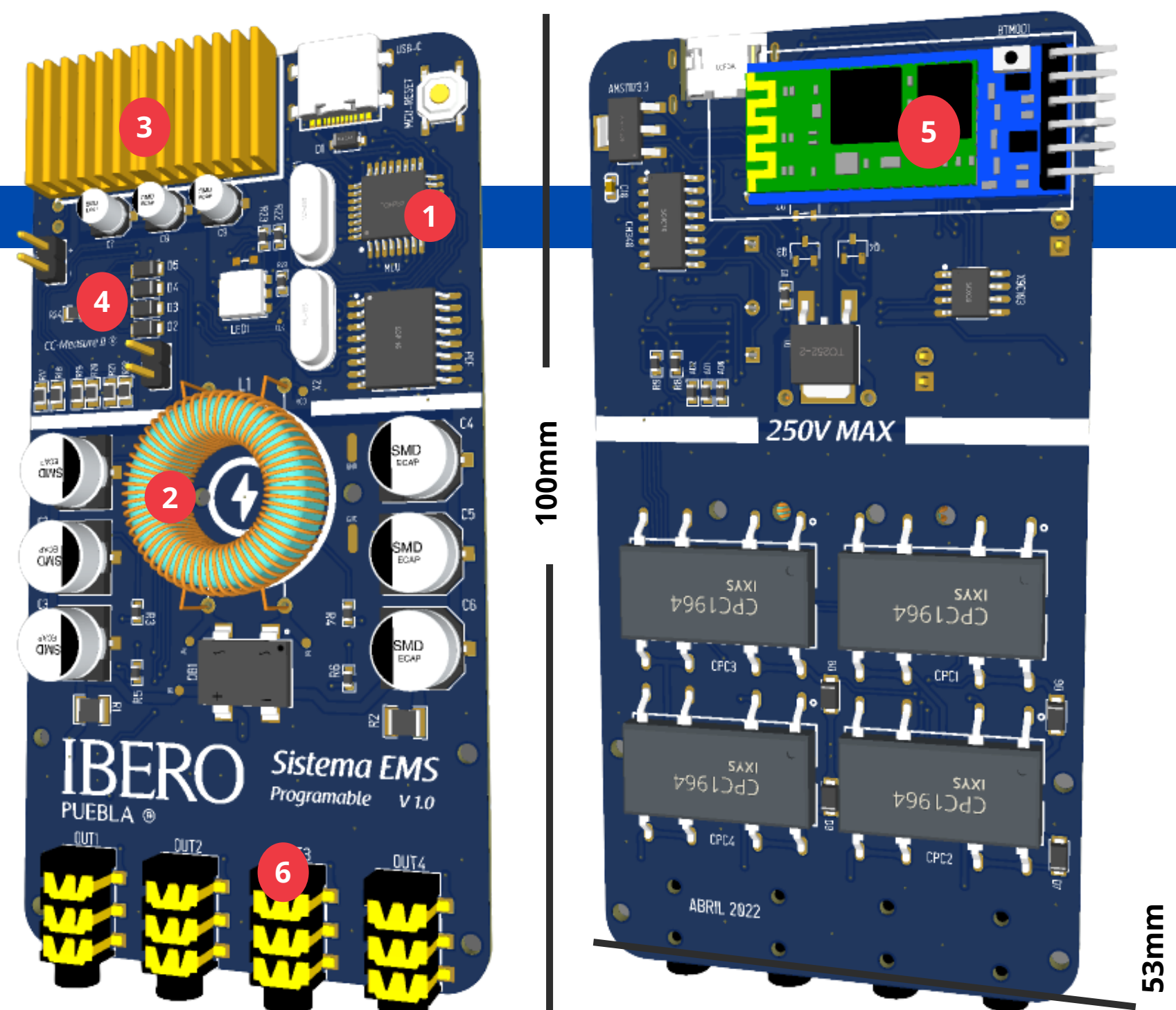


Figura 1. Vista Frontal del PCB del dispositivo. (Modelo 3D).

Figura 2. Vista Trasera del PCB del dispositivo. (Modelo 3D).

Resultados Preliminares del Diseño:

El sistema es capaz de generar distintas formas de onda, dependiendo del software que se incorpore en el microcontrolador. Estas ondas pueden ajustarse en amplitudes desde los 30 VDC hasta el máximo operativo de 250 VDC. La variación directa reconocida de la regulación de voltaje es igual a +4V.

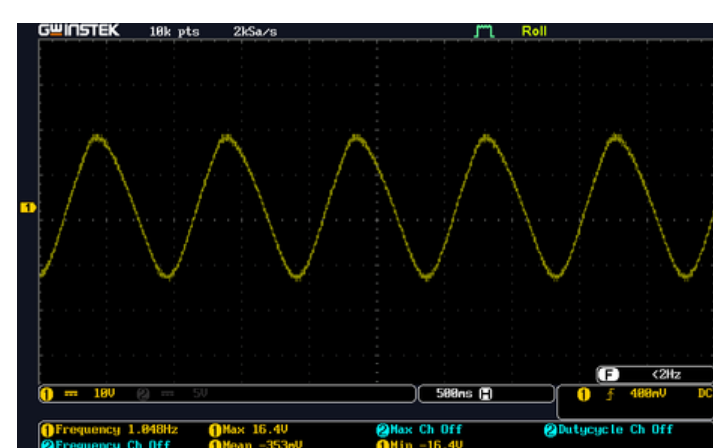


Figura 3. Onda sinusoidal generada.

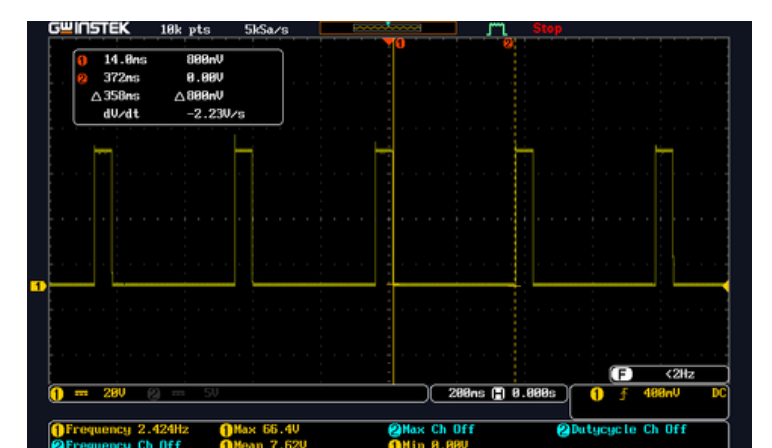


Figura 4. Pulsos cuadrados de duración e intervalo variable.

Al conectarse el sistema a 5 sujetos de prueba, de entre 19 y 24 años estos indican no percibir sensaciones incómodas ni la habitual "sensación de electrocución", presente al aplicar simplemente corriente alterna.

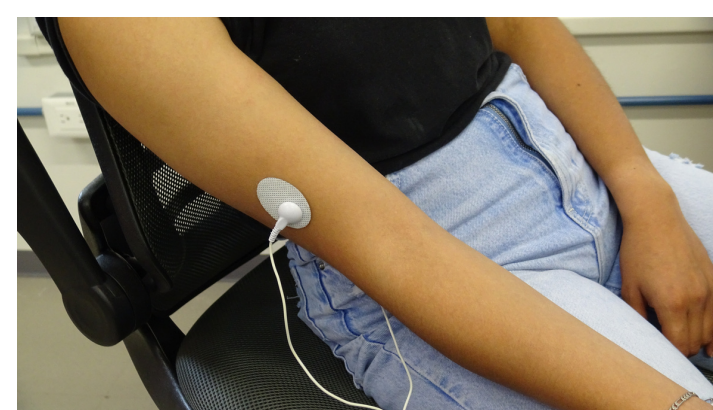


Figura 5. Electrodo conectado en brazo de sujeto de prueba.



Figura 6. Electrodo conectado en pierna de sujeto de prueba.

Por otro lado, el sistema de medición de resistencia de la piel es completamente funcional, dando resultados en un promedio de 6 segundos bajo el algoritmo actualmente implementado. La variación porcentual de la lectura, comparada con la realizada a través de un multímetro (considerada como valor real) es de +- 7%. El dispositivo, a máxima operación (máximo rango de voltaje), consume 10.4W a un voltaje nominal de alimentación de 13 VDC. Cuando el dispositivo está en espera tiene un consumo de solamente 1.3W haciéndolo ideal para implementarse en conjunto con una batería recargable que complete el perfil portátil.

Conclusiones:

El sistema en su etapa de prototipado funciona dentro de lo esperado, sin embargo es sin duda posible mejorar su diseño. La incorporación de más y mejores características no está, por supuesto, fuera de consideración.

La precisión de la lectura de resistencia por su parte, así como de la regulación de voltaje puede ser mejorada, incorporando algoritmos mejor refinados, y de ser necesario, un cambio en el hardware utilizado dentro del dispositivo, considerando también la experimentación con más tipos de electrodos además de los implementados (electrodos de gel).

Así también, y a pesar de que se ha comprobado ya la viabilidad y correcto funcionamiento de la comunicación Bluetooth®, se encuentra pendiente el desarrollo del software capaz de controlar de forma inalámbrica el sistema EMS mediante un teléfono inteligente u tableta electrónica.