

# **Sistema Bici-Smart**

Leandro Raul Mallia, Julián Ezequiel Naspleda, Alejandro Maudet, Leonel De  
Luca, Rocio Lorena Chauque  
43520743, 44391303, 43407685, 42588356, \_  
Martes noche, M1

Universidad Nacional de La Matanza,  
Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas,  
Florencio Varela 1903 - San Justo, Argentina

## **Resumen.**

### **Sistema Bici-Smart basado en ESP32**

Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema embebido orientado a bicicletas inteligentes, cuyo propósito es mejorar la seguridad y la experiencia del ciclista mediante monitoreo y control automático. El sistema se implementa sobre un microcontrolador ESP32 y se organiza en una máquina de estados finitos que gestiona sensores y actuadores en tiempo real. Se utiliza un sensor ultrasónico para la medición de distancias, un sensor de luz para evaluar condiciones de visibilidad y un sensor Hall para el cálculo de velocidad. A partir de estos datos, se controlan diferentes actuadores: un servomotor que representa la activación de frenos ante obstáculos cercanos, un LED que mejora la visibilidad en entornos oscuros, un buzzer que alerta sobre la proximidad de estructuras, y una pantalla LCD que informa al ciclista la velocidad actual. El sistema contempla tres estados principales —Stopped, Riding y Braking—, que permiten generar respuestas automáticas y oportunas.

**Palabras claves:** Bici-Smart, ESP32, seguridad, automatización

## 1 Introducción

La movilidad urbana sostenible ha impulsado un creciente interés por el uso de la bicicleta como medio de transporte ecológico, económico y saludable. Sin embargo, el ciclismo urbano enfrenta desafíos relacionados con la seguridad vial y la visibilidad del ciclista ante factores como el tránsito, las condiciones ambientales y los obstáculos imprevistos. En este contexto, la incorporación de tecnologías embebidas ofrece nuevas oportunidades para mejorar la experiencia y reducir riesgos.

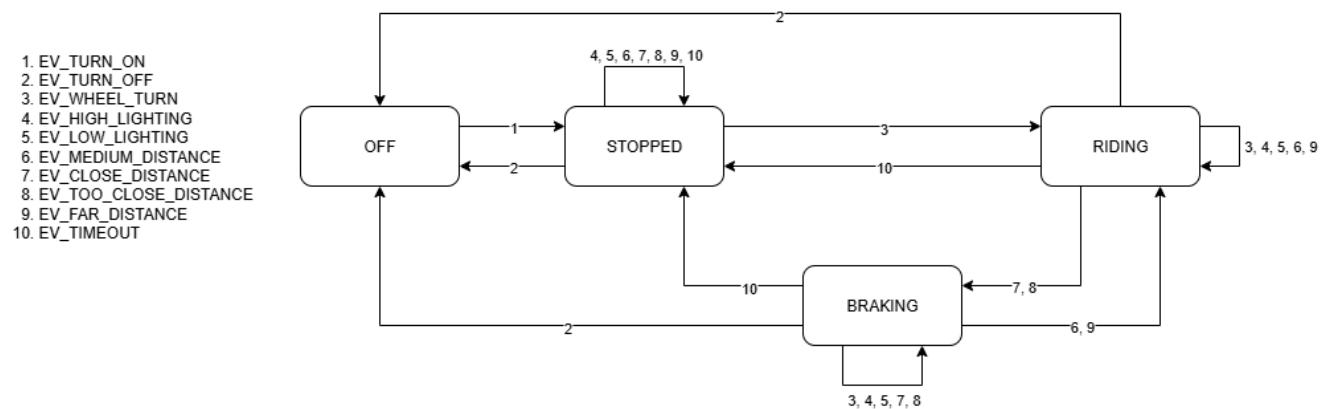
El proyecto Bici-Smart surge como una propuesta tecnológica que integra sensores, actuadores y control en tiempo real para brindar asistencia automática al ciclista. Basado en un microcontrolador ESP32 y desarrollado inicialmente en un entorno de simulación (Wokwi), el sistema permite monitorear variables como velocidad, distancia a obstáculos y luminosidad ambiental, y actuar sobre ellas para optimizar la seguridad y el confort.

El objetivo principal del trabajo es demostrar cómo este sistema embebido puede adaptarse dinámicamente al entorno, proporcionando información visual, alertas sonoras y ejecutando acciones preventivas, como el frenado automático ante obstáculos cercanos. La solución propuesta enfatiza el uso de una arquitectura modular y escalable, lo que facilita futuras mejoras e integración con otros dispositivos inteligentes.

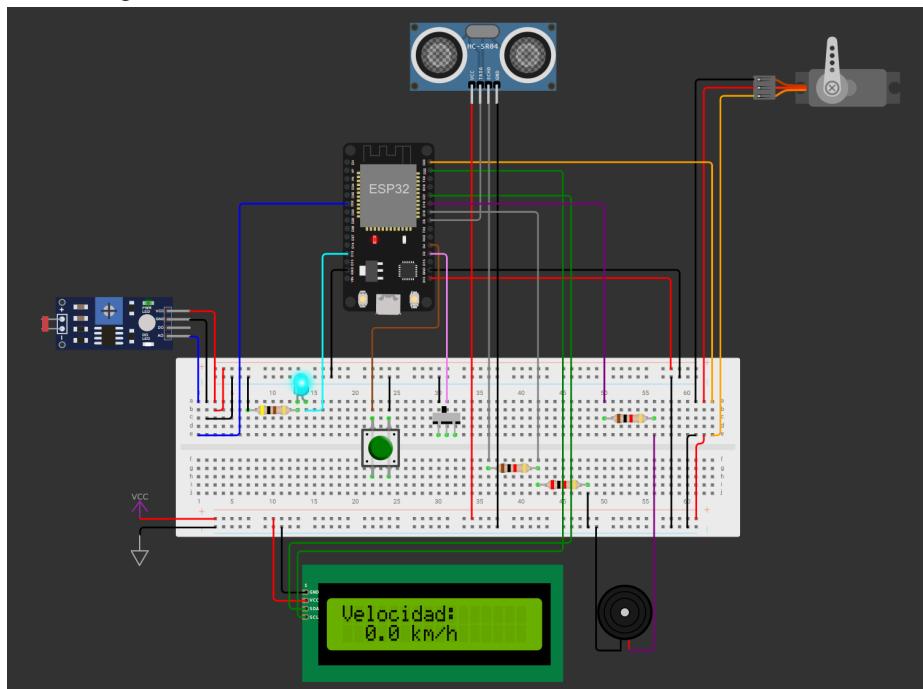
Este paper presenta el diseño, implementación y validación del sistema Bici-Smart, destacando su relevancia como ejemplo de aplicación de sistemas ciberfísicos en movilidad personal y su potencial para contribuir a un transporte más seguro e inteligente en entornos urbanos.

## 2 Desarrollo

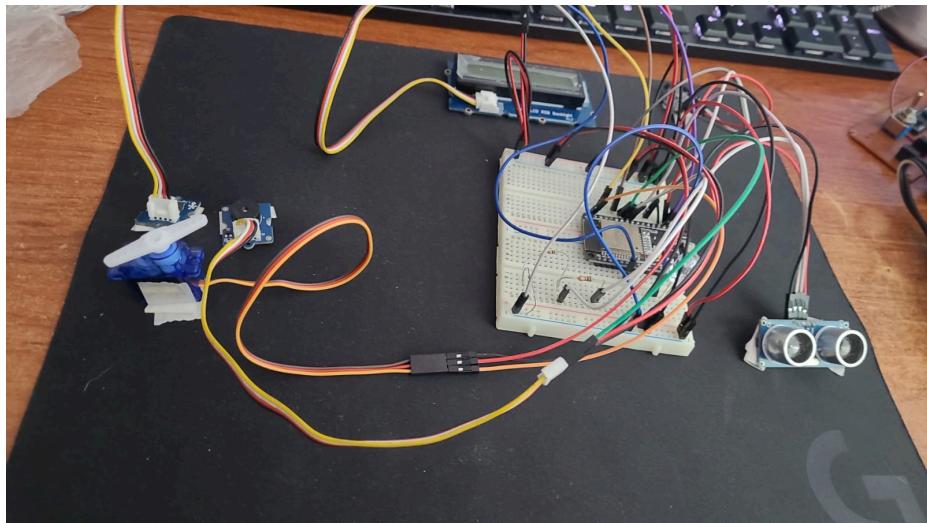
- Diagrama de estados:



- Diagrama de Conexiones del Circuito en Wokwi:

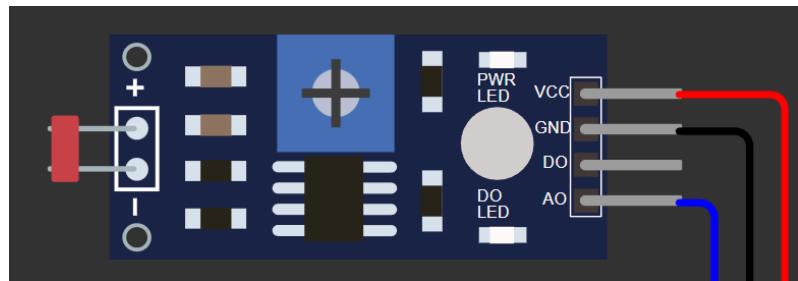


- Conexión física:



- Sensores y actuadores

#### FOTORRESISTENCIA LDR (SENSOR):



- Tipo de sensor: Analógico.
- Descripción del funcionamiento: Se trata de un elemento cuya resistencia eléctrica cambia de manera notable según la cantidad de luz que recibe. Aunque la relación entre la intensidad luminosa y la resistencia no es lineal, sí existe una proporcionalidad inversa: a mayor iluminación, la resistencia disminuye; a menor iluminación, la resistencia aumenta. Su principio de operación se fundamenta en el uso de un semiconductor, el sulfato de sodio, que al ser iluminado permite que los electrones adquieran la energía suficiente para pasar a la banda de conducción, lo que reduce la resistencia al facilitar el flujo de corriente eléctrica.

#### SENSOR DE DISTANCIA (ULTRASONIDO):



- Tipo de sensor: Digital.
- Descripción del funcionamiento: Un sensor ultrasónico determina la distancia hasta un objeto empleando ondas de alta frecuencia. Está formado por dos partes: un emisor, que genera las ondas ultrasónicas y las envía al espacio, y un receptor, que las detecta cuando rebotan contra un obstáculo. Midiendo el tiempo que tarda la onda en ir y volver, es posible calcular la distancia al objeto en centímetros.

La distancia se obtiene con la expresión:

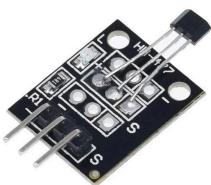
$$\text{Distancia} = \text{Velocidad} \times \text{Tiempo(ida)}$$

Como solo se conoce el tiempo total de viaje de la onda, se considera que el tiempo de ida equivale a la mitad de ese tiempo total. La velocidad empleada es la del sonido en el aire, por lo que la ecuación se puede expresar como:

$$\text{Distancia (cm)} = 0,03446 \times \text{Tiempo(total)} / 2$$

Para iniciar la medición, se aplica al pin trigger un pulso de 10  $\mu\text{s}$  que activa la emisión de la onda ultrasónica. Una vez que el emisor termina de transmitir, el pin echo cambia a un estado alto hasta que el receptor detecta el eco reflejado; en ese instante, el pin vuelve a nivel bajo. El ancho del pulso en el pin echo (es decir, el tiempo que permaneció en estado alto) es el dato usado para calcular la distancia. Si este tiempo supera los 38 ms (aproximadamente), el sensor interpreta que el obstáculo está fuera de su alcance y entrega el valor máximo de medición; en caso contrario, calcula la distancia real al objeto detectado.

#### SENSOR DE EFECTO HALL:

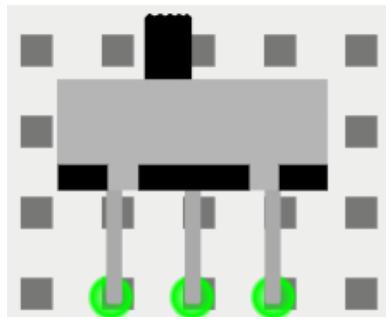


- Tipo de sensor: Digital.
- Descripción del funcionamiento: Un sensor de efecto Hall digital detecta la presencia de un campo magnético generado por un imán en movimiento. Su principio de funcionamiento se basa en el efecto Hall, un fenómeno por el cual, cuando un conductor o semiconductor se encuentra atravesado por una corriente eléctrica y es sometido a un campo magnético perpendicular, se produce una diferencia de potencial en los extremos del material.

En el caso de los sensores digitales, esta variación de voltaje se procesa internamente para generar una señal digital: el pin de salida adopta un estado alto cuando no hay campo magnético cercano y pasa a bajo (o viceversa, según el modelo) cuando el imán se aproxima o supera el umbral de detección.

Este tipo de sensor no entrega un valor analógico proporcional a la intensidad del campo, sino que actúa como un interruptor electrónico, cambiando de estado únicamente cuando el campo magnético alcanza el nivel mínimo requerido.

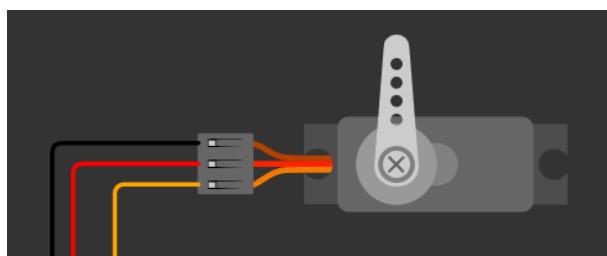
### **SWITCH:**



- Tipo de sensor: Digital.
- Descripción del funcionamiento: Un switch SPDT es un interruptor de tres terminales que permite comutar una conexión entre dos circuitos distintos. Está compuesto por un pin común (COM) y dos pines adicionales: normalmente abierto (NO) y normalmente cerrado (NC). En su funcionamiento, el pin COM se conecta internamente a uno de los otros dos pines según la posición del interruptor:
  - Cuando el switch está en reposo, COM está conectado al pin NC, cerrando ese circuito.
  - Al accionarlo, COM se conecta al pin NO, cerrando el otro circuito y abriendo el primero.

De esta manera, el switch actúa como un conmutador binario, proporcionando una señal digital que puede cambiar entre dos estados definidos. Su uso es muy común para seleccionar modos de operación, encender o apagar sistemas, o alternar señales entre dos rutas distintas en un circuito.

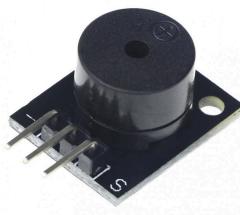
### **SERVOMOTOR:**



- Tipo de actuador: PWM.
- Descripción del funcionamiento: Un servomotor permite controlar con precisión la posición angular de un eje. Su funcionamiento se basa en un motor DC acoplado a un sistema de engranajes y un sensor de retroalimentación (potenciómetro) que indica la posición actual del eje.

El servomotor recibe una señal de control PWM (Pulse Width Modulation) desde un microcontrolador. La duración del pulso determina el ángulo al que debe moverse el eje: un pulso corto corresponde a un ángulo mínimo, un pulso largo al ángulo máximo, y pulsos intermedios permiten posicionamientos intermedios. Internamente, el servomotor compara continuamente la posición deseada (definida por la señal PWM) con la posición actual detectada por el potenciómetro y ajusta el motor hasta que ambas coincidan.

#### **BUZZER (PASIVO):**



- Tipo de actuador: PWM.
- Descripción del funcionamiento: Un buzzer pasivo es un actuador que genera sonido cuando se le aplica una señal eléctrica alterna. A diferencia del buzzer activo, que solo requiere tensión continua para emitir un tono fijo, el buzzer pasivo necesita que se le entregue una señal de frecuencia determinada, generalmente mediante un microcontrolador que produce pulsos digitales. Su funcionamiento se basa en un diafragma piezoelectrónico que vibra cuando la corriente alterna lo atraviesa. La frecuencia de la señal aplicada controla el tono del sonido, mientras que la duración de la señal determina cuánto tiempo se escucha.

#### **PANTALLA LCD (I2C):**



- Tipo de actuador: Digital

- Descripción del funcionamiento: Un LCD I2C es un módulo con pantalla de cristal líquido que permite mostrar información alfanumérica o de símbolos. La comunicación con el microcontrolador se realiza a través del bus I2C, lo que reduce significativamente la cantidad de pines necesarios, usando solo dos: SDA (datos) y SCL (reloj). Cada carácter mostrado se representa internamente mediante una matriz de puntos, y el módulo incluye un controlador integrado que gestiona la conversión de las señales I2C en los comandos necesarios para controlar la pantalla, como posicionar el cursor, encender o apagar el display, y escribir caracteres.

#### **LED:**



- Tipo de actuador: Digital
- Descripción del funcionamiento: El diodo es un componente electrónico que permite que la corriente eléctrica fluya en un único sentido, desde el ánodo hacia el cátodo. Cuando se aplica una tensión en sentido contrario, el diodo se comporta como un interruptor abierto, bloqueando el paso de corriente. Un LED (Light Emitting Diode) es un tipo especial de diodo que, además de permitir el flujo de corriente en la dirección correcta, emite luz durante su conducción.

- Manual de usuario:

El sistema embebido Bici-Smart ha sido diseñado para mejorar la seguridad y la experiencia del ciclista mediante monitoreo en tiempo real y control automático. Usando un ESP32 simulado en la plataforma Wokwi, este sistema se basa en una máquina de estados que gestiona sensores y actuadores. El sistema responde automáticamente a condiciones del entorno y a la dinámica de la bicicleta, mostrando la velocidad en una pantalla LCD.

Componente	Descripción
ESP32	Microcontrolador que gestiona el sistema.
Sensor ultrasónico	Mide la distancia a obstáculos frontales.
Sensor de luz (LDR)	Detecta condiciones de iluminación ambiental.
Sensor Hall	Detecta cada vuelta de rueda de la bicicleta.
Servo motor	Simula la activación de un mecanismo de frenado automático según la distancia.
LED	Se enciende en condiciones de baja iluminación para mejorar la visibilidad.
Buzzer	Emite distintos sonidos de alerta cuando la bicicleta se aproxima a un obstáculo.
Pantalla LCD	Muestra la velocidad medida en km/s.
Switch	Enciende o apaga lógicamente al sistema embebido.

Funcionamiento general:

El sistema puede operar automáticamente según las condiciones detectadas:

- Iluminación: el LED se enciende de manera automática si la luz ambiente es baja gracias al sensor de luz.
- Distancia: el servo ajusta la posición y el buzzer emite alertas dependiendo de la cercanía de un obstáculo a partir de la distancia capturada por el Sensor ultrasónico.
- Velocidad: el sensor Hall mide la velocidad y la LCD la muestra en tiempo real.

Estado	Descripción
OFF	Sistema apagado. Todos los actuadores permanecen inactivos (LED, buzzer y pantalla apagados, servo en cero grados), y solo se lee el switch.

STOPPED	Bicicleta detenida. El servo mantiene posición de reposo (frenos desactivados), el buzzer se encuentra apagado y la pantalla muestra velocidad en cero. El led puede estar encendido o no dependiendo de las condiciones de iluminación.
RIDING	Bicicleta en movimiento. Se actualiza la velocidad en pantalla, el LED puede encenderse dependiendo de las condiciones de luz, y el buzzer puede alertar (con el sonido más grave de los tres que proporcionará) si un objeto se acerca.
BRAKING	Estado de frenado automático. El servo se posiciona en proporción a la distancia al obstáculo, siendo los 180° la representación de frenado máximo, y el buzzer emite otros dos tipos de alertas (cada vez más agudas en relación a la distancia). El LED puede estar encendido o no dependiendo de las condiciones lumínicas.

Evento	Descripción
EV_TURN_ON	Se enciende el sistema, pasando del estado OFF a STOPPED.
EV_TURN_OFF	Se apaga el sistema desde cualquier estado activo, volviendo a OFF.
EV_WHEEL_TURN	Se detecta el giro de la rueda mediante el sensor Hall (pulsador en la simulación); actualiza la velocidad en la pantalla LCD.
EV_HIGH_LIGHTING	Se detecta alta luminosidad (ambiente claro) por lo tanto se apaga el LED.
EV_LOW_LIGHTING	Se detecta baja luminosidad (ambiente oscuro) por lo tanto se enciende el LED.
EV_MEDIUM_DISTANCE	Un objeto se detecta a distancia media

	(THRESHOLD_MEDIUM), el sistema no activa el frenado pero sí activa el buzzer con un sonido leve de advertencia.
EV_CLOSE_DISTANCE	Un objeto se detecta a distancia cercana (THRESHOLD_CLOSE), se activan los frenos (servo en la simulación) en proporción a la distancia, y suena el buzzer con un sonido medio de alerta.
EV_TOO CLOSE_DISTANCE	Un objeto se detecta a una distancia muy cercana (THRESHOLD_TOO_CLOSE), los frenos se activan a máxima intensidad (servo en 180°) y el buzzer emite alerta crítica.
EV_FAR_DISTANCE	No hay obstáculos cercanos, los frenos se desactivan (servo en 0°) y el buzzer se apaga.
EV_TIMEOUT	Se alcanza un tiempo de espera definido sin eventos de vuelta de rueda, por lo que se determina que la bicicleta se detuvo, retornando al estado STOPPED.

#### Condiciones de activación

- Encendido automático del LED: baja iluminación detectada por el LDR.
- Acción del servo (freno): obstáculos detectados por el sensor ultrasónico en rangos cercanos:
  - Distancia > Cerca → frenos desactivados.
  - Cerca  $\geq$  Distancia > Muy cerca → frenos proporcionales a la distancia.
  - Distancia  $\leq$  Muy cerca → frenos máximos activados.
- Activación del buzzer:
  - Distancia > Media → sin sonido.
  - Media  $\geq$  Distancia > Cerca → sonido de advertencia.
  - Cerca  $\geq$  Distancia > Muy cerca → sonido de alerta.
  - Distancia  $\leq$  Muy cerca → sonido crítico.

## Modo Debug / Productivo

El sistema puede operar en modo:

- Debug: muestra en el monitor serie el estado del embebido y el evento detectado.
- Productivo: silencia los Serial.print para optimizar el rendimiento.

Se controla comentando y descomentando la constante:

```
#define LOG
```

## Mantenimiento / Simulación en Wokwi

- Para encender o apagar la bicicleta, utilizar el switch.
  - Para simular la distancia, ajustar manualmente el sensor ultrasónico.
  - Para simular la iluminación, variar el valor del LDR.
  - Para simular la velocidad, generar pulsos en el sensor Hall representado por un botón (oprimir repetidas veces el botón).
  - Para verificar el frenado automático (servo), ajustar manualmente el sensor ultrasónico (siempre que la bicicleta esté en movimiento, que será desde el momento que se presionó el pulsador hasta el tiempo en microsegundos determinado por la constante SPEED\_TIMEOUT\_US).
  - La pantalla LCD reflejará en todo momento la velocidad de la bicicleta siempre y cuando no esté apagada.
- Link del proyecto en Wokwi:  
<https://wokwi.com/projects/442921858326069249>

### **3 Referencias**

1. Seeed Studio Wiki, “Grove - Buzzer,” Seeed Studio, 2022. [Online]. Available: <https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Buzzer/>
2. Seeed Studio Wiki, “Grove - LCD RGB Backlight,” Seeed Studio, 2023. [Online]. Available: [https://wiki.seeedstudio.com/Grove-LCD\\_RGB\\_Backlight/](https://wiki.seeedstudio.com/Grove-LCD_RGB_Backlight/)
3. Seeed Documentation, “Grove - Light Sensor,” Seeed Studio, n.d. [Online]. Available: [https://seeeddoc.github.io/Grove-Light\\_Sensor/](https://seeeddoc.github.io/Grove-Light_Sensor/)
4. Wokwi, “Wokwi Online Arduino and ESP32 Simulator,” Wokwi.com, 2025. [Online]. Available: <https://wokwi.com>