

Implementación de un Dispositivo Inteligente para la Asistencia de Personas con Discapacidad Visual en Entornos Universitarios

Implementation of an Intelligent Device for the Assistance of People with Visual Impairment in University Environments

Néstor Rafael Salinas Buestán¹ <https://orcid.org/0000-0003-3814-9639>, Emily Tamara Miranda Briones¹ <https://orcid.org/0009-0002-5084-3076>, Ángel Iván Torres Quijije¹ <https://orcid.org/0000-0002-7037-7191>, Diego Fernando Intriago Rodríguez¹ <https://orcid.org/0000-0003-4829-0089>, Diego Patricio Peña Banegas¹ <https://orcid.org/0000-0003-2108-4306>

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador
nsalinasb@uteq.edu.ec, emirandab@uteq.edu.ec,
atorres@uteq.edu.ec, dintriagor3@uteq.edu.ec,
dpena@uteq.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0

Enviado: 2024/06/30

Aceptado: 2024/10/02

Publicado: 2024/10/15

Resumen

Este proyecto surge como respuesta a la creciente necesidad global de soluciones tecnológicas inclusivas destinadas a mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual. La motivación se fundamenta en abordar las barreras específicas que enfrentan estos individuos, con un enfoque particular en entornos universitarios. La metodología adoptada se centra en la convergencia de tecnologías de servicios web y comunicación en red, buscando promover la autonomía y seguridad de las personas con discapacidad visual. Un aspecto distintivo de este proyecto es la implementación de tecnología de bajo consumo de energía y largo alcance, marcando un enfoque pionero en este ámbito, mismo que no solo aborda la necesidad inmediata de soluciones inclusivas, sino que también contribuye al avance tecnológico al introducir soluciones eficientes y de alcance prolongado. A través de las pruebas realizadas, se alcanzan tiempos de respuesta muy cortos en términos de identificación de movimientos peligrosos como caídas y detección de objetos cercanos, mientras que el reconocimiento de caracteres requiere aún una mayor depuración. La innovación clave reside en la eficaz convergencia de tecnologías, estableciendo un nuevo estándar para soluciones inclusivas y sostenibles. Es decir, este proyecto no solo responde a una necesidad imperante, sino que también marca un hito significativo en

Sumario: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión, Conclusiones.

Como citar: Salinas, N., Miranda, E., Torres, A., Intriago, D., & Peña, D. (2024). Implementación de un Dispositivo Inteligente para la Asistencia de Personas con Discapacidad Visual en Entornos Universitarios. *Revista Tecnológica - Espol*, 36(2), 131-145. Recuperado a partir de <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1196>

la mejora de la inclusión para las personas con discapacidad visual, destacando su relevancia a nivel local y contribuyendo al avance global en este campo crucial.

Palabras clave: Discapacidad visual, Redes LPWAN, Servicios web, Sistema Embebido, Tecnologías inclusivas.

Abstract

This project arises in response to the growing global need for inclusive technological solutions aimed at improving the quality of life of people with visual impairments. The motivation is based on addressing the specific barriers these individuals face, with a particular focus on university environments. The methodology adopted focuses on the convergence of web services and networked communication technologies, seeking to promote the autonomy and safety of visually impaired people. A distinctive aspect of this project is the implementation of low power consumption and long-range technology, marking a pioneering approach in this field, which not only addresses the immediate need for inclusive solutions; but contributes to technological advancement by introducing efficient and long-range solutions. Through testing, very short response times are achieved in terms of identifying dangerous movements such as falls and detecting nearby objects, while character recognition still requires further refinement. The key innovation lies in the effective convergence of technologies, setting a new standard for inclusive and sustainable solutions. In other words, this project not only responds to a pressing need, but also marks a significant milestone in improving inclusion for the visually impaired, highlighting its relevance at the local level and contributing to global progress in this crucial field.

Keywords: Visual Impairment, LPWANs, Web Services, Embedded System, Inclusive Technologies.

Introducción

En un contexto global, este proyecto surge como respuesta a la creciente demanda de soluciones tecnológicas inclusivas destinadas a mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que más de 1000 millones de personas viven con algún tipo de discapacidad; es decir, alrededor del 15 % de la población mundial, de las cuales unos 314 millones tienen deficiencias visuales por condiciones oculares o errores de refracción sin corregir. De esa cifra, 45 millones son ciegos. Estas realidades resaltan la urgencia de abordar las necesidades específicas de estos grupos de la población a través de soluciones innovadoras (Ghebreyesus, 2019).

A nivel mundial, existe un reconocimiento creciente de la importancia de la tecnología para fomentar la autonomía y la seguridad de las personas con discapacidad visual. Según el informe de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), más del 90% de las personas con discapacidades visuales viven en países de ingresos bajos y medianos, lo que destaca la necesidad de soluciones accesibles y asequibles (Bogdan-Martin, 2020). En el contexto particular de Ecuador, según la información del Registro Nacional de Discapacidad, se calcula que aproximadamente 480,776 personas presentan alguna forma de discapacidad. De este grupo, 55,478 individuos encuentran dificultades en su rutina diaria a causa de problemas visuales. Con base en lo expuesto, es imperante buscar soluciones que brinden un aporte considerable al entorno ecuatoriano, donde la inclusión y la accesibilidad son elementos de suma importancia y necesidad, en busca de cerrar la brecha en el acceso a servicios y oportunidades a personas con estas limitaciones (Discapacidades, 2022).

Para delimitar el alcance de este proyecto, la implementación del dispositivo se centra exclusivamente en la orientación en campus universitarios, demostrando una adaptación cuidadosa a las necesidades específicas de las personas con discapacidad visual dentro del entorno académico. Este enfoque regional responde a la urgente realidad local, considerando que en las provincias de los Ríos, 154 de estas personas enfrentan una discapacidad visual que va del 85% al 100% de afectación. Esta estrategia se alinea con la búsqueda en Ecuador de integrar tecnologías innovadoras para mejorar la experiencia educativa y la movilidad de aquellos con discapacidad visual en el ámbito universitario (Discapacidades, 2022).

La tecnología juega un papel crucial en este proyecto no solo en la comunicación eficiente entre el dispositivo y la nube, sino también en un marco global de avances tecnológicos destinados a cerrar brechas de accesibilidad y promover la inclusión. Un aspecto fundamental del proyecto es abordar problemas específicos identificados por personas con discapacidad visual en entornos nuevos o comunes, como la detección de caídas, la identificación de objetos próximos y la lectura de letreros. Estas áreas han sido identificadas a partir de la revisión de un estudio que destaca estos problemas como los más críticos para la ubicación y navegación en campus universitarios (Estella, Santos, & Arellano, 2011).

Trabajo relacionado

El proyecto denominado Prototipo de bastón inteligente para personas con limitación visual, se enfoca específicamente en abordar las limitaciones de movilidad de personas con discapacidad visual al diseñar un bastón que incorpora funciones avanzadas. Su énfasis se centra en la detección de obstáculos y la implementación de un sistema GPS para generar alertas y permitir el monitoreo en tiempo real a través de una aplicación web (Marcillo Parrales & Collantes Rodríguez, 2020). La investigación asociada a este proyecto se alinea con este trabajo, donde se busca destacar la mejora continua en la movilidad y seguridad de las personas con discapacidad visual.

El proyecto denominado “Visión Artificial por Alertas de Voz y Movimiento para Personas con Discapacidad Visual en la Biblioteca de no Videntes de la Universidad Técnica de Ambato”, emplea tecnologías de visión artificial que emiten alertas de voz y movimiento para guiar a las personas invidentes de manera segura, mejorando así su capacidad de navegar por la universidad sin depender de un guía (Brito Moncayo & Yanchatuña Aguayo, 2016). Esta investigación se relaciona con este trabajo, ya que su proyecto busca ampliar este enfoque mediante la incorporación de tecnologías de visión artificial para guiar a las personas. La propuesta incluye sensores adicionales para ofrecer información contextual detallada sobre el entorno, mejorando aún más la experiencia de navegación para las personas con discapacidad visual.

El trabajo denominado “Gafas Inteligentes como Herramienta de Asistencia para Lectura y Reconocimiento del Entorno para Personas con Discapacidad Visual”, propone un prototipo de gafas con características avanzadas, como un lector audible de textos mediante la integración de la API de Google Cloud Visión y el reconocimiento de objetos mediante la implementación y configuración de la red neuronal Mobile Net V3, impulsado por algoritmos de inteligencia artificial (Basantes Varela & Chalaco Chamba, 2019). Esta investigación se vincula directamente con este trabajo, donde se busca estratégicamente mejorar la comunicación de emergencia de manera significativa, asegurando una respuesta rápida ante situaciones críticas. En este contexto, se destacará la importancia crucial de la tecnología en aplicaciones específicas de seguridad y asistencia en tiempo real.

En el proyecto técnico denominado “Gafas Especiales con Capacidades Avanzadas de Detección de Obstáculos y un Sistema de Ubicación para Casos de Emergencia”, se complementa con el desarrollo de una aplicación móvil que ofrece el reconocimiento de billetes de cualquier denominación, dirigido especialmente para brindar asistencia a personas con discapacidad visual (Guillen Peñarreta & Vizhñay Aguilar, 2016). Esta investigación se relaciona estrechamente con este proyecto, y la mejora significativa radica en la integración de tecnologías en las gafas inteligentes. El objetivo principal de esta integración es optimizar la conectividad del dispositivo, permitiendo una transmisión de datos más eficiente hacia la nube.

Materiales y Métodos

Se planteó desarrollar, un dispositivo de asistencia que permite a las personas con discapacidad visual moverse de manera autónoma y segura dentro de un campus universitario. El dispositivo combina tecnologías de detección de objetos y lectura de letreros para proporcionar una experiencia de orientación fluida y confiable.

Está diseñado para detectar obstáculos y reconocer la señalética de letreros dentro del campus universitario de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Utiliza sensores avanzados como LIDAR y cámaras de alta resolución, junto con algoritmos de procesamiento de imágenes, para identificar y localizar objetos en el entorno del usuario. Además, incorpora un sistema de reconocimiento de texto (OCR, Optical Character Recognition) para leer letreros y proporcionar la información necesaria al usuario a través de una interfaz de audio.

Se determinaron todos los procesos sistemáticos necesarios para la implementación del dispositivo y su comunicación con la nube. Esto incluyó el análisis de requisitos, la elaboración de casos de uso, el diseño del diagrama de clases y el modelo de datos. Se desarrollaron prototipos funcionales y se realizaron pruebas en entornos controlados para garantizar la precisión y la fiabilidad del sistema antes de su despliegue en el campus.

Metodologías aplicadas

Se aplicaron los siguientes métodos para construir y validar el dispositivo inteligente.



Observación de Variables del Entorno

La metodología incluyó la observación en escenarios clave dentro del campus universitario para evaluar la efectividad del dispositivo en diferentes entornos:

Ingreso a la Universidad: Se realizará la prueba del dispositivo en el área de ingreso al campus, un entorno de alto tráfico peatonal. El objetivo será evaluar la capacidad del sistema

para reconocer objetos, personas o animales a una distancia mínima de un metro antes de cualquier posible colisión. Esto permitirá analizar si el dispositivo es capaz de alertar al usuario con suficiente antelación, facilitando una reacción segura.

Biblioteca Universitaria: En este entorno cerrado, el dispositivo será evaluado en su capacidad para navegar entre mesas y sillas distribuidas de manera irregular. Además, se probará su habilidad para reconocer letreros informativos ubicados en áreas con iluminación adecuada y a distancias cercanas. Este escenario se utilizará para comprobar la eficiencia del dispositivo en entornos interiores complejos, donde los obstáculos y las señales visuales juegan un papel crucial en la asistencia al usuario.

Pasillos Universitarios: El dispositivo será probado en pasillos que contienen carteles a diferentes alturas y tamaños bajo condiciones de iluminación variable. Se evaluará su capacidad para leer y reconocer estos carteles, así como para detectar caídas. Las caídas serán definidas por cambios en el rango de inclinación y/o impacto, detectados por el acelerómetro y giroscopio del dispositivo. Se establece un umbral específico para evitar falsos positivos, distinguiendo entre inclinaciones normales y caídas reales.

Las pruebas se llevarán a cabo bajo un análisis detallado de cómo el dispositivo maneja diversas variables en entornos complejos. Se visualizará los escenarios y la implementación de las alertas de caída. Es relevante señalar que, dado que el dispositivo se encuentra en fase de desarrollo, la metodología se centrará en las tres variables principales: detección de caídas, detección de objetos próximos y lectura de letreros. El dispositivo seguirá evolucionando para mejorar su funcionalidad y precisión en futuras versiones.

Análisis Comparativo de Modelos

Se llevó a cabo un análisis comparativo de diversos modelos y enfoques existentes, fundamentado en estudios previos relacionados con la predicción y mejora del rendimiento de dispositivos similares. Este análisis se focalizó en identificar las ventajas y desventajas de cada modelo en relación con las variables observadas, proporcionando así una justificación para el diseño del nuevo dispositivo propuesto.

Tabla 1
Análisis de los Modelos

Variable	Modelo 1 (Bastón Inteligente)	Modelo 2 (Visión Artificial en Biblioteca)	Modelo 3 (Gafas Inteligentes)	Modelo Propuesto
Distancia Detectada	Media (detección de obstáculos y GPS).	Alta (detección de obstáculos y alertas de voz).	Alta (reconocimiento de objetos y entorno).	Alta (detección de obstáculos y letreros).
Precisión de OCR	No aplica.	Media (alertas de voz).	Alta (lector audible de textos).	Muy alta (OCR avanzado para letreros).
Consumo Energético	Alto (GPS y sensores).	Medio (sensores de visión artificial).	Bajo (red neuronal y algoritmos IA).	Bajo (LIDAR, cámaras, OCR).
Facilidad de Uso	Media (requiere aplicación web).	Alta (alertas de voz y movimiento).	Muy alta (integración con IA y API de Google).	Muy alta (integración con múltiples tecnologías).
Ventajas	Detección de obstáculos y sistema GPS para monitoreo en tiempo real.	Uso de alertas de voz y movimiento para guiar a personas con discapacidad visual.	Reconocimiento de objetos mediante IA y lector audible de textos.	Detección de obstáculos y letreros, integración de múltiples tecnologías.

Variable	Modelo 1 (Bastón Inteligente)	Modelo 2 (Visión Artificial en Biblioteca)	Modelo 3 (Gafas Inteligentes)	Modelo Propuesto
Desventajas	Alto consumo energético y dependencia de una aplicación web.	Limitación en la precisión del OCR y la adaptabilidad en entornos complejos.	Complejidad en la implementación y posibles desafíos en el consumo energético.	Requiere integración de múltiples tecnologías, lo que puede complicar el desarrollo.

Implementación

En función de los requisitos del sistema y las condiciones del entorno, se definieron tres etapas para la implementación del dispositivo:

Análisis de Tecnologías de Comunicación: Se evaluaron diversas tecnologías inalámbricas de bajo consumo, teniendo en cuenta la eficiencia energética y la calidad de transmisión requerida para el dispositivo.

Diseño Electrónico del Sistema Embebido: Se seleccionaron componentes electrónicos óptimos en términos de costo-beneficio, y se diseñó la arquitectura de red necesaria para conectar el dispositivo a la nube, utilizando tecnologías de radio acceso de bajo consumo y largo alcance.

Pruebas y Validación: Se realizaron pruebas técnicas de reconocimiento de imágenes y comunicación de datos, así como pruebas de usabilidad con voluntarios, para validar la efectividad del dispositivo en condiciones reales.

Análisis de las tecnologías para la comunicación efectiva de largo alcance y bajo consumo energético.

Este análisis es fundamental para la toma de decisiones respecto a la implementación de soluciones tecnológicas que no solo permitan una comunicación eficaz de largo alcance, sino que también optimicen el consumo energético, asegurando así la viabilidad y sostenibilidad del dispositivo desarrollado.

Tabla 2
Análisis de las tecnologías de comunicación

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
LoRaWAN	Amplia cobertura geográfica.	Infraestructura y cobertura variable.
	Bajo costo de implementación.	Dependencia de la colaboración comunitaria.
	Diseñada para aplicaciones de bajo consumo de energía	
Sigfox	Bajo costo de implementación.	Limitado a mensajes pequeños (12 bytes).
	Baja tasa de transferencia de datos.	No es bidireccional.
	Diseñada para aplicaciones de baja frecuencia.	
NB-IoT (Narrowband Internet of Things)	Utiliza infraestructuras existentes de redes móviles.	Menor velocidad de transmisión.
	Mayor capacidad de conexión simultánea.	Implementación más costosa.
LTE	Velocidades de transmisión más altas que NB-IoT.	Menor cobertura en comparación con NB-IoT.
	Mayor capacidad de carga que NB-IoT.	Implementación más costosa.
	Utiliza infraestructuras existentes de redes móviles.	

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Weightless	Rango de alcance significativo.	Menor cantidad de implementaciones y dispositivos compatibles.
	Eficiente en términos de consumo de energía.	
	Bajo costo de implementación.	Menor velocidad de transmisión.
Symphony Link	Seguridad mejorada a través de cifrado de extremo a extremo.	Menor penetración en comparación con tecnologías celulares.
	Capacidad de gestionar grandes cantidades de dispositivos.	Costo inicial más alto para implementación.
	Baja latencia para aplicaciones críticas en tiempo.	Menor disponibilidad de infraestructura en comparación con LTE.

En la Tabla 2 se contextualizan las diversas tecnologías y la elección de LoRaWAN para dispositivos de asistencia; esta se basó en su eficiencia energética vital para operación continua, comunicación de largo alcance para cobertura extensa, en este caso para entornos universitarios, y bajo costo de implementación, crucial en presupuestos limitados. Estas características aseguran una experiencia ininterrumpida para usuarios con discapacidad visual, permitiendo el acceso a la asistencia en diversas ubicaciones del entorno.

Adicionalmente, LoRaWAN ofrece flexibilidad en la implementación debido a su arquitectura de red adaptable, permitiendo escalabilidad a medida que aumentan las necesidades de los usuarios y el tamaño del campus. Su capacidad para integrarse con sistemas existentes y su compatibilidad con una variedad de sensores y dispositivos facilitan una integración fluida y eficiente. Este enfoque no solo mejora la calidad de vida de la población con discapacidad visual, sino que también proporciona una infraestructura robusta para futuras expansiones tecnológicas.

Si bien tecnologías como Wi-Fi (Wireless Fidelity) en todas sus versiones, proporciona un envío y recepción de grandes volúmenes de datos a tasas de transferencia elevadas, tiene una limitante en su rango de cobertura, por esta razón en la Tabla 2 no se han considerado tecnologías que tengan como base el estándar IEEE 802.11. Debido a la naturaleza de comunicación en entornos IoT, los paquetes que viajan en este tipo de redes, demandan poco ancho de banda; es decir, los paquetes alcanzan un tamaño por lo general de algunos bytes, por lo que solo se exponen tecnologías que cumplan con este criterio, resultando LoRaWAN como la opción preferida para garantizar una asistencia continua y fiable dentro del radio de cobertura (campus principal universitario: 500 metros aproximadamente), alineada con las demandas y expectativas del usuario.

Diseño de la arquitectura de red y del sistema embebido destinado a la detección de objetos y la geolocalización.

En esta sección, se presenta el resultado del diseño de la arquitectura de red y del sistema embebido destinado a la detección de objetos y la geolocalización en el dispositivo inteligente.

Potencia de Procesamiento

Se presenta (Tabla 3) una evaluación detallada de la potencia de procesamiento de uno de los componentes clave considerados en el diseño de la arquitectura:

Tabla 3
Comparativa de Procesadores

	RASPERRY PI 4	ODROID XU4	NVIDIA JETSON NANO	INTEL NUC815BEH
PROCESADOR	ARM Cortex-A72 (Quad-core)	ARM Cortex-A55 (Octa-core)	ARM Cortex-A57 (Quad-core)	Intel Core i5 (Quad-core)
FRECUENCIA DE RELOJ	1.5 GHz	2.0 GHz	1.43 GHz	1.6 GHz
GPU INTEGRADA	VideoCore VI	Mali-T628 MP6	Maxwell GPU	Intel Iris Plus Graphics 655
RENDIMIENTO DE GPU	500 MHz	600 MHz	921.6 GFLOPS	1.1 TFLOPS
RAM	2 GB, 4 GB o 8 GB LPDDR4	2GB o 4GB LPDDR3	4GB LPDDR4	8GB DDR4
ARCHIVOS INTERNOS	Ranura para tarjeta microSD	eMMC, Ranura para tarjeta microSD	Ranura para tarjeta microSD	Ranura M.2, SATA
CONSUMO DE ENERGÍA	2.7 W (Idle), 7.6 W (Carga máxima)	5W (Idle), 10W (Carga máxima)	5W (Idle), 10W (Carga máxima)	28 W (Idle), 65 W (Carga máxima)

La elección de Raspberry Pi 4 como componente principal se basa en una cuidadosa consideración de varios factores cruciales. La combinación de su procesador ARM Cortex-A72 de cuatro núcleos, GPU VideoCore VI, y opciones flexibles de memoria RAM permite un equilibrio ideal entre rendimiento y eficiencia para las aplicaciones específicas de detección de objetos y geolocalización. Además, su bajo consumo de energía y la posibilidad de expansión mediante tarjetas microSD lo hacen especialmente adecuado para el dispositivo inteligente propuesto, garantizando un rendimiento sólido y eficiencia energética.

Comparativa de los Módulos de Comunicación Inalámbrica y Sensores

En esta sección se realiza una evaluación detallada de los componentes clave utilizados en el diseño de la arquitectura, centrándose en la comunicación inalámbrica y los sensores. Luego de la Tabla 4, se proporciona una breve justificación para la elección de cada sensor utilizado en la arquitectura.

Tabla 4
Comparativa de Componentes sensoriales

	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
CÁMARA	Raspberry Pi 3, 5MP, 1080p	Sony IMX477, 12.3MP, 4K	Arducam 13MP (OV13850)
MÓDULO GPS	NEO-6M-0-0011	Ublox NEO-M8N (GPS, GLONASS, Galileo)	Adafruit Ultimate GPS Breakout
MÓDULO LORA	Ra-02, ESP32 Lora IOT	Dragino LG01-P	RN2483
SENSOR ULTRASÓNICO	HC-SR04 (4m rango, 0.3cm resolución)	Maxbotix MB1240 (7m rango, alta precisión)	JSN-SR04T (20m rango, IP65)
SENSOR DE INCLINACIÓN	MPU-6050	MPU-9250 (9-DOF, incl. magnetómetro)	Adafruit 10-DOF (9-DOF + Barómetro)
GATEWAY LORA	ESP32 Lora IOT	Kerlink iFemtoCell (Indoor Gateway)	Multitech Conduit (Outdoor Gateway)

Los criterios de evaluación permiten una comparación sistemática de las diferentes opciones disponibles, facilitando la identificación de los componentes que mejor se adaptan a las necesidades específicas del proyecto.

Tabla 5
Crterios de la comparativa de los componentes.

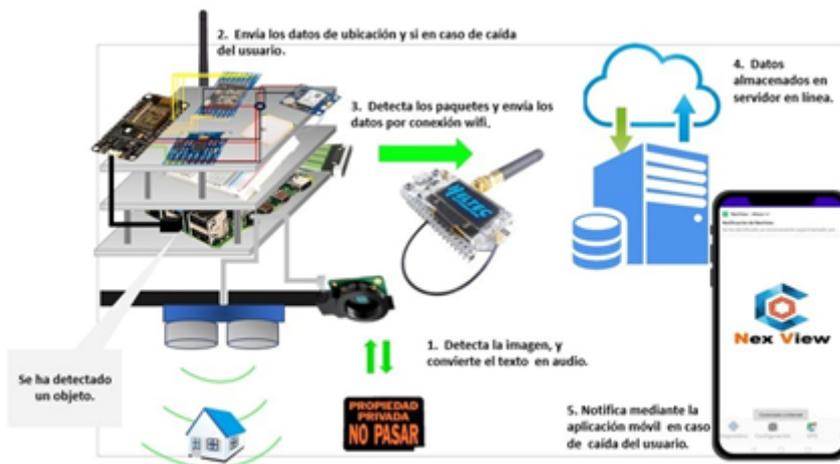
	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
RESOLUCIÓN DE LA CÁMARA	5MP, 1080p.	12.3MP, 4K.	13MP.
PRECISIÓN DEL MÓDULO GPS	Básica.	Alta, soporte de múltiples satélites.	Alta precisión y rápida adquisición.
RANGO DE COMUNICACIÓN LORA	Básico, adecuado para pequeñas distancias.	Amplio alcance y capacidad para obstáculos.	Rango dedicado para comunicación fiable.
ALCANCE DEL SENSOR ULTRASÓNICO	4m, 0.3cm resolución.	7m, alta precisión.	20m, IP65 resistencia.
SENSIBILIDAD DEL SENSOR DE INCLINACIÓN	Acelerómetro y Giroscopio.	9 - D O F , i n c l u y e magnetómetro.	10-DOF, incluye barómetro.
COBERTURA DEL GATEWAY LORA	Extensa cobertura.	Diseñado para interiores.	Robusto para exteriores.

Las tablas previas indican los componentes elegidos bajo un análisis cuidadoso de las necesidades específicas del sistema, priorizando la eficiencia, la precisión y la facilidad de integración para ofrecer una experiencia mejorada a los usuarios con discapacidad visual.

Arquitectura del sistema embebido

Este diseño radica en establecer una infraestructura eficaz que permita la comunicación fluida entre los componentes internos del dispositivo inteligente.

Figura 2
Arquitectura del sistema embebido



La Figura 2 demuestra la unidad de procesamiento, centralizada en la Raspberry Pi 4, la cual desempeña un papel fundamental al ejecutar tareas esenciales como el procesamiento de imágenes, la ejecución de algoritmos de detección y la gestión de la comunicación entre los distintos componentes. Cuenta con sensores integrados, como el ultrasónico y de inclinación, que complementan la información de la cámara para la identificación de objetos y la orientación del dispositivo. La implementación del algoritmo de detección de objetos mediante OpenCV mejora significativamente la capacidad del sistema para proporcionar información contextual precisa en tiempo real.

La conexión con LoRaWAN asegura una comunicación efectiva y de largo alcance entre el dispositivo inteligente y otros elementos del sistema, como el Gateway LoRaWAN y el servidor web, mientras que la conexión con el servidor web y la base de datos facilita el almacenamiento y recuperación eficiente de información relevante. La integración de WebSockets permite la interacción en tiempo real con la aplicación instalada en el dispositivo, posibilitando la transmisión instantánea de información procesada y actualizaciones al usuario, mismo que cumple con el rol de los cuidados en caso de accidente de la persona no vidente.

Debido a la elección de los componentes definitivos, para efectos de portabilidad y ergonomía, su diseño mecánico se ajusta a la forma de un casco para el soporte de los componentes indicados en la Figura 3 y unas gafas en donde se ubica la cámara para la lectura de imágenes y su posterior proceso en la computadora local. A esto se incorpora una batería tipo LiPo de 11.1v 2200mAh, misma que entrega una autonomía de funcionamiento de 5 horas aproximadamente. Si bien el diseño estético representa aún retos en su optimización, esta arquitectura garantiza una integración efectiva y un procesamiento robusto de datos, desde la detección inicial de objetos en su computadora local, hasta la entrega de información sonora al usuario para su localización dentro del entorno de pruebas.

Arquitectura de la Red

Figura 3
Arquitectura de Red



Se puede observar la implementación de una sólida conexión inalámbrica a través de la tecnología LoRaWAN en el dispositivo inteligente, asegurando una comunicación eficaz de largo alcance y un consumo energético eficiente. Esta estratégica selección permite la interconexión entre los componentes del sistema, facilitando la transmisión de datos cruciales para el funcionamiento del dispositivo propuesto. Dentro de esta arquitectura, los nodos de detección de objetos distribuidos estratégicamente posibilitan la identificación y clasificación en tiempo real, mejorando significativamente la experiencia del usuario al ofrecer información precisa y oportuna sobre su entorno circundante.

Un elemento central en esta infraestructura es el Gateway LoRaWAN, que actúa como punto de comunicación centralizado, garantizando una conectividad confiable entre el dispositivo inteligente y el servidor de procesamiento. El servidor de red y de aplicación, junto con la aplicación instalada en el dispositivo, completan esta arquitectura, procesando datos desde la detección inicial de objetos hasta la entrega de información útil al usuario, mejorando así significativamente su experiencia y asistencia proporcionada por el dispositivo inteligente.

Ensamblaje del Dispositivo y Análisis de Costos

El ensamblaje final del dispositivo de asistencia ilustra la integración de los componentes previamente seleccionados. En las secciones anteriores, se abordó la elección de los componentes de hardware y software, destacando su compatibilidad y eficiencia para cumplir con los requisitos del proyecto. Se detalló la selección de la Raspberry Pi 4, los sensores específicos, el módulo LoRaWAN y otros elementos, así como la arquitectura de red establecida. En esta sección, se hace evidente cómo estos componentes han sido ensamblados en el dispositivo final, mostrando su configuración y disposición en el diseño de las gafas.

Figura 4

Ensamblaje Final en su primera versión y pruebas en pasillos



Análisis de Costos

Se presenta un análisis de costos, detallando los precios de los componentes y cómo se ha logrado mantener el costo total del dispositivo dentro de un presupuesto accesible. Los precios indicados corresponden a valores aproximados en el mercado local.

Tabla 6

Análisis de Costos

Componente	Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Costo Total
Raspberry Pi 4	Unidad central de procesamiento.	\$55.00	1	\$55.00
Sensor Ultrasonico	Sensor para medición de distancia.	\$10.00	2	\$20.00
Módulo GPS	Módulo para geolocalización.	\$15.00	1	\$15.00
Módulo LoRa	Módulo para comunicación de largo alcance.	\$12.00	1	\$12.00
Cámara	Cámara para captura de imágenes.	\$20.00	1	\$20.00
Batería LiPo	Batería recargable.	\$25.00	1	\$25.00
Otros Componentes	Incluye cables, conectores, y otros accesorios.	\$8.00	-	\$8.00
Total				\$135.00

El costo total del prototipo es de aproximadamente \$135.00, reflejando los precios actuales de los componentes en el mercado local. No obstante, se prevé que el precio al público podría disminuir significativamente en caso de producción en masa. La fabricación a gran escala facilitaría economías de escala y una reducción en el costo de los componentes. Adicionalmente, el patrocinio de organizaciones como ONGs y otros apoyos financieros podrían contribuir a una mayor reducción del costo final, mejorando así la accesibilidad del dispositivo para los usuarios.

Resultados

Análisis del Rendimiento: Confianza, Robustez y Consistencia

A continuación se presenta un detallado examen de los escenarios de prueba, destacando los resultados significativos y las áreas de mejora identificadas.

Descripción de los Escenarios de Pruebas iniciales

Estos escenarios se han seleccionado para abordar funciones críticas del dispositivo y garantizar su efectividad en situaciones de la vida real. Los escenarios A, B y C se centran en la evaluación de la función de emergencia, la detección de proximidad de objetos y la capacidad de reconocimiento de letreros, respectivamente.

Tabla 7
Pruebas Iniciales

	ESCENARIO A	ESCENARIO B	ESCENARIO C
IMAGEN DE PRUEBA			
DESCRIPCIÓN	Evaluación de la función de emergencia para detectar caídas, activar una alarma y proporcionar ubicación.	Evaluación de la detección de proximidad de objetos y retroalimentación en tiempo real.	Evaluación de la detección de letreros y retroalimentación para personas con discapacidad visual.
TIEMPO DE RESPUESTA	2 segundos	1 segundo	3 minutos
ADAPTABILIDAD	Alta	Alta	Media
CONSUMO DE RECURSOS	Bajo	Bajo	Medio

En el análisis comparativo, se destacan notables fortalezas en el tiempo de respuesta y la adaptabilidad en los escenarios A y B, aspectos cruciales para situaciones de emergencia y la detección de objetos cercanos. No obstante, se observa una carencia de detalles específicos sobre el tiempo de respuesta en el escenario C, lo que limita la capacidad de evaluar la eficacia de la función, especialmente en el contexto de personas con discapacidad visual. El escenario C, relacionado con la detección y lectura de letreros, presenta una condición en la orientación e iluminación de los escenarios. Esto sugiere la necesidad de mejoras en la capacidad de detección en entornos muy o poco iluminados.

Resultados Finales del Dispositivo

Luego de las pruebas a las que se sometió el primer prototipo de asistencia, se han obtenido resultados significativos que reflejan su rendimiento en escenarios clave. A continuación, se presenta un resumen de los resultados en la Tabla 8.

Tabla 8
Resultados Finales

	ESCENARIO A	ESCENARIO B	ESCENARIO C
IMAGEN DE PRUEBA			
DESCRIPCIÓN	Desempeño de la función de emergencia para detectar caídas, activar alarma y proporcionar ubicación.	Detección de proximidad de objetos y retroalimentación en tiempo real hasta 1.5 metros; análisis adicional de entorno con cámara como identificar objetos como computadoras, personas, gatos, perros, teléfonos celulares, botellas y televisores.	Reconocer letreros para personas con discapacidad visual, mejorando independencia y navegación.
TIEMPO DE RESPUESTA	1 segundo	1 segundo	2 minutos
ADAPTABILIDAD	Alta	Alta	Media
CONSUMO DE RECURSOS	Bajo	Medio	Medio

El análisis de los resultados finales muestra avances significativos en la eficacia y el rendimiento del dispositivo, particularmente en la detección de obstáculos y la interpretación de letreros para personas con discapacidad visual. Estos resultados han sido comparados tanto con los valores iniciales obtenidos durante las pruebas como con normativas relevantes para dispositivos de asistencia. A pesar de estos avances, se identifican áreas que requieren mejora, como el diseño físico del dispositivo. Aunque el prototipo actual toma la forma de lentes o gafas, se reconoce que aún necesita refinamientos adicionales para optimizar la ergonomía y portabilidad, elementos esenciales en dispositivos vestibles o "wearables". (ISO, 2022).

Es importante señalar que las evaluaciones realizadas centraron en la funcionalidad del dispositivo en diversos escenarios identificados en la universidad asumiendo que el usuario carece de visión mientras usa el dispositivo. Este enfoque permitió identificar los desafíos tecnológicos actuales, como la adaptación del dispositivo a distintas condiciones de iluminación, lo que afecta el reconocimiento preciso y consistente de letreros.

En cuanto a la tecnología empleada, la comparación con referentes existentes que utilizan Bluetooth y Wi-Fi refuerza la elección de LoRaWAN como tecnología principal del dispositivo. LoRaWAN ofrece ventajas significativas en términos de cobertura y eficiencia energética, superando las limitaciones observadas en otros sistemas, lo que lo posiciona como una solución robusta para la asistencia a personas con discapacidad visual.

Discusión

En la comparativa entre este prototipo y los referentes existentes que emplean tecnologías como Bluetooth y Wi-Fi, resalta la elección estratégica de LoRaWAN como tecnología principal en el dispositivo de asistencia para personas con discapacidad visual. Mientras los referentes

citados muestran limitaciones, como las observadas en la red BAN (Body Area Network) utilizada por (Brito Moncayo & Yanchatuña Aguayo, 2016) la conexión Wi-Fi en el prototipo de (Basantes Varela & Chalaco Chamba, 2019), en el enfoque en LoRaWAN destaca por su capacidad para superar estas restricciones y mejorar la eficiencia del sistema.

La combinación de sensores funcionales y asequibles al público más la conexión eficiente a través de LoRaWAN refuerzan la accesibilidad y efectividad del dispositivo, marcando una evolución significativa en comparación con los referentes. Este enfoque completo define al dispositivo como una solución más completa y adaptada a las diversas necesidades de las personas con discapacidad visual. A diferencia de los proyectos revisados en los trabajos relacionados, que se centran en aplicaciones específicas, como alertas de obstáculos o lectura de texto, este dispositivo de asistencia busca ser integral para entornos exteriores e interiores.

A lo largo del desarrollo se aborda cómo la combinación de tecnologías, como LoRaWAN y WebSockets, no solo mejora la conectividad y la eficiencia energética, sino que también se enfoca en el potencial de mejorar la experiencia del usuario. Al contrastar los resultados obtenidos con normativas y estudios previos, se confirma que, aunque la solución propuesta muestra avances importantes, existen áreas críticas que requieren atención, como la mejora del diseño físico y la validación con un grupo heterogeneo de usuarios.

Conclusiones

La correcta elección de los componentes del sistema embebido respalda la propuesta de la estructura del sistema embebido a nivel lógico y eléctrico. Se ha comprobado su adecuada integración a través de su algoritmo de detección de obstáculos y reconocimiento de señalética dentro de los entornos de pruebas. Esta información ha sido traducida en tiempo real a señales auditivas para ser proporcionada al usuario por medio de audífonos. Se puede ver que la elección de la Raspberry Pi 4 como unidad central del sistema embebido, respaldada por sensores estratégicos y tecnologías como OpenCV, establece una infraestructura robusta para la detección de objetos y geolocalización.

En cuanto a la arquitectura de red, este enfoque integral asegura una interconexión efectiva entre nodos de detección, el Gateway LoRaWAN y servidores, sentando las bases para un sistema cohesionado y funcional. La cuidadosa evaluación de tecnologías para la comunicación IoT ha respaldado la elección estratégica de LoRaWAN. Esta selección se fundamenta en su eficiencia energética, extensa cobertura geográfica y su accesible implementación, elementos esenciales para un despliegue efectivo en el entorno universitario.

A pesar de los logros alcanzados, se identifican áreas de mejora clave, como la optimización del reconocimiento de letreros bajo condiciones de iluminación intensa y la necesidad de perfeccionar el diseño físico del dispositivo. La visión integral y efectiva de la integración de tecnologías de libre acceso destaca el compromiso de mejorar la calidad de vida de los usuarios, estableciendo este trabajo como un hito importante en la búsqueda de soluciones inclusivas y tecnológicamente avanzadas.

Referencias

- Basantes Varela, D. A., & Chalaco Chamba, E. A. (2019). *Desarrollo de un prototipo de gafas para lectura de texto con visión artificial que asista a personas con discapacidad visual*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17841>

- Bogdan-Martin, D. (2020). *Global ICT Regulatory Outlook 2020 Pointing the way forward to collaborative regulation*. Obtenido de https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-BB.REG_OUT01-2020-PDF-E.pdf
- Brito Moncayo, G. D., & Yanchatuña Aguayo, L. A. (2016). *Visión artificial por alertas de voz y movimiento para personas con discapacidad visual en la Biblioteca de no videntes de la Universidad Técnica de Ambato*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/20348>
- Discapacidades, C. N. (2022). *Estadísticas de Discapacidad – Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades*. Obtenido de Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- Estella, M. P., Santos, C. B., & Arellano, M. J. (2011). Discapacidad Visual y Autonomía Personal Enfoque práctico de la rehabilitación. *Discapacidad visual y autonomía personal*. Organización Nacional de Ciegos Españoles, Madrid. Obtenido de http://sid.usal.es/idoes/F8/FDO26230/discap_visual.pdf
- Ghebreyesus, D. T. (2019). *Informe mundial de la salud*. Obtenido de <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/328717/9789241516570-eng.pdf?sequence=18>
- Guillen Peñarreta, J. P., & Vizñay Aguilar, C. F. (2016). *Gafas especiales para detección de obstáculos con sistema de ubicación en caso de emergencia y ayuda de reconocimiento de billetes para personas con discapacidad visual*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12295>
- ISO, 9999. (2022). *Assistive products for persons with disability — Classification and terminology*. Institución de Normas Británicas. Obtenido de https://webstore.ansi.org/preview-pages/BSI/preview_30395089.pdf
- Marcillo Parrales, K., & Collantes Rodríguez, B. D. (2020). *DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE UN BASTÓN INTELIGENTE CON SENSORES PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL Y FÍSICA EN LA CARRERA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN Y REDES*. Universidad Estatal del sur de Manabí. Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2249>