



UNIVERSIDAD  
**CATÓLICA**  
BOLIVIANA  
COCHABAMBA

**Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería  
Internet de las Cosas**

**Objetos Inteligentes: Actuador y Sensor**

*Practica II de IoT*

**Santiago Andres Iturri Vargas**

**Camilo Douglas Padilla Villagomez**

**Santiago Saavedra Lopez**

**Msc. Eduardo Enrique Marin Garcia**

Cochabamba – Bolivia

Septiembre del 2024

## 1. Introducción

### 1.1. Objetivo

Diseñar e implementar un sistema que integre dos dispositivos ESP32 conectados a un sensor ultrasónico y un conjunto de actuadores LED, utilizando un servidor Java como intermediario, que permita la comunicación mediante el protocolo TCP sobre una red IEEE 802.11.

### 1.2. Objetivos Específicos

- El sistema debe controlar los LEDs de acuerdo con la distancia hacia un objeto:
- Si la distancia es menor a 15 cm, se enciende el LED rojo;
- Si es menor a 25 cm, se enciende el LED amarillo;
- Si es menor a 40 cm, se enciende el LED verde;
- Si la distancia es mayor a 40 cm, se enciende el LED azul.

### 1.3. Descripción del sistema

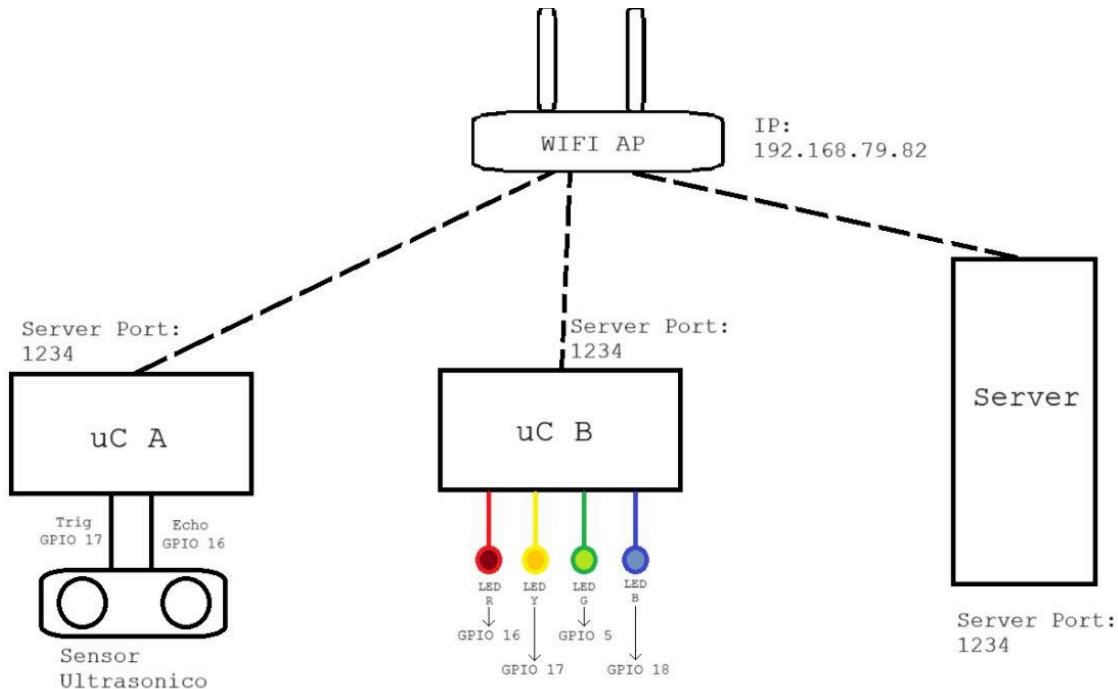
El sistema diseñado consiste en la integración de dos dispositivos ESP32, uno conectado a un sensor ultrasónico y el otro a un conjunto de actuadores LED. Ambos dispositivos se comunican a través de un servidor Java que actúa como intermediario, utilizando el protocolo TCP sobre una red IEEE 802.11.

El **ESP32 con el sensor ultrasónico** se encarga de medir la distancia hacia un objeto en tiempo real. Las mediciones de distancia son enviadas continuamente al servidor, el cual procesa esta información y toma decisiones sobre qué LEDs deben encenderse en el **ESP32 actuador**.

Este enfoque modular permite que los dos ESP32, el sensor y los actuadores funcionen de manera sincronizada, garantizando una comunicación eficiente y un control flexible sobre el comportamiento del sistema, de manera automática.

## 2. Análisis y Diseño

### 2.1. Diagrama de Arquitectura



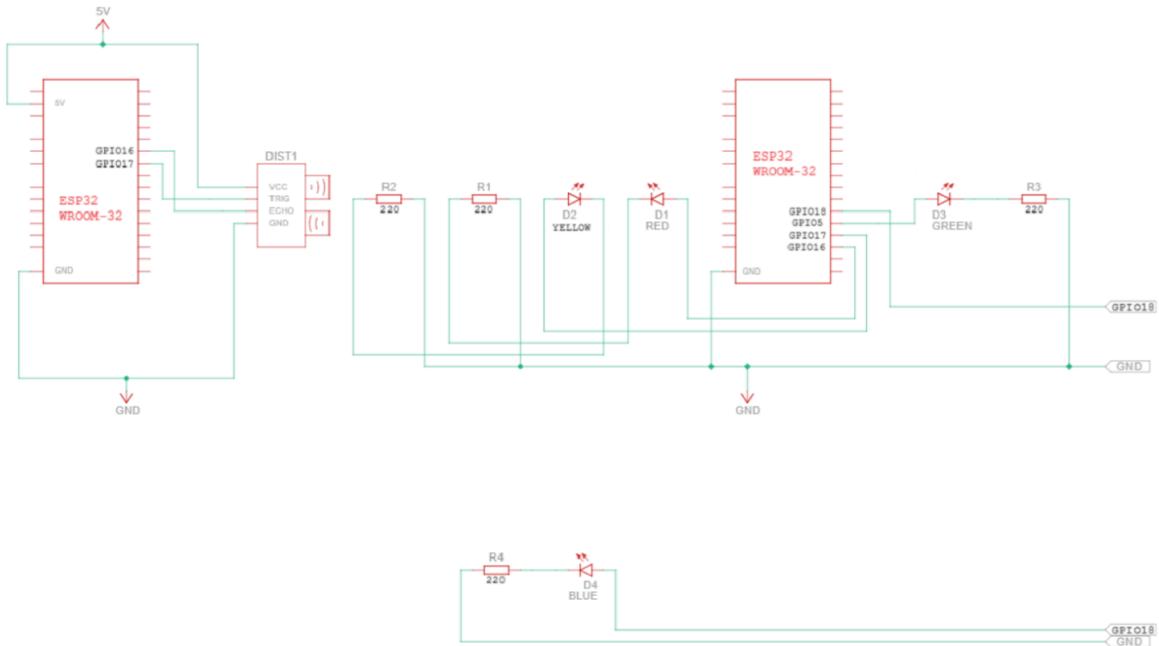
**Figura 1.** Diagrama de Arquitectura  
(Fuente: Elaboración propia)

El diagrama de arquitectura tiene dos microcontroladores (denotados como "uC A" y "uC B"), conectados a través de un punto de acceso WiFi (WIFI AP) con la dirección IP 192.168.79.82. Los microcontroladores se comunican utilizando el puerto del servidor 1234.

- uC A: Está conectado a un sensor ultrasónico, con el pin TRIG conectado al GPIO 17 y el pin ECHO conectado al GPIO 16 del microcontrolador.
- uC B: Controla cuatro LEDs (rojo, amarillo, verde y azul). Los LEDs están conectados a los pines GPIO del microcontrolador de la siguiente manera:
  - LED rojo: GPIO 16
  - LED amarillo: GPIO 17
  - LED verde: GPIO 5
  - LED azul: GPIO 18
- Server: Otro componente del sistema es el servidor, que también está conectado al mismo puerto del servidor 1234.

Este diagrama describe un sistema en el que los microcontroladores y el servidor se comunican a través de la red WiFi, probablemente para controlar los LEDs en función de la información obtenida por el sensor ultrasónico conectado al uC A.

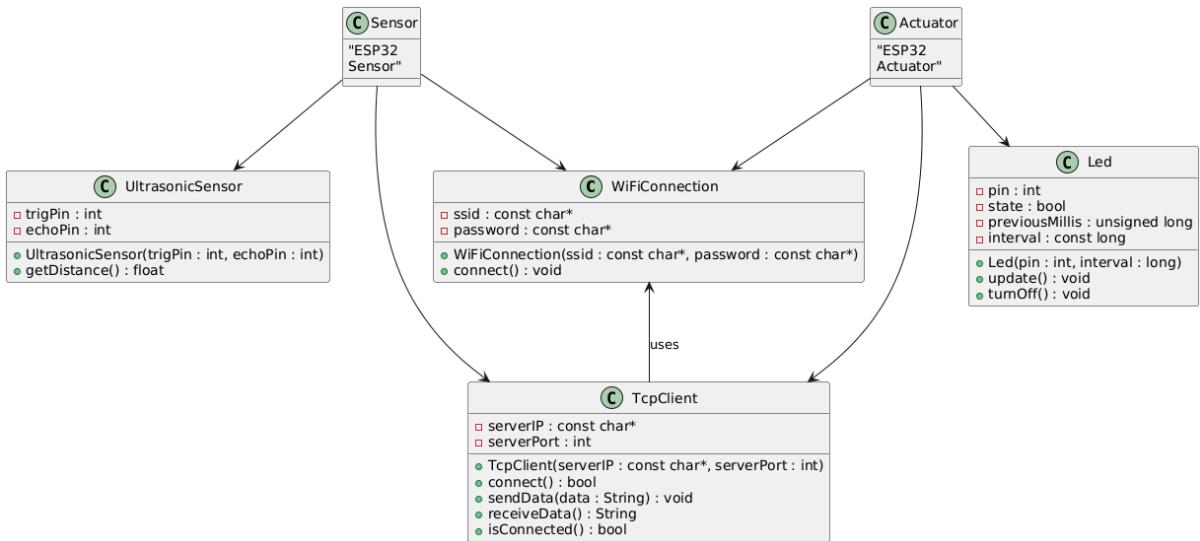
## 2.2. Diagrama de Circuitos



**Figura 2.** Diagrama de Circuitos  
(Fuente: Elaboración propia)

El diagrama de circuitos para el código incluye un sensor ultrasónico HC-SR04, 4 LEDs, dos Unidades de Procesamiento ESP32-WROOM, y 4 resistencias de aproximadamente 220 ohmios. El sensor ultrasónico está alimentado por la fuente de 5V del ESP 32 de la izquierda con sus conexiones para el pin 17("trigger Pin") y para el pin 16("echo Pin"). Cada uno de los 4 LEDs está conectado a un pin digital del ESP32 a través de una resistencia de 220 ohmios para limitar la corriente y evitar daños. Las resistencias están conectadas en serie con los LEDs, que a su vez están conectados a pines digitales del ESP32 para controlar su encendido y apagado en función de la distancia medida por el sensor ultrasónico.

### 2.3. Diagrama de Estructura



**Figura 3.** Diagrama de Estructura  
(Fuente: Elaboración propia)

#### WiFiConnection:

- Esta clase maneja la conexión a la red WiFi, tanto en el **sensor** como en el **actuador**. Incluye atributos para el SSID y la contraseña, y un método **connect()** para establecer la conexión a la red.
- Es usada por ambas clases, **Sensor** y **Actuator**, para conectarse a la red.

#### TcpClient:

- Clase que maneja la comunicación TCP con el servidor. Permite conectar al servidor, enviar y recibir datos, y verificar si la conexión está activa mediante el método **isConnected()**.
- Es usada tanto por el **Sensor** como por el **Actuator** para enviar y recibir datos con el servidor.

#### UltrasonicSensor:

- Clase específica del **sensor** que mide la distancia mediante el sensor ultrasónico. Usa los pines TRIG y ECHO y permite obtener la distancia mediante el método **getDistance()**.

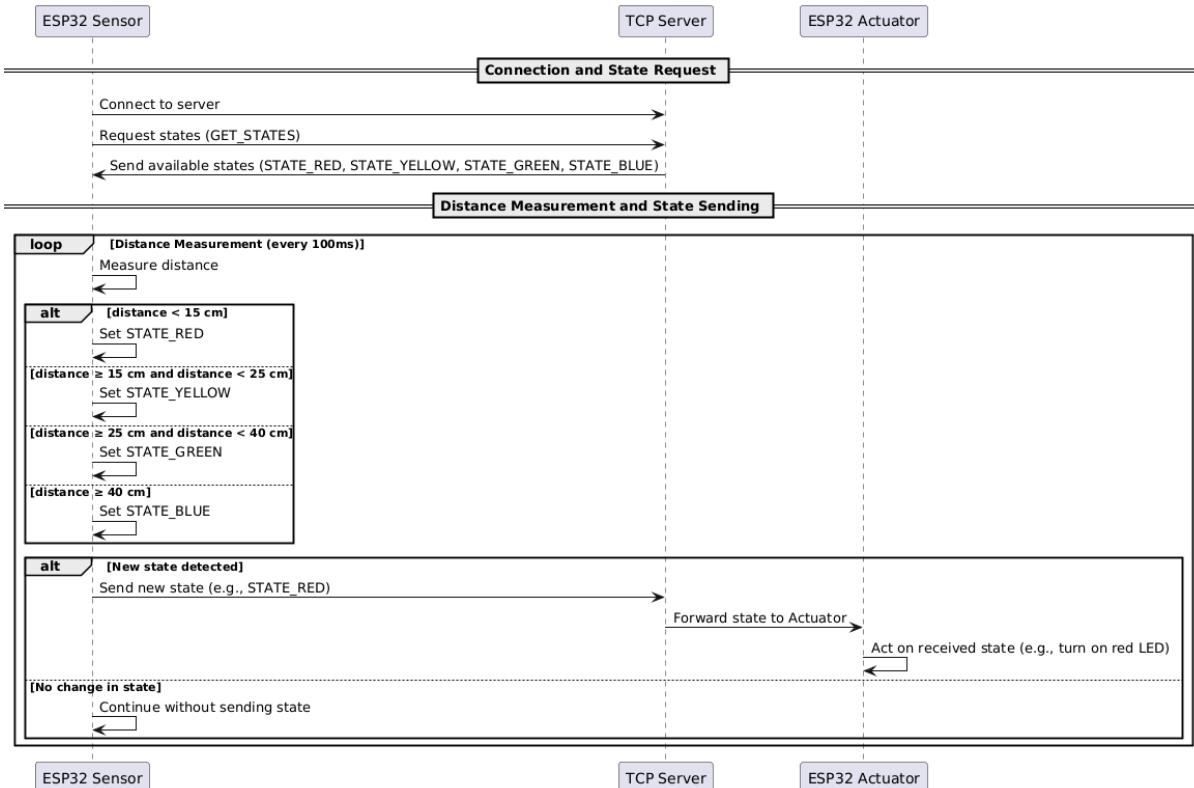
#### Led:

- Clase usada por el **Actuator** para controlar el estado de los LEDs. Cada LED tiene un pin y un intervalo de tiempo para parpadear o mantenerse encendido. Incluye métodos para actualizar el estado (**update()**) y apagar el LED (**turnOff()**).

#### Interacción entre el Sensor y el Actuador:

- El **Sensor** mide distancias usando la clase **UltrasonicSensor** y envía los datos al servidor mediante la clase **TcpClient**.
- El **Actuator** recibe los estados enviados desde el servidor y enciende/apaga los LEDs usando la clase **Led**.

## 2.4. Diagrama de Comportamiento



**Figura 4.** Diagrama de Comportamiento  
(Fuente: Elaboración propia)

### Conexión y Solicitud de Estados:

- El **Sensor** se conecta al **Servidor** mediante el protocolo TCP.
- El **Sensor** solicita los estados disponibles (por ejemplo, **STATE\_RED**, **STATE\_YELLOW**, **STATE\_GREEN**, **STATE\_BLUE**), y el **Servidor** responde con esta información.

### Medición de Distancia y Envío de Estado:

- El **Sensor** mide la distancia en intervalos regulares (cada 100 ms).
- Según el valor de la distancia medida, el **Sensor** determina el estado:
  - Si la distancia es menor a 15 cm, se asigna el **Estado Rojo (STATE\_RED)**.
  - Si la distancia está entre 15 cm y 25 cm, se asigna el **Estado Amarillo (STATE\_YELLOW)**.
  - Si la distancia está entre 25 cm y 40 cm, se asigna el **Estado Verde (STATE\_GREEN)**.

- Si la distancia es mayor a 40 cm, se asigna el **Estado Azul (STATE\_BLUE)**.
- Si el estado ha cambiado, el **Sensor** envía el nuevo estado al **Servidor**.
- El **Servidor** reenvía el estado al **Actuador**, quien enciende el LED correspondiente.
- Si no hay cambio de estado, el **Sensor** no envía nada y continúa midiendo.

## 2.5 Requerimientos Funcionales

Encender el LED Azul para objetos con una distancia  $d > 40$  cm. → Estado 4

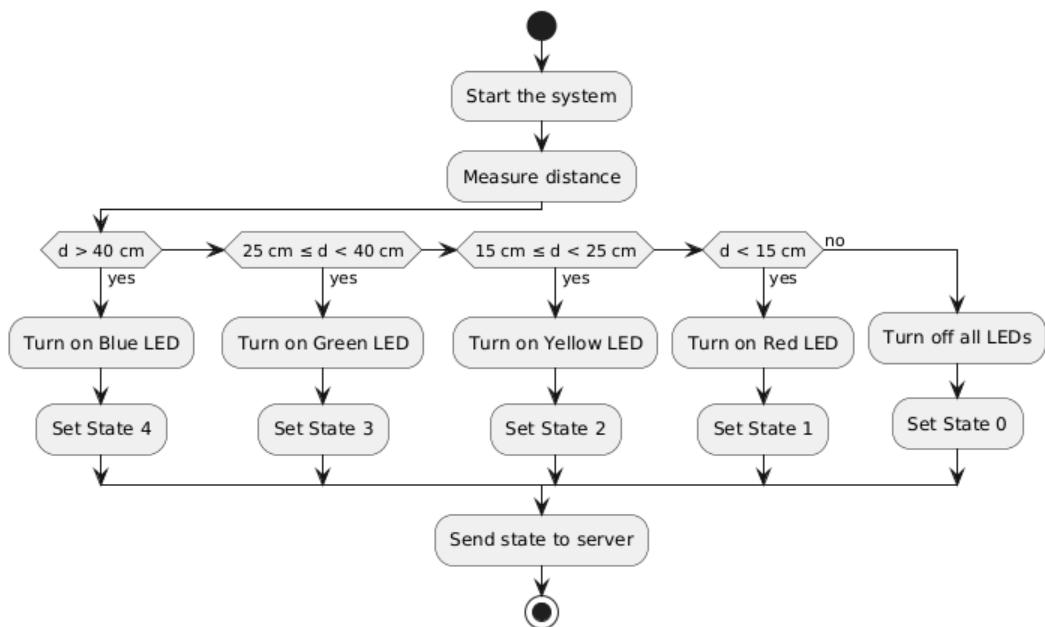
Encender el LED Verde para objetos que se encuentren entre  $25 \text{ cm} \geq d < 40$  cm. → Estado 3

Encender el LED Amarillo para objetos que se encuentren entre  $15 \text{ cm} \geq d < 25$  cm. → Estado 2

Encender el LED Rojo para objetos que se encuentren entre  $0 \text{ cm} \geq d < 15$  cm. → Estado 1

Si no se cumplen los casos anteriores, los tres LEDs permanecen apagados. → Estado 0

## 2.6 Diagrama de Flujo



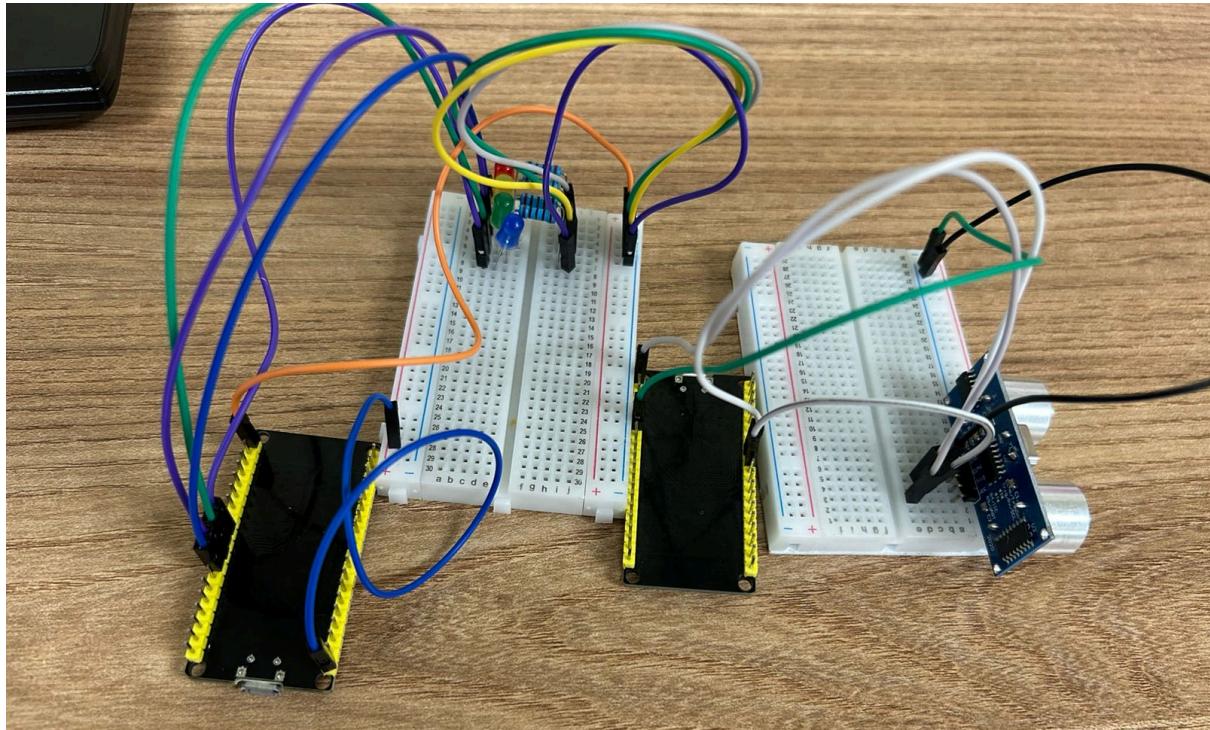
**Figura 4.** Diagrama de Flujo  
(Fuente: Elaboración propia)

## 3. Desarrollo e Implementación

### 3.1. Código fuente

<https://github.com/Ichurri/sensor-actuator-iot>

### 3.2. Imágenes del Circuito



**Figura 5.** Circuito  
(Fuente: Elaboración propia)

### 3. Pruebas y Validaciones

#### 4.1. Plan de Pruebas

- Si la distancia desde el sensor ultrasónico hacia un objeto es menor a 15 cm, se enciende el LED rojo.
- Si la distancia desde el sensor ultrasónico hacia un objeto es mayor a 15 cm y menor a 25 cm, se enciende el LED amarillo.
- Si la distancia desde el sensor ultrasónico hacia un objeto es mayor a 15 cm y menor a 40 cm, se enciende el LED verde.
- Si la distancia desde el sensor ultrasónico hacia un objeto es mayor a 40 cm, se enciende el LED azul.

## 4.2. Documentación de Pruebas

Nº Prueba	Caso de Prueba	Descripcion	Salida Esperada [LED]	Entrada [cm]	Salida Obtenida [cm]	Error Absoluto[cm]	Error Relativo (%)
1	Distancia al objeto es menor a 15 cm	Si la distancia desde el sensor ultrasónico hacia un objeto es menor a 15 cm, se enciende el LED rojo.	LED ROJO ENCENDIDO	14	14.76	0.76	10.64
2				12	11.44	0.56	6.72
3				5	4.73	0.27	1.35
4				8	7.96	0.04	0.32
5				10	9.69	0.31	3.10
6				4	3.57	0.43	1.72
7				7	6.49	0.51	3.57
8				13	13.23	0.23	2.99
9				11	11.17	0.17	1.87
10				6	5.61	0.39	2.34
11				12	11.17	0.83	9.96
12				10	9.71	0.29	2.90
13				8	7.67	0.33	2.64
14				9	8.82	0.18	1.62
15				11	10.3	0.7	7.70
16				13	12.61	0.39	5.07
17				12	12.05	0.05	0.60
18				9	8.84	0.16	1.44
19				5	5.03	0.03	0.15
20				10	9.42	0.58	5.80

Nº Prueba	Caso de Prueba	Descripcion	Salida Esperada [LED]	Entrada [cm]	Salida Obtenida [cm]	Error Absoluto[cm]	Error Relativo (%)
1	Distancia al objeto es mayor a 15 cm y menor a 25 cm	Si la distancia desde el sensor ultrasónico hacia un objeto es mayor a 15 cm y menor a 25 cm, se enciende el LED	LED AMARILLO ENCENDIDO	20	19.53	0.47	9.40
2				18	17.93	0.07	1.26
3				23	22.52	0.48	11.04
4				20	20.49	0.49	9.80
5				17	16.98	0.02	0.34
6				19	18.58	0.42	7.98
7				23	22.52	0.48	11.04
8				18	17.63	0.37	6.66
9				16	15.71	0.29	4.64

10		amarillo.		20	19.53	0.47	9.40
11				22	21.95	0.05	1.10
12				24	23.39	0.61	14.64
13				18	17.63	0.37	6.66
14				23	22.52	0.48	11.04
15				20	19.53	0.47	9.40
16				17	16.66	0.34	5.78
17				23	22.51	0.49	11.27
18				19	19.53	0.53	10.07
19				22	21.95	0.05	1.10
20				18	17.29	0.71	12.78

Nº Prueba	Caso de Prueba	Descripcion	Salida Esperada [LED]	Entrada [cm]	Salida Obtenida [cm]	Error Absoluto[cm]	Error Relativo (%)
1	Distancia al objeto es mayor a 25 cm y menor a 40 cm	Si la distancia desde el sensor ultrasónico hacia un objeto es mayor a 15 cm y menor a 40 cm, se enciende el LED verde.	LED VERDE ENCENDIDO	30	29.22	0.78	23.40
2				35	34.39	0.61	21.35
3				38	37.13	0.87	33.06
4				27	26.25	0.75	20.25
5				29	28.22	0.78	22.62
6				33	32.33	0.67	22.11
7				37	36.23	0.77	28.49
8				35	34.85	0.15	5.25
9				29	28.44	0.56	16.24
10				31	31.04	0.04	1.24
11				34	33.88	0.12	4.08
12				36	35.07	0.93	33.48
13				38	37.81	0.19	7.22
14				30	29.22	0.78	23.40
15				27	26.54	0.46	12.42
16				29	28.19	0.81	23.49
17				35	34.83	0.17	5.95
18				30	29.75	0.25	7.50
19				37	36.23	0.77	28.49
20				29	29.21	0.21	6.09

Nº Prueba	Caso de Prueba	Descripcion	Salida Esperada [LED]	Entrada [cm]	Salida Obtenida [cm]	Error Absoluto[cm]	Error Relativo (%)
1	Distancia al objeto es mayor a 40 cm	Si la distancia desde el sensor ultrasónico hacia un objeto es mayor a 40 cm, se enciende el LED azul.	LED AZUL ENCENDIDO	45	45.37	0.37	16.65
2				46	45.97	0.03	1.38
3				55	54.96	0.04	2.20
4				61	60.55	0.45	27.45
5				50	49.13	0.87	43.50
6				46	45.17	0.83	38.18
7				47	46.38	0.62	29.14
8				50	49.78	0.22	11.00
9				43	42.21	0.79	33.97
10				50	48.96	1.04	52.00
11				47	47.77	0.77	36.19
12				54	49.28	4.72	254.88
13				50	49.02	0.98	49.00
14				53	51.98	1.02	54.06
15				49	48.26	0.74	36.26
16				54	54.79	0.79	42.66
17				48	48.11	0.11	5.28
18				52	52.16	0.16	8.32
19				47	46.78	0.22	10.34
20				55	53.98	1.02	56.10

Error Promedio = 17.28%

Desviación Estándar = 30.29

#### 4.3. Documentación de Errores



**Figura 6**  
(Fuente: Elaboración propia)

## 4. Resultados y Conclusiones

### 5.1. Resultados

Las pruebas realizadas con el sistema de control de LEDs basado en la distancia medida por el sensor ultrasónico proporcionaron los siguientes resultados:

#### 1. Distancias menores a 15 cm (LED Rojo)

- El sistema detectó correctamente las distancias menores a 15 cm, encendiendo el LED rojo.
- El error promedio en esta categoría fue bajo, con un error absoluto promedio de 0.45 cm y un error relativo promedio de 4.23%.
- Ejemplos de los resultados obtenidos incluyen una entrada de 14 cm con una salida de 14.76 cm, lo que generó un error relativo del 10.64%, y otra entrada de 5 cm con una salida de 4.73 cm, resultando en un error relativo del 1.35%.

#### 2. Distancias entre 15 cm y 25 cm (LED Amarillo)

- Las distancias detectadas en este rango encendieron correctamente el LED amarillo.
- El error absoluto promedio fue de 0.44 cm, y el error relativo promedio fue de 7.82%.
- Algunos casos relevantes incluyen una entrada de 20 cm con una salida de 19.53 cm (error relativo de 9.4%) y una entrada de 17 cm con una salida de 16.98 cm, obteniendo un error relativo de apenas 0.34%.

#### 3. Distancias entre 25 cm y 40 cm (LED Verde)

- El sistema mostró un comportamiento consistente para este rango de distancias, encendiendo el LED verde.
- Se observó un error absoluto promedio de 0.57 cm y un error relativo promedio de 16.62%.
- Ejemplos de resultados incluyen una entrada de 35 cm con una salida de 34.39 cm, resultando en un error del 21.35%, y una entrada de 31 cm con una salida de 31.04 cm, generando un error relativo del 1.24%.

#### 4. Distancias mayores a 40 cm (LED Azul)

- Las distancias mayores a 40 cm encendieron el LED azul, pero con errores más elevados comparados con otros rangos.
- En este rango, se observó un error absoluto promedio de 0.68 cm y un error relativo promedio más alto de 21.64%.

- Casos destacados incluyen una entrada de 45 cm con una salida de 45.37 cm (error relativo de 16.65%) y una entrada de 54 cm con una salida de 49.28 cm, con un error relativo alto de 254.88%.

## 5.2. Conclusiones

### Precisión del sistema:

- El sistema de control de LEDs basado en la distancia medida por el sensor ultrasónico demostró un buen nivel de precisión en la mayoría de las mediciones, especialmente en los rangos menores a 15 cm y entre 15 y 25 cm, donde los errores relativos fueron más bajos.
- En los rangos superiores a 40 cm, los errores relativos aumentaron, lo que indica que el sensor ultrasónico tiene limitaciones de precisión a mayores distancias.

### Desempeño en cada rango:

- **Rango rojo (menos de 15 cm):** Se obtuvo un buen desempeño con un error promedio bajo, demostrando que el sistema es confiable para detección de objetos cercanos.
- **Rango amarillo (entre 15 cm y 25 cm):** El sistema también presentó un desempeño sólido en este rango, con un error relativo promedio aceptable de **7.82%**.
- **Rango verde (entre 25 cm y 40 cm):** Aunque el error fue mayor, se mantiene dentro de un rango funcional para muchas aplicaciones, con un error promedio de **16.62%**.
- **Rango azul (más de 40 cm):** En este rango, se observaron mayores discrepancias y errores, lo que limita la precisión del sistema para distancias largas.

### Mejora del sistema:

- Para mejorar la precisión en distancias mayores a 40 cm, se podría considerar la calibración del sensor ultrasónico o el uso de un sensor más adecuado para rangos mayores.
- En general, el sistema fue confiable para la mayoría de los escenarios de prueba, con un **error promedio general de 17.28%** y una **desviación estándar de 30.29%**.