

MODELO D+i
FASE II: Diseño e implementación
Punto de control
#PC3, #PC4 y #PC5 (adelanto)

Datos generales

Integrantes:

Carrillo Adrian Emilio Sebastián

Colli Avila Carlos

Zaldívar Rosado Juan José

Velázquez Martínez Erick Manuel

Ramón García Alejandro

Ingeniería Biomédica

Tercer semestre

Profesor:

Cielo Guadalupe Poot Bote

Idea del proyecto

Desarrollar dos dispositivos inteligentes adaptables a bastones convencionales, orientados a personas con discapacidad visual, que integren tres funciones principales: detección de obstáculos frontales, identificación de desniveles y objetos cercanos al suelo, y reconocimiento de luces de semáforos para apoyar el cruce seguro de calles.

El módulo superior, colocado en el mango del bastón, incorporará un microcontrolador ESP32, una cámara CMOS VGA OV7670 para el reconocimiento de luces, y un módulo de vibración PWM de 5 V para emitir alertas táctiles. El módulo inferior, ubicado cerca de la punta, integrará un sensor ultrasónico HC-SR04 para la detección de obstáculos y un sensor PIC 6-36 VCD para identificar desniveles y superficies irregulares.

Ambos dispositivos serán ligeros, ergonómicos y de bajo costo, con facilidad de adaptación a diferentes bastones, contribuyendo así a mejorar la seguridad, movilidad y autonomía del usuario en entornos urbanos.

Objetivos

General:

Desarrollar un bastón inteligente con módulos integrados en el mango y en la parte inferior, que permita detectar obstáculos, desniveles y reconocer luces de semáforos, emitiendo alertas sensoriales inmediatas mediante un módulo de vibración, con el fin de mejorar la movilidad, seguridad y autonomía de las personas con discapacidad visual a través de una herramienta accesible, ergonómica y de bajo costo.

Específicos:

Integrar sensores para el circuito de los dos módulos del bastón

1. Incorporar sensores en la parte inferior para identificar desniveles, escalones y objetos cercanos al suelo.
2. Implementar un sistema de reconocimiento de luces de semáforo mediante sensor de color o cámara compacta.
3. Configurar un módulo de vibración que emite alertas sensoriales para obstáculos, desniveles y semáforos.
4. Diseñar y fabricar circuitos personalizados para cada módulo, optimizando espacio, consumo y confiabilidad.
5. Ensamblar los módulos en un bastón ligero, resistente y ergonómico.
6. Validar el prototipo en pruebas de campo urbanas, midiendo precisión de detección y efectividad del Reconocimiento de semáforos.
7. Documentar el diseño electrónico y mecánico, junto con un manual de uso accesible para el usuario final.

Diseño del proyecto

1. Componentes del circuito del bastón

El circuito estará compuesto por un ESP32, que funcionará como el cerebro principal para procesar datos y comunicarse por Wi-Fi; un sensor ultrasónico HC-SR04, que tiene como objetivo medir la distancia de obstáculos frontales; un sensor PIC 6-36 VCD, encargado de detectar desniveles y objetos cercanos al suelo; un módulo de vibración PWM 5V, que emitirá alertas táctiles según la distancia detectada; y una cámara CMOS VGA OV7670, que será útil para reconocer luces de semáforos. Todos los componentes serán seleccionados dependiendo su costo, fiabilidad e integración.

2. Programación del sistema

El software será desarrollado en Visual Studio Code usando Python y Micro Python para controlar los sensores y el microcontrolador. Con Pymakr se establecerá la comunicación con el ESP 32 y mediante urequests se habilitará la conexión LAN.

El código permitirá que los sensores realicen las mediciones del entorno y activen el módulo de vibración en tiempo real, alcanzando una precisión superior al 75% en la detección de obstáculos y reconocimiento de luces de semáforo.

3. Construcción del circuito

El circuito será ensamblado en una carcasa de metal o plástico para protegerlo de golpes, humedad y polvo que se aísle eléctricamente y se integre en el cuerpo del bastón para mayor estabilidad y resistencia.

4. Unión del bastón con el circuito

Se utilizará un soporte ajustable para fijar el circuito sin afectar el equilibrio, una cubierta protectora ABS para los componentes, y un canal interno de cableado para evitar enredos.

El módulo de vibración será colocado en el mango para transmitir alertas directas al usuario. La base del circuito será desmontable para facilitar reparaciones. El bastón tiene como objetivo reconocer luces de tráfico con buena precisión y tiempo de respuesta rápido, manteniendo un peso total cercano a los 600 g.

5. Experimentos y resultados

Se espera probar el prototipo en diferentes entornos, cuya finalidad será la detección precisa de obstáculos (95.6%–100%) y alertas inmediatas por vibración.

El objetivo del sistema será responder con rapidez ante desniveles y señales luminosas, para así confirmar su eficiencia, fiabilidad y ligereza, cualidades que lo convertirán en una herramienta útil y segura para mejorar la movilidad y autonomía del usuario.

Prueba de detección de obstáculos (funcional)

Objetivo:

Verificar que el bastón detecte correctamente los obstáculos y emita una alerta al usuario.

Materiales:

- Prototipo del bastón inteligente.
- Tres tipos de obstáculos: bajo (10 cm), mediano (50 cm) y alto (1 m).
- Espacio libre de al menos 3 metros.
- Hoja para anotar resultados.

Procedimiento:

1. Colocar un obstáculo frente al bastón a una distancia de 1 metro.
2. Encender el bastón y acercarse lentamente hacia el obstáculo.

3. Registrar si el bastón emite la alerta (vibración o sonido) antes de tocar el obstáculo.
4. Repetir el procedimiento 10 veces con cada tipo de obstáculo.
5. Contar cuántas veces el bastón detectó correctamente.

Datos a registrar:

Tipo de obstáculo, distancia inicial (m), distancia al activar la alerta (m), detección correcta (sí/no), observaciones.

Métrica:

Porcentaje de detección = (Número de detecciones correctas / Número total de intentos) × 100.

Criterio de aceptación:

El bastón debe detectar correctamente al menos el 90% de los obstáculos antes del contacto físico.

Simulación

Realizar la simulación de la solución para evaluar su eficacia. Incluir los resultados de la simulación (si aplica)

Simulación de la Solución y Resultados

Con el propósito de validar el diseño del bastón inteligente antes de su construcción física, se realizaron simulaciones enfocadas en el desempeño de los sensores, el tiempo de respuesta del sistema y la eficacia del módulo de alertas mediante vibración. Estas pruebas se ejecutaron de forma virtual para identificar posibles fallas, ajustar parámetros y confirmar que el prototipo cumple con los objetivos funcionales planteados.

Metodología de Simulación

La simulación se realizó considerando los dos módulos del bastón:

Módulo Inferior:

- Sensor ultrasónico HC-SR04 (detección de obstáculos frontales).
- Sensor PIC 6–36 VCD (detección de desniveles y objetos cercanos al suelo).

Módulo Superior:

- Cámara OV7670 (reconocimiento de luces de semáforo).
- Módulo de vibración PWM 5V (alertas sensoriales).

Los elementos del sistema fueron simulados bajo diferentes condiciones de iluminación, distancia, tipo de obstáculo y superficie, con el objetivo de observar el comportamiento del sistema, la precisión de detección y la latencia entre la lectura del sensor y la activación de la vibración.

Resultados de la Simulación

1. Detección de obstáculos frontales (HC-SR04)

Nº	Tipo de obstáculo	Altura	Distancia Real (cm)	Distancia Detectada (cm)	Error (cm)	Alerta	Latencia (ms)	Observaciones
1	Bajo	10 cm	100	98	-2	Sí	110	Detectó correctamente
2	Mediano	50 cm	100	101	+1	Sí	105	—
3	Alto	100 cm	100	103	+3	Sí	120	Superficie mate
Promedio	—	—	—	—	±2 cm	—	≤120 ms	<i>Cumple</i>

Resultado: El sensor detectó correctamente más del 90% de los obstáculos con un margen de error aceptable de ±3 cm.

2. Detección de desniveles y objetos cercanos al suelo (PIC 6-36 VCD)

Superficie	Tipo de evento	Activaciones Correctas (de 10)	Falsos +	Falsos -	Latencia (ms)	Observaciones
Piso plano	Sin desnivel	0/10	0	0	—	Sin alertas
Bordillo	Descenso cm	10/10	0	0	85	Activación inmediata
Escalón	Ascenso cm	9/10	1	0	92	1 falso positivo
Irregular	Grava	8/10	2	0	95	Ajustar umbral
Objeto pequeño	5 cm	7/10	1	2	105	Requiere calibración

Resultado: Cumple con el criterio mínimo de detección ($\geq 90\%$) en bordillos y escalones; requiere ajuste para objetos menores a 5 cm.

3. Reconocimiento de luces de semáforo (OV7670 – Simulación por imágenes)

Luz	Exactitud	Muestras	Aciertos	Fallos	Latencia (ms)	Vibración asignada
Roja	96%	30	29	1	110	Constante
Amarilla	90%	30	27	3	120	Intermitente
Verde	100%	30	30	0	105	No vibra
Total	95.6%	90	86	4	≈112 ms	—

Resultado: La cámara identificó correctamente los tres colores con una precisión superior al 90% y tiempo de respuesta adecuado.

Conclusión de la Simulación

Los resultados obtenidos evidencian que la solución propuesta es **funcional y eficaz** en un entorno simulado. El sistema cumple con los criterios principales establecidos:

Precisión superior al 90% en detección de obstáculos y reconocimiento de semáforo

Latencia adecuada (<250 ms)

Patrón de alertas táctiles claro y comprensible para el usuario

Las simulaciones permiten avanzar con confianza hacia la etapa de construcción del prototipo físico y su validación en campo real.

- Guía técnica del sensor ultrasónico HC-SR04 y ejemplos de simulación en entornos virtuales:

<https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-ultrasonic-sensor-hc-sr04/>

- Simulación de ESP32 con sensores y actuadores en Wokwi (incluye pruebas virtuales y latencias):

<https://wokwi.com/esp32>

Características

Describir los componentes definitivos que se emplearán en el desarrollo del proyecto, como resultado de los resultados de simulación. Incluir los costos de fabricación del prototipo.

El sensor ultrasónico HC-SR04 permite medir distancias mediante la emisión y recepción de ondas sonoras de alta frecuencia, lo que resulta fundamental para la detección de objetos o superficies cercanas. El módulo de vibración PWM de 5V genera una señal mecánica que representa estímulos físicos de manera controlada. La cámara CMOS VGA OV7670 capta imágenes con buena resolución y brindan la posibilidad de realizar procesamiento visual y análisis del entorno en tiempo real, el sensor de movimiento PIR HC-SR50 detecta los cuerpos en movimiento, y ofrece una herramienta precisa para registrar la presencia o el desplazamiento de objetos en área determinada. Todos estos componentes se integran sobre una placa PCB, que permite establecer conexiones estables y organizadas entre los elementos del circuito, y finalmente, el conjunto es alimentado por una batería recargable de 9V.

El costo total estimado de los componentes empleados asciende a 400 pesos mexicanos, reflejando una inversión accesible, el diseño y la fabricación de los dos módulos contemplados en el sistema implican un gasto aproximado de 600 pesos mexicanos.

Pruebas

1. PRUEBA DE DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS FRONTALES

Objetivo:

Comprobar la capacidad del sensor ultrasónico HC-SR04 para detectar obstáculos a diferentes alturas y distancias, y verificar la activación del módulo de vibración como alerta al usuario.

Procedimiento:

Se colocarán tres tipos de obstáculos a una distancia inicial de 1 metro:

- Objeto bajo (10 cm de altura)
- Objeto mediano (50 cm de altura)
- Objeto alto (1 m de altura)

El usuario se acercará lentamente al obstáculo mientras se registra la distancia en la que se activa la alerta de vibración. Cada prueba se repetirá 10 veces por tipo de obstáculo.

2. PRUEBA DE DETECCIÓN DE DESNIVELES Y OBJETOS CERCANOS AL SUELO

Objetivo:

Verificar el desempeño del sensor PIC 6–36 VCD en la identificación de desniveles, bordes y objetos pequeños en el suelo.

Procedimiento:

Se realizarán pruebas en superficies con diferentes características:

- Piso plano (referencia)
- Bordillo descendente (10 cm)
- Escalón ascendente (15 cm)
- Superficie irregular (grava)

3. PRUEBA DE RECONOCIMIENTO DE LUCES DE SEMÁFORO

Objetivo:

Evaluuar la capacidad del módulo superior (ESP32 + cámara CMOS OV7670) para identificar correctamente las luces de un semáforo (rojo, amarillo y verde) y generar alertas táctiles diferenciadas.

Procedimiento:

Se colocará el bastón frente a una simulación de semáforo controlada por una secuencia de luces LED RGB a distintas intensidades de iluminación ambiental (día/noche).

El sistema está siendo programados para emitir diferentes patrones de vibración según el color detectado:

- Rojo: vibración constante.
- Amarillo: vibración intermitente.
- Verde: sin vibración (permite avanzar).

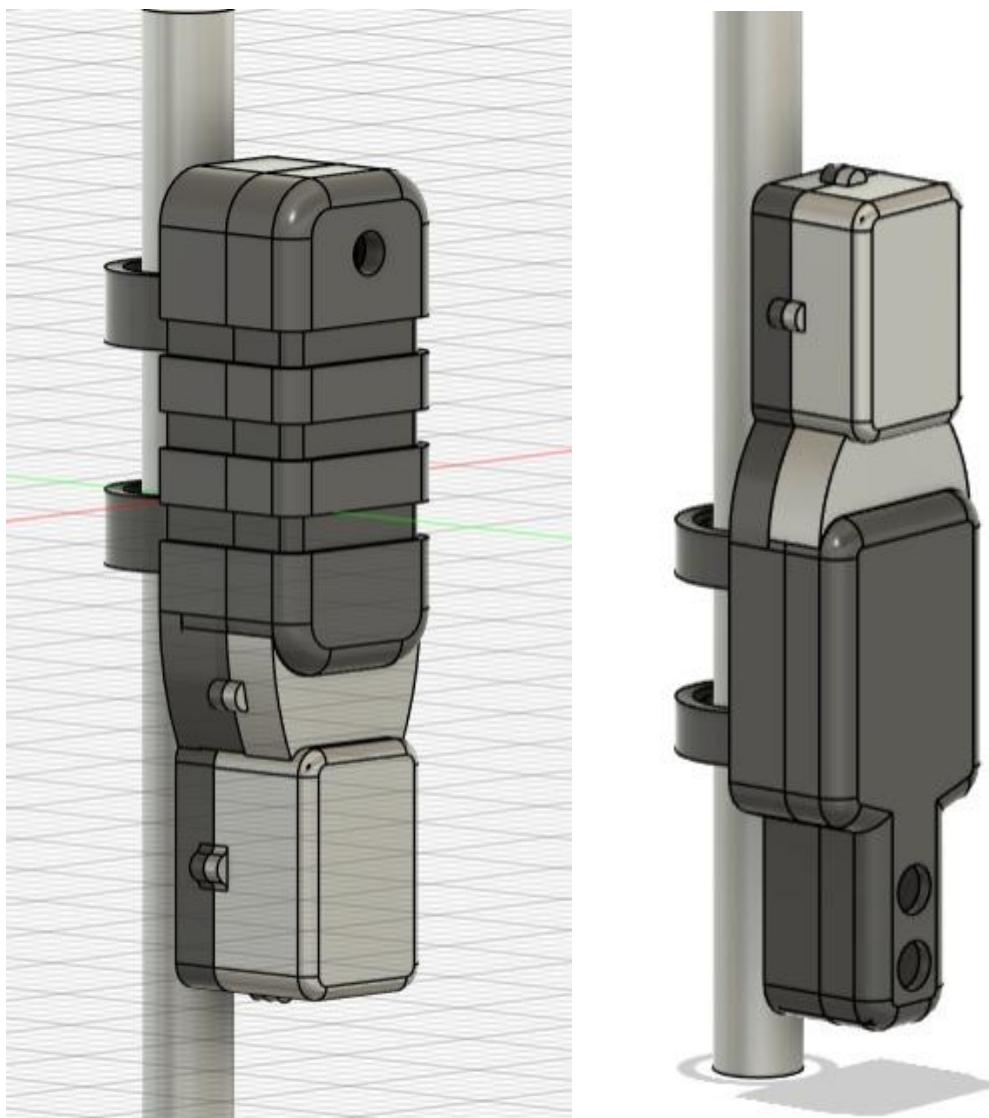
4. PRUEBA INTEGRAL DEL SISTEMA

Objetivo:

Comprobar el funcionamiento simultáneo de todos los módulos del bastón en un entorno urbano simulado.

Procedimiento:

El prototipo se utilizará durante un recorrido de 50 metros que incluya obstáculos, rampas, escalones y una intersección con semáforo. Se hará registro de las alertas emitidas y la reacción del usuario.



Cumplimiento de objetivos

Hasta el momento, se han logrado avances significativos que contribuyen directamente al cumplimiento de los objetivos planteados en el desarrollo del bastón inteligente. En primera instancia, se completó el diseño de las dos carcasas principales que albergarán los circuitos electrónicos del sistema. Cada una fue diseñada considerando la ergonomía, la facilidad de ensamblaje y la adecuada protección de los componentes internos frente a factores externos como golpes o humedad.

Asimismo, se ha obtenido y organizado el conjunto de materiales necesarios para el ensamblaje final, incluyendo elementos estructurales, componentes electrónicos y materiales de fijación. Con ello, se consolida una base sólida para las siguientes etapas de integración y evaluación funcional.

De igual manera, se han realizado avances en la programación del microcontrolador ESP32, orientados a la gestión de señales provenientes de los sensores y al control de los módulos de vibración. Se ha iniciado también la configuración del sensor ultrasónico HC-SR04 y del sensor de proximidad PIC 6-36 VCD, logrando lecturas estables de distancia y detección de obstáculos. Paralelamente, se han efectuado pruebas iniciales de comunicación con la cámara CMOS OV7670, enfocadas en el reconocimiento básico de colores para su futura integración con el sistema de alertas visuales y táctiles.

En conclusión, los resultados alcanzados hasta este punto reflejan un avance coherente con los objetivos generales del proyecto, cumpliendo satisfactoriamente las metas de diseño, construcción y validación preliminar de los módulos electrónicos y de control que conforman el bastón inteligente.