

MICROPROCESADORES

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática



Manual de Prácticas

Susana Patón Álvarez
Pedro R. Fernández Barbosa

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA.
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR.
CURSO 2019/2020



Universidad
Carlos III de Madrid

Índice

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Normas generales | 2 |
| 1.1 | Normas generales de los laboratorios del Departamento de Tecnología Electrónica | 2 |
| 1.2 | Normas de seguridad | 3 |
| 2 | Organización y evaluación de las prácticas de Microprocesadores..... | 4 |
| 3 | Descripción del proyecto a realizar..... | 5 |
| 3.1 | Introducción..... | 5 |
| 3.2 | Especificaciones de funcionamiento..... | 5 |
| 3.3 | Guía de hitos intermedios en el desarrollo del proyecto. | 6 |
| 4 | Maqueta con Módulos de barrido y medida | 8 |
| 5 | Documentación técnica de los dispositivos usados en el proyecto..... | 13 |
| 6 | ANEXO 1 | 14 |

1 Normas generales

1.1 Normas generales de los laboratorios del Departamento de Tecnología Electrónica

Debido a la cantidad de alumnos que pasan por el Laboratorio de Electrónica a lo largo de un curso es conveniente seguir algunas normas generales que pasamos a enumerar.

Está totalmente prohibido:

- Fumar en todo el recinto.
- **Introducir cualquier tipo de comida o bebida en el Laboratorio.** El caso de la bebida es una cuestión, además de higiene, de seguridad. Un líquido derramado encima de cualquiera de los equipos puede dañarlos irreversiblemente, incluso, se pueden declarar incendios.
- **Realizar otras actividades** ajenas al trabajo específico que ha de desarrollar en el laboratorio.
- **Pasar a las zonas reservadas** al personal del laboratorio.
- **Dañar deliberadamente alguno de los instrumentos** de los que consta el equipamiento del laboratorio.
- **Sacar**, aunque solo sea de manera provisional, **cualquier tipo de instrumentación o material propio del laboratorio fuera del mismo.** Esta falta se considerará muy grave, poniéndose rápidamente en conocimiento de la Dirección de la Escuela para que tome las medidas oportunas.

Asimismo, se recomienda observar las siguientes directrices siempre que se esté en el aula:

- Procure utilizar un tono de voz adecuado. Solo le tiene que escuchar su compañero y, en su caso, el profesor. El laboratorio es un aula de gran capacidad e, incluso, puede haber gente de varias titulaciones a la vez. Procure no molestar al resto de sus compañeros.
- Los profesores de prácticas y becarios están para ayudarle, no dude en llamarlos para que le resuelvan cualquier tipo de duda. No obstante, procure resolver los problemas usted mismo y no los llame a la mínima dificultad, ese es parte del aprendizaje.
- Las horas de laboratorio están concebidas para realizar, comprobar los montajes y llevar a cabo las medidas oportunas. Todos los cálculos teóricos y estudios han de llevarse a cabo con anterioridad para entrar al laboratorio sabiendo lo que hay que hacer.

Para la realización de las prácticas puede ser necesario un instrumental, además del propio de cada puesto, que le será facilitado por el maestro de laboratorio previa entrega de un carné identificativo del alumno (carné de la escuela, DNI., carné de conducir, ...). Este material se presta a cada grupo solamente durante la duración de la sesión de prácticas, teniendo que ser devuelto a su finalización. Tenga en cuenta que el material que se le da es apuntado junto con el puesto que ocupa y el turno. Si faltara algún material sería rápidamente localizado el infractor tomándose las medidas oportunas. No preste su equipo a otro grupo de prácticas. El responsable de ese material es usted.

El objetivo que se persigue con las prácticas de laboratorio en el Área de Tecnología Electrónica es que usted adquiera una componente práctica en su formación como Ingeniero. La correcta observación de estas normas y recomendaciones hará que su estancia en el laboratorio sea más provechosa y se cumpla mejor dicho objetivo.

1.2 Normas de seguridad

En las mediciones de valores de tensiones, intensidades y magnitudes de pequeño valor, no es necesario prestar atención a ningún tipo particular de precaución personal. Pero en los casos de medida de altos valores de tensiones, tanto en la industria, como en electrónica, reparación de televisión, etc., el manejo incorrecto de los equipos, puede ser causa de daños personales. Por tanto, en la medida de tensiones elevadas es una buena precaución hacer uso sólo de una mano, apoyando la otra en la espalda.

En las prácticas que se efectúen en el laboratorio, debe informarse siempre al responsable de cualquier daño personal, de los equipos, de circuitos etc., pues una avería sin reparar puede ser causa de mayores daños.

Siguiendo las recomendaciones de seguridad vigentes, tenga en cuenta las siguientes reglas de seguridad para evitar daños al usuario o a terceros:

1. No use el polímetro si las puntas de prueba están rotas o defectuosas.
2. El conmutador, conmutadores, selectores o elementos de selección (tales como clavijas, jacks, etc.) deben estar en la posición correcta para efectuar la medición. El instrumento ha de estar preparado para realizar el tipo de medida que deseemos, tales como tensión, corriente, resistencia etc.
3. El conmutador o selector de escalas, debe de estar siempre en la posición más alta siempre que se mida una tensión o corriente desconocida.
4. Cuando haga mediciones eléctricas, NUNCA se ponga Ud. a tierra. Trabaje siempre aislado, sobre una alfombra de goma, con zapatos de suela de goma, etc. NUNCA toque tuberías u otras partes metálicas con el cuerpo mientras esté efectuando medidas.
5. No sobrepasar las tensiones máximas especificadas por el equipo en ninguna de las medidas, podría dañarlo y además podría exponerse a una descarga.
6. No sobrepasar la tensión máxima especificada entre el borne COM y la toma de Tierra (sí tuviera)
7. Extreme las precauciones cuando mida tensiones que superen los 60V DC ó los 30V AC rms.
8. Si tiene que manipular un circuito (soldar, cortar, etc.) asegúrese, antes de hacerlo, de que la alimentación general del circuito esté desconectada.

2 Organización y evaluación de las prácticas de Microprocesadores

Las prácticas de la asignatura Microprocesadores son obligatorias. El trabajo se realizará en grupos de dos personas, a los que se les asignará un puesto en el laboratorio que deberán mantener durante todas las prácticas. Los estudiantes disponen de 5 sesiones de 2 horas para realizar la depuración y verificación funcional del proyecto. La sexta sesión se dedicará a realizar una demostración a los profesores del funcionamiento del proyecto. Para conseguir superar el reto es necesario preparar con antelación el diseño del proyecto. Para el desarrollo del proyecto se utilizará la placa de desarrollo STM32 NUCLEO-L152RE, cuya documentación está disponible tanto en aula global como en la página web del fabricante.

Las prácticas estarán asistidas por dos profesores de apoyo. En este curso, los profesores asignados se relacionan a continuación:

| | |
|----------------------------|----------------------|
| Susana Patón (1.2.C.06) | spaton@ing.uc3m.es |
| Pedro Fernández (1.2.C.15) | pedrfern@ing.uc3m.es |

Una vez finalizado el proyecto cada grupo debe elaborar una breve memoria técnica de su trabajo que incluya:

- Un resumen de una página de las decisiones de diseño empleadas en la solución final, con un diagrama de bloques del software
- Una tabla con los recursos y pines del microcontrolador que se han empleado
- Un anexo con el código fuente del proyecto comentado

El peso de esta memoria en la nota final de prácticas será de 1,5 puntos, la demostración práctica tendrá un peso de 7,5 puntos, y el adecuado progreso de los hitos intermedios 1 punto. Para aprobar las prácticas es **imprescindible** demostrar el funcionamiento del proyecto en su modalidad básica y entregar la memoria. Los proyectos finales se ordenarán en un ranking de acuerdo con su funcionalidad y el uso de recursos. El mejor proyecto tendrá un punto extra.

Todos los alumnos implicados en cualquier intento de aprobar el Trabajo de Diseño mediante copia u otra forma similar serán automáticamente suspendidos. Esta norma se aplicará tanto a aquellos alumnos que intenten aprobar el Trabajo de Diseño utilizando medios ajenos al propio esfuerzo personal como a aquellos alumnos que faciliten dichos medios o ayuden a los anteriores.

Octubre 2019.

Susana Patón

Coordinadora de la asignatura.

3 Descripción del proyecto a realizar.

La asignatura de Microprocesadores está orientada a estudiar los sistemas embebidos o empotrados. Las prácticas están basadas en el desarrollo de un proyecto experimental de escala reducida, que intenta cubrir los siguientes objetivos:

- Aprender las técnicas básicas de programación en tiempo real de microcontroladores
- Aprender a diseñar un conjunto hardware-software para cubrir los requisitos de una aplicación
- Aprender a depurar y verificar el funcionamiento del conjunto hardware-software desarrollado
- Ofrecer un reto asequible pero que estimule la capacidad de diseño e innovación del estudiante
- Estimular la capacidad de colaboración y participación en un equipo de trabajo.

3.1 Introducción

El proyecto seleccionado para este año es el control de un módulo de medición de rango y dirección que permite medir la distancia y el ángulo que media entre el centro de dicho módulo y cualquier objeto posicionado en su rango de medida. La distancia se medirá usando un transceptor de ultrasonidos, y el ángulo usando un giróscopo MEMS. El alcance máximo que puede medir el módulo de las prácticas es 4m. El módulo de medición está integrado con un módulo de barrido en una maqueta. El alumno debe ser capaz de acoplar dicha maqueta a una tarjeta de desarrollo **STM32 Nucleo-L152RE** para que el sistema cumpla con unas determinadas funcionalidades y modos de trabajo.

El objetivo del proyecto es desarrollar un driver que permita tener un mapa de ángulos y distancias a objetos más cercanos. Todo el control, señalización y medición de variables se debe realizar utilizando la placa de estudio STM32 Nucleo-L152RE. Se debe garantizar que las mediciones y decisiones se envían a un PC por vía serie.

Este driver podría servir para la creación de un sistema capaz de determinar, al menos, una dirección que garantice baja probabilidad de colisión con objetos en caso de que el módulo se desplace. Estas decisiones deben irse actualizando dinámicamente y a una velocidad suficiente de forma tal que, si el sistema va montado sobre un dispositivo en movimiento, pueda corregir su trayectoria con suficiente antelación. Si en una determinada dirección/posición, se encuentra una distancia superior a este límite o en un determinado rango permisible, se considerará que hay libertad de movimiento en dicho sentido y podría ser tomada siguiendo determinadas reglas. Un subsistema similar podría utilizarse en robots móviles.

3.2 Especificaciones de funcionamiento

Se han definido tres modalidades del proyecto. Según el nivel que alcance el equipo, así será la calificación final. **La primera modalidad (Proyecto básico) es necesaria para aprobar el Laboratorio.**

1. **Proyecto básico:** Desarrollar 2 modos de trabajo que el usuario debe elegir desde el PC.
 - a. **Modo 1** (manual):
 - i. Conseguir que el ángulo de posicionamiento del servo se controle manualmente desde el potenciómetro incorporado en la placa.
 - ii. Se debe utilizar el botón de usuario de la placa núcleo-L152 para realizar la medida de distancia, una vez posicionado el módulo con ayuda del potenciómetro. Se debe acompañar cada medida con un pitido emitido por un zumbador.

- iii. Se debe enviar por el puerto serie la distancia y el ángulo de giro definido por el potenciómetro (sin usar el acelerómetro/giróscopo).
 - b. **Modo 2** (Barrido automático):
 - i. Realizar un barrido con un mínimo de 4 ángulos (simétricos respecto al centro) tomando medidas de distancia en cada uno de ellos. Al finalizar el recorrido debe volver al ángulo medio y enviar por puerto serie una tabla con las medidas de distancias y su correspondiente ángulo.
 - ii. Se debe indicar mediante un pitido de zumbador y un LED que se ha terminado de realizar el barrido y que se ha aparcado el servo en el centro de su radio.
- 2. Proyecto con detección automática de movimiento:** Añadir al proyecto básico la lectura de la unidad inercial para detectar velocidades angulares en cada uno de los ejes espaciales. Estas medidas se procesarán de la siguiente forma:
- a. Si durante el posicionamiento del servo la velocidad angular decae por debajo de un umbral a definir, se detendrá el barrido y se enviará un mensaje de error al PC, indicando que un obstáculo impide el posicionamiento del módulo.
 - b. Se debe respetar el resto de funcionalidades del proyecto básico.
- 3. Proyecto avanzado:** Esta modalidad puede realizarse sobre el proyecto básico o sobre el proyecto con detección automática de movimiento. Consiste en realizar una de las siguientes mejoras:
- a. Generación de sonidos o melodías específicas para distintas acciones o modos de trabajo.
 - b. Sustituir el zumbador por un altavoz conectado a la salida del DAC, usando señales senoidales para los tonos.
 - c. Búsqueda del ángulo de menor probabilidad de colisión y reorientación automática en ese ángulo al finalizar el barrido. Para la búsqueda se pueden usar pasos adaptativos, en lugar de pasos fijos.
 - d. Posibilidad de utilizar el modo *standby* bajo algunos supuestos. Por ejemplo, batería baja, orden de bajar consumo recibida desde el puerto serie, etc.

3.3 Guía de hitos intermedios en el desarrollo del proyecto.

Para ayudar al correcto desarrollo del proyecto, se ha subdividido en varios hitos. El cumplimiento de los hitos será supervisado por los profesores y comprende 1 punto de la nota. Recuerde que, si en alguna sesión consigue el hito antes del tiempo estipulado, le beneficiará adelantar trabajo del siguiente hito, ya que los distintos hitos tienen diferentes cargas de trabajo.

Sesión 1.

- a) Se pide un programa que permita emitir un sonido (de baja duración) por el zumbador, cuando se presione el pulsador. Para ello, el microcontrolador debe generar una onda cuadrada desde un pin GPIO a una frecuencia audible. Se exige que el tratamiento del pulsador sea utilizando interrupción externa.
- b) Posicionar el servo siguiendo la siguiente rutina: 0°, -90°, 0°, +90° y 0°. Al finalizar, emitir el tono.

Sesión 2.

- a) Medición simple de la distancia. Debe configurar los pines necesarios para dicho fin. Debe ser capaz de generar la señal *Trigger* (10us) y también de medir el ancho de pulso recibido desde el pin Eco. Realice la medida al presionar el botón de usuario. La medida se enviará por el puerto serie.

- b) Reprograme el sistema para realizar una medida automáticamente cada 0.25s. Verifique el cambio del ancho de pulso con ayuda de un osciloscopio acercando objetos al sensor. Envíe por puerto serie los resultados y compruébelos empíricamente.

Sesión 3.

Proyecto básico con los dos modos de funcionamiento.

Sesión 4.

Proyecto con detección automática de movimiento.

Sesión 5. Implementar la Versión final.

En esta sesión le sugerimos que integre todas las funcionalidades desarrolladas, y depure la demostración final. Si desea introducir mejoras, deberá depurarla en esta sesión.

Sesión 6.

Esta sesión estará dedicada a la demostración del funcionamiento del proyecto y la evaluación por parte del profesorado. Dispondrá de una hora para preparar la demostración.

Observaciones: La nota máxima de cumplimiento de hitos corresponde a cubrir los objetivos de las 2 primeras sesiones y completar el proyecto básico antes de la sesión 5. Si no se completa el proyecto básico antes de la sesión 5, la nota se reduce al 50%. En caso de no cumplir los hitos de la primera o segunda sesión, la nota asignada por cumplimiento de hitos será 0.

4 Maqueta con Módulos de barrido y medida

La maqueta se ha diseñado para poder realizar un barrido angular en un rango entre 0° y 180° como máximo. Para realizar dicho barrido, se dispone de un pequeño servomotor (MG-90S) que porta, sobre su eje de giro, una placa que contiene tanto un sensor de rango ultrasónico (HC-SR04) como una unidad acelerómetro-giróscopo MPU-6050 (IMU). Estos dispositivos se utilizarán para detectar la distancia y el ángulo de giro (vector de dirección). El alumno debe estudiar cada uno de estos elementos para comprender y sacar provecho de sus funcionalidades.

A continuación, se muestra una imagen de la maqueta en la que se destacan los elementos que se pueden utilizar. Note que está conformada por dos placas separadas, pero que a la vez están acopladas mecánicamente por el servomotor. El Servomotor se encuentra fijo en la placa-1 pero su eje de rotación está fijo a la placa-2. Esto hace que se puede cambiar su ángulo relativo respecto al eje de giro del servo (Figura 1).

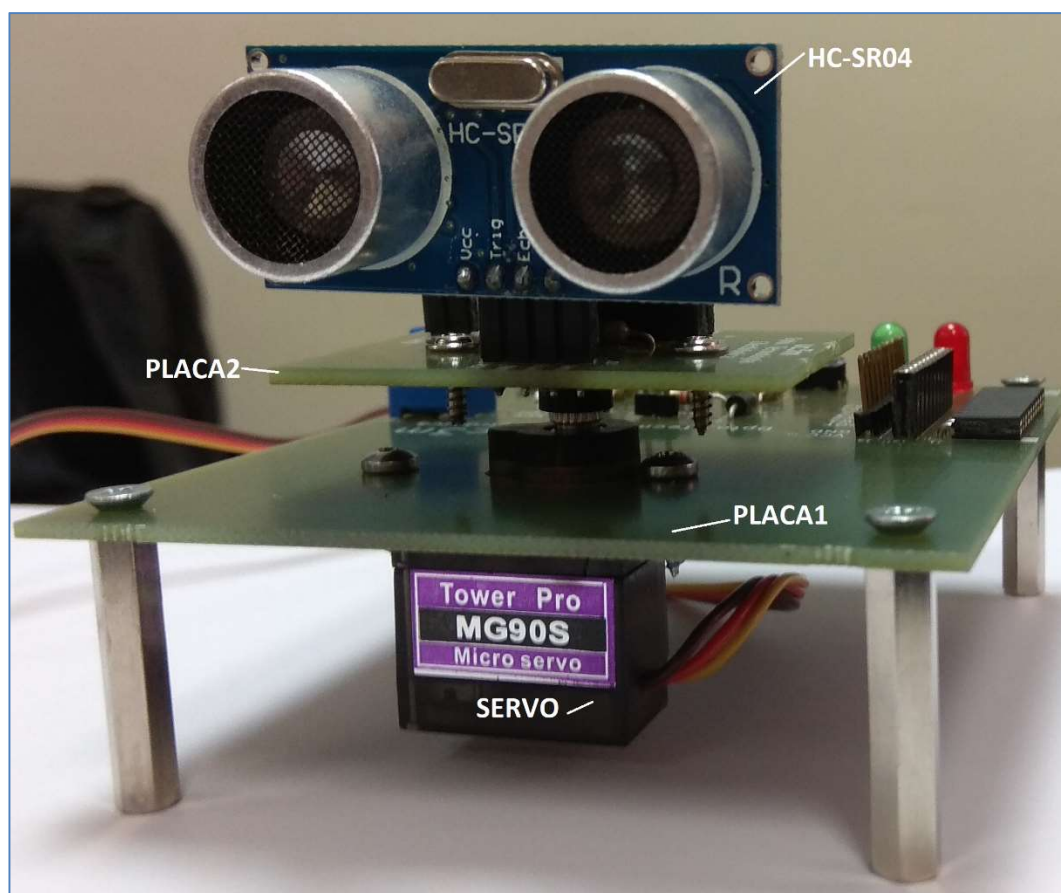


Figura 1: Vista del módulo

En la figura 1 se puede observar que la placa-1 posee un servo motor MG-90S. El fabricante indica que posee una resolución de 1° pudiéndose orientar en diferentes ángulos en un rango de 180° (y con ello a la placa-2). Dentro de la placa-1 se han incorporado también otros circuitos como son un potenciómetro para generar señales de amplitud variable entre 0-5v o 0-3.3v (según posición del jumper) y un diodo LED con su resistencia de limitación correspondiente. Se han agregado una tira de pines de conexión en cada placa para facilitar la conexión hacia/desde cualquier tarjeta de control.

En cada placa existen los siguientes elementos:

| Placa1 | | |
|--------|------------------------|--|
| Cant. | Elemento | Descripción |
| 1 | Servo | MG-90S. Servo de uso en radiocontrol de bajo coste y potencia. Posee 3 cables: Vcc, Gnd y Señal de control PWM. La posición angular se controla según el ancho del pulso. |
| 1 | Potenciómetro + Jumper | Tiene accesibles los terminales del potenciómetro. Está pensado para generar una señal analógica variable. Posee un jumper que permite cortocircuitar una resistencia en serie. Si la señal que conectamos en el terminal de entrada es 5V, permite variar la señal de salida entre 0-5V (con Jumper) o entre 0 y 3.3V (sin jumper). |
| 1 | Led + Resistencia | Se dispone de un terminal conectado al ánodo (GND va a tierra común). En serie con el LED existe una resistencia limitadora. Se puede utilizar para indicar estados. |
| Placa2 | | |
| 1 | Módulo HC-SR04 | Sensor ultrasónico para medir distancias entre ~2cm y ~400cm. Se deben colocar las bocinas en la dirección a medir. Posee 4 pines: Vcc, GND, Trigger (pulso de disparo 10 us-inicio de lectura) y Echo (pulso de duración variable según distancia). |
| 1 | Módulo MPU 6050 (IMU) | Sensor inercial que tiene giróscopo y acelerómetro. Posee un regulador de 3.3V por lo que se alimenta directamente con los 5V de entrada. Se comunica mediante el bus I ² C (SDA y SCL) y su dirección está predefinida como 0X68. Existen otros pines que no se utilizarán (INT, XDA y XCL). |

Tal como se ha comentado, los datos del barrido se pueden recoger a diferentes ángulos de giro. Para ello hay que suministrar desde el microcontrolador una señal PWM acorde con la dirección que se desee medir en un determinado instante de tiempo. Sin embargo, es difícil saber si el posicionamiento del ángulo de la placa-2 es el correcto. Para mejorar este problema se le ha incorporado a la placa-2 una unidad **MPU6050** que permite medir el ángulo de giro, aunque podría utilizarse para otros fines. Esto podría permitir dotar a un sistema de este tipo, de un control más preciso del ángulo real de giro que se desee durante el barrido. Dicho módulo puede recibir la configuración necesaria y también ofrecer datos de movimiento mediante una interfaz serie I²C síncrona (Ver Figura 2).

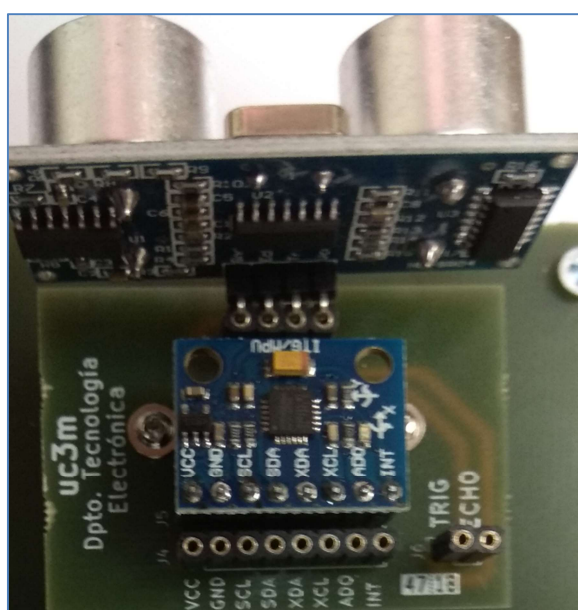


Figura 2. Vista Superior placa 2 y del módulo MPU6050

Para realizar la lectura de la distancia, la placa-2, posee también un sensor ultrasónico HC-SR04. Su funcionamiento se basa en el envío de una señal inaudible que rebota en los objetos cercanos y es reflejado hacia el sensor. Es un sistema similar al que usan los murciélagos para desplazarse. Estos sensores son muy baratos y muy sencillos de utilizar. El rango de medición teórico del sensor HC-SR04 está entre unos 2cm hasta 400 cm, con una resolución de 0.3cm. No obstante, se consideran sensores de baja precisión debido fundamentalmente a que la onda que se refleja puede sufrir múltiples trayectorias, pudiendo alterar la medición correcta. Por eso no resultan adecuados en entornos muy complejos.

Para realizar una lectura, primeramente, se genera un pulso por el pin **Trigger** de al menos 10 μ s de duración. A partir de ese momento se envía un tren de 8 pulsos ultrasónicos (38kHz) y el módulo espera su retorno. Esta demora se representa por el pin de salida **Echo**, mediante un pulso cuya duración va a depender de la distancia. Por tanto, el microcontrolador debe ser capaz de medir el intervalo de tiempo que media entre el flanco de subida y el de bajada de la señal **Echo**. Si el objeto está demasiado lejos (>4m) o demasiado cerca, el ancho de pulso que entrega dicho sensor es de unos 36ms indicando que la medida está *fuera de rango*.

A continuación, se muestra el diagrama de tiempo correspondiente al proceso de lectura, así como algunas figuras que muestran su principio de trabajo (Figuras 3 y 4). En las figuras 5 y 6 se muestra el esquema general de las tarjetas 1 y 2 así como un esquema en bloque de cómo montar el sistema.

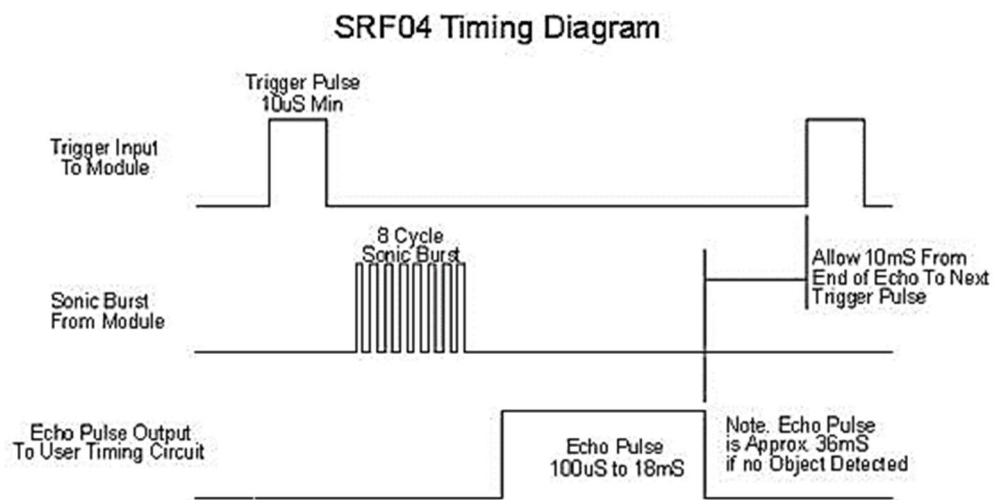


Figura 3. Diagrama de tiempo del sensor ultrasónico

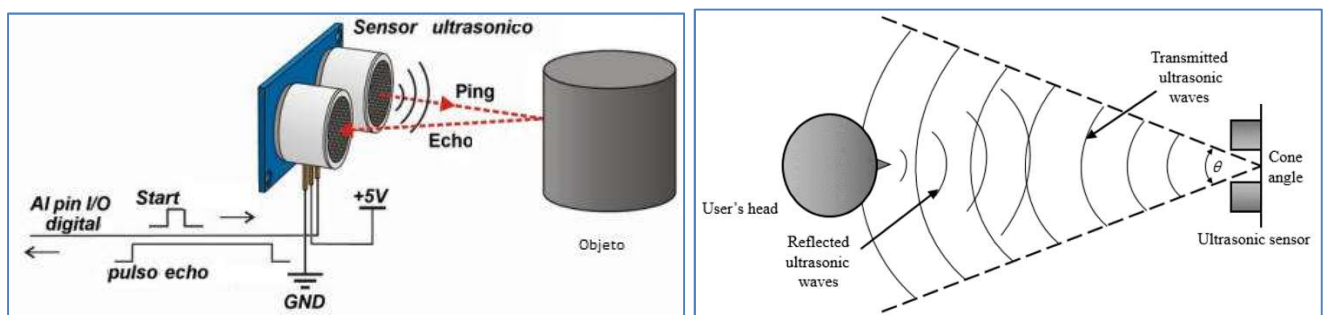


Figura 4. Principio de trabajo del sensor HC-SRF04

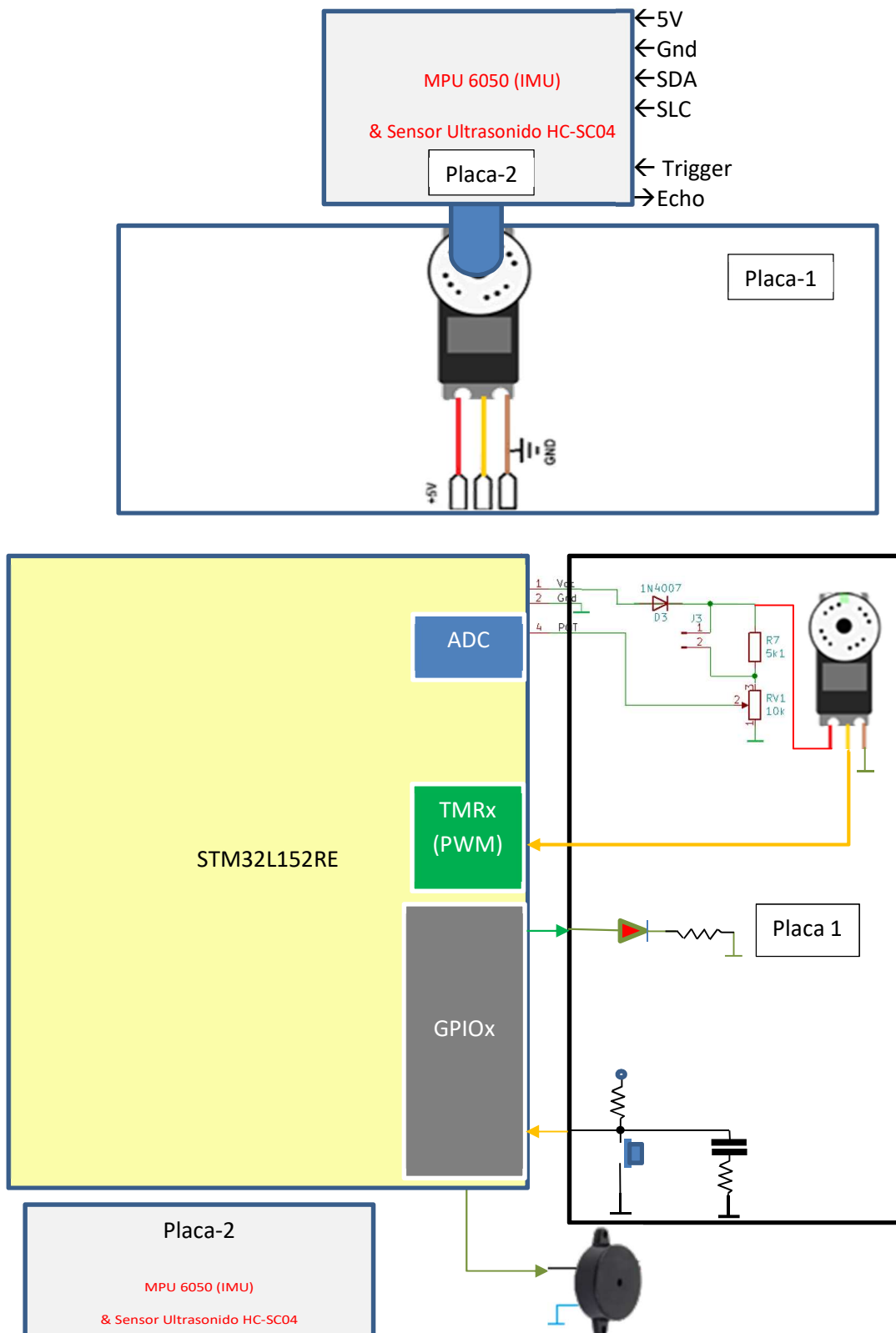


Figura 5. Esquema general de conexiones a las placa-1 y placa-2

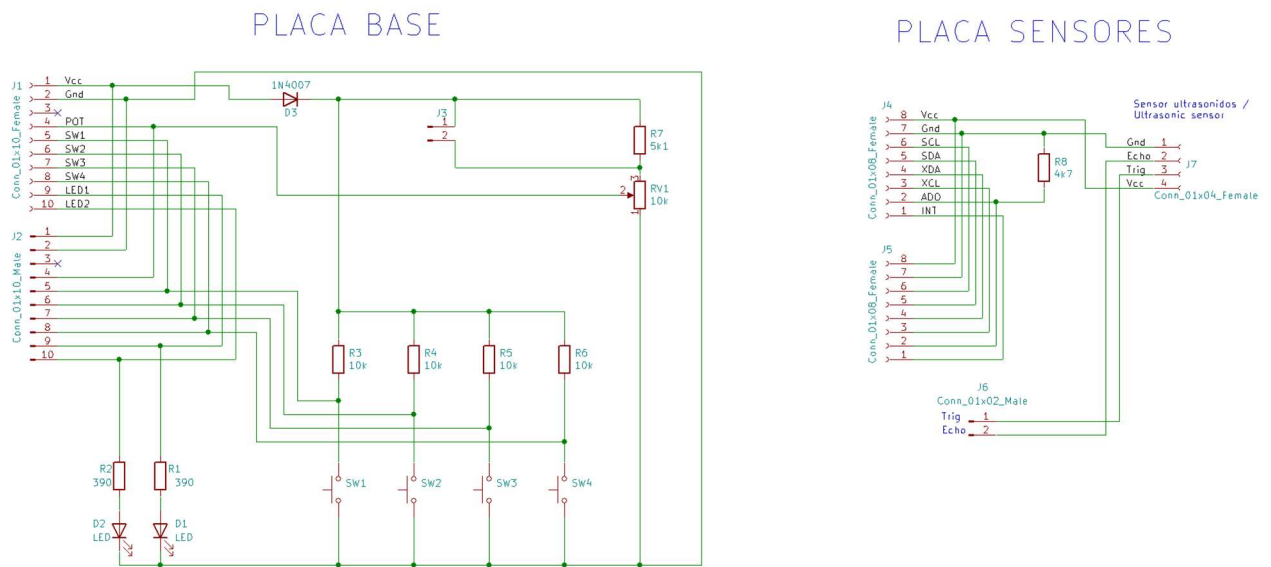


Figura 5. (Cont.) Esquema general de conexiones a las placa-1 y placa-2

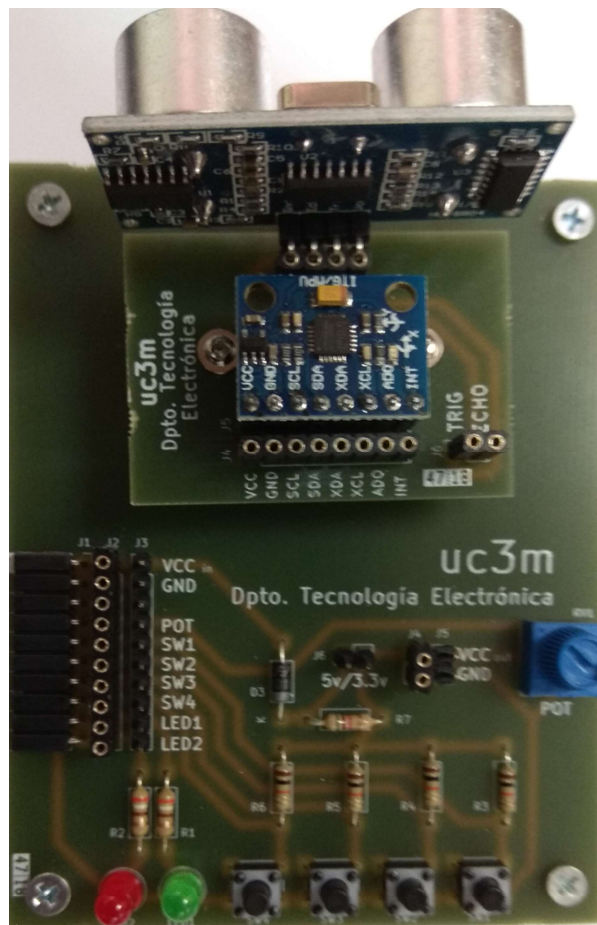


Figura 6. Vista superior del módulo con esquema de pines

5 Documentación técnica de los dispositivos usados en el proyecto.

Además de la documentación de la placa y el entorno de desarrollo de STM que se ha suministrado en Aula Global, necesitará consultar la siguiente información técnica:

Datasheets:

Sobre HC-SR04

<https://www.datasheetspdf.com/datasheet/search.php?sWord=hc-sr04>

Sobre MPU6050

<https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Register-Map1.pdf>

<https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>

6 ANEXO 1

Funcionamiento de un servomotor

Un servomotor es un dispositivo para controlar de forma precisa la posición angular de un eje mecánico. Internamente es un sistema electromecánico realimentado que está compuesto por un motor de DC, un sistema de engranajes y una placa electrónica de control.

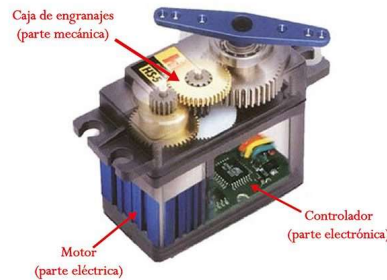


Figura A1. Componentes de un servomotor¹

Existen diferentes tipos de servomotores según sus especificaciones y uso, desde aplicaciones en robótica e instrumentos, hasta aplicaciones industriales. Habitualmente disponen de un conector de 3 hilos, uno para control digital con una señal binaria y los dos hilos de alimentación. La alimentación suele estar separada del control digital.

Los servomotores se controlan con una señal de tipo PWM (Pulse-Width Modulation o Modulación por ancho de pulso), donde el ancho de pulso codifica el ángulo donde el servomotor debe posicionarse. Habitualmente tienen un rango de 180°. En este ejemplo consideraremos un servomotor que puede posicionarse entre los extremos mostrados en la figura A3.

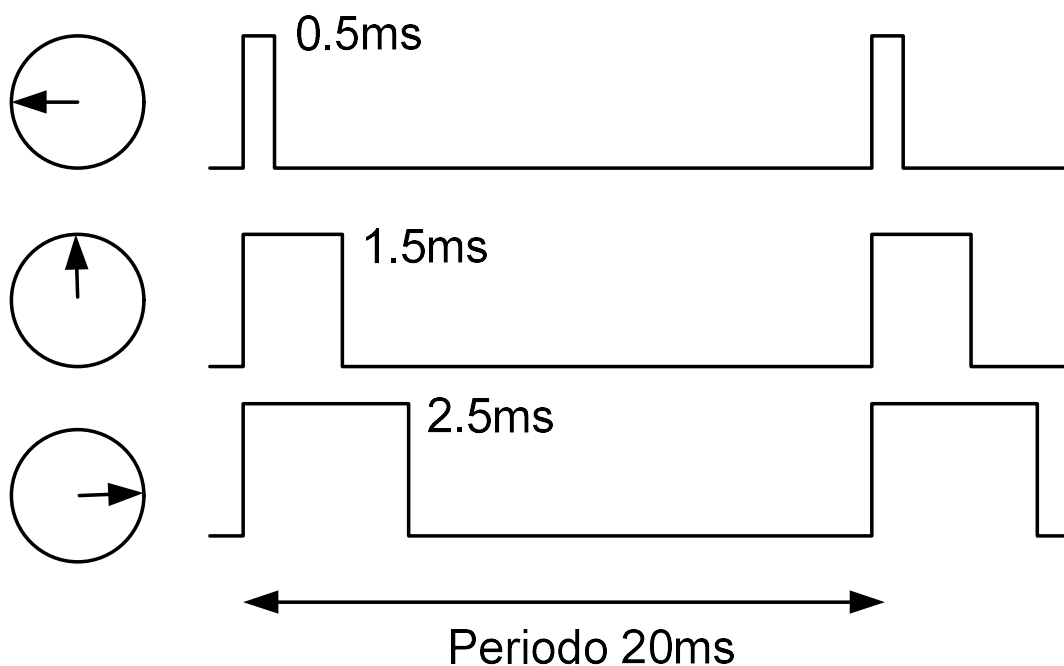
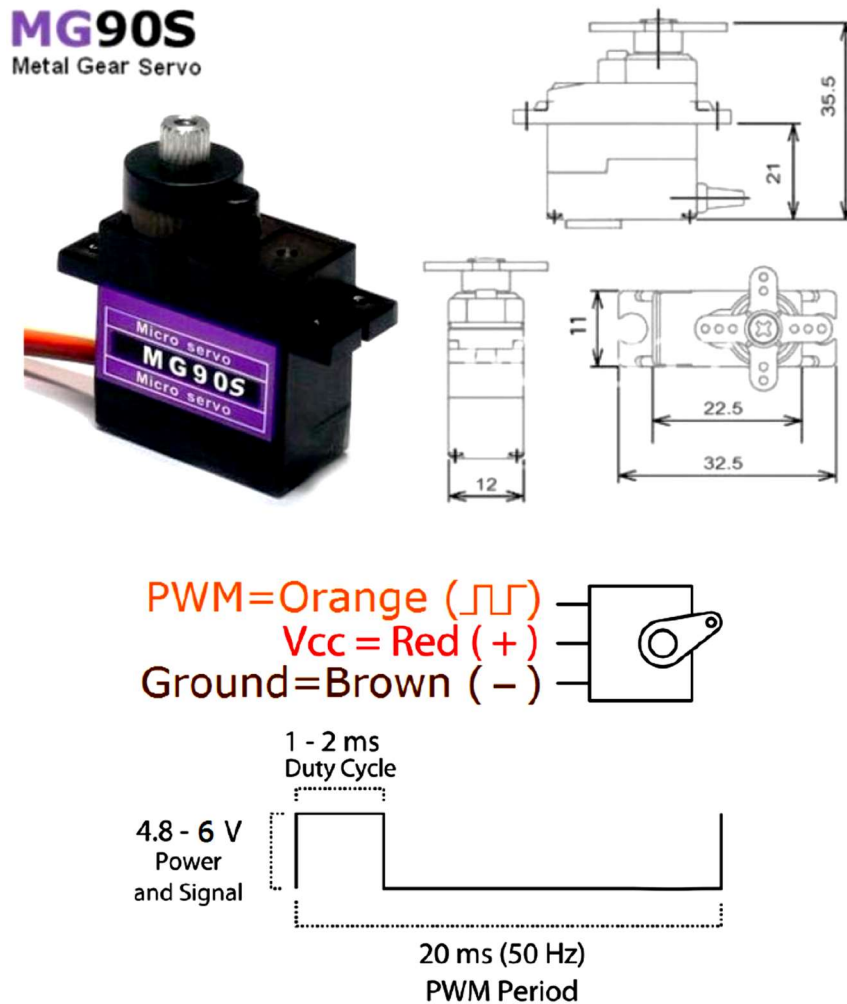


Figura A2. Control del servomotor de ejemplo. Cualquier ángulo intermedio puede codificarse con un ancho de pulso proporcional a los mostrados.

¹ <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>

A continuación, se muestran algunos de los parámetros más importantes del Servo que se utilizará en la práctica.



Especificaciones

- Peso: 13.4 g
- Dimensiones: 22.5 x 12 x 35.5
- Stall torque: 1.8 kgf·cm (4.8V)
- Velocidad: 0.1 s/60 grados
- voltaje: 4.8 V
- Dead band width: 5 μ s
- Position "0" en el medio (pulso de 1.5 ms), "90" final derecha (pulso de ~2 ms), "-90" final a la izquierda (pulso de ~1ms).