

Microcontroladores: Laboratorio 4

1st Mateo Lecuna

Ingeniería en Mecatrónica

Universidad Tecnológica (UTEC)

Fray Bentos, Uruguay

mateo.lecuna@estudiantes.utec.edu.uy

2nd Mateo Sánchez

Ingeniería en Mecatrónica

Universidad Tecnológica (UTEC)

Maldonado, Uruguay

mateo.sanchez@estudiantes.utec.edu.uy

Resumen—En el presente laboratorio se desarrollaron e implementaron distintos sistemas embebidos basados en el microcontrolador ATmega328P, integrando sensores, actuadores y dispositivos de visualización. En los ejercicios iniciales se trabajaron protocolos de comunicación digital entre microcontroladores, fortaleciendo los conceptos de arquitectura maestro-esclavo.

Posteriormente, se diseñó un sistema de control de una matriz LED RGB direccionable, capaz de desplegar animaciones dinámicas a partir de comandos recibidos por comunicación serial, implementando técnicas de temporización no bloqueante. Además, se desarrolló un sistema interactivo que permite el desplazamiento de un objeto luminoso sobre la matriz mediante la lectura de un sensor inercial MPU6050, incorporando control de límites y cambio de color mediante un pulsador.

Finalmente, se construyó un vehículo robótico con tracción diferencial, controlado mediante comunicación UART, integrando control de potencia por PWM, puente H, sensores de línea y un servomotor para un mecanismo de golpeo, aplicando los conceptos de robótica móvil y control de movimiento.

Los resultados obtenidos demostraron la correcta integración entre hardware y software, validando el funcionamiento de sistemas embebidos en tiempo real y el control eficiente de dispositivos electrónicos.

Index Terms—ATmega328P, sistemas embebidos, comunicación serial, WS2812B, matriz LED RGB, MPU6050, I²C, PWM, puente H, robótica móvil.

I. INTRODUCCIÓN

El presente laboratorio tuvo como objetivo principal el diseño, implementación y puesta en funcionamiento de distintos sistemas embebidos utilizando el microcontrolador ATmega328P, integrando sensores, actuadores y dispositivos de visualización. A través de los distintos ejercicios se buscó reforzar conceptos de comunicación digital, control por interrupciones, adquisición de datos y representación visual de información.

I-A. Objetivo general

Desarrollar sistemas electrónicos capaces de interactuar con sensores y dispositivos de salida, aplicando técnicas de programación de microcontroladores, temporización y comunicación digital.

I-B. Objetivos específicos

- **Ejercicio A:** Implementar la configuración básica del microcontrolador, incluyendo el uso de puertos de entrada y salida digitales.

■ **Ejercicio B:** Desarrollar rutinas de temporización mediante el uso de temporizadores internos e interrupciones.

■ **Ejercicio C:** Controlar una matriz LED RGB de 8×8 basada en dispositivos WS2812B, implementando diferentes animaciones y modos de visualización.

■ **Ejercicio D:** Implementar un sistema de control mediante un sensor MPU6050, permitiendo el desplazamiento de un LED en la matriz según la inclinación detectada, e incorporando un pulsador para el cambio de color.

■ **Ejercicio E:** Integrar los conocimientos adquiridos en un sistema funcional que combine sensores, control y visualización, reforzando la arquitectura modular del software.

II. MARCO TEÓRICO

II-A. Ejercicio A

Mediante el uso del protocolo de comunicación SPI (Serial Peripheral Interface), es posible intercomunicar múltiples microcontroladores y dispositivos, otorgándole a un microcontrolador la posibilidad de asumir un rol como Maestro o Esclavo. Por consiguiente, se pueden delegar funciones a otros integrados cuando se actúa como Maestro y llevar a cabo órdenes recibidas cuando se tiene el rol de esclavo.

Basando su conexión de comunicación a un mínimo de 5 cables, estos constan de:

- **MOSI | Master Output - Slave Input | :** Se utiliza como salida de datos del Maestro a los Esclavos, lleva información general, independientemente del esclavo que esté conectado, todos recibirán la misma información
- **MISO | Master Input - Slave Output | :** Permite el retorno de datos o comunicación general de los Esclavos al Maestro, enviando los datos correspondientes únicamente cuando la señal del Selector de Chips coincida con la dirección característica del esclavo.
- **SS | Slave Select | :** Elige el canal de comunicación, tanto para la recepción como para el envío de datos, contando con un pin de activación para cada módulo que se necesite.

II-B. Ejercicio B

II-C. Ejercicio C

Las matrices LED RGB basadas en dispositivos WS2812B permiten el control individual de cada LED mediante una única línea de datos digital, utilizando un protocolo de comunicación con estrictos tiempos de alta y baja precisión. Cada LED recibe tramas de 24 bits en formato GRB (Green–Red–Blue), lo que posibilita la generación de una amplia gama de colores.

Estos dispositivos integran en un mismo encapsulado un LED RGB y un controlador digital, permitiendo la conexión en cascada de múltiples LEDs utilizando un solo pin de datos. El rango típico de alimentación se encuentra entre 3.5 V y 5.3 V, y el consumo de corriente puede alcanzar aproximadamente 60 mA por LED en condiciones de brillo máximo.

El protocolo de comunicación WS2812B opera a una frecuencia aproximada de 800 kHz, utilizando pulsos con duraciones típicas del orden de cientos de nanosegundos, por lo que resulta fundamental controlar con precisión la temporización del microcontrolador.

El microcontrolador ATmega328P se utilizó como unidad de procesamiento principal, gestionando el envío de datos a la matriz y ejecutando las animaciones almacenadas en memoria. Para la temporización del sistema se empleó un temporizador interno configurado en modo CTC, el cual generó interrupciones periódicas, permitiendo una actualización no bloqueante de las animaciones.

Además, se incorporó comunicación UART para seleccionar los distintos modos de visualización de forma externa, facilitando el control del sistema durante las pruebas.

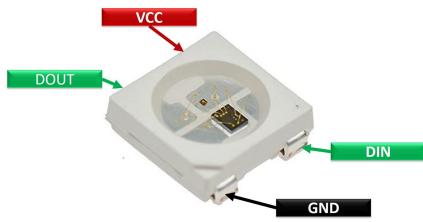


Figura 1. Diagrama de pines del LED direccionable WS2812B. Fuente: Microcontrollers Lab.

II-D. Ejercicio D

El sensor MPU6050 es un dispositivo MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) que combina un acelerómetro de tres ejes y un giroscopio de tres ejes en un mismo encapsulado. Este sensor permite medir aceleraciones lineales y velocidades angulares, siendo ampliamente utilizado en sistemas de control de movimiento y detección de orientación.

El módulo opera típicamente a 3.3 V, aunque muchas placas comerciales incorporan un regulador interno que permite su uso con alimentación de 5 V. La comunicación con el microcontrolador se realiza mediante el protocolo I²C, utilizando una dirección típica de comunicación 0x68.

El acelerómetro interno permite seleccionar distintos rangos de medición (por ejemplo, ±2g, ±4g, ±8g y ±16g), entregando valores digitales de 16 bits que representan la aceleración medida en cada eje. En este trabajo se utilizaron principalmente los ejes X e Y para detectar la inclinación del sistema.

Mediante la lectura periódica de los registros internos del sensor, y la comparación con umbrales definidos por software, fue posible transformar la inclinación física de la placa en desplazamientos discretos de un LED dentro de la matriz, logrando un comportamiento estable y predecible.

La matriz LED RGB direccional permitió representar de forma visual el movimiento del “objeto” dentro de un espacio discreto, facilitando la interpretación del comportamiento del sistema.

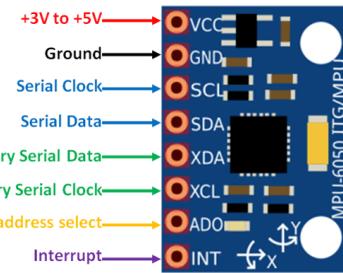


Figura 2. Diagrama de pines del sensor MPU6050. Fuente: Components101.

II-E. Ejercicio E

El sistema desarrollado se basa en una plataforma móvil con tracción diferencial, compuesta por dos motores de corriente continua (DC) controlados mediante un puente H. Este tipo de arquitectura permite controlar tanto la velocidad como el sentido de giro de cada motor de forma independiente, lo que posibilita maniobras como avance, retroceso y giros sobre su propio eje.

El puente H es un circuito electrónico que permite invertir la polaridad aplicada a los motores, habilitando el cambio de sentido de giro. En combinación con técnicas de modulación por ancho de pulso (PWM), es posible regular la velocidad de los motores de forma eficiente, optimizando el consumo energético y el control dinámico del vehículo.

El sistema es alimentado mediante un conjunto de baterías de ion-litio de 3.7 V y 1300 mAh. La configuración eléctrica se realizó mediante dos grupos de celdas conectadas en serie para aumentar el voltaje disponible, y posteriormente dichos grupos fueron conectados en paralelo, obteniendo así un equilibrio entre tensión de alimentación y capacidad de corriente, lo cual resulta fundamental para el correcto funcionamiento de los motores bajo carga.

Para la detección de límites del campo de juego se incorporaron sensores de línea, los cuales permiten identificar superficies oscuras o claras en función de la reflectividad del suelo. Estos sensores son comúnmente utilizados en robótica móvil para navegación básica y sistemas de seguridad, ya que facilitan la detección de bordes o zonas prohibidas.

Adicionalmente, el sistema integra un servomotor utilizando como mecanismo de golpeo. Los servomotores permiten un control preciso de posición angular mediante señales PWM, lo que los hace ideales para aplicaciones donde se requiere un movimiento controlado y repetible, como el accionamiento de mecanismos de disparo o empuje del balón.

La integración de estos subsistemas —motores, puente H, sensores de línea, sistema de alimentación y servomotor— permitió la construcción de un sistema mecatrónico capaz de interactuar con el entorno y ejecutar acciones controladas, aplicando principios fundamentales de electrónica de potencia, control y robótica móvil.

III. METODOLOGÍA

III-A. Ejercicio A

III-B. Ejercicio B

III-C. Ejercicio C

El desarrollo del sistema se dividió en varias etapas claramente definidas:

1. Implementación de un driver de bajo nivel para el control de la matriz WS2812B, considerando los tiempos de transmisión necesarios para garantizar una comunicación estable.
2. Creación de un framebuffer en memoria RAM para almacenar el estado de cada LED antes de ser enviado a la matriz física.
3. Desarrollo de un módulo de animaciones separado (*animaciones.c*), que permitió mantener una estructura modular del código.
4. Implementación de un sistema de control por UART que permitió seleccionar los distintos modos de animación mediante comandos simples.

El sistema fue diseñado de forma no bloqueante, utilizando temporizadores por interrupción para actualizar las animaciones sin afectar el funcionamiento general del microcontrolador.

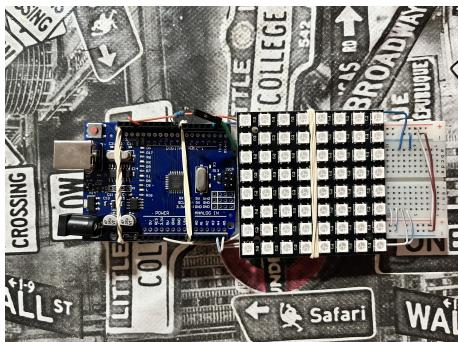


Figura 3. Ensamblado del circuito del Ejercicio C. Fuente: elaboración propia.

III-D. Ejercicio D

El desarrollo de este sistema se llevó a cabo mediante las siguientes etapas:

1. Configuración del bus I²C para la comunicación entre el ATmega328P y el módulo MPU6050.
2. Lectura periódica de los registros de aceleración en los ejes X e Y.
3. Implementación de una lógica de decisión basada en umbrales, que determina el desplazamiento del LED según la inclinación detectada.
4. Implementación de límites físicos de la matriz, evitando que el LED se desplace fuera del área visible.
5. Incorporación de un botón físico para permitir el cambio de color del LED en tiempo de ejecución.

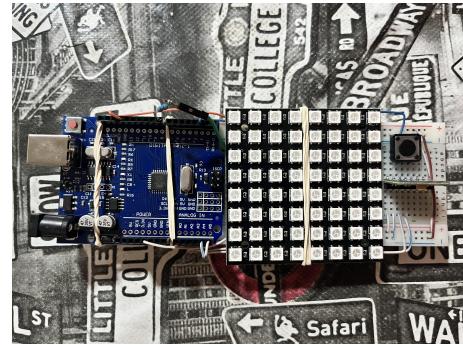


Figura 4. Ensamblado del circuito con el sensor MPU6050. Fuente: elaboración propia.

III-E. Ejercicio E

El sistema se implementó utilizando un microcontrolador ATmega328P que controla un vehículo con tracción diferencial mediante dos motores de corriente continua, gestionados a través de un puente H. El control de velocidad se realizó mediante modulación por ancho de pulso (PWM) utilizando el Timer1 en modo Fast PWM con resolución de 8 bits, generando señales independientes para cada motor.

La dirección de giro de los motores se controló mediante cuatro líneas digitales, permitiendo el movimiento hacia adelante, hacia atrás y giros diferenciales. Se implementó un sistema de recepción de comandos mediante comunicación UART a 9600 baudios, que permitió el control remoto del vehículo mediante caracteres individuales enviados desde un dispositivo externo.

Se incorporó un servomotor controlado mediante el Timer2, configurado para generar una señal PWM compatible con servos estándar, lo que permitió accionar un mecanismo adicional montado sobre el vehículo.

Adicionalmente, se integraron dos sensores de línea conectados a entradas digitales, configuradas con resistencias de pull-up internas. Estos sensores fueron utilizados para detectar la presencia de línea en el suelo, activando un buzzer de alerta cuando se detectaba una condición de borde o línea.

El sistema fue diseñado bajo una arquitectura de lazo principal no bloqueante, donde la recepción de comandos, el control de motores y la lectura de sensores se ejecutan de forma continua y concurrente.

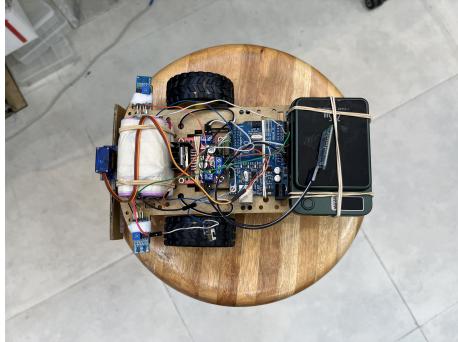


Figura 5. Conexión general del sistema de control del vehículo.

IV. RESULTADOS

IV-A. Ejercicio A

IV-B. Ejercicio B

IV-C. Ejercicio C

El sistema desarrollado permitió visualizar correctamente distintas animaciones sobre la matriz LED RGB de 8x8. Se comprobó la correcta comunicación entre el microcontrolador y la matriz, así como la ejecución fluida de las animaciones sin parpadeos ni retrasos perceptibles.

Los modos de visualización pudieron ser seleccionados exitosamente mediante comandos enviados por el puerto serie, demostrando la funcionalidad del sistema de control implementado.

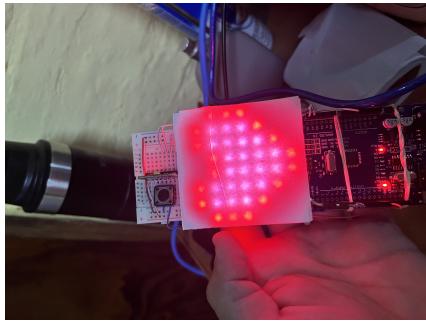


Figura 6. Animación 1 sobre la matriz LED. Fuente: elaboración propia.

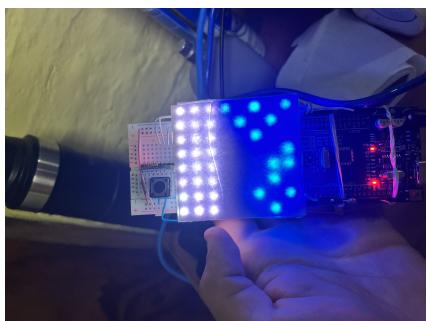


Figura 7. Animación 2 sobre la matriz LED. Fuente: elaboración propia.

IV-D. Ejercicio D

El sistema logró desplazar correctamente un LED dentro de la matriz en función de la inclinación de la placa, manteniendo un comportamiento estable y predecible. Se verificó que el punto luminoso respetara los límites físicos de la matriz, incluso ante inclinaciones extremas.

Asimismo, el cambio de color mediante el botón físico funcionó de forma correcta, permitiendo seleccionar diferentes colores durante la ejecución del sistema.

Los resultados obtenidos demostraron una correcta integración entre sensores, microcontrolador y sistema de visualización.

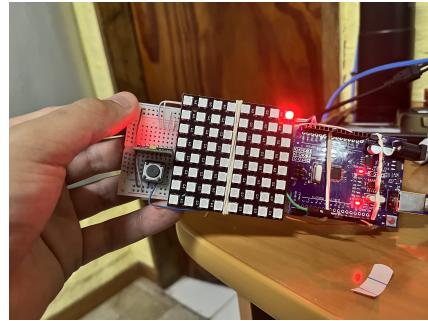


Figura 8. Control de la matriz LED mediante el sensor MPU6050. Fuente: elaboración propia.

IV-E. Resultados – Ejercicio E

El vehículo desarrollado respondió correctamente a los comandos recibidos mediante comunicación UART, logrando ejecutar movimientos de avance, retroceso y giros diferenciales de manera precisa. La implementación del control de velocidad mediante PWM permitió un ajuste efectivo de la velocidad relativa entre ambos motores, mejorando la maniobrabilidad del sistema.

Durante las pruebas, el vehículo demostró un comportamiento estable en distintos escenarios de movimiento, incluyendo desplazamientos rectilíneos y giros sobre su propio eje. El control del servomotor funcionó de forma confiable, permitiendo posicionar el mecanismo asociado en ángulos predefinidos.

Los sensores de línea detectaron correctamente la presencia de bordes y líneas oscuras en la superficie, activando el buzzer de forma inmediata ante condiciones de riesgo. Este sistema de alerta acústica permitió aumentar la seguridad operativa del vehículo durante las pruebas.

El sistema mostró una respuesta inmediata a los comandos de control, evidenciando la correcta integración entre comunicación serial, control de motores y sensado del entorno.

V. CONCLUSIONES

V-A. Ejercicio A

V-B. Ejercicio B

V-C. Ejercicio C

El sistema desarrollado permitió la visualización estable de animaciones en una matriz LED RGB de 8x8 basada

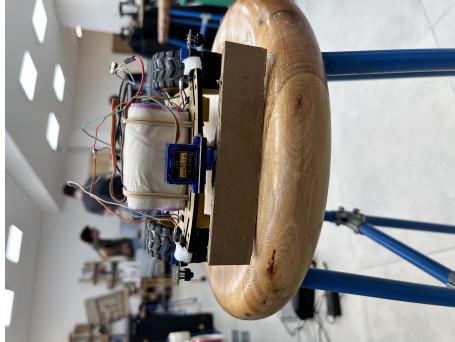


Figura 9. Mecanismo de golpeo. Fuente: Elaboración propia.

en dispositivos WS2812B. Las animaciones se ejecutaron de forma fluida, mediante un sistema de temporización no bloqueante implementado con el temporizador Timer0 en modo CTC, generando un “tick” de 1 ms.

La actualización de los cuadros se realizó utilizando un buffer intermedio en memoria (framebuffer), lo que permitió separar la lógica de generación de animaciones del envío físico de los datos a la matriz. Este enfoque redujo la carga del microcontrolador y mejoró la estabilidad visual del sistema.

La selección de animaciones se logró de forma correcta mediante comandos recibidos por comunicación UART, utilizando un sistema de lectura no bloqueante que permitió cambiar el modo de visualización en tiempo real sin interrumpir la ejecución del sistema. Durante las pruebas, los comandos mostraron una respuesta inmediata, cumpliendo con los requisitos de cambio dinámico de animaciones establecidos en la consigna.

V-D. Ejercicio D

El sistema implementado permitió desplazar un punto luminoso sobre una matriz LED RGB de 8x8 en función de la inclinación física de la placa. La lectura de los datos del sensor MPU6050 se realizó mediante comunicación I²C, obteniéndose valores de aceleración en los ejes X e Y que fueron procesados mediante umbrales definidos por software.

El desplazamiento del LED se realizó de forma discreta y controlada, utilizando un mecanismo de temporización basado en un sistema de *cooldown*, que evitó movimientos erráticos y proporcionó una respuesta más estable al movimiento físico. Asimismo, se implementaron límites lógicos que impidieron que el LED saliera del área visible de la matriz.

El cambio de color del LED se logró correctamente mediante un botón físico, empleando un generador de números pseudoaleatorios basado en un registro de desplazamiento con realimentación lineal (LFSR), lo que permitió obtener combinaciones de color variables durante la ejecución.

Durante las pruebas experimentales, el sistema mostró un comportamiento estable y coherente con las inclinaciones aplicadas, demostrando una correcta integración entre el

sensor inercial, el microcontrolador y el sistema de visualización.

V-E. Conclusiones – Ejercicio E

El desarrollo de este sistema permitió integrar de forma efectiva control de potencia, comunicación serial, sensado de entorno y actuación mecánica dentro de una única plataforma móvil. La arquitectura implementada demostró ser robusta y confiable, permitiendo una operación estable del vehículo bajo control remoto.

Este ejercicio consolidó conocimientos en control de motores, temporización mediante hardware y diseño de sistemas embebidos aplicados a robótica móvil.

REFERENCIAS

- [1] *ATmega328P — 8-bit AVR Microcontroller Datasheet*, Microchip Technology Inc., 2023, microcontrolador principal utilizado en todos los ejercicios del laboratorio. [Online]. Available: [LINK_A_DATESHEET_ATMEGA](#)
- [2] *WS2812B — Intelligent Control RGB LED Integrated Light Source*, Worldsemi, 2020, matriz LED RGB direccionable utilizada en los Ejercicios C y D. [Online]. Available: [LINK_A_DATESHEET_WS2812B](#)
- [3] *MPU6050 — 6-Axis MotionTracking Device*, InvenSense, 2013, sensor inercial (acelerómetro y giroscopio) utilizado en el Ejercicio D. [Online]. Available: [LINK_A_DATESHEET_MP6050](#)
- [4] *L298 — Dual Full-Bridge Driver*, STMicroelectronics, 2022, puente H utilizado para el control de motores DC en el Ejercicio E. [Online]. Available: [LINK_A_DATESHEET_L298](#)
- [5] *DC Motor Technical Specifications*, Generic, 2020, motor de corriente continua utilizado para la tracción del vehículo. [Online]. Available: [LINK_A_DATESHEET_MOTOR_DC](#)
- [6] *Micro Servo Motor SG90 Datasheet*, Tower Pro, 2016, servomotor utilizado para el sistema de golpeo del balón. [Online]. Available: [LINK_A_DATESHEET_SERVO](#)
- [7] *Infrared Line Tracking Sensor Module Datasheet*, Generic, 2019, sensores infrarrojos utilizados para detección de línea en el Ejercicio E. [Online]. Available: [LINK_A_DATESHEET_SENSOR_LINEA](#)
- [8] *Lithium-Ion Battery Technical Specifications*, Generic, 2020, baterías de ion-litio utilizadas en el sistema de alimentación. [Online]. Available: [LINK_A_DATESHEET_BATERIAS_LIION](#)