

Tabla de Contenido

	Pág.
1. Introducción	2
1.1 Descripción de los dispositivos	2
1.2 Funcionamiento	3
1.3 Beneficios	4
2. Instrucciones de uso	5
2.1 Uso del prototipo de guante	5
2.2 Uso del prototipo auricular	7
2.3 Uso de la aplicación móvil	7
3. Seguridad	8
3.1 Contraindicaciones	8
3.2 Advertencias	9
3.3 Recomendaciones	9
3.4 Mantenimiento y cuidados	9
3.5 Limpieza	10
4. Información técnica	11
4.1 Información de los módulos e integrados electrónicos	11
4.2 Especificaciones de conexiones inalámbricas	16

1. Introducción

BGFES (Bionic Glove with Functional Electrical Stimulation o en español Guante Biónico con Estimulación Eléctrica Funcional) es el conjunto de dos prototipos de dispositivos electrónicos, un guante biónico y un auricular, con el adicional de una aplicación móvil, desarrollados para la rehabilitación de mano con las técnicas de Estimulación Eléctrica Funcional (FES).



Fig1. Sistema BGFES

1.1 Descripción de los dispositivos

El prototipo de guante biónico cuenta con el circuito principal, generador de las señales a intervenir sobre los músculos, más su sistema de encendido y carga, en un encapsulado ergonómico integrado al diseño de soporte sobre brazo y mano, guante ambidiestro, que adicionalmente, cuenta con cuatro electrodos superficiales no fijos que se ubicarán dependiendo del brazo del paciente muy cercano a los puntos motores de los músculos flexores y extensores de los dedos, que permitirán a las señales actuar y provocar el movimiento deseado.



Fig2. Prototipo de guante biónico sobre el paciente



Fig3. Prototipo de guante biónico

El prototipo de dispositivo auricular se basa en un diseño inalámbrico cómodo, que integra el sensor inercial con su sistema de alimentación y carga para permitir el control sobre el prototipo de guante biónico, activando la señal solo sobre el par de electrodos deseados.



Fig4. Prototipo de dispositivo auricular

1.2 Funcionamiento

El prototipo BGFES para rehabilitación de mano, emplea las técnicas específicas y los parámetros de la estimulación eléctrica funcional, interviniendo al musculo deseado, los extensores y flexores de mano, con una señal bifásica cuadrada de una frecuencia entre 10 y 40 Hz, y un ancho de pulso entre los 25 y 400 μ s; variables que se ajustan desde el aplicativo móvil; se recomienda cuando no se conocen los parámetros necesarios, empezar con los

valores mínimos e ir variando hasta obtener la contracción deseada sobre el músculo. Con los parámetros definidos de acuerdo a la condición del paciente, los auriculares determinarán, con la flexión lateral de cabeza a la derecha o izquierda, cuál par de electrodos del guante se activarán y provocará finalmente el movimiento deseado de la mano, flexión de la mano o extensión de la mano respectivamente.

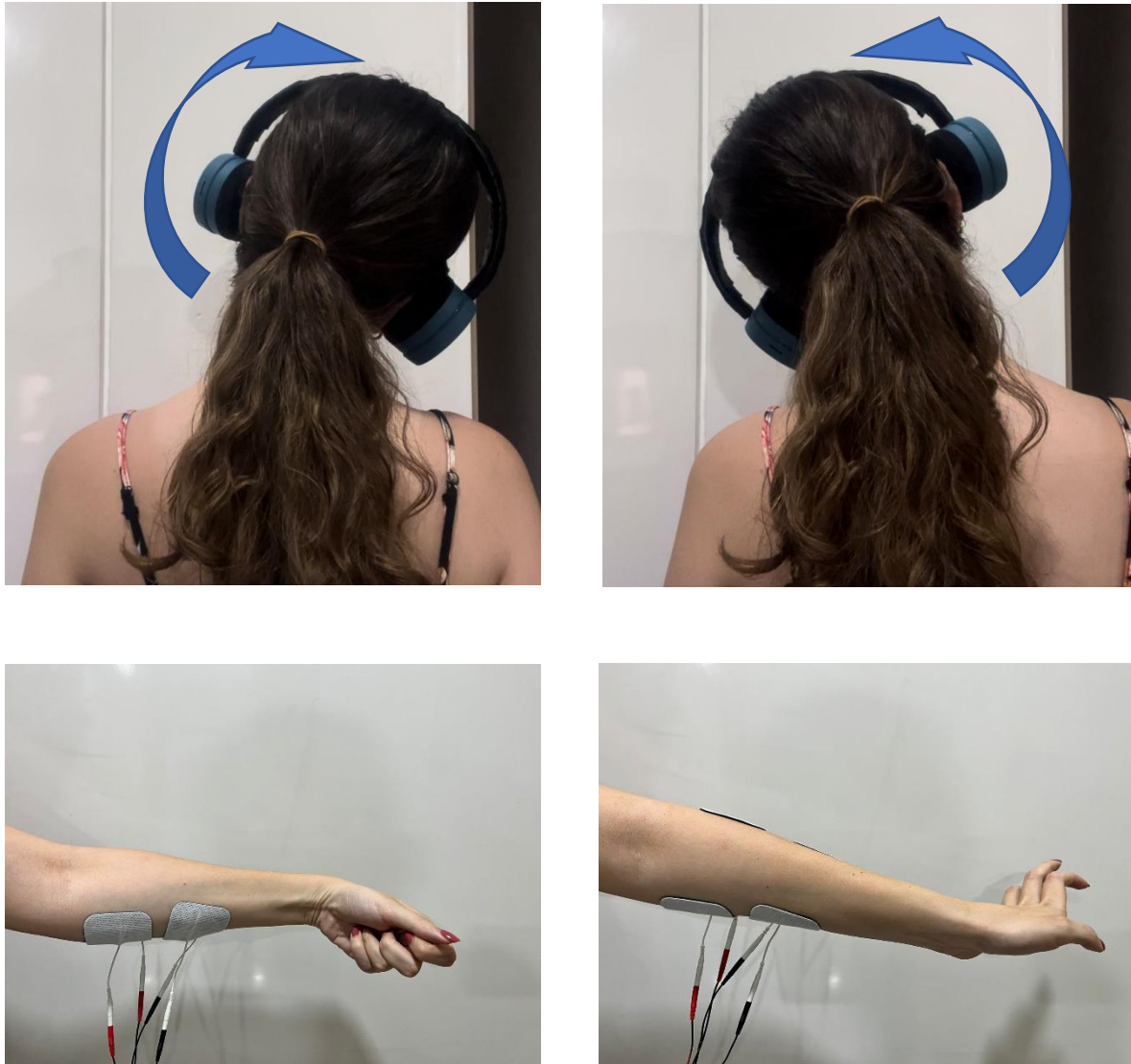


Fig5. Imágenes de relación entre el movimiento de la cabeza con el movimiento de la mano

1.3 Beneficios

El prototipo BGFES pretende, en pacientes con hemiplejía o parálisis de miembros superiores debido a accidentes cerebrovasculares, lesión cerebral traumática o adquirida:

- Generar el movimiento que se ha perdido de la mano para facilitar y/o permitir tareas diarias.

- Mantenimiento y/o aumento del rango de movimiento de la mano.
- Prevención y/o reducción de la atrofia por desuso de la mano.
- Aumento de la circulación sanguínea local.
- Reducción del espasmo muscular.
- Reeducación muscular.

2. Instrucciones de uso

El sistema compuesto por el prototipo de guante biónico, el prototipo auricular inalámbrico y la aplicación. Tiene un orden de activación específico, luego de la correcta ubicación de los dispositivos, que consiste en:

- Descargar correctamente la aplicación móvil y “conectar”.
- Activar el prototipo de guante y auricular respectivamente con los interruptores físicos.
- Definir los parámetros de frecuencia y ancho de pulso con los *sliders*.

Finalmente, se podrá hacer uso adecuado de los dispositivos BGFES.

Nota: Si no hay parámetros definidos desde la aplicación, no va a haber pulsos.

2.1 Uso del prototipo de guante

El guante es ambidiestro, por lo tanto, lo primero es definir sobre cuál extremidad se va a trabajar y definir la ubicación de los electrodos correctamente, se recomienda ubicar cada par de electrodos cerca al punto motor del músculo flexor de los dedos (en la parte superior izquierda sobre la región anterior del antebrazo) y otro par en el músculo extensor de los dedos (en la parte súper derecha de la región posterior o la cara del antebrazo) con ayuda del personal médico. Posterior a esto, se ubica el guante sobre muñeca y brazo como se presenta.



Fig6. (Izq.) Electrodo para estimular el músculo flexor de dedos, (Dcha.) Electrodo para estimular el músculo extensor de dedos, ambos sobre el antebrazo derecho



Fig7. Guante ubicado y ajustado sobre el antebrazo derecho

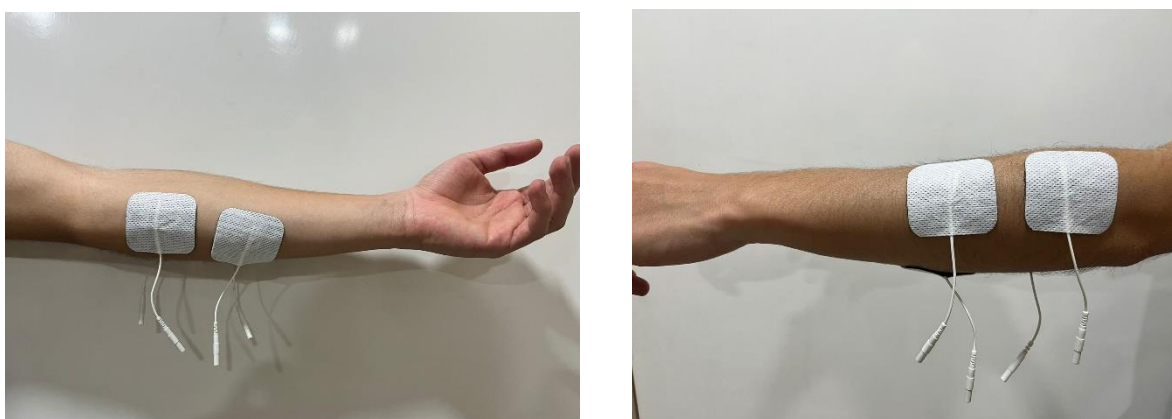


Fig8. (Izq.) Electrodo para estimular el músculo flexor de dedos, (Dcha.) Electrodo para estimular el músculo extensor de dedos, ambos sobre el antebrazo izquierdo



Fig9. Guante ubicado y ajustado sobre el antebrazo izquierdo

Después de ubicar de guante como se ilustró, se puede encender con el interruptor a uno de los costados del guante, derecha o izquierda dependiendo de la extremidad a tratar.

2.2 Uso del prototipo auricular

El auricular debe ubicarse sobre ambos oídos, con la banda centrada sobre la parte superior del cráneo, logrando que sea casi perpendicular a los hombros y asegurándose que el auricular sobre el oído izquierdo sea el que tiene el interruptor de encendido y apagado, como se observa.

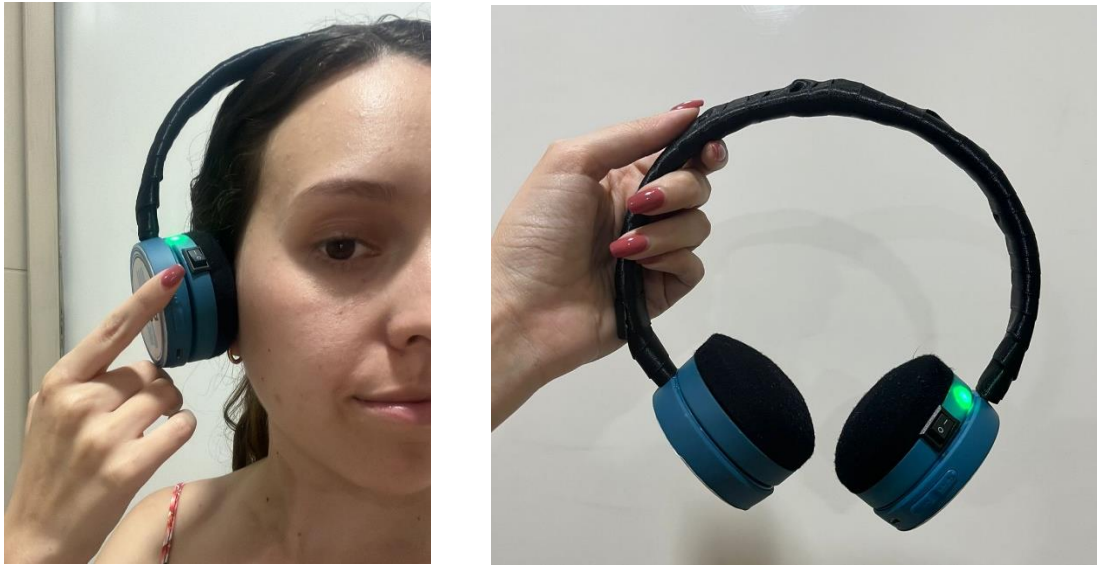


Fig6. Ubicación del prototipo auricular y su indicador de encendido color verde.

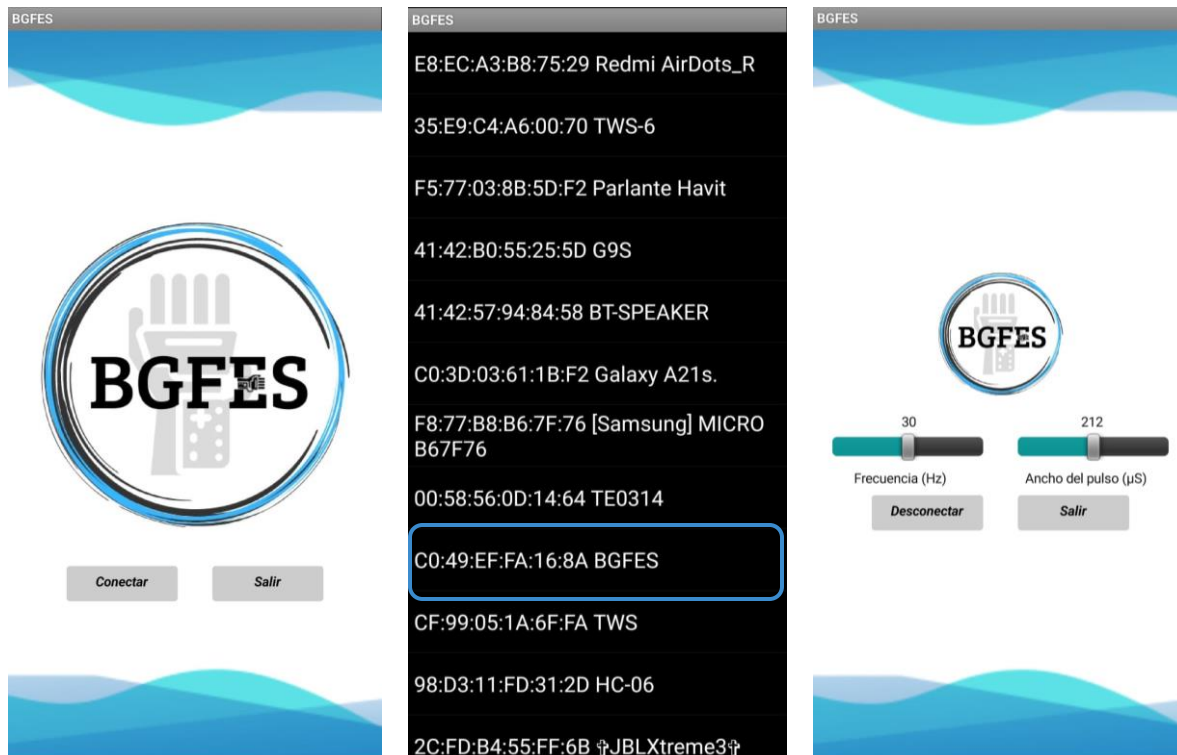
Después de ubicar el prototipo auricular como se ilustró, se puede encender con el interruptor en la parte posterior del auricular derecho y se observará que se enciende un indicador verde.

2.3 Uso de la aplicación móvil

Para obtener la aplicación móvil es necesario descargar desde la *Play Store* la aplicación *MIT AI Companion* de *App Inventor*, con esta se debe escanear el QR, presentado a continuación.

Imagen QR

Este lo redireccionará a una página para descargar la aplicación móvil BGFES, dentro de la interfaz del aplicativo se podrán observar dos botones, “conectar” y “salir”.



Se presiona en “conectar” y se deberá seleccionar la conexión bluetooth “C0:49:EF:FA:16:8A BGFES”, después de realizar la conexión, se podrán establecer los parámetros deseados con los *sliders*.

Para desactivar el sistema BGFES y guardar los prototipos, siempre se deben apagar los dos dispositivos, desenergizar con los interruptores respectivos y “desconectar” el aplicativo móvil. Se recomienda primero desvincular la aplicación, seguido apagar el prototipo de guante y finalmente apagar los auriculares.

3. Seguridad

Las siguientes instrucciones y recomendaciones corresponden a los comportamientos que se deben evitar al momento del uso del prototipo tanto por la salud del paciente como la integridad de los dispositivos BGFES.

3.1 Contraindicaciones

- No use BGFES si se tiene alguna fractura, esguince o luxación, en muñeca o dedos de la mano a tratar, ya que podría empeorar la condición de dichas articulaciones.

- No use BGFES si se tiene marcapasos o algún otro dispositivo médico eléctrico crítico, porque existe una mínima posibilidad de que interfieran.
- No use BGFES sobre áreas cancerígenas o con sospecha de cáncer, debido a que la estimulación eléctrica puede agravar estas afecciones.
- No deben emplearse los dispositivos BGFES sobre áreas del cuerpo diferentes a las indicadas anteriormente. No deben estimularse otros músculos diferentes a los flexores y extensores de mano.
- En caso de efectos adversos, detenga el uso de BGFES y consulte a un médico.

3.2 Advertencias

- El uso prolongado de BGFES podría causar irritación en la piel, si esto ocurre debe detener el uso.
- No use BGFES dentro de un rango de un metro en relación con otros dispositivos terapéuticos de onda corta o microondas, debido a que podría afectar la actuación del prototipo.
- No use BGFES mientras conduce u opere maquinaria pesada, ya que las contracciones involuntarias podrían concluir en graves accidentes.
- Ninguno de los dispositivos BGFES puede ser sumergido en agua o algún otro líquido.
- No use los dispositivos si hay daños o defectos visibles, como piezas o cables sueltos, rasgados, rotos, etc.

3.3 Recomendaciones

- Precaución con usuarios con sospecha o diagnóstico de epilepsia, osteoporosis o problemas del corazón.
- Se recomienda de una guía por un cuidador capacitado o personal médico que pueda asistir con la ubicación de los electrodos y determinar los parámetros que requiera los músculos del paciente.
- El cansancio muscular se puede presentar de igual forma que al realizar ejercicio, por lo que se recomienda limitar el tiempo de uso por día de acuerdo a dicho cansancio muscular.
- Si el paciente presenta irritación o hipersensibilidad ante la estimulación eléctrica, se puede intentar cambiar los electrodos a una ubicación alternativa, si el problema persiste debe detener su uso.

3.4 Mantenimiento y cuidados

- No se debe dejar caer ninguno de los prototipos BGFES, ya que esto puede provocar daños no visibles en los circuitos internos, ya sea por desconexiones o afectaciones directas sobre sensores e integrados.
- Este tipo de dispositivos electrónicos no deben estar en contacto con agua.
- No cargue ninguno de los dispositivos en un lugar húmedo o con altas temperaturas, se debe tener en cuenta que la vida útil de la batería es de dos a tres años aproximadamente y en su carga se debe emplear una entrada micro USB de 5V.
- Para el almacenamiento entre uso de los dispositivos, se recomienda que se guarden en un lugar fresco y seco, especialmente no olvidar ubicar los electrodos en la bolsa resellable.

3.5 Limpieza

Para la limpieza general de los dispositivos se recomienda solo usar paños húmedos con agua o alcohol para desinfectar cualquiera de las superficies de pasta.

En el caso específico del guante se debe sacar de los soportes contenedores, la caja contenedora del circuito y puede lavarse:

- Teniendo en cuenta que es una tela elástica con un material suave tipo algodón en su interior y que se combina en su exterior con un material impermeable con textura, se recomienda lavar con jabón para ropa a mano desde su interior, teniendo en cuenta no desgastar el material por frotar excesivamente, y dejar secar al aire libre en su totalidad.

En cuanto a los electrodos, para su correcto uso y elongar su tiempo de vida útil, es necesario:

- Limpiar bien la piel antes de usar los electrodos. Cualquier residuo de aceite, suciedad, lociones, maquillaje, etc. en la piel, evitará que la correcta adherencia de los electrodos.
- Se aconseja humedecer la piel con un paño húmedo antes de ubicar los electrodos en la superficie definida, esto mejorará la adhesión y la vida útil de los electrodos, adicionalmente, la adherencia mejora cuando los electrodos alcanzan la temperatura de la piel.
- Para retirar de la piel, se deben levantar los electrodos desde el borde, es importante que no se tire de los cables conductores, ya que esto puede dañarlos.
- Al retirar se tiene que limpiar tanto la piel como el electrodo con un paño húmedo y permitir que este seque con el aire, para al final adherirlos al forro protector y meterlos a la bolsa resellable.

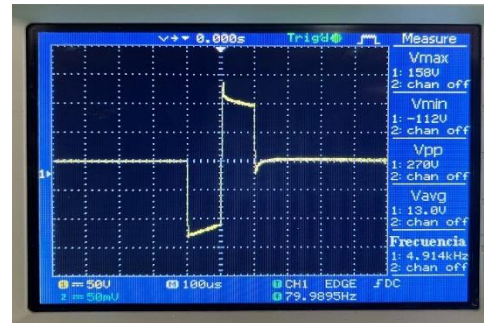
La vida útil de los dispositivos varía según las condiciones de la piel, el almacenamiento, la cantidad de uso y el cuidado, por lo que se recomienda seguir cuidadosamente las instrucciones indicadas aquí.

4. Información técnica

Características de la señal cuadrada bifásica de salida FES:

- Amplitud del pulso: 200 Vpp
- Ancho de pulso: 25 – 400 μ s
- Frecuencia de la señal: 10 – 40 Hz

Fig9. Salida real final del montaje FES.



Carga de los dispositivos:

- Prototipo de guante biónico:
 - Carga con entrada micro USB 2.0 o tipo B.
 - Entrada de 5V.
- Prototipo auricular:
 - Carga con entrada micro USB 3.0 o tipo C.
 - Entrada de 5V.

Protocolos de comunicación:

- Comunicación I2C entre el sensor MPU-6050 y la ESP32 WROOM del prototipo auricular.
- Comunicación ESP-NOW entre dos ESP32 WROOM, la del prototipo auricular y la del prototipo de guante.

4.1 Información de los módulos e integrados electrónicos

- Módulo TP4056 micro USB 3.0 o tipo C:

Módulo de carga para batería LiPo o Li-Ion de una sola celda de 3.7V que proveerá una corriente de carga de 1A y se cortará al terminar, basado en el chip TP4065 y el chip de protección de batería DW01G. Consta de un led indicador rojo cuando está cargando y un led indicador verde para la carga completa.

Voltaje de entrada DC: 5V

Voltaje de corte de carga: $4,2 \text{ V} \pm 1\%$

Corriente máxima de carga: 1A

Voltaje de protección de sobrecarga: 2.5V

Corriente de protección contra la sobre corriente: 3A

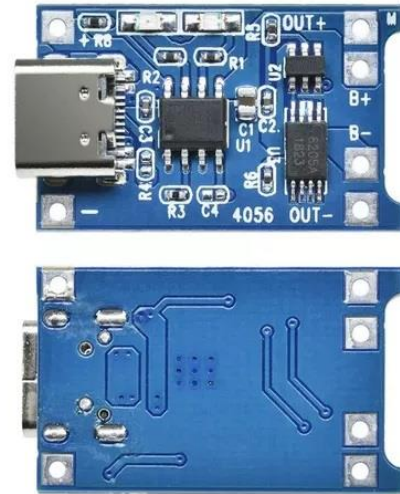
Chip de carga: TP4056

Chip de protección: DW01G

Mosfet de carga/descarga: ML8205A

Temperatura de trabajo: $-10^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$

Dimensiones: 25 mm x 19 mm x 10 mm



- Módulo elevador de tensión DC-DC MT3608 Micro USB 2.0 o B:

Módulo regulador elevador con salida de tensión DC ajustable y compensación interna para aplicaciones de baja potencia que incluye bloqueo ante bajo voltaje, limitación de corriente y protección de sobrecarga térmica para evitar daños en la salida.

Rango voltaje de entrada DC: 2V – 24V

Rango voltaje de salida DC: 5V- 28V

Corriente máxima de salida: 2A

Eficiencia máxima: Hasta 97%, típicamente 93%

Chip elevador: MT3608

Frecuencia de conmutación fija: 1.2MHz

Dimensiones: 33 mm x 11 mm x 6 mm



- Módulo MPU 6050

Módulo basado en el sensor MPU6050 que permite medir movimiento en 6 grados de libertad, combinando un giroscopio de 3 ejes y un acelerómetro de 3 ejes en un mismo chip; integra un DMP capaz de realizar complejos algoritmos de captura de movimiento de 9 ejes y para una captura precisa de movimiento rápido y lento, posee un rango de escala

programable de 250/500/1000/2000 [$^{\circ}$ /s] para el giroscopio y de 2/4/8/16 [g] para el acelerómetro.

Se comunica a través de una interfaz I2C, incorpora un regulador de tensión a 3.3V y resistencias pull-up para su uso directo por I2C.

Sensor integrado: MPU6050

Voltaje de operación: 3V/3.3V - 5V DC

Regulador de voltaje en placa

Grados de libertad (DoF): 6

Rango Acelerómetro: 2g/4g/8g/16g

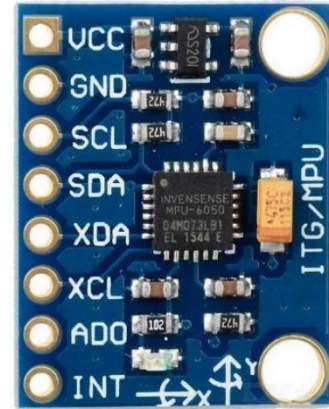
Rango Giroscopio: 250Grad/Seg, 500Grad/Seg, 1000Grad/Seg, 2000Grad/Seg

Sensibilidad Giroscopio: 131 LSBs/dps

Interfaz: I2C

Convertor AD: 16 Bits (salida digital)

Tamaño: 2.0cm x 1.6cm x 0.3cm



- ICL7660

Circuito integrado convertor y regulador de voltaje CMOS monolítico de rango amplio de voltaje positivo a negativo, con oscilador RC, traductor de nivel de voltaje y un bajo suministro de corriente; que no requiere diodo externo.

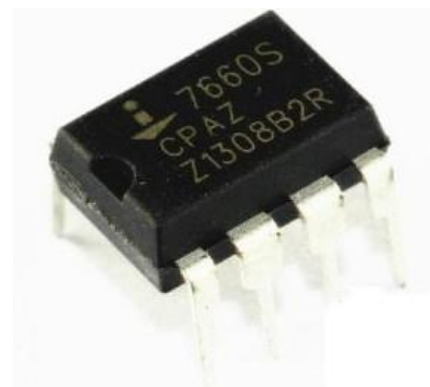
Rango voltaje de entrada DC: +1.5V a +12V

Rango voltaje de salida DC: -1.5 v a -12V

Encapsulado: DIP-8

Eficiencia de conversión de voltaje de circuito abierto típica: 99.9 %

Eficiencia de potencia típica: 98 %



- PC817

Circuito integrado PC817 que permite generar un aislamiento entre dos etapas de un circuito, optoacoplador de propósito general que contiene un diodo que emite luz infrarroja a un fototransistor, excitándolo en forma óptica.

Corriente directa: 50mA

Corriente directa máxima: 1A

Tensión inversa VR: 6V

Encapsulado: DIP-4

Disipación total de energía: 200mW

Temperatura de trabajo: -30 °C a 100 °C



- ESP32

SoC (System on Chip) con Wi-Fi, BT y BLE genérico que se dirige a una amplia variedad de aplicaciones, desde redes de sensores de baja potencia hasta las tareas como codificación de voz, transmisión de música y decodificación de MP3.

Microprocesador: Xtensa LX6 doble núcleo de 32bits Rango de frecuencias de operación: 160 a 240 [MHz]

Memoria: 520 KiB SRAM

Wi-Fi: 802.11 b/g/n

Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE

Diversas interfaces periféricas como 12-bit SAR ADC de hasta 18 canales, 2 × 8-bit DACs, 10 × sensores de tacto (sensores capacitivos GPIOs), 4 × SPI, 2 × interfaces I²S, 2 × interfaces I²C, 3 × UART, Controlador host SD/SDIO/CE-ATA/MMC/eMMC, etc.

Seguridad: estándar de IEEE 802.11, incluyendo WPA, WPA/WPA2 y WAPI

Cifrado flash: 1024-bit OTP, hasta 768-bit para clientes

Criptografía acelerada por hardware: AES, SHA-2, RSA, criptografía de curva elíptica (ECC), generador de números aleatorios (RNG)

Administración de energía: Regulador interno de baja caída, dominio de poder individual para RTC, corriente de 5μA en modo de suspensión profundo, despierta por interrupción de GPIO, temporizador, medidas de ADC e interrupción por sensor de tacto capacitivo.



- Ad620

Amplificador de instrumentación de alta precisión y bajo costo que requiere de solo una resistencia externa para establecer ganancias de 1 a 10.000. Además, puede ser empaquetado como SOIC y DIP de 8 conductores, lo que es más pequeño que los diseños discretos y ofrece menor potencia y lo hace una buena opción para aplicaciones portátiles alimentadas por batería.

Rango de ganancia: 1 – 10.000

Rango de voltaje de entrada: $\pm 2.3 \text{ V}$ a $\pm 18 \text{ V}$

Disponible en empaque 8-lead DIP y SOIC

Máximo suministro de corriente a baja potencia: 1.3 mA

Máximo voltaje de offset en la entrada: 50 μV

Máxima corriente de polarización: 1 nA

Ruido de voltaje de entrada: 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (1 kHz)

Ruido: 0.28 μV pp (0.1 Hz a 10 Hz)

Ancho de banda: 120 kHz (G = 100)

Tiempo de estabilización: 15 μs al 0,01 %



- Batería LiPo

Batería de litio y polímero de tamaño reducido recargable para aplicaciones que requieran corrientes mayores a 1A, con una vida útil de 2 a 3 años aproximadamente, alta densidad de energía y alta tasa de descarga.

Tensión nominal: 3.7V

Capacidad nominal: 2000mAh

Tamaño: 72mm x 55mm x 4.5mm

Conector: cable de dos pines JST-XH

Tasa de descarga: Puede variar entre 1C (2A)

Tasa de carga: 1C (4A)

Peso: 40 gramos

Voltaje de carga máximo: 4.2V

Voltaje de descarga final: 3.0V

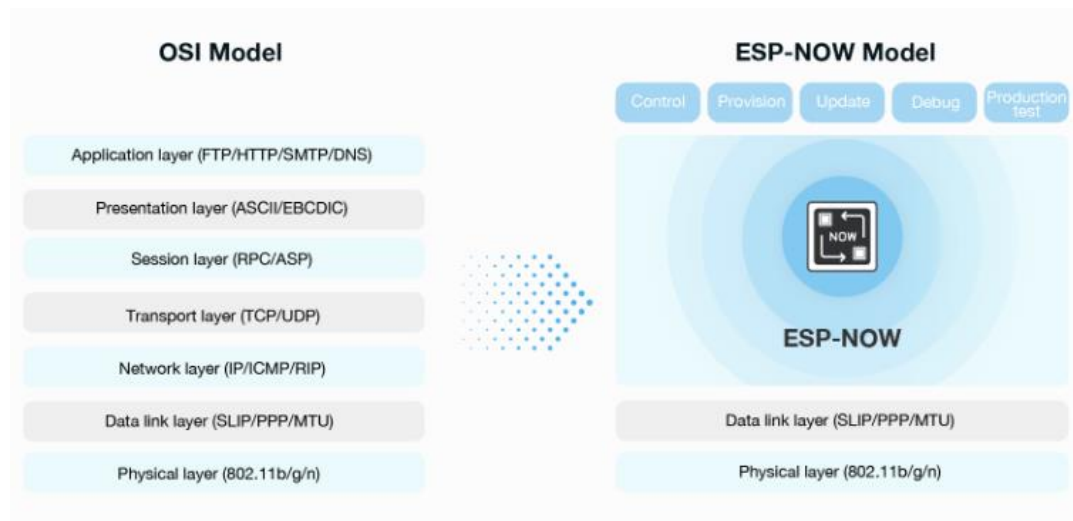


Ciclos de vida: 300 a 500 ciclos de carga/descarga

4.2 Especificaciones de conexiones inalámbricas

ESP-NOW

Protocolo de comunicación inalámbrica basado en la capa de enlace de datos del modelo OSI para una respuesta rápida y control de baja potencia, desarrollado por Espressif. El cual reduce cinco de las capas de dicho modelo a solo una, no se emplean las capas de red, transporte, sesión, presentación y aplicación.



La información no requiere de encabezados en paquetes o des-empaquetadores en cada capa porque los datos de aplicación se encapsulan en un marco de acción específico del proveedor y se transmiten de un dispositivo WiFi a otro sin conexión, CTR con el protocolo CBC-MAC (CCMP) se utiliza para proteger el marco de acción por seguridad y por consecuencia, hay una respuesta más rápida al reducir los retardos causados por pérdidas de paquetes o redes congestionadas de otros protocolos más convencionales.

- Coexiste con WiFi y Bluetooth LE, disponible para las series ESP8266, ESP32, ESP32-S y ESP32-C de SoCs.
- Su método de emparejamiento rápido permite conectar los dispositivos “uno a muchos” y “muchos a muchos”.
- Trabaja con los algoritmos ECDH y AES que hacen la transmisión de datos segura.
- Ocupa pocos recursos de CPU y memoria Flash.
- El mecanismo de sincronización de ventanas reduce en gran medida el consumo de energía.

ESP-NOW unidireccional, un maestro un esclavo

Permite la comunicación entre dos dispositivos ESP en un solo sentido, donde el dispositivo maestro envía la información al dispositivo esclavo. Es el mejor y más sencillo método para enviar lecturas de sensores y realizar control de puertos GPIO entre dos placas.