

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ORIENTACIÓN PARA PERSONAS
CON DISCAPACIDAD VISUAL**

Guillermo Alberto Cano Charry

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Tecnología

Licenciatura en Electrónica

Bogotá D.C, Colombia

2025

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ORIENTACIÓN PARA PERSONAS
CON DISCAPACIDAD VISUAL**

Guillermo Alberto Cano Charry

Trabajo de grado para obtener el título de

Licenciado en Electrónica

Asesor

David Alejandro Martínez Vásquez Ph.D.

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Tecnología

Licenciatura en Electrónica

Bogotá D.C, Colombia

2025

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia, mamá, papá, hermanas, quienes estuvieron presentes durante todo el proceso, brindándome su apoyo y tendiéndome la mano cuando lo necesitaba, agradezco sus palabras de aliento que interioriza y me llenaban de motivación para cumplir mis objetivos. A mi pareja, agradezco, por estar presente en cada etapa, por brindarme su apoyo tanto emocional como también su apoyo académico desde su experiencia. Su compañía, sus consejos y la disposición marcaron una diferencia en los momentos de mayor esfuerzo.

Agradezco a los maestros que aportaron su saber, y aún más a quienes dejaron una huella en mí y se convirtieron en referentes a seguir. De manera especial, agradezco a la maestra Claudia Yaneth Rodríguez Cordero quien me acompañó, me brindó herramientas, grupos de apoyo y un seguimiento durante el proceso. También, agradezco a mi asesor de tesis, David Alejandro Martínez Vásquez, por su orientación y guía comprometida durante este proceso.

Extiendo mi gratitud a mis amigos y compañeros de universidad. A pesar de los desafíos y obstáculos, supimos apoyarnos mutuamente, construyendo juntos una experiencia enriquecedora que me ayudó a llegar hasta aquí.

Finalmente, gracias a todas las personas que, de una u otra forma, hicieron parte de este camino. En el que hubo risas, lágrimas, aprendizajes, sorpresas, vivencias. Me llevo lo mejor de cada paso dado, y recordaré siempre con cariño lo que cada uno aportó a mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
5. OBJETIVO GENERAL.....	13
6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
7. ANTECEDENTES.....	13
8. MARCO CONCEPTUAL.....	17
9. MARCO TEÓRICO.....	20
10. METODOLOGÍA.....	26
11. RESULTADOS.....	29
11.1. PRIMERA FASE.....	29
11.1.1. TECNOLOGÍAS EXISTENTES PARA LA ORIENTACIÓN.....	29
11.1.2. MAPEO Y CARTOGRAFÍA SOCIAL.....	37
11.2. SEGUNDA FASE.....	43
11.2.1. DESARROLLO Y PROGRAMACIÓN.....	43
11.2.1.1. PUNTOS DE INFORMACIÓN (ESP32 - BALIZAS).....	43
11.2.1.2. APLICACIÓN MÓVIL.....	45
11.2.1.3. DIAGRAMA DE FLUJO.....	47
11.2.2. PRUEBAS FUNCIONALES.....	50
11.2.2.1 PRUEBAS UNITARIAS POR COMPONENTE.....	51
11.2.2.2. PRUEBAS DE INTEGRACIÓN.....	53
11.2.2.3. PRUBAS DE USUARIOS (USABILIDAD Y ACCESIBILIDAD).....	54
11.2.2.4. PRUEBAS DE ESTRÉS.....	55
11.2.2.5. PRUEBAS DE COMPATIBILIDAD.....	56
11.3. TERCERA FASE.....	57
11.3.1. PRUEBAS A PERSONAS GENERALES (PRE-IMPLEMENTACIÓN).....	57
11.3.2. IMPLEMENTACIÓN A PERSONAS GENERALES.....	60
11.3.3. PRUEBAS A PERSONAS GENERALES (POST-IMPLEMENTACIÓN).....	61
11.4. CUARTA FASE.....	70
11.4.1. PRUEBAS A PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL (PRE-IMPLEMENTACIÓN).....	70
11.4.2. IMPLEMENTACIÓN A PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL.....	75
11.4.3. PRUEBAS A PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL (PRE-IMPLEMENTACIÓN).....	76
12. CONCLUSIONES.....	92
13. RECOMENDACIONES.....	95
14. REFERENCIAS.....	97
15. ANEXOS.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Tecnologías para la orientación.....	30
Tabla 2.	Tecnologías para la detección de obstáculos.....	31
Tabla 3.	Dispositivos y plataformas especializadas.....	32
Tabla 4.	Interfaces hombre-máquina.....	33
Tabla 5.	Comparaciones de memoria y capacidad de procesamiento.....	36
Tabla 6.	Prueba unitaria texttospeech.....	51
Tabla 7.	Prueba unitaria speechrecognizer.....	52
Tabla 8.	Prueba unitaria BLE.....	53
Tabla 9.	Pruebas de integración.....	53
Tabla 10.	Pruebas de usuario.....	54
Tabla 11.	Pruebas de estrés.....	55
Tabla 12.	Pruebas de compatibilidad.....	56
Tabla 13.	Resumen de resultados encuestas post implementación personas generales...	68
Tabla 14.	Resumen de resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la Universidad en Google Maps.....	12
Figura 2. Esquema clásico de comunicaciones.....	15
Figura 3. Funcionamiento de tecnologías broadcast-beacons.....	16
Figura 4. Metodología cascada.....	26
Figura 5. Mapa de edificios UPN.....	27
Figura 6. Configuración de pines balizas nrf52.....	35
Figura 7. Área estimada de la universidad con Google Maps.....	38
Figura 8. Plano de la universidad.....	39
Figura 9. Ubicación de puntos en mapa.....	42
Figura 10. Esquema de conexiones esp32.....	44
Figura 11. Diseño de caja de baliza.....	45
Figura 12. Diagrama de flujo.....	49
Figura 13. Resultados encuesta pre implementación personas generales.....	58
Figura 14. Resultados encuesta pre implementación personas generales.....	58
Figura 15. Resultados encuesta pre implementación personas generales.....	59
Figura 16. Resultados encuesta pre implementación personas generales.....	59
Figura 17. Resultados encuesta pre implementación personas generales.....	60
Figura 18. Resultados encuesta post implementación personas generales.....	62
Figura 19. Resultados encuesta post implementación personas generales.....	62
Figura 20. Resultados encuesta post implementación personas generales.....	63
Figura 21. Resultados encuesta post implementación personas generales.....	63
Figura 22. Resultados encuesta post implementación personas generales.....	63
Figura 23. Resultados encuesta post implementación personas generales.....	64
Figura 24. Resultados encuesta post implementación personas generales.....	64
Figura 25. Resultados encuesta post implementación personas generales.....	65
Figura 26. Resultados encuesta post implementación personas generales.....	65
Figura 27. Resultados encuesta post implementación personas generales.....	65
Figura 28. Resultados encuesta post implementación personas generales.....	66
Figura 29. Resultados encuesta post implementación personas generales.....	66
Figura 30. Resultados encuesta post implementación personas generales.....	67
Figura 31. Resultados encuesta post implementación personas generales.....	67
Figura 32. Resultados encuesta post implementación personas generales.....	68
Figura 34. Resultados encuesta pre implementación personas con discapacidad visual.....	71
Figura 35. Resultados encuesta pre implementación personas con discapacidad visual.....	71
Figura 36. Resultados encuesta pre implementación personas con discapacidad visual.....	72
Figura 37. Resultados encuesta pre implementación personas con discapacidad visual.....	72

1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto propone el diseño e implementación de un sistema de orientación accesible, basado en tecnologías de bajo consumo como Bluetooth Low Energy (BLE), con el fin de guiar a las personas con discapacidad visual mediante instrucciones auditivas personalizadas. A diferencia de los sistemas tradicionales que apuntan a ubicar geográficamente a los usuarios en mapas, este desarrollo se centra en la orientación contextual, proporcionando información clara y secuencial sobre los espacios que se recorren, favoreciendo la comprensión espacial y la autonomía del usuario.

La investigación articula enfoques técnicos, pedagógicos y sociales, integrando herramientas como balizas electrónicas (ESP32), reconocimiento de voz, síntesis de texto a voz (TTS) y retroalimentación mediante vibración para ofrecer una experiencia de navegación fluida, accesible y completamente auditiva. El sistema fue probado en condiciones reales dentro del campus universitario, considerando tanto los requerimientos técnicos como la experiencia de los usuarios, y demostrando su efectividad a través de pruebas con población general y con personas en condición de discapacidad visual.

Este trabajo se enmarca en los principios del diseño universal y en las normativas nacionales e internacionales que promueven la inclusión de personas con discapacidad. Más allá del aporte tecnológico, se constituye como una propuesta educativa y social que busca transformar los entornos en espacios más accesibles, igualitarios y conscientes de la diversidad humana.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Universidad Pedagógica Nacional actualmente cuenta con población universitaria en estado de discapacidad visual total y con baja visión, las personas que se encuentran en estas condiciones requieren para su orientación inicial de un acompañamiento para establecer dicha orientación al interior de la sede de la Universidad calle 72. Si bien es cierto que las personas en condiciones normales pueden sentirse perdidas en algunos casos al estar en algún entorno nuevo, para las personas con discapacidad visual es aún más difícil el poder ubicarse, al no tener la capacidad de ver lo que pasa alrededor, medir espacios o estar alerta, se complejiza tener una concepción sobre cómo es determinado espacio en algún momento.

Sumado a esto, la Universidad Pedagógica Nacional no cuenta con una buena adecuación de los espacios para estas personas, lo que quiere decir que algunas de las necesidades que este grupo de personas tienen no se pueden satisfacer de manera correcta, este tipo de adecuaciones pueden ser: señalización clara (carteles de información braille), señales podó táctiles, rampas en lugar de escaleras, ascensores y semáforos sonoros. El punto al que se quiere llegar y problema fundamental es facilitar la orientación de estas personas dentro de la institución. Dicho problema se derivó a partir de charlas que se tuvo con el centro de tiflogía de la Universidad.

Los estudiantes que están en condición de discapacidad se encuentran con un problema en su diario vivir al momento de ubicarse dentro de las instalaciones de la Universidad y a su vez dentro de cualquier espacio. Ahora, se tienen las siguientes

preguntas problema: ¿Cómo mejorar la orientación de las personas en condición de discapacidad visual? ¿Qué impacto tiene aplicar este proyecto en determinada población?

Con este proyecto e investigación lo que se busca es apoyar desde la tecnología, más específicamente desde el campo de la electrónica los procesos autónomos de orientación mediante la implementación de un sistema que trate de solventar el problema que se ha evidenciado. A partir de ahora, cuando se mencione sistema, se hace referencia a un sistema de orientación.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El uso de herramientas de orientación, como el sistema desarrollado, contribuye significativamente a mejorar la autonomía de las personas con discapacidad visual, al proporcionar información precisa sobre su ubicación, así como instrucciones para facilitar su desplazamiento. Este tipo de sistemas no solo promueve la independencia, sino que también fomenta la inclusión, reforzando el compromiso con la igualdad de oportunidades y la eliminación de barreras que dificultan la participación plena de esta población en los entornos sociales y educativos.

Además de su impacto en la población con discapacidad visual, la herramienta está diseñada para ser utilizada por cualquier persona, convirtiéndose en una guía accesible para toda la comunidad. Su capacidad para destacar espacios o puntos de interés dentro de una instalación lo convierte en un recurso versátil, útil tanto para visitantes como para miembros habituales de la institución, optimizando tiempos de desplazamiento y mejorando la orientación general.

En términos de impacto social, el sistema no solo asiste a quienes lo utilizan directamente, sino que también genera conciencia en la comunidad educativa sobre las necesidades y derechos de las personas con discapacidad visual, fomentando la empatía, el respeto y la comprensión. Esta sensibilización colectiva es un paso clave hacia la construcción de entornos verdaderamente inclusivos.

Desde el marco legal, la implementación de este sistema se alinea con la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (ONU, 2006), que promueve la inclusión y participación activa de esta población en la sociedad, y con la Ley 1680 de 2013 en Colombia, que garantiza el acceso a la información, las comunicaciones, el conocimiento y las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para las personas con discapacidad visual. De esta forma, el proyecto no solo cumple con estándares técnicos y de accesibilidad, sino que también respalda compromisos nacionales e internacionales en materia de derechos humanos y accesibilidad universal.

4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El número de personas que se encuentran en condición de discapacidad en la Universidad Pedagógica Nacional es aproximadamente de 35, según información proporcionada por el centro de tiflotecnología. Este dato puede variar con el tiempo debido a graduaciones y la admisión de nuevos aspirantes en dicha condición. Es importante señalar que este número refleja a las personas admitidas por inclusión, ya que existen otras en condición de discapacidad que no ingresan a la institución mediante este método, lo que sugiere que la cifra total podría ser mayor.

5. OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de orientación para personas con discapacidad visual de la Universidad Pedagógica Nacional sede Calle 72.

6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar un análisis detallado de las diferentes tecnologías disponibles para los sistemas de orientación y/o georreferenciación.

Realizar pruebas piloto que den cuenta del funcionamiento del sistema en la Universidad Pedagógica Nacional, sede Calle 72.

Evaluar el sistema de orientación para personas con discapacidad visual en la Universidad Pedagógica Nacional, sede Calle 72.

7. ANTECEDENTES

Según la Organización Mundial de la Salud (2022), se estima que alrededor de 253 millones de personas en todo el mundo tienen discapacidad visual, de las cuales 36 millones son ciegas y 217 millones tienen baja visión. En cuanto a Colombia, según el último censo realizado en el país por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018), se estima que alrededor del 2.5% de la población colombiana (aproximadamente 1.2 millones de personas) tiene algún tipo de discapacidad visual.

Losada A. (2020) realiza un proyecto acerca del uso de las TIC como herramienta de inclusión donde se menciona que cada propuesta tecnológica es una adaptación de acuerdo con las necesidades que se tengan en el momento, tomando en cuenta factores

como grupo, edad, problemática académica o de integración. Esto permite ver que tras hacer un buen análisis surgirán nuevos aspectos y problemáticas para dar cumplimiento a la inclusión, que se pueden socializar haciendo un proceso sistemático y bien estructurado para elaborar propuestas de apoyo.

González C y Landazábal R. (2020) en su tesis hablan sobre el uso de las balizas para facilitar el desplazamiento a las personas con discapacidad visual, se llega a las conclusiones de que el uso de las balizas son dispositivos versátiles y con diferentes implementaciones y uno de los usos que se le puede dar es para la georreferenciación dentro de un espacio, sin embargo, dependiendo del tipo de baliza puede variar su precio. Se toma como antecedente porque, aunque hayan desarrollado el trabajo, en trabajos futuros se menciona que sería pertinente realizar el trabajo con personas con discapacidad visual ya que ellos no lo pudieron implementar en esa población, además de recomendar usarlo en lugares como escaleras, con obstáculos y otros entornos.

Por otra parte, González R. (2018) diseña un sistema de balizas para la localización de lugares u objetos, sin embargo, este lo limita a espacios cerrados, como el interior de algún edificio, el objetivo de esta investigación es realizar un estudio teórico de la aplicación para el guiado de personas con discapacidad visual. Se menciona que el uso de las balizas es de gran utilidad como sensor, almacenador, localizador, y demás.

Garijo J. (2015) para la construcción de su tesis de maestría, realiza un trabajo investigativo sobre el papel de las TIC para personas con baja visión, el objetivo de este mismo es realizar una revisión bibliográfica sobre el uso de las TIC como instrumento de apoyo a estas personas, en estas tecnologías ya se han desarrollado lectores de pantalla,

magnificadores de pantalla, escritura braille, navegadores por solo texto, reconocimiento de voz, scanner óptico, entre muchas aplicaciones móviles. Una de las conclusiones a la que llega es que, aunque las TIC pueden llegar a implementarse y sean beneficiosas el factor económico es un punto para tomar en cuenta, por otro lado, plantea que la implementación de las TIC en entornos educativos se debe trabajar con esfuerzo para que las instituciones se doten con este tipo de ayudas.

Los actuales antecedentes abren la posibilidad de que se desarrollen investigaciones en este sentido, ya que hay factores que lo diferencian de las demás investigaciones consultadas. Por ejemplo, distintas investigaciones han dejado la puerta abierta para realizar desarrollos en entornos al aire libre y enfocados en personas en condición de discapacidad. Además, se busca que el sistema sea accesible en términos económicos. Como beneficio para la institución (UPN), este proyecto contribuirá a disminuir la problemática evidenciada en la sede Calle 72.

La propuesta que surge tras la revisión de antecedentes plantea el desarrollo de un sistema de orientación para personas con discapacidad visual, fundamentado en una arquitectura básica de comunicación entre emisor y receptor.

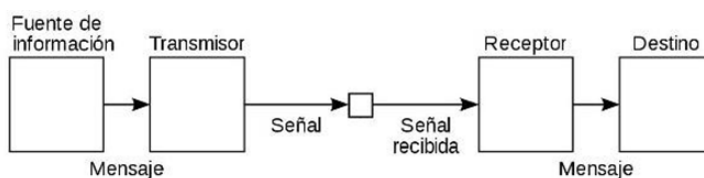


Figura 2. Esquema clásico de comunicaciones.

The Mathematical Theory of Communication, página 14.

Este sistema buscará facilitar el desplazamiento autónomo en entornos institucionales mediante la transmisión de información contextual sobre los espacios. La implementación se orientará hacia el uso de tecnologías que ofrezcan precisión, bajo consumo energético y facilidad de integración con dispositivos móviles. La elección tecnológica final se definirá tras un análisis técnico y contextual, asegurando que se adapte tanto a las condiciones del entorno como a las necesidades de los usuarios.

De forma esquemática, el funcionamiento general de este tipo de sistemas puede representarse mediante un modelo donde un dispositivo emisor transmite información codificada que es captada por un receptor, el cual la interpreta y la convierte en datos útiles para el usuario, tal como se ilustra en la figura siguiente.



Figura 3. Funcionamiento de tecnologías broadcast-beacons.

<https://beacon.bz.it/images/Beacon-Process.png>

Ahora, la información que será proporcionada a través de dicha implementación corresponde a datos relevantes sobre los espacios físicos, y dependerá de la caracterización que se realice durante el transcurso del proceso de implementación.

8. MARCO CONCEPTUAL

El presente apartado expone los conceptos fundamentales que sustentan el desarrollo del sistema de orientación propuesto, enfocado en mejorar la autonomía y el desplazamiento de personas con discapacidad visual en entornos institucionales. Dado que la solución integra componentes tecnológicos como balizas BLE, programación en Kotlin, reconocimiento de voz y síntesis de texto a voz, se incluyen definiciones tanto del ámbito de la accesibilidad y la movilidad asistida, como de las herramientas técnicas empleadas. La comprensión de estos conceptos permite contextualizar la lógica de diseño, la arquitectura funcional del sistema emisor-receptor y la elección de interfaces accesibles adaptadas a las necesidades del usuario.

8.1. TECNOLOGÍA DE ASISTENCIA

La tecnología de asistencia comprende todo tipo de dispositivos, productos o sistemas diseñados para mantener o mejorar el funcionamiento de las personas con discapacidad, facilitando su autonomía y participación en la vida cotidiana (Organización Mundial de la Salud, 2018). Estas tecnologías incluyen desde apoyos físicos como sillas de ruedas o bastones, hasta herramientas digitales como lectores de pantalla, sintetizadores de voz o sistemas de guiado auditivo.

8.2. ORIENTACIÓN ESPACIAL

La orientación espacial es la capacidad que tiene una persona para reconocer su propia posición en el espacio, conocer su entorno inmediato y establecer relaciones espaciales y temporales entre objetos, lugares o situaciones. En el caso de personas con discapacidad visual, esta habilidad se desarrolla principalmente a través del uso del oído, el tacto, la percepción del

movimiento y otras referencias no visuales, lo que permite planificar desplazamientos seguros y autónomos (ONCE, 2017).

8.3. ANDROID STUDIO

Android Studio es el entorno de desarrollo integrado (IDE) oficial para la creación de aplicaciones Android. Proporciona herramientas para programar en Kotlin y Java, emuladores de dispositivos, análisis de rendimiento y diseño de interfaces accesibles. Además, permite integrar bibliotecas para funciones como Bluetooth, reconocimiento de voz, sensores y accesibilidad (Google, 2024).

8.4. KOTLIN

Kotlin es un lenguaje de programación moderno desarrollado por JetBrains, que funciona sobre la Máquina Virtual de Java (JVM). Su sintaxis concisa, interoperabilidad con Java y enfoque en la seguridad ante errores lo hacen especialmente adecuado para el desarrollo de aplicaciones móviles. Además, ha sido adoptado oficialmente por Google como lenguaje recomendado para la creación de apps Android (JetBrains, 2024).

8.5. BALIZA (BEACON)

Las balizas o beacons son dispositivos electrónicos de corto alcance que emiten señales de manera constante utilizando tecnología Bluetooth Low Energy (BLE). Estas señales contienen identificadores únicos que pueden ser detectados por dispositivos móviles cercanos, permitiendo asociar dicha señal a información contextual, como la descripción de un lugar o un mensaje específico. Su uso es común en entornos como museos, aeropuertos, hospitales o espacios educativos donde se requiere brindar orientación sin necesidad de geolocalización satelital. Estos

dispositivos permiten no solo identificar puntos de referencia, sino también estimar la distancia entre emisor y receptor, lo que posibilita diseñar experiencias de navegación contextualizadas en espacios interiores (The Valley, 2022).

8.6. BLE (BLUETOOTH LOW ENERGY)

Bluetooth Low Energy (BLE) es un estándar de comunicación inalámbrica incluido en la especificación Bluetooth 4.0 y posteriores. A diferencia del Bluetooth clásico, BLE está diseñado para transmitir pequeñas cantidades de datos de forma eficiente, permitiendo mantener conexiones estables sin consumir grandes cantidades de energía. Esta tecnología es la base del funcionamiento de las balizas y es ampliamente compatible con la mayoría de los smartphones modernos (Google, 2024).

8.7. SPEECHRECOGNIZER

El SpeechRecognizer es una clase de la API de Android que permite implementar reconocimiento de voz en tiempo real dentro de una aplicación. Esta funcionalidad permite que el usuario interactúe mediante comandos hablados, lo cual resulta especialmente útil para personas con discapacidad visual. El reconocimiento de voz puede ejecutarse en segundo plano y responder a patrones específicos definidos por el desarrollador, facilitando acciones automáticas o respuestas contextuales dentro de la aplicación (Google, 2024).

8.8. TEXTTOSPEECH (TTS)

El TextToSpeech es un motor de síntesis de voz incorporado en Android que convierte texto plano en audio. Esta herramienta permite generar respuestas habladas desde la aplicación hacia el usuario, facilitando la interacción sin necesidad de lectura visual. En contextos de

accesibilidad, el TTS es especialmente útil para personas con discapacidad visual, ya que proporciona información contextual mediante salida de voz directa desde el dispositivo (Google, 2024).

8.9. FEEDBACK AUDITIVO Y HÁPTICO

El feedback auditivo y háptico hace referencia a los sistemas de retroalimentación que entregan información al usuario mediante sonido o vibración, respectivamente. Ambos son fundamentales en el diseño de interfaces accesibles, ya que permiten ofrecer señales sensoriales que sustituyen o complementan la información visual. En este proyecto, ambos tipos de retroalimentación se combinan para reforzar la comprensión del entorno y alertar al usuario sobre eventos importantes (Google, 2024).

9. MARCO TEÓRICO

9.1. DISCAPACIDAD VISUAL Y APOYOS TECNOLÓGICOS PARA LA MOVILIDAD

Dado que este proyecto está centrado en personas con discapacidad visual, es pertinente definir algunos conceptos clave que fundamentan su desarrollo. Según el Instituto Nacional para Ciegos (INCI), la discapacidad visual se refiere a la pérdida total o parcial de la visión en ambos ojos, ya sea por causas congénitas, accidentes o enfermedades degenerativas (INCI, 2020). Esta condición afecta la capacidad de interacción con el entorno físico, dificultando especialmente el desplazamiento, la orientación y el acceso autónomo a la información espacial.

Una revisión realizada por Cardona y Vásquez (2019) identificó diversas herramientas denominadas asistencias de movilidad y navegación, diseñadas para facilitar

el desplazamiento de personas con discapacidad visual. Estas ayudas incluyen desde instrumentos tradicionales como el bastón blanco o los perros guías, hasta tecnologías más recientes como etiquetas en braille, aplicaciones móviles y sistemas electrónicos con retroalimentación auditiva o táctil.

9.2. SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN, REFERENCIACIÓN, NAVEGACIÓN Y ORIENTACIÓN

En el ámbito de la tecnología aplicada a la movilidad, es fundamental distinguir entre varios conceptos que, si bien están relacionados, poseen funciones distintas.

9.2.1. LOCALIZACIÓN

La localización implica determinar con precisión la posición geográfica de una persona u objeto, generalmente mediante coordenadas obtenidas a través de tecnologías como el GPS, la red celular o el Wi-Fi. Estos sistemas permiten ubicar un punto específico dentro de un mapa o entorno digital (Instituto Geográfico Nacional, 2024).

9.2.2. REFERENCIACIÓN

La referenciación consiste en la identificación de ubicaciones a partir de puntos de referencia físicos o espaciales reconocibles, como puertas, señales, texturas o sonidos específicos del entorno. A diferencia de la localización absoluta, que depende de coordenadas, la referenciación es una estrategia relativa que facilita la comprensión del espacio, especialmente en personas con discapacidad visual, ya que se basa en información contextual accesible (ONCE, 2017).

9.2.3. NAVEGACIÓN

La navegación hace parte del proceso de orientación y movilidad, y se refiere a la capacidad de una persona para desplazarse de forma autónoma desde un punto de partida hacia un destino determinado, tomando decisiones durante el trayecto. Este proceso implica no solo el movimiento físico, sino también la planificación de rutas, la interpretación del entorno y la utilización de apoyos sensoriales o tecnológicos que guíen al usuario en tiempo real. En personas con discapacidad visual, la navegación puede apoyarse en señales auditivas, táctiles o en sistemas electrónicos diseñados para brindar información accesible del entorno (ONCE, 2017).

9.2.4. ORIENTACIÓN

La orientación es la capacidad de identificar la propia posición en el espacio, comprender el entorno inmediato y establecer relaciones espaciales entre los distintos elementos que lo componen. En personas con discapacidad visual, esta capacidad se apoya en señales auditivas, hápticas y contextuales que les permiten generar una representación mental del entorno. A diferencia de la navegación o la localización, la orientación no requiere coordenadas ni rutas prediseñadas, sino información situacional relevante para tomar decisiones en tiempo real (ONCE, 2017).

9.3. EL PREFIJO “GEO” Y SU RELACIÓN CON LOS SISTEMAS ESPACIALES

Muchos de los conceptos relacionados con ubicación o desplazamiento, como georreferenciación, geolocalización o geoposicionamiento, comparten el prefijo “geo-”, proveniente del griego antiguo “γῆ” (gê), que significa “tierra” (Real Academia Española,

2024). Este prefijo indica la relación con la superficie terrestre y aparece comúnmente en términos como geografía, geología o geometría. En contextos tecnológicos, el uso de “geo-” refleja la asociación de datos o ubicaciones con coordenadas sobre un sistema espacial de referencia (Instituto Geográfico Nacional, s. f.).

En el ámbito de las tecnologías de movilidad y localización, “geo” se utiliza para indicar que la ubicación o referencia está asociada a un lugar sobre la superficie terrestre. Por ejemplo:

- Georreferenciación: asignar coordenadas geográficas a un objeto o punto, para ubicarlo dentro de un mapa o sistema espacial.
- Geolocalización: determinar la ubicación actual de una persona u objeto en la superficie terrestre, mediante GPS, redes móviles u otras tecnologías.
- Geoposicionamiento: posicionar algo en términos geográficos con base en señales satelitales o sensores.

El uso del prefijo “geo” implica, por tanto, una relación explícita con la Tierra como sistema de referencia global. Estos términos son muy comunes en herramientas cartográficas, aplicaciones móviles de navegación y sistemas de información geográfica (SIG).

9.4. EL SISTEMA DE ORIENTACIÓN COMO PROPUESTA CENTRAL

Este proyecto no pretende desarrollar un sistema de localización o navegación asistida, ni un sistema georreferenciado en sentido estricto, sino un sistema de orientación contextual. Es decir, un conjunto de herramientas tecnológicas que proporcionen información auditiva y

específica sobre el entorno institucional para que el usuario pueda tomar decisiones autónomas de desplazamiento. El modelo planteado se basa en una arquitectura de emisor-receptor, donde un dispositivo instalado en un punto de referencia emite una señal que es captada por un receptor móvil, el cual interpreta la información y la presenta en formato accesible, como voz sintetizada.

Este tipo de sistemas no obliga al usuario a seguir rutas predeterminadas ni a visualizar mapas, sino que le brinda mensajes oportunos sobre su entorno, permitiéndole mantener el control de sus movimientos.

9.5. EVALUACIÓN DEL SISTEMA

Durante el desarrollo del sistema se implementarán dos fases evaluativas. En primer lugar, se realizaron pruebas unitarias, a cargo del desarrollador, destinadas a verificar la funcionalidad individual de los componentes técnicos: desde la emisión de señales por parte de las balizas hasta la correcta recepción y reproducción de mensajes auditivos en la aplicación móvil. Estas pruebas se llevarán a cabo en condiciones controladas y permitirán depurar fallos técnicos antes de pasar a escenarios reales de uso.

En segundo lugar, se aplicarán pruebas de implementación con usuarios reales, incluyendo personas con discapacidad visual, dentro de los espacios institucionales donde se proyecta su uso. Estas pruebas permitirán observar la interacción directa del usuario con el sistema, así como recoger impresiones cualitativas y cuantitativas sobre su funcionamiento, accesibilidad y utilidad.

La evaluación tomará como referencia marcos conceptuales y técnicos reconocidos. Según un estudio publicado en *Praxis & Saber* (2018), la evaluación de recursos tecnológicos debe contemplar aspectos como el funcionamiento estable del sistema, la interactividad, la posibilidad de actualización o expansión, así como su compatibilidad con diversos dispositivos y el uso de estándares abiertos. Asimismo, se valorarán elementos vinculados a la usabilidad, como la claridad de la interfaz, la facilidad de navegación y la comprensión de los mensajes, fundamentales en un diseño centrado en el usuario final.

Desde una perspectiva internacional, la norma ISO 9241-11:2018 establece que la usabilidad de un sistema debe medirse a través de tres dimensiones clave: la eficacia (capacidad de lograr los objetivos propuestos), la eficiencia (uso de recursos en función del tiempo o esfuerzo requerido) y la satisfacción del usuario en su experiencia general (*International Organization for Standardization*, 2018).

Por su parte, las Pautas de Accesibilidad para el Contenido Web WCAG 2.1, desarrolladas por el W3C, proponen que todo sistema digital accesible debe ser perceptible, operable, comprensible y robusto, lo cual se traduce en una experiencia inclusiva independientemente del tipo de discapacidad o dispositivo de acceso (*World Wide Web Consortium*, 2018).

10. METODOLOGÍA

Para este proyecto se propone utilizar la metodología Waterfall o también llamada cascada, propuesta por Winston Royce en 1970. Esta metodología permite completar cada una de las fases en un orden específico, avanzando de forma secuencial y completando una fase antes de pasar a la siguiente. Otra de las características del modelo en cascada, es que se debe de hacer un análisis y comprobación del funcionamiento de cada una de las fases al concluir las, antes de pasar a la siguiente, detectando así los posibles errores y corrigiéndolos antes de avanzar.

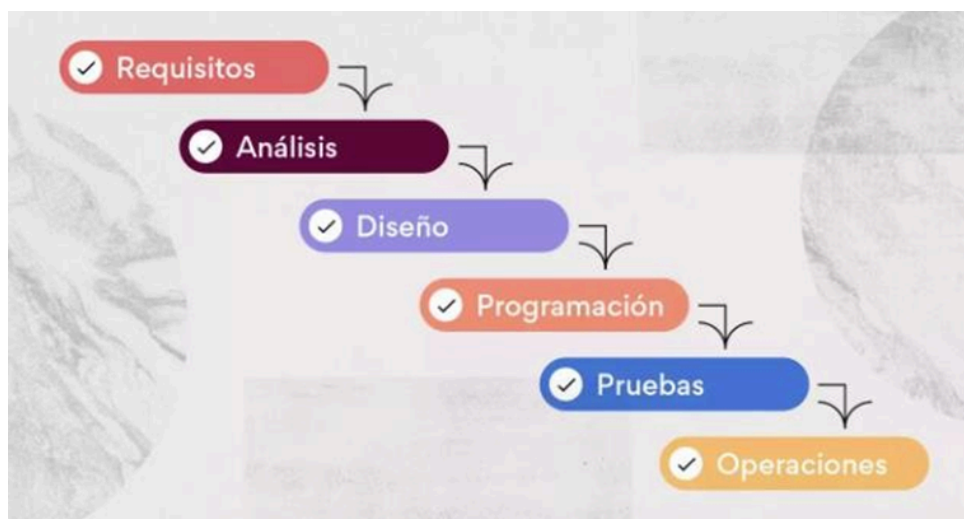


Figura 4. Metodología cascada.

<https://asana.com/es/resources/waterfall-project-management-methodology>

Este proyecto se desglosa en cuatro fases, cada una destinada a lograr los objetivos establecidos. La primera fase implica un minucioso análisis, exploración y diseño, que abarca el mapeo y la medición de la cartografía a desarrollar en las instalaciones. El propósito central de esta fase es llevar a cabo una cartografía social de la institución para

identificar puntos de importancia y áreas de concentración, donde sería pertinente establecer puntos de información estratégicos. Esta etapa proporcionará información crucial sobre cada punto, incluyendo el número de balizas necesarias y las características específicas de cada una, como su rango de operación y la capacidad de conexión simultánea de usuarios. En última instancia, esta fase se traduce en una detallada caracterización.



Figura 5. Mapa de edificios UPN.

<http://sigan.pedagogica.edu.co/inscripciones/Ubicacion.php?ubicacion=E>.

En la segunda fase, el enfoque se centra en establecer la ubicación estratégica de los puntos de acceso a la información, siguiendo la cartografía previamente elaborada. Vale la pena destacar que, antes de la ubicación, las balizas deben haber pasado por un proceso riguroso de programación y pruebas. Es fundamental subrayar que, al tratarse de un proyecto de libre acceso, se optará exclusivamente por lenguajes de programación de código abierto, tales como C, Java, Python, MySQL, Arduino y AppInventor.

En el ámbito disciplinar, esta fase se erige como el punto fuerte del proyecto, enfrentándose a elementos críticos como el diseño de la interfaz, la programación de las balizas y la integración del sistema.

La tercera fase se concentra en la evaluación de la aplicación, involucrando a dos poblaciones clave que coinciden con las proyecciones de implementación del proyecto. En primer lugar, se dirigirá a la población general, brindándoles la oportunidad de realizar pruebas iniciales con el objetivo de recopilar opiniones que permitan realizar ajustes en el sistema. Posteriormente, se realizará una nueva implementación dirigida a personas con discapacidad visual, que constituye el núcleo central de esta investigación. Desde el inicio del documento, se ha destacado la importancia de estas pruebas piloto, en las cuales el sistema se fundamenta en la retroalimentación sonora para proporcionar a los usuarios con discapacidad visual información precisa sobre su ubicación y los elementos circundantes del entorno.

En la fase final, se presentan los resultados de la investigación a través de fichas informativas y gráficos comparativos, ofreciendo una visión clara y detallada de la aplicación. Para lograr esto, se plantea la realización de entrevistas y encuestas tanto antes como después de la aplicación. En esta fase, se llevará a cabo una evaluación del sistema, utilizando los indicadores delineados en el marco conceptual como guía. Este enfoque proporcionará una comprensión completa de la eficacia y el impacto de la aplicación, consolidando así los hallazgos de la investigación.

Estas son las fases primordiales con las que se le da cumplimiento a los objetivos, pero en el transcurso de la implementación estas mismas están sujetas a ajustes

metodológicos que mejoren la eficiencia de la investigación. Otro punto importante que hay que resaltar es que este proyecto está enmarcado en el campo de investigación y desarrollo, por ello las fases se dividen tanto en el aspecto disciplinar como en el aspecto investigativo. Además, es importante subrayar que esta investigación persigue el cumplimiento de objetivos metodológicos al ser un proyecto de investigación y desarrollo.

11. RESULTADOS

11.1. PRIMERA FASE

11.1.1. TECNOLOGÍAS EXISTENTES PARA LA ORIENTACIÓN

Se realizó un análisis minucioso de las diferentes tecnologías existentes para orientación específicamente para personas con discapacidad visual donde se encontraron las siguientes tecnologías en relación a sistemas de posicionamiento: GPS, WiFi Positioning (RSSI o RTT), Bluetooth Low Energy (BLE), RFID/NFC, UWB (Ultra Wide Band), Visión por Computador con IA, IMU (acelerómetro, giroscopio, magnetómetro), SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), cada uno con características diferentes para un uso diferente, por ello, se realizó una tabla comparativa de estos mismos.

Tabla 1. *Tecnologías para la orientación*

Tecnología	Tipo	Aplicación Principal	Observaciones
GPS	Global	Navegación en exteriores	Precisión de 3–10 m; no funcional en interiores.
WiFi Positioning (RSSI o RTT)	Local	Navegación en interiores	RTT ofrece hasta 1 m de precisión; requiere routers compatibles.
Bluetooth Low Energy (BLE)	Local	Guía por proximidad	Usado con balizas, ideal en interiores.
RFID/NFC	Local	Identificación de puntos fijos	Requiere cercanía o contacto físico.
UWB (Ultra Wide Band)	Local	Posicionamiento preciso (± 10 cm)	Alta precisión, pero costosa e incipiente.
Visión por Computador con IA	Visual	Reconocimiento espacial	Necesita buena iluminación y cámaras de calidad.
IMU	Inercial	Detección de movimiento o dirección	Deriva acumulativa, pero útil combinado con otras tecnologías.
SLAM	Inercial + Visual	Navegación autónoma	Usado en robótica y bastones inteligentes en investigación.

De la misma manera se buscaron tecnologías de detección de obstáculos entre las más usadas y comunes en este ámbito se encuentran: Ultrasonido, Infrarrojo, LiDAR, Cámara Estéreo o Depth Sensor, Tacto Artificial (vibración/háptico) y Radar (frecuencia mmWave) de estos dispositivos se despliegan los diferentes dispositivos y plataformas especializadas: Bastón inteligente (Smart Cane), Gafas inteligentes (Smart Glasses), Apps móviles accesibles, Wearables (cinturones, relojes, plantillas), Drones o robots guías y Sensores en mobiliario urbano.

Tabla 2. Tecnologías para la detección de obstáculos

Tecnología	Tipo	Aplicación Principal	Observaciones
Ultrasonido	Sensor activo	Detecta obstáculos cercanos	Económico; preciso; usado en bastones inteligentes.
Infrarrojo (IR)	Sensor pasivo o activo	Presencia de objetos o personas	Económico; sensible a luz solar.
LiDAR	Sensor activo	Detección avanzada de obstáculos	Alta precisión, pero costoso.
Cámara Estéreo o Depth Sensor	Visual	Mide profundidad y obstáculos	Muy preciso, requiere un procesamiento pesado.
Tacto Artificial	Feedback	Retroalimentación por proximidad	Común en bastones electrónicos.
Radar	Sensor activo	Mide distancia a obstáculos	Alta precisión incluso en oscuridad o niebla.

Tabla 3. *Dispositivos y plataformas especializadas*

Dispositivo o Plataforma	Descripción
Bastón inteligente	Incorpora sensores (ultrasonido, IR, BLE) y vibración.
Gafas inteligentes	Con cámaras y visión artificial, a veces TTS.
Apps móviles accesibles	Integran GPS, BLE, TTS, voz y menús adaptados.
Wearables	Vibración para orientación sin ocupar manos.
Drones o robots guías	Guían mediante sensores; en investigación.
Sensores en mobiliario urbano	Orientación por puntos fijos en semáforos, edificios.

Por último, en este apartado, hay algunas IHM (Interfaz hombre-máquina) que también son muy usadas para sistemas de orientación como: Text-to-Speech (TTS), Reconocimiento de Voz (Speech-to-Text), Respuesta por vibración o háptica, Dispositivos de Braille Electrónico, Asistentes Virtuales (Alexa, Google Assistant, etc.), Aplicaciones móviles especializadas.

Tabla 4. *Interfaces hombre-máquina*

Tecnología	Aplicación Principal	Observaciones
Text-to-Speech (TTS)	Comunicación auditiva	Amplio soporte en Android/iOS.
Reconocimiento de Voz	Comandos por voz	Puede fallar en entornos ruidosos.
Vibración/Háptico	Retroalimentación silenciosa	Bastones o cinturones hápticos.
Dispositivos Braille Electrónico	Lectura táctil	Limitados a ciertos contextos.
Asistentes Virtuales	Interacción natural	Útil para tareas simples.
Apps móviles especializadas	GUI accesible + voz	Ej: Lazarillo, RightHear, Be My Eyes.

Entre todas las tecnologías analizadas para apoyar la orientación de personas con discapacidad visual incluyendo GPS, RFID, infrarrojo, ultrasonido, visión por computador, realidad aumentada, WiFi RTT y LiDAR, el uso de balizas basadas en Bluetooth Low Energy (BLE) se destaca como la opción más eficaz, equilibrada y viable para implementar en entornos como la Universidad Pedagógica Nacional, sede Calle 72. Esta decisión se fundamenta en la necesidad de contar con una solución que funcione de manera confiable tanto en espacios abiertos como interiores, superando las limitaciones del GPS, que pierde precisión dentro de edificaciones; del RFID e infrarrojo, que requieren contacto cercano o línea de vista directa; y de tecnologías como la realidad aumentada o la visión por computador, que dependen de cámaras,

buena iluminación y procesamiento visual. Por su parte, tecnologías emergentes como WiFi RTT o UWB ofrecen precisión, pero aún enfrentan problemas de compatibilidad o costos elevados que dificultan su implementación práctica. En contraste, BLE permite la detección de proximidad mediante la intensidad de señal (RSSI), sin necesidad de interacción manual ni visibilidad directa, y puede integrarse en una red de balizas programadas. Además, su compatibilidad con dispositivos móviles, bajo consumo energético y facilidad de implementación lo convierten en una herramienta poderosa para guiar a los usuarios de forma autónoma mediante mensajes de voz personalizados. Por estas razones, BLE no solo representa una solución técnicamente superior, sino también una alternativa inclusiva, escalable y sostenible para un entorno universitario comprometido con la accesibilidad.

En cuanto a la aplicación móvil, se concluye que el uso combinado de tecnologías como Bluetooth Low Energy (BLE), la medición de señal RSSI, el Text-to-Speech (TTS), el reconocimiento de voz y la retroalimentación mediante vibración representa la solución más eficaz y accesible para personas con discapacidad visual. Estas cinco tecnologías implementadas de forma integrada y coherente en el sistema se destacan por sus particularidades y beneficios complementarios. En primer lugar, BLE con RSSI permite detectar la proximidad a puntos específicos dentro del entorno, incluso en interiores donde otras soluciones como GPS fallan, proporcionando así una referencia espacial confiable. Por otro lado, TTS asegura que toda la interacción sea auditiva, guiando al usuario en tiempo real mediante instrucciones claras y personalizadas. El uso de reconocimiento de voz elimina la necesidad de pantallas o botones, lo que permite una navegación totalmente manos libres, ideal para contextos inclusivos. Finalmente, la retroalimentación mediante vibración ofrece una capa adicional de retroalimentación sensorial, útil para confirmar eventos importantes como la selección de una

opción o la detección de una baliza. En conjunto, estas tecnologías permiten una interacción natural, autónoma y segura, lo que las posiciona como las más efectivas del conjunto evaluado para el objetivo principal del proyecto.

Las balizas más comunes en aplicaciones de localización y comunicación de corto alcance son las balizas Bluetooth Low Energy (BLE), debido a su bajo consumo energético y eficiencia en la transmisión de datos. Dentro de esta categoría, destacan las balizas basadas en los microcontroladores nRF52810, nRF52832 y nRF52840, ampliamente utilizadas por su estabilidad, alcance y compatibilidad con los protocolos iBeacon (desarrollado por Apple) y Eddystone (propuesto por Google). Estas balizas emiten paquetes publicitarios a intervalos regulares, que pueden ser captados por smartphones u otros dispositivos receptores.

En cuanto al hardware la mayoría de las balizas traen configuración de 4 pines, las balizas basadas en la serie nRF52 (como los modelos nRF52810, nRF52832 y nRF52840) incluyen pines de conexión como GND, VDD y líneas SPI (por ejemplo, D10 como Chip Select y CLK como reloj serial), que permiten comunicación entre dispositivos periféricos, pero no están diseñados para la programación directa del módulo.



Figura 6. Configuración de pines balizas nrf52.

<https://www.nordicsemi.com/Applications/Beacons>

En general, los dispositivos de esta familia no son programables de forma nativa mediante Arduino u otros entornos de código abierto, ya que requieren el uso de interfaces de depuración como SWD (Serial Wire Debug) y programadores específicos como el J-Link o el nRF52 DK. Para adaptarlos a plataformas abiertas se necesita instalar un bootloader compatible y configurar el entorno adecuadamente. Además, es fundamental considerar las diferencias de memoria y capacidad de procesamiento entre los distintos modelos, especialmente en proyectos que requieren manejo de datos complejos como información geográfica, identificación por señales y retroalimentación sonora. A continuación, se deja una tabla donde se puede comparar la capacidad de memoria de la serie nRF52.

Tabla 5. Comparaciones de memoria y capacidad de procesamiento

Característica	nRF52810	nRF52832	nRF52840	ESP32
CPU	Cortex-M4 @ 64 MHz	Cortex-M4 @ 64 MHz	Cortex-M4 @ 64 MHz	Dual-core Xtensa LX6 @ 240 MHz
Flash	192 kB	512 kB	1 MB	4 MB o más (según modelo)
RAM	24 kB	512 kB	1 MB	4 MB o más (según modelo)
BLE	5.0	5.0	5.0	4.2 / 5.0 (según modelo)
WiFi	X	X	X	2.4Ghz

GPIOs	Limitados	Más flexibles	Más flexibles	Más pines y ADC mejorado
Energía	Ultra bajo consumo	Bajo consumo	Bajo consumo	Más consumo
Programación	SDK Nordic	SDK Nordic	SDK Nordic	Arduino, Micropython, ESP-IDF

En conclusión, considerando de manera integral aspectos como la capacidad de memoria, la facilidad de programación, la flexibilidad en la configuración y la compatibilidad con múltiples protocolos de comunicación, el ESP32 se posiciona como la opción más adecuada para la implementación del proyecto. A diferencia de las balizas tradicionales BLE de la serie nRF52, que, si bien son eficientes para transmisiones, presentan limitaciones significativas en cuanto a almacenamiento, personalización y entorno de desarrollo, el ESP32 permite una programación abierta, adaptable a las necesidades específicas del sistema, e incorpora recursos técnicos superiores que garantizan un funcionamiento más robusto y escalable. Esta elección responde no solo a un criterio técnico, sino también a una necesidad práctica de garantizar estabilidad, versatilidad y expansión futura del sistema.

11.1.2. MAPEO Y CARTOGRAFÍA SOCIAL

Para el levantamiento del plano de la institución, se realizó inicialmente un mapeo general del espacio, identificando las zonas principales como edificios, salidas, áreas comunes y puntos estratégicos. No obstante, para la colocación precisa de los puntos donde se encuentra

cargada la información, se implementó una cartografía social a pequeña escala, basada en la percepción y el uso cotidiano del espacio por parte de la comunidad objetivo. Este proceso se apoyó en la aplicación de una encuesta de recolección de datos además de una entrevista, que permitió identificar con mayor exactitud los lugares significativos desde la experiencia de quienes habitan y transitan diariamente la universidad.

Para dicho mapeo también se utilizó la plataforma Google Maps, con la herramienta de medición para saber cuál era el perímetro y área estimada de la universidad.

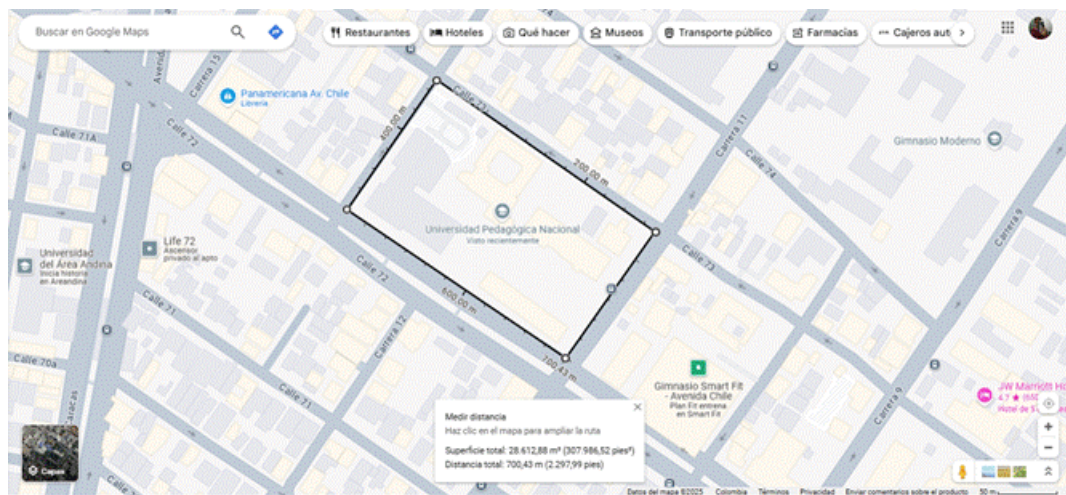


Figura 7. Área estimada de la universidad con Google Maps.

<https://www.google.com/maps/place/Universidad+Pedag%C3%B3gica+Nacional/@4.6583707,-74.0617548,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x8e3f9a5e19c8a7f7:0x2e9d80ece8e8e84d!8m2!3d4.6583654!4d-74.0591799!16s%2Fm%2F07k982g?hl=es>

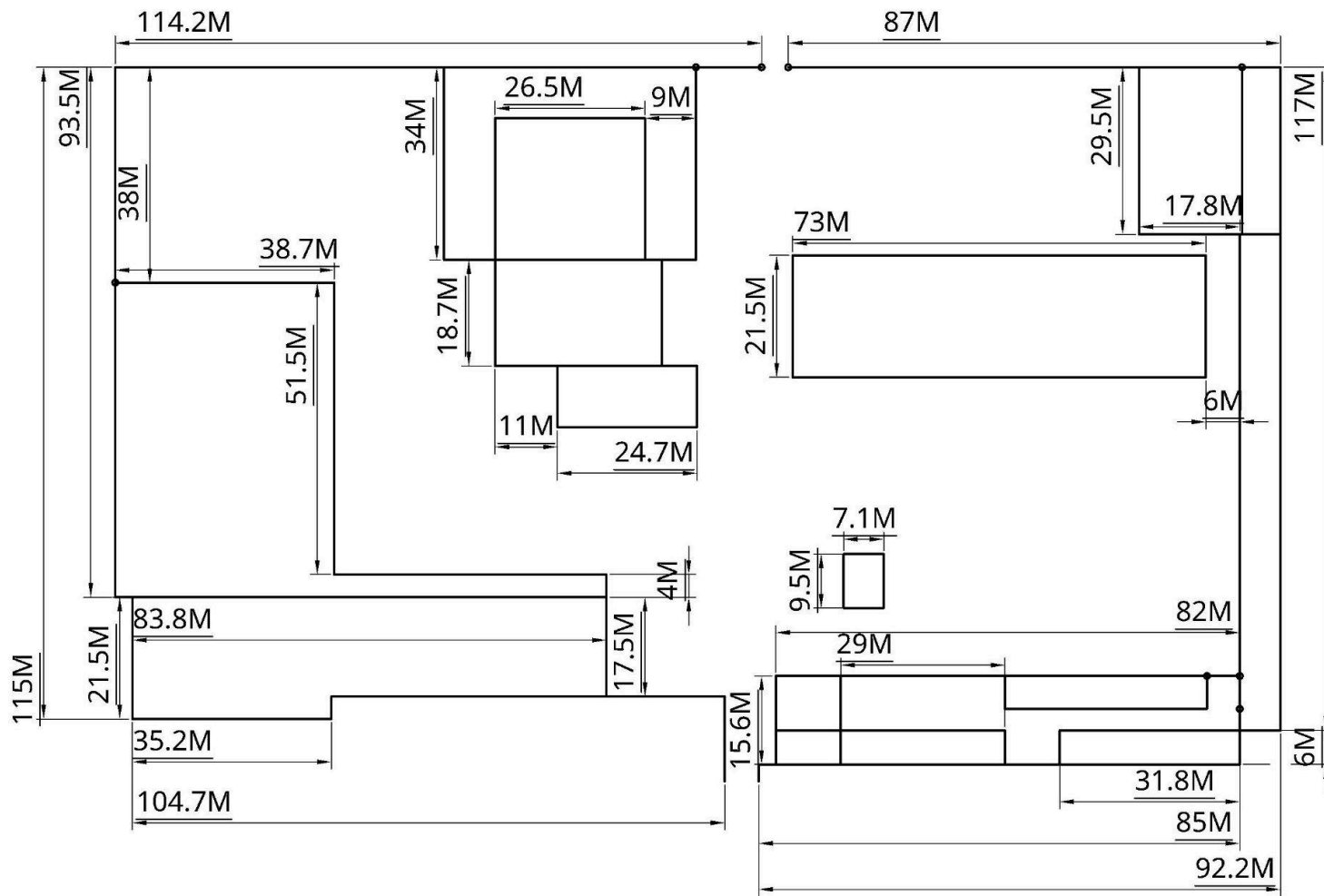


Figura 8. Plano de la universidad.

Entre las preguntas más relevantes incluidas en la encuesta se destacaron: ¿Qué zonas frecuenta dentro de la Universidad? y ¿Cómo prefiere que se exprese la distancia entre un punto A y un punto B: en metros o en número de pasos? Estas interrogantes fueron clave para captar la percepción espacial de los participantes, lo que facilitó una representación más significativa del entorno. Finalmente, el plano fue construido integrando tanto criterios técnicos como sociales para lograr una visión más completa y contextualizada del espacio universitario.

A partir del análisis de las respuestas obtenidas en la encuesta, se identificaron los lugares más frecuentados y significativos para la comunidad universitaria. Con base en esta información, se tomó la decisión de ubicar puntos de información en los espacios que concentran mayor tránsito y relevancia simbólica: el Edificio A, el Edificio B, la Cafetería, el Museo, la Sala Santiago Ayala (ubicada dentro del museo), así como en las salidas principales por la Calle 72 y la Calle 73. Una vez identificados los puntos se procede a buscar la información adecuada para poner en cada punto de información la cual quedaría así:

- **EDIFICIO A** → En el primer piso del Edificio A se encuentra la Biblioteca y el Centro Tiflotecnológico. En el segundo piso hay salones de clase. Por otro lado, en el tercer piso de este edificio están ubicados el Departamento de Lenguas y el Departamento de Sociales.
- **EDIFICIO B** → En el primer piso del Edificio B se encuentra el Departamento de Tecnología y la Enfermería, en el segundo piso está el Departamento de Matemáticas. En el tercer piso se encuentran los Departamentos de Biología, Química y Física.
- **CAFETERÍA** → En la Cafetería se ofrecen diferentes horarios de comida: el desayuno está disponible desde las 8 de la mañana hasta las 10 de la mañana, y el almuerzo se puede adquirir de 11:30 a 2 de la tarde.

- **CALLE 72** → Estás en la portería de la Calle 72, la Universidad opera de 6 de la mañana a 6 de la tarde. No olvides el carnet para ingresar.
- **CALLE 73** → Estás en la portería de la Calle 73, la Universidad opera de 6 de la mañana a 6 de la tarde. No olvides el carnet para ingresar.
- **MUSEO** → En el Museo, también llamado la casita de la vida, se exhibe la historia natural y diversas colecciones, tales como: entomológica, alcohólica, taxidérmica, malacológica, colección viva e invernaderos. Está abierto a todo tipo de público de 8 a 12 de la mañana y de 2 a 5 de la tarde. La visita al museo siempre es guiada.

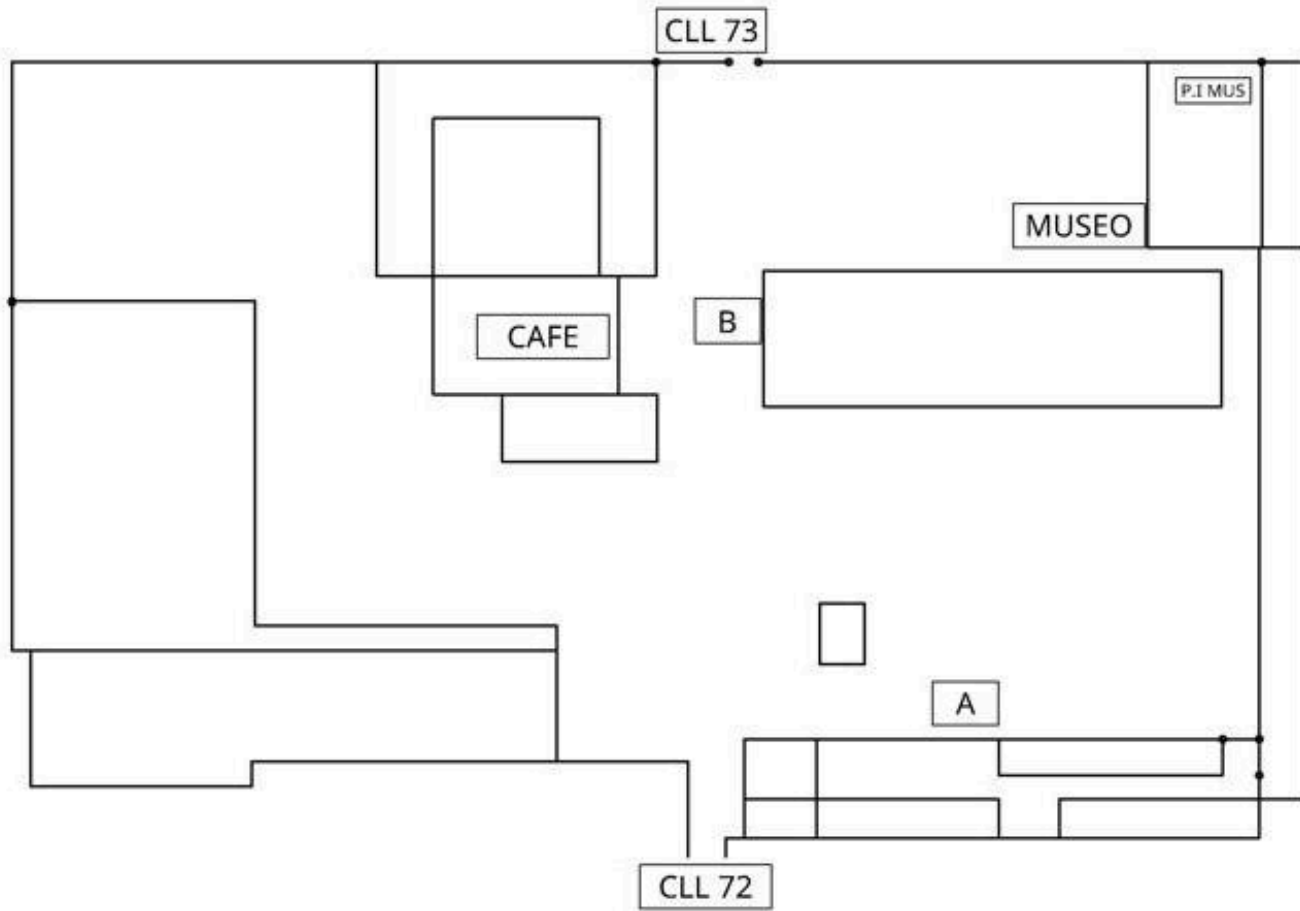


Figura 9. Ubicación de puntos en mapa.

11.2. SEGUNDA FASE

11.2.1. DESARROLLO Y PROGRAMACIÓN

11.2.1.1. PUNTOS DE INFORMACIÓN (ESP32 - BALIZAS)

Se realizó una revisión técnica de las capacidades del ESP32 en relación con la tecnología Bluetooth Low Energy (BLE), con el fin de configurarlo como una baliza emisora de mensajes contextuales. Para ello, se implementaron las siguientes librerías: BLEDevice.h, BLEUtils.h, BLEServer.h y BLEAdvertising.h, las cuales permiten inicializar el dispositivo como un servidor BLE, gestionar la estructura de datos publicitarios y controlar la emisión de señales. A partir de esta configuración, se definió un identificador distintivo para la baliza y se estableció un mensaje específico codificado dentro del campo Service Data, utilizando un UUID personalizado. El mensaje fue seleccionado como contenido informativo para representar una ubicación estratégica dentro del entorno físico. Esta implementación permite que aplicaciones móviles compatibles puedan detectar dicha señal sin necesidad de establecer una conexión directa.

Una vez realizado el cargue del programa en todos los puntos, se procede al diseño del sistema de alimentación, el cual incluye tanto la fuente de energía como la configuración adecuada para su funcionamiento. Para ello, se opta por utilizar dos baterías tipo LiPo de 3.7 V conectadas en serie, obteniendo así un total de 7.4 V, se incorpora un módulo TP4056, que actúa como estabilizador y cargador, permitiendo recargar el sistema en caso de que se quede sin energía y por última se utiliza un interruptor para cortar la energía del punto.

En cuanto a la autonomía del sistema, considerando que cada batería 18650 tiene una capacidad promedio de 2200 mAh y que la ESP32, en condiciones de operación activa con escaneo BLE, consume aproximadamente 150 mA, se estima un tiempo de funcionamiento continuo de entre 14,6 horas con las baterías completamente cargadas.

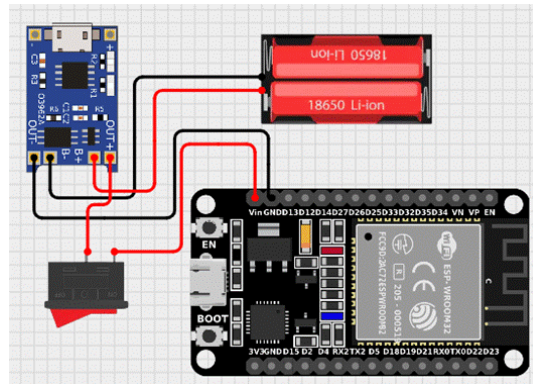


Figura 10. Esquema de conexiones esp32.

<https://app.circuitdesigner.com/project/1c443816-4145-4da4-b34f-b1232bec6e5f>

Una vez ensamblados los circuitos, se procede al diseño de la estructura de protección utilizando la plataforma OneShape. Esta estructura tiene como finalidad alojar el circuito, brindándole una capa de resguardo adecuada para su exposición en espacios abiertos o entornos de uso común. Cada caja diseñada cuenta con una tapa superior en forma de rejilla, con el objetivo de permitir una adecuada transmisión de las señales sin que estas pierdan potencia, garantizando así un funcionamiento óptimo del sistema en condiciones reales de operación, además la caja está diseñada en dos niveles, utilizando el nivel uno para las baterías y el nivel dos para los demás componentes.

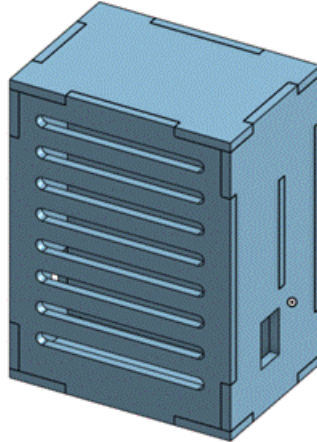


Figura 11. Diseño de caja de baliza.

<https://cad.onshape.com/documents/4308e600e0aaa5dcc57e72ae/w/a1cffe564e22e02785e399e/f346b4423a061d0a713851e6?renderMode=0&uiState=687846ea2724cc058ce8bf1c>

11.2.1.2. APLICACIÓN MÓVIL

La aplicación fue desarrollada en el lenguaje Kotlin, haciendo uso del entorno de desarrollo Android Studio, e integrando múltiples API del sistema operativo Android. Conceptualmente, el sistema se estructura en tres fases operativas que se corresponden con momentos clave en la experiencia del usuario: etapa de bienvenida e inicialización, selección del destino, y navegación activa guiada.

11.2.1.2.1. ETAPA 1: BIENVENIDA E INICIALIZACIÓN (INTERFAZ AUDITIVA CON TEXTTOSPEECH)

Al iniciar la aplicación, se activa un sistema de síntesis de voz mediante la clase TextToSpeech, una tecnología que convierte texto en voz artificialmente generada. En este caso,

el TTS permite emitir un mensaje de bienvenida al sistema de orientación, informando al usuario sobre el funcionamiento básico de la aplicación y guiando los primeros pasos.

Desde un punto de vista conceptual, esta etapa responde al principio de interacción multimodal, donde se prioriza el canal auditivo para usuarios con limitaciones visuales. Además, se emplea el modelo conversacional de interfaz, en el que la aplicación pregunta al usuario (por voz) si desea comenzar el escaneo. La entrada del usuario no se realiza mediante clics, sino mediante reconocimiento de voz, implementado con la clase SpeechRecognizer, que transforma el habla en comandos comprensibles por el sistema.

11.2.1.2.2 ETAPA 2: SELECCIÓN DEL DESTINO (RECONOCIMIENTO DE VOZ Y CONTEXTUALIZACIÓN)

Una vez aceptado el escaneo, se inicia la detección del punto de origen a través del escaneo de señales BLE, y la aplicación determina a qué conjunto de opciones de destino debe acceder el usuario. Aquí se aplica el principio de adaptación contextual, en donde las opciones ofrecidas se ajustan a la ubicación actual (por ejemplo, Edificio A, Edificio B, Museo o Cafetería si se está en la portería).

La interacción continúa siendo completamente auditiva. A través de un menú hablado, el sistema enuncia las opciones disponibles, esperando que el usuario seleccione una mediante comandos por voz. El SpeechRecognizer se configura con un grammar personalizado que reconoce nombres específicos, y se realiza una validación para evitar entradas no reconocidas. Este enfoque evita el uso de pantallas visuales o botones táctiles, promoviendo el principio de usabilidad sin visión.

11.2.1.2.3. ETAPA 3: NAVEGACIÓN ACTIVA (ESCANEEO BLE, ANÁLISIS DE RSSI Y GUÍA DINÁMICA)

Tras definir el destino, se activa el escaneo continuo de balizas BLE mediante el uso del BluetoothLeScanner y ScanCallback, tecnologías que permiten identificar dispositivos cercanos y registrar la intensidad de la señal (RSSI). Conceptualmente, esta etapa se apoya en la radiofrecuencia de baja energía (BLE) como medio de localización relativa, donde la proximidad se estima a partir de la atenuación de la señal.

Durante la navegación, se ejecuta una lógica de filtrado: el sistema ignora la baliza de origen para evitar confusión, y monitoriza constantemente la intensidad de la señal de la baliza de destino. Si se detecta una baliza distinta al destino, se reproduce un mensaje auditivo como “Este no es tu destino. Estás cerca de la cafetería. Recuerda que te diriges al Edificio B.”

La llegada al destino se determina cuando el RSSI supera un umbral predeterminado (-65 dBm), lo cual indica cercanía suficiente (1.5m) para considerar el punto alcanzado. En este momento, se activa un mensaje de llegada acompañado por una vibración háptica, utilizando la clase Vibrator.

11.2.1.3. DIAGRAMA DE FLUJO

Como se muestra en la Figura 12, el sistema de orientación se estructura a partir de un flujo lógico que inicia con el encendido del dispositivo móvil y la ejecución automática de la aplicación. El diagrama describe cómo el sistema verifica los permisos requeridos (Bluetooth, ubicación, micrófono), activa el escaneo de balizas BLE y presenta al usuario las opciones mediante un menú auditivo. Según la respuesta del usuario, se activa la navegación hacia un

destino o se reproduce información contextual. El flujo también contempla la llegada al destino, momento en el cual se detiene el escaneo, se reproduce un mensaje final y se cierra la navegación. Esta representación permite visualizar de forma clara y secuencial cada uno de los procesos que componen el funcionamiento integral del sistema.

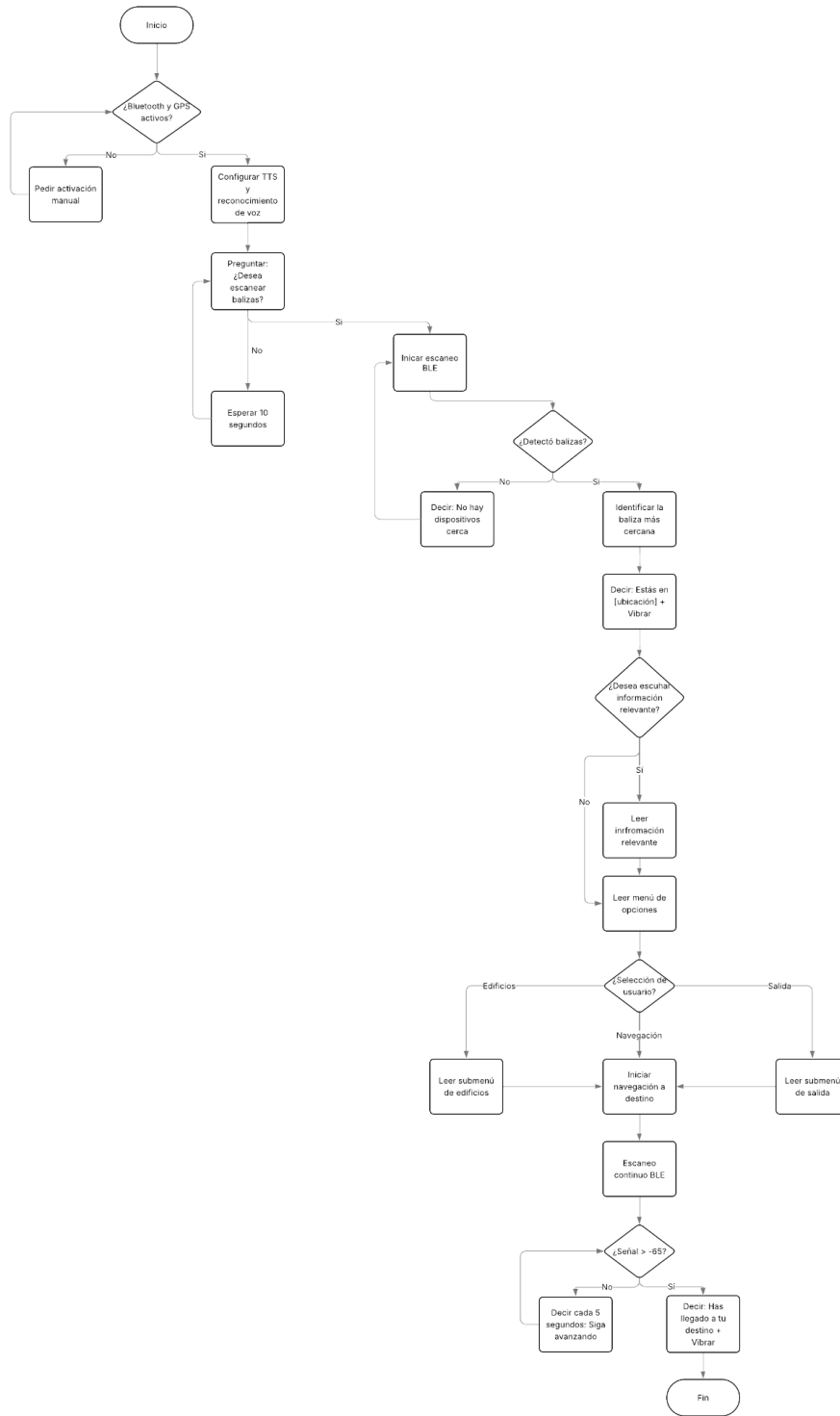


Figura 12. Diagrama de flujo.

Nota: Elaboración propia.

11.2.2. PRUEBAS FUNCIONALES

En el proceso de diseño e implementación de tecnologías de asistencia, las etapas de validación técnica cumplen un rol fundamental para garantizar la fiabilidad, usabilidad y sostenibilidad del sistema. Tal como señala Pressman (2002), las pruebas de software constituyen una estrategia sistemática para ejercitar un programa de manera controlada, con el propósito de detectar errores en su funcionamiento y asegurar que cumpla con los requerimientos establecidos antes de su implementación definitiva.

El sistema desarrollado fue sometido a diversas pruebas desde el punto de vista del desarrollador. Estas incluyeron pruebas unitarias, orientadas a verificar el funcionamiento aislado de cada componente; pruebas de integración, para examinar el comportamiento entre módulos combinados; pruebas de usuario, enfocadas en la interacción natural de una persona. Aunque no se realizaron pruebas con usuarios externos, se efectuaron pruebas internas en las que se simuló distintos escenarios de uso real. Estas pruebas permitieron evaluar la accesibilidad, claridad de instrucciones, tiempos de respuesta y comportamiento general del sistema desde una perspectiva de usabilidad práctica. También se sometió a pruebas de estrés, que evalúan la respuesta del sistema en condiciones límite; y pruebas de compatibilidad, para validar su rendimiento en diferentes entornos tecnológicos.

Este enfoque responde a las recomendaciones establecidas por la norma ISO/IEC/IEEE 29119-2:2013, la cual promueve una planificación estructurada, documentada y controlada de las pruebas de software durante todo el ciclo de vida del sistema. Asimismo, se complementa con los principios del diseño centrado en el usuario definidos en la norma ISO 9241-210:2010, que

prioriza características como la adaptabilidad del sistema, la tolerancia al error, la accesibilidad y una experiencia de uso inclusiva y eficaz para todo tipo de usuarios.

11.2.2.1 PRUEBAS UNITARIAS POR COMPONENTE

Las pruebas unitarias constituyen una de las estrategias fundamentales en el ciclo de verificación de sistemas, ya que permiten evaluar de forma aislada el comportamiento de los distintos componentes de una aplicación. Estas pruebas se enfocan en validar que cada módulo, función o clase cumpla con su propósito específico, bajo condiciones controladas, antes de integrarse con otros elementos del sistema. Según Pressman (2002), la prueba unitaria se orienta al nivel más bajo del software e implica ejercitar estructuras internas del código para detectar errores lógicos, de cálculo o de flujo. En este proyecto, las pruebas unitarias serán aplicadas directamente por el desarrollador y estarán dirigidas a verificar la funcionalidad de módulos como la detección de balizas, la reproducción de mensajes por voz, la activación del reconocimiento de voz y la respuesta háptica.

11.2.2.1.1. TEXTTOSPEECH (TTS)

Tabla 6. Prueba unitaria texttospeech

Parámetro evaluado	Criterio	Resultado
Inicialización de TTS	Se activa en onInit() sin errores	El mensaje de bienvenida se reproduce
Idioma configurado	Locale('es', 'ES') se carga correctamente	Voz en español neutral y claro

Reproducción sin interrupciones	onDone() se ejecuta antes de siguiente proceso	No hay superposición entre TTS y voz
Mensajes dinámicos	VARIABLES como el nombre del destino se insertan correctamente	Ej: 'Iniciando navegación hacia Edificio B'

11.2.2.1.2. SPEECHRECOGNIZER

Tabla 7. Prueba unitaria speechrecognizer

Parámetro evaluado	Criterio	Resultado
Inicio correcto de escucha	Se lanza startListening() después de onDone() del TTS	La app escucha sin errores
Manejo de errores	Se controla onError() y se relanza escucha	No se bloquea el sistema
Reconocimiento de palabras clave	El Bundle contiene términos válidos	Acciones correctas según palabra detectada
Tiempo de espera	Reconocimiento se cancela si no hay respuesta	Se vuelve a pedir opción luego de 10 segundos

11.2.2.1.3. BLUETOOTH LE

Tabla 8. Prueba unitaria BLE

Parámetro evaluado	Criterio	Resultado
Activación de escaneo BLE	startScan() se ejecuta sin errores	Comienza la detección de balizas
Filtro de baliza de origen	Se ignoran direcciones MAC del punto de inicio	Evita reiniciar flujo desde origen
Reconocimiento del destino por RSSI	RSSI supera umbral definido	Se reconoce llegada y se detiene escaneo
Respuesta ante múltiples balizas	Evalúa fuerza de señal según RSSI	Solo responde a la más cercana válida

11.2.2.2. PRUEBAS DE INTEGRACIÓN

Tabla 9. Pruebas de integración

Escenario evaluado	Componentes involucrados	Resultado
Inicio de app → bienvenida → pregunta de escaneo	TTS + flujo lógico	Fluidez en las transiciones
TTS finaliza → activa reconocimiento de voz	TTS + SpeechRecognizer	No hay solapamiento

Usuario responde destino → se inicia escaneo BLE	SpeechRecognizer + BLE	Detecta destino sin error
Llega a destino → vibración y mensaje	BLE + Vibrator + TTS	Se activan en sincronía sin bloqueos
Usuario elige nueva ruta tras llegar	Ciclo completo	No se arrastra estado anterior

11.2.2.3. PRUBAS DE USUARIOS (USABILIDAD Y ACCESIBILIDAD)

Tabla 10. Pruebas de usuario

Parámetro	Criterio	Resultado
Comprensión auditiva	Usuario escucha instrucciones sin ver pantalla	Entiende y sigue los pasos
Interacción sin vista	Usuario navega solo por voz	Llega al destino sin ayuda
Tiempo de respuesta del sistema	De cada acción (TTS, BLE, voz)	< 3 segundos en promedio
Claridad en mensajes	Instrucciones, menús y mensajes	Lenguaje claro y directo
Compatibilidad con TalkBack	No se activó al TalkBack	La aplicación no requiere uso de TalkBack
Retroalimentación mediante vibración	Vibración en la llegada, punto origen, confirmación en menús y submenús	Perceptible y clara

11.2.2.4. PRUEBAS DE ESTRÉS

Tabla 11. Pruebas de estrés

Condición extrema	Lo que se prueba	Resultado
Usuario responde palabras erróneas 5 veces seguidas	Tolerancia al error de voz	No se bloquea, propone repetir
Bluetooth se apaga en medio del escaneo	Gestión de interrupciones	Solicita reactivación, reinicia flujo
App minimizada repetidamente	Persistencia de estado	Continúa adecuadamente
Se detectan 6 balizas al mismo tiempo	Gestión de múltiples señales	Solo guía hacia la más cercana válida
Cambio de destino durante la ruta	Redirección dinámica	Se termina el flujo y se vuelve a poner otro destino, a mitad de navegación no se puede cambiar
Se presiona “atrás” o botón de inicio	Robustez de navegación	La app no se cierra abruptamente

11.2.2.5. PRUEBAS DE COMPATIBILIDAD

Tabla 12. Pruebas de compatibilidad

Parámetro	Criterio	Resultado
Versiones de Android	Desde Android 6 (Marshmallow) hasta 14	Fluidez sin fallas
Marcas y modelos variados	Motorola, Samsung, Xiaomi, Huawei	Comportamiento consistente
Accesibilidad activada	TalkBack activado	Llega a tener pequeños bloqueos
Hardware con TTS ausente	El sistema detecta e instala el motor	No se bloquea al inicio
Micrófono de baja calidad	Condiciones acústicas adversas	Entiende 95% de las entradas de voz
Ahorro de batería activado	Restricción de procesos	No se interrumpe la navegación
Permisos negados al inicio	Bluetooth, ubicación o micrófono	App solicita permisos correctamente y continúa
Pantallas pequeñas o grandes	Dispositivos con distintas resoluciones	Escalada visual correcto

Tras la aplicación de diversas pruebas desde la perspectiva del desarrollador, se ha podido verificar que el sistema de orientación para personas con discapacidad visual responde de manera

adecuada a los requerimientos funcionales, técnicos y de accesibilidad. Las evaluaciones permitieron simular múltiples escenarios de uso y comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones operativas, lo que aportó evidencia suficiente sobre su estabilidad, robustez y capacidad de adaptación. En consecuencia, el sistema se considera técnicamente apto para su implementación en entornos reales, siendo un producto funcional con su propósito de inclusión.

11.3. TERCERA FASE

11.3.1. PRUEBAS A PERSONAS GENERALES (PRE-IMPLEMENTACIÓN)

Con el fin de identificar percepciones previas, nivel de familiaridad con el entorno institucional y actitudes frente al uso de tecnologías accesibles, se aplicó una encuesta de pre implementación a un total de seis participantes. La participación fue completamente voluntaria y no representó ningún tipo de obligación ni condicionamiento. El instrumento consistió en una encuesta de 11 preguntas de selección múltiple, estructurada en torno a cuatro secciones principales: conocimiento del entorno, uso de tecnología y accesibilidad, expectativas frente a una herramienta de orientación por voz, y disposición para adoptarla. Esta fase permitió obtener una línea base diagnóstica sobre las condiciones previas a la implementación del sistema. A continuación, se presentan algunos de los resultados obtenidos en las categorías evaluadas.

11.3.1.1. CONOCIMIENTO DEL ENTORNO

9. ¿Considera que las rutas dentro del campus son claras para todas las personas?

● Totalmente de acuerdo	0
● De acuerdo	2
● En desacuerdo	4
● Totalmente en desacuerdo	0

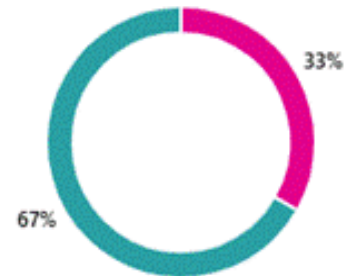


Figura 13. Resultados encuesta pre implementación personas generales.

11.3.1.2. USO DE TECNOLOGÍA Y ACCESIBILIDAD

11. ¿Con que frecuencia utiliza asistentes de voz o herramientas de accesibilidad en su celular?

● Nunca	1
● Rara vez	1
● A veces	4
● Siempre	0

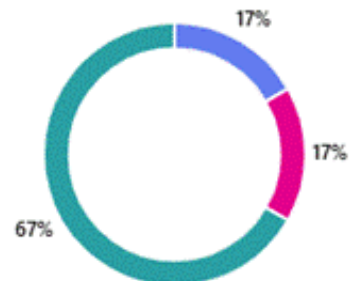


Figura 14. Resultados encuesta pre implementación personas generales.

11.3.1.3. EXPECTATIVAS Y PERCEPCIÓN

13. ¿Considera que sería útil una herramienta que le indique a donde ir dentro de la universidad mediante el uso de voz?

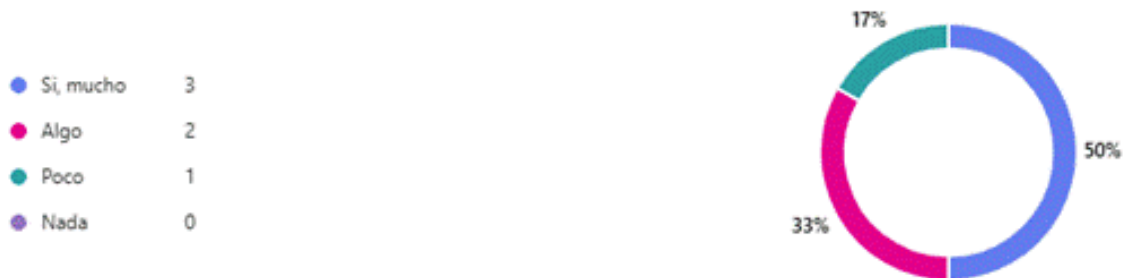


Figura 15. Resultados encuesta pre implementación personas generales.

14. ¿Qué aspectos consideraría mas importantes en una herramienta de orientación? (Puede marcar más de una)



Figura 16. Resultados encuesta pre implementación personas generales.

11.3.1.4. MOTIVACIÓN Y DISPOSICIÓN

17. ¿Qué espera que esta herramienta le permita hacer mejor?

6 Respuestas

ID ↑	Nombre	Respuestas
1	anonymous	Poder darme información clara sobre un lugar e indicaciones reales
2	anonymous	Que ayude a ubicarme y moverme de manera fácil
3	anonymous	A conocer y poderme desenvolver con mayor facilidad
4	anonymous	Que sea de fácil uso, que me ayude a a orientar mejor para saber donde se encuentra todo con más facilidad
5	anonymous	Ayudar a orientar a compañeros o personas invidentes
6	anonymous	

Figura 17. Resultados encuesta pre implementación personas generales.

Los resultados pre implementación revelaron una necesidad evidente de mejorar la orientación en el campus, con usuarios reportando dificultades para ubicarse y señalización poco clara. La mayoría conocía apps de ubicación, pero pocos usaban asistentes de voz. Los participantes valoraron especialmente que funcionara sin internet y con comandos de voz, considerándola muy útil.

11.3.2. IMPLEMENTACIÓN A PERSONAS GENERALES

Tras la aplicación de la encuesta de pre implementación y el análisis de las necesidades y expectativas identificadas, se procedió con la fase de implementación del sistema. Para ello, todas las personas participantes descargaron e instalaron la aplicación móvil en sus propios dispositivos, con el objetivo de replicar condiciones reales de uso. Durante esta etapa, se llevó a cabo un recorrido guiado dentro del campus, donde los participantes interactuaron directamente

con la interfaz, las instrucciones por voz, y los mecanismos de orientación apoyados por tecnologías BLE (Bluetooth Low Energy) y comandos de voz. Esta experiencia permitió observar el comportamiento del sistema en situaciones auténticas y recoger información valiosa sobre su funcionalidad, accesibilidad, usabilidad y pertinencia en contexto.

11.3.3. PRUEBAS A PERSONAS GENERALES (POST-IMPLEMENTACIÓN)

Luego de la implementación del sistema, se aplicó una encuesta de post implementación con el fin de evaluar la experiencia directa de los usuarios al utilizar la aplicación. Este instrumento permitió recolectar información sobre el desempeño del sistema en condiciones reales, su accesibilidad, facilidad de uso y grado de satisfacción general. La encuesta constó de un total de 30 preguntas: 27 de tipo escala Likert de 5 puntos y 3 preguntas abiertas. Estuvo organizada en seis secciones clave: interfaz y usabilidad, accesibilidad y adaptación, inclusión y personalización, eficacia y funcionalidad, sostenibilidad y acceso, y satisfacción general.

El diseño del instrumento de evaluación se fundamentó en una serie de indicadores validados en el ámbito educativo y tecnológico, incluyendo los propuestos en *Praxis & Saber* (2018), que plantean la necesidad de evaluar componentes como la funcionalidad técnica, la interactividad, el acceso desde distintos dispositivos, la claridad de la interfaz y la adaptabilidad del recurso a diversos contextos. Además, se incorporaron referentes internacionales como la norma ISO 9241-11:2018, que establece tres dimensiones esenciales de usabilidad: eficacia, eficiencia y satisfacción del usuario (*International Organization for Standardization*, 2018). También se aplicaron las directrices de accesibilidad digital WCAG 2.1, desarrolladas por el W3C, las cuales indican que un sistema debe ser perceptible, operable, comprensible y robusto (*World Wide Web Consortium*, 2018).

De forma complementaria, se consideraron criterios de evaluación de tecnología educativa establecidos por la UNESCO (2011) y la British Educational Communications and Technology Agency (BECTA, 2008), centrados en la pertinencia pedagógica, la interacción significativa y el fomento de la autonomía del usuario. Estos criterios permitieron estructurar una encuesta coherente con los objetivos del sistema, y sirvieron como base para contrastar las expectativas iniciales con la experiencia real de los usuarios tras su implementación.

11.3.3.1. INTERFAZ Y USABILIDAD

7. La interfaz sonora de la aplicación es clara y agradable

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	2
● Totalmente de acuerdo	4

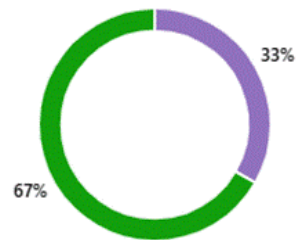


Figura 18. Resultados encuesta post implementación personas generales.

8. La navegación es fácil e intuitiva, sin necesidad de instrucciones complejas

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	1
● De acuerdo	2
● Totalmente de acuerdo	3

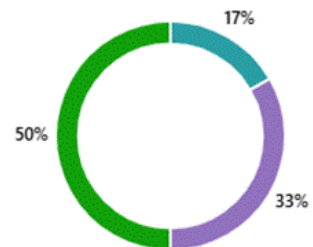


Figura 19. Resultados encuesta post implementación personas generales.

11.3.3.2. ACCESIBILIDAD Y ADAPTACIÓN

12. La aplicación puede ser utilizada sin necesidad de ver la pantalla



Figura 20. Resultados encuesta post implementación personas generales.

15. La aplicación responde correctamente a los comandos de voz



Figura 21. Resultados encuesta post implementación personas generales.

15. ¿Qué limitaciones cree que podrían dificultar el uso de esta herramienta?

6 Respuestas

ID ↑	Nombre	Respuestas
1	anonymous	Que no de bien la orientación
2	anonymous	El acceso a internet
3	anonymous	El acceso a internet
4	anonymous	El acceso a internet o que falle la señal
5	anonymous	Falta de conectividad, falta de precisión, difícil accesibilidad
6	anonymous	

Figura 22. Resultados encuesta post implementación personas generales.

16. El sistema permite la navegación con apoyo auditivo, táctil o háptico

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	3
● Totalmente de acuerdo	3



Figura 23. Resultados encuesta post implementación personas generales.

11.3.3.3. INCLUSIÓN Y PERSONALIZACIÓN

18. La aplicación considera diferentes formas de acceder a la información (voz, texto, vibración)

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	1
● De acuerdo	4
● Totalmente de acuerdo	1

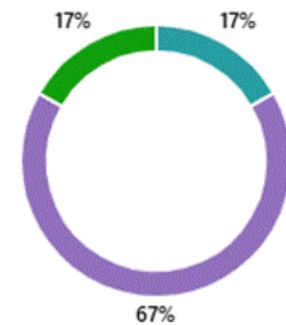


Figura 24. Resultados encuesta post implementación personas generales.

20. Me sentí motivado/a o interesado/a mientras usaba la aplicación

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	3
● Totalmente de acuerdo	3

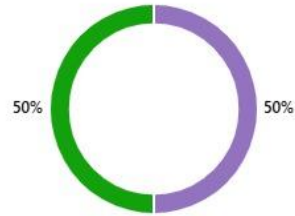


Figura 25. Resultados encuesta post implementación personas generales.

11.3.3.4.EFICACIA Y FUNCIONALIDAD

22. La aplicación cumplió con el propósito de orientarme en el espacio

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	1
● De acuerdo	2
● Totalmente de acuerdo	3

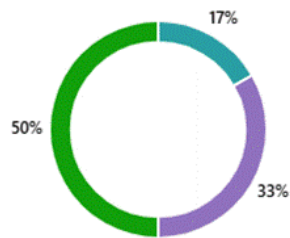


Figura 26. Resultados encuesta post implementación personas generales.

23. Las instrucciones fueron suficientes para llegar al destino deseado

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	2
● De acuerdo	1
● Totalmente de acuerdo	3

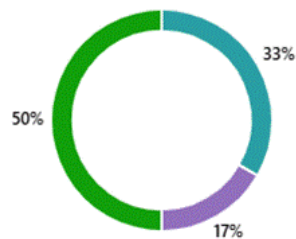


Figura 27. Resultados encuesta post implementación personas generales.

26. En general, la aplicación funciono sin errores importantes

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	2
● Totalmente de acuerdo	4

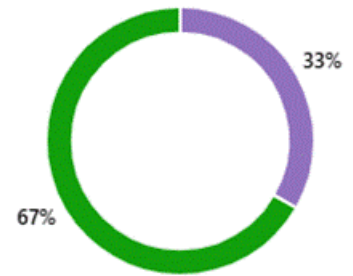


Figura 28. Resultados encuesta post implementación personas generales.

11.3.3.5. SOSTENIBILIDAD Y ACCESO

29. La aplicación es gratuita o de fácil acceso

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	1
● Totalmente de acuerdo	5

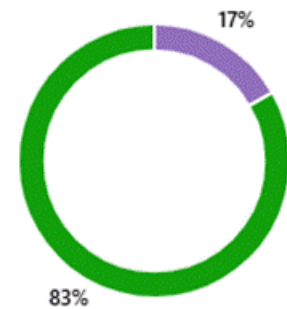


Figura 29. Resultados encuesta post implementación personas generales.

11.3.3.6. SATISFACCIÓN GENERAL

31. Estoy satisfecho/a con el uso de la aplicación

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	1
● De acuerdo	2
● Totalmente de acuerdo	3

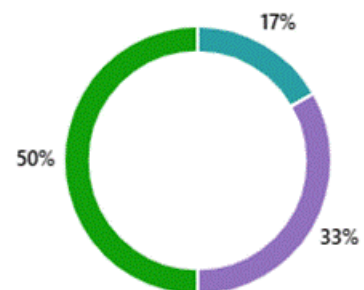


Figura 30. Resultados encuesta post implementación personas generales.

33. Me gustaría que se implemente este tipo de sistemas en más lugares

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	2
● Totalmente de acuerdo	4

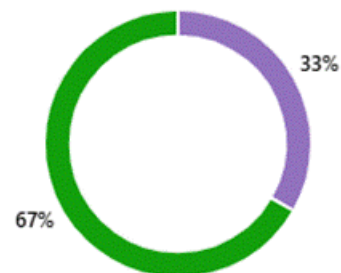


Figura 31. Resultados encuesta post implementación personas generales.

11.3.3.7. PREGUNTAS ABIERTAS

35. ¿Qué aspectos considera que se pueden mejorar?

6 Respuestas

ID ↑	Nombre	Respuestas
1	anonymous	Agregar más puntos de ubicación al interior de la universidad
2	anonymous	Agregar más información relevante o información acerca de salones
3	anonymous	Sin recomendaciones
4	anonymous	La forma de ubicar y dar indicaciones para llegar a un lugar
5	anonymous	Más puntos y más indicaciones
6	anonymous	Dar mejores indicaciones

Figura 32. Resultados encuesta post implementación personas generales.

A continuación, se presenta una tabla resumen con los resultados consolidados de las encuestas post implementación. Los datos reflejan las percepciones agregadas de los usuarios sobre usabilidad, accesibilidad y eficacia del sistema.

Tabla 13. Resumen de resultados encuestas post implementación personas generales

Sección	Preguntas	Promedio	Hallazgos
Interfaz y Usabilidad	P1-P5	4.2	Alta satisfacción con la claridad visual y navegación intuitiva.
Accesibilidad	P6-P10	4.4	Excelente desempeño en comandos de voz y adaptación a necesidades auditivas/táctiles.

Inclusión	P11-P15	4.3	Los usuarios se sintieron incluidos y valoraron el tono respetuoso.
Eficacia	P16-P20	4.1	Cumplió su propósito, pero algunos indicaron que las instrucciones podrían mejorar.
Sostenibilidad	P21-P24	4.6	Bajo consumo de recursos y buena disponibilidad en dispositivos.
Satisfacción General	P25-P27	4.3	Alta disposición a recomendar la app e implementarla en más lugares.

Tal como se observa en la tabla, el sistema obtuvo una valoración general destacada (4.3/5), con desempeños particularmente altos en sostenibilidad (4.6) y accesibilidad (4.4). Estos resultados confirman que la solución cumple efectivamente con su propósito principal: ofrecer una herramienta inclusiva y para la orientación. La dimensión de interfaz y usabilidad (4.2) resalta la facilidad de adopción del sistema, mientras que los puntajes en inclusión (4.3) reflejan su diseño centrado en el usuario. Las sugerencias de mejora se concentran en ajustes de precisión para las indicaciones de navegación, lo que representa una oportunidad para optimizar una solución ya consolidada.

11.4. CUARTA FASE

11.4.1. PRUEBAS A PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL (PRE-IMPLEMENTACIÓN)

Después de realizar las pruebas con personas sin discapacidad visual y hacer pequeños ajustes al sistema a partir de sus observaciones, se procedió a involucrar a una persona con discapacidad visual, bajo un enfoque de participación voluntaria. Con el fin de contar con un punto de partida comparativo más ajustado a las necesidades reales del público objetivo, esta persona diligenció la misma encuesta de pre implementación aplicada con anterioridad a los participantes sin discapacidad visual, compuesta por 11 preguntas de selección múltiple. Esto permitió identificar su grado de familiaridad con el entorno institucional, sus hábitos tecnológicos, sus expectativas frente a una herramienta de orientación con apoyo auditivo y su disposición hacia el uso de tecnologías accesibles. Esta participación resulta fundamental, ya que ofrece una línea base específica que servirá como insumo para evaluar el impacto real del sistema una vez se complete la fase de implementación.

11.4.1.1. CONOCIMIENTO DEL ENTORNO INSTITUCIONAL

7. ¿Con que frecuencia se pierde o se desorienta dentro del campus?

● Nunca	0
● Rara vez	0
● A veces	1
● Frecuentemente	0
● Siempre	0

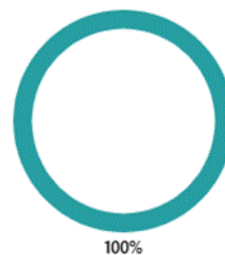


Figura 33. Resultados encuesta pre implementación personas con discapacidad visual.

8. ¿Identifica con facilidad lugares como cafetería, biblioteca o enfermería?

● Si	0
● No	0
● A veces	1

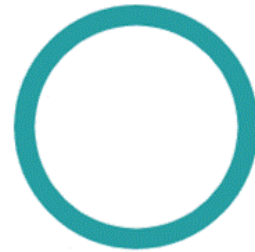


Figura 34. Resultados encuesta pre implementación personas con discapacidad visual.

9. ¿Considera que las rutas dentro del campus son claras para todas las personas?

● Totalmente de acuerdo	0
● De acuerdo	0
● En desacuerdo	1
● Totalmente en desacuerdo	0

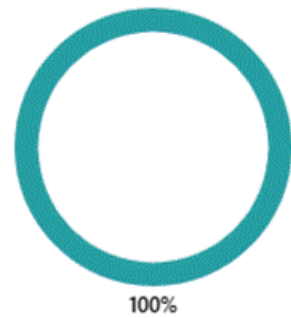


Figura 35. Resultados encuesta pre implementación personas con discapacidad visual.

11.4.1.2.USO DE TECNOLOGÍA Y ACCESIBILIDAD

11. ¿Con que frecuencia utiliza asistentes de voz o herramientas de accesibilidad en su celular?



Figura 36. Resultados encuesta pre implementación personas con discapacidad visual.

12. ¿Qué tan fácil considera que es usar tecnología en su vida cotidiana?



Figura 37. Resultados encuesta pre implementación personas con discapacidad visual.

11.4.1.3. EXPECTATIVAS Y PERCEPCIÓN

13. ¿Considera que sería útil una herramienta que le indique a donde ir dentro de la universidad mediante el uso de voz?



Figura 38. Resultados encuesta pre implementación personas con discapacidad visual.

14. ¿Qué aspectos consideraría mas importantes en una herramienta de orientación? (Puede marcar más de una)

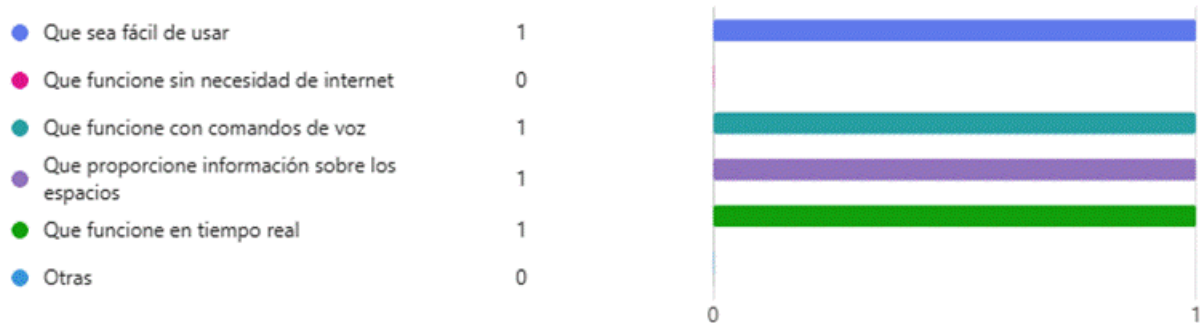


Figura 39. Resultados encuesta pre implementación personas con discapacidad visual.

15. ¿Qué limitaciones cree que podrían dificultar el uso de esta herramienta?

1 Respuestas

ID ↑	Nombre	Respuestas
1	anonymous	No contar con teléfono o plan e datos, tampoco tener experiencia en el uso del mismo

Figura 40. Resultados encuesta pre implementación personas con discapacidad visual.

11.4.1.4. MOTIVACIÓN Y DISPOSICIÓN

16. ¿Estaría dispuesto/a a probar una herramienta que ayude a ubicarse dentro del campus mediante el uso de voz?

● Si	1
● No	0
● Tal vez	0

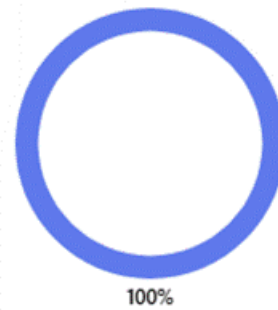


Figura 41. Resultados encuesta pre implementación personas con discapacidad visual.

17. ¿Qué espera que esta herramienta le permita hacer mejor?

1 Respuestas

ID ↑	Nombre	Respuestas
1	anonymous	Orientarme mediante información y lograr mayor autonomía para los desplazamientos

Figura 42. Resultados encuesta pre implementación personas con discapacidad visual.

El participante con discapacidad visual reportó dificultades recurrentes para orientarse en el campus, identificando lugares clave solo ocasionalmente y describiendo las rutas como poco accesibles. Aunque utiliza aplicaciones de geolocalización, su interacción con asistentes de voz es limitada y encuentra el uso de tecnología cotidiana como un desafío. Sus expectativas prioritarias para una solución de navegación incluyen funcionalidad en tiempo real, facilidad de uso y autonomía en desplazamientos, destacando como barrera potencial la dependencia de dispositivos o conectividad. Mostró disposición a adoptar herramientas que combinen comandos de voz claros y retroalimentación mediante vibración, enfatizando la necesidad de diseño intuitivo y accesibilidad sin conexión a internet para garantizar independencia en su movilidad.

11.4.2. IMPLEMENTACIÓN A PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL

Una vez aplicada la encuesta de pre implementación y conocidas las necesidades particulares del participante con discapacidad visual, se procedió con la implementación del sistema bajo condiciones reales de uso. El participante instaló la aplicación en su dispositivo móvil y fue guiado inicialmente sobre el funcionamiento básico de la interfaz, los comandos de voz y la navegación asistida mediante señales BLE y retroalimentación auditiva. Posteriormente, realizó un recorrido autónomo por distintas zonas del campus, interactuando directamente con el sistema sin asistencia visual. Durante el trayecto se evaluó la respuesta del sistema en tiempo real, la claridad de los mensajes por voz, la capacidad de reconocimiento de los comandos y la experiencia sensorial general. Esta fase permitió observar la usabilidad efectiva del sistema en un usuario con discapacidad visual, identificar aciertos en el diseño accesible y detectar posibles ajustes para optimizar la navegación en entornos reales.

11.4.3. PRUEBAS A PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL (POST-IMPLEMENTACIÓN)

Después de realizar el recorrido con la aplicación y experimentar su funcionamiento en un entorno real, al participante con discapacidad visual se le aplicó la encuesta de post implementación, la misma utilizada en el resto de los casos, estructurada en torno a seis dimensiones: interfaz y usabilidad, accesibilidad y adaptación, inclusión y personalización, eficacia y funcionalidad, sostenibilidad y acceso, y satisfacción general. Esta evaluación permitió recoger su percepción directa sobre la claridad de los comandos por voz, la facilidad para navegar sin asistencia visual, el nivel de autonomía logrado y la adecuación del sistema a sus necesidades. La información obtenida en esta fase es de gran valor, ya que permite comparar la experiencia real con las expectativas expresadas previamente, y contribuye a validar la eficacia del sistema en usuarios con discapacidad, al tiempo que visibiliza aspectos técnicos o funcionales susceptibles de mejora. A continuación, se presentan las respuestas obtenidas en la encuesta de post implementación.

11.4.3.1. INTERFAZ Y USABILIDAD

7. La interfaz sonora de la aplicación es clara y agradable

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	0
● Totalmente de acuerdo	1

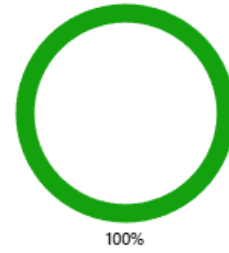


Figura 43. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

8. La navegación es fácil e intuitiva, sin necesidad de instrucciones complejas

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	1
● Totalmente de acuerdo	0

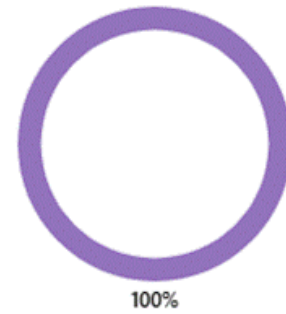


Figura 44. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

9. Pude realizar tareas sin ayuda externa

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	1
● Totalmente de acuerdo	0

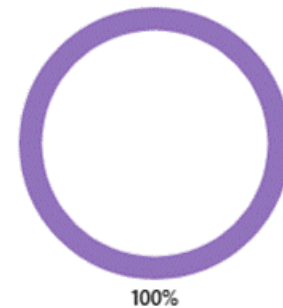


Figura 45. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

10. El tiempo necesario para alcanzar mis objetivos fue adecuado

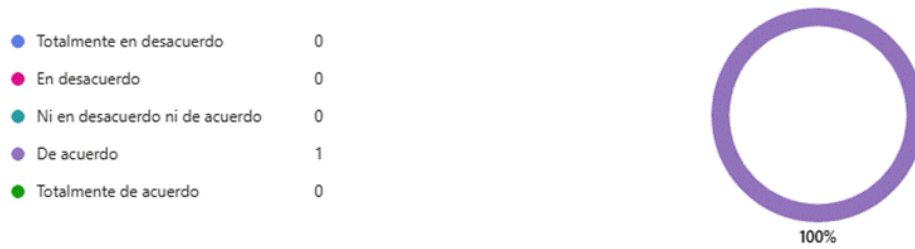


Figura 46. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

11. Las opciones ofrecidas están bien organizadas y se entienden fácilmente



Figura 47. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

11.4.3.2. ACCESIBILIDAD Y ADAPTACIÓN

12. La aplicación puede ser utilizada sin necesidad de ver la pantalla



Figura 48. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

13. El sistema de voz responde de manera clara y comprensible



Figura 49. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

14. Las instrucciones por voz son precisas y fáciles de seguir



Figura 50. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

15. La aplicación responde correctamente a los comandos de voz

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	1
● Totalmente de acuerdo	0

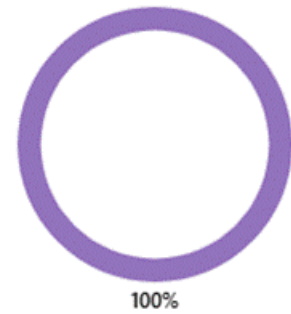


Figura 51. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

16. El sistema permite la navegación con apoyo auditivo, táctil o háptico

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	0
● Totalmente de acuerdo	1

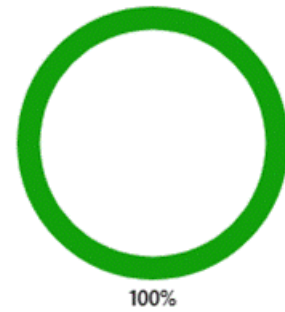


Figura 52. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

11.4.3.3. INCLUSIÓN Y PERSONALIZACIÓN

17. Me sentí incluido/a durante el uso de al aplicación

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	0
● Totalmente de acuerdo	1

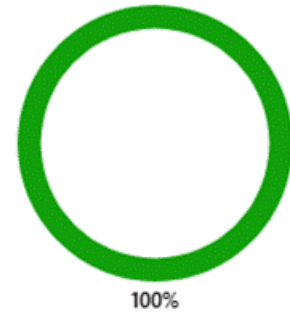


Figura 53. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

18. La aplicación considera diferentes formas de acceder a la información (voz, texto, vibración)

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	1
● Totalmente de acuerdo	0

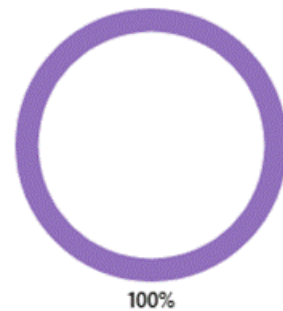


Figura 54. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

19. Las opciones ofrecidas se adaptan a diferentes contextos o necesidades

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	0
● Totalmente de acuerdo	1

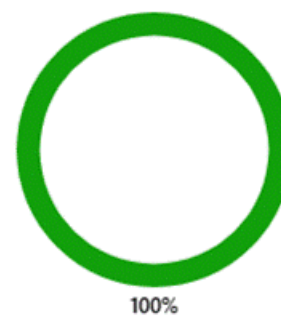


Figura 55. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

20. Me sentí motivado/a o interesado/a mientras usaba la aplicación

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	0
● Totalmente de acuerdo	1

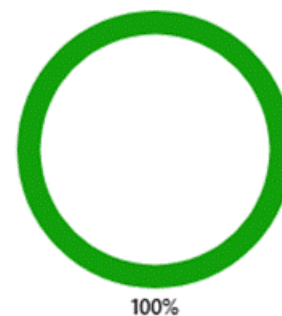


Figura 56. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

21. La aplicación transmite un tono respetuoso y accesible

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	0
● Totalmente de acuerdo	1

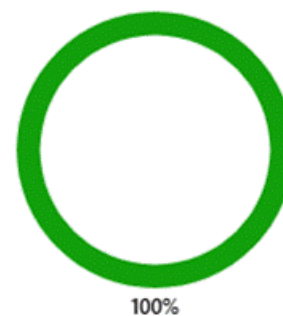


Figura 57. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

11.4.3.4. EFICACIA Y FUNCIONALIDAD

22. La aplicación cumplió con el propósito de orientarme en el espacio

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	1
● Totalmente de acuerdo	0



Figura 58. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

23. Las instrucciones fueron suficientes para llegar al destino deseado

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	1
● Totalmente de acuerdo	0

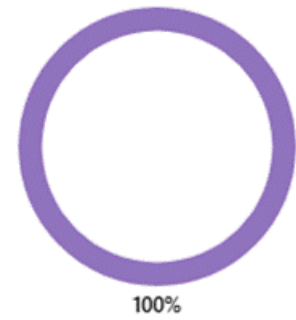


Figura 59. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

24. Los recursos de la aplicación (voz, texto, vibración) fueron útiles y coherentes

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	0
● Totalmente de acuerdo	1

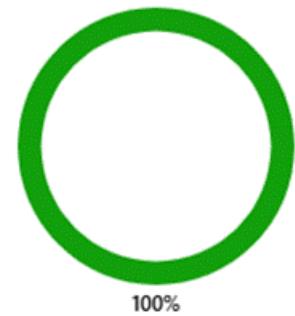


Figura 60. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

25. El contenido de la aplicación puede actualizarse fácilmente (por ejemplo, rutas o información)



Figura 61. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

26. En general, la aplicación funciono sin errores importantes



Figura 62. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

11.4.3.5. SOSTENIBILIDAD Y ACCESO

27. La aplicación no consumió demasiada batería ni datos móviles

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	1
● Totalmente de acuerdo	0

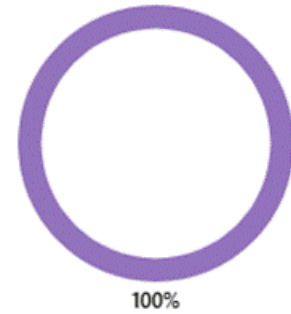


Figura 63. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

28. Pude usar la aplicación sin conexión a internet o con conectividad limitada

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	1
● De acuerdo	0
● Totalmente de acuerdo	0

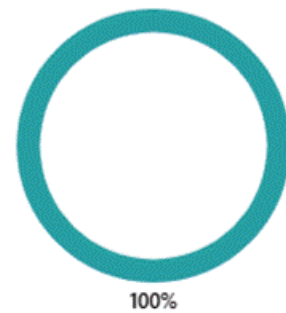


Figura 64. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

29. La aplicación es gratuita o de fácil acceso

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	0
● Totalmente de acuerdo	1

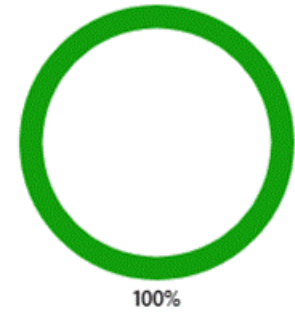


Figura 65. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

30. La aplicación esta disponible en dispositivos comunes

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	0
● Totalmente de acuerdo	1

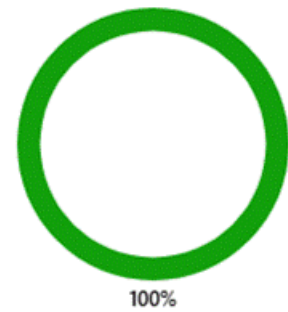


Figura 66. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

11.4.3.6. SATISFACCIÓN GENERAL

31. Estoy satisfecho/a con el uso de la aplicación

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	1
● Totalmente de acuerdo	0

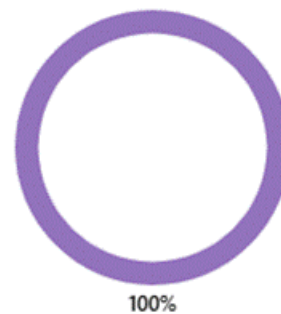


Figura 67. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

32. Recomendaría esta aplicación a otras personas que necesiten orientación

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	0
● Totalmente de acuerdo	1

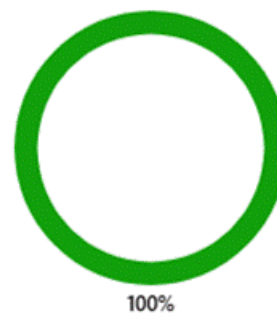


Figura 68. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

33. Me gustaría que se implemente este tipo de sistemas en más lugares

● Totalmente en desacuerdo	0
● En desacuerdo	0
● Ni en desacuerdo ni de acuerdo	0
● De acuerdo	0
● Totalmente de acuerdo	1

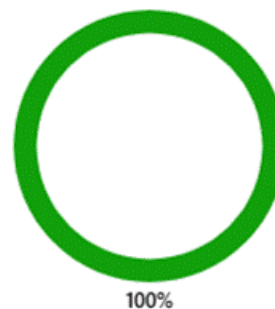


Figura 69. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

11.4.3.7. PREGUNTAS ABIERTAS

34. ¿Qué fue lo que más le gusto de la aplicación?

1 Respuestas

ID ↑	Nombre	Respuestas
1	anonymous	La interfaz, da la información necesaria y correcta, salidas con horarios

Figura 70. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

35. ¿Qué aspectos considera que se pueden mejorar?

1 Respuestas

ID ↑	Nombre	Respuestas
1	anonymous	Más indicaciones para llegar al destino

Figura 71. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

36. ¿Tuvo alguna dificultad técnica o de comprensión durante el uso?

1 Respuestas

ID ↑	Nombre	Respuestas
1	anonymous	Familiarizarse con los comandos

Figura 72. Resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

Seguidamente, se presenta un resumen tabular de los resultados obtenidos en la encuesta post implementación del sistema, evaluado por un usuario con discapacidad visual.

Tabla 14. Resumen de resultados encuesta post implementación personas con discapacidad visual.

Sección	Preguntas	Promedio	Hallazgos
Interfaz y Usabilidad	P1-P5	4.4	Diseño intuitivo y organización clara, con alta aceptación.
Accesibilidad	P6-P10	4.8	Funciones sin visión y retroalimentación auditiva/háptica excelentes.
Inclusión	P11-P15	4.8	Sensación de inclusión y adaptación a necesidades específicas.
Eficacia	P16-P20	4.5	Orientación efectiva, aunque con margen para mejorar precisión.
Sostenibilidad	P21-P24	4.3	Buen desempeño en consumo de recursos y acceso, con leve crítica a funcionamiento offline.

Satisfacción General	P25-P27	4.7	Alta satisfacción y disposición a recomendar el sistema.
-----------------------------	---------	-----	--

Los resultados demuestran que el sistema ha logrado un impacto significativo en la autonomía y experiencia del usuario con discapacidad visual, destacándose especialmente en accesibilidad (4.8) e inclusión (4.8). La alta satisfacción general (4.7) y la usabilidad bien valorada (4.8) confirman que el diseño responde efectivamente a las necesidades identificadas durante la fase pre implementación. No obstante, se identificaron oportunidades para optimizar el funcionamiento sin conexión (sostenibilidad: 4.3) y afinar detalles en las indicaciones de navegación.

12. CONCLUSIONES

Luego de la ejecución del proyecto, se puede concluir que se cumplió satisfactoriamente con el objetivo general planteado: implementar un sistema de orientación para personas con discapacidad visual en la Universidad Pedagógica Nacional, sede calle 72. La solución desarrollada permitió mejorar la movilidad autónoma dentro del campus, ofreciendo una herramienta accesible, funcional y adaptada a las necesidades específicas de esta población.

Durante el desarrollo del proyecto, fue necesario realizar ajustes metodológicos en las distintas fases, especialmente en la etapa de diseño de las pruebas piloto y en la evaluación del sistema. Estos ajustes permitieron afinar los procesos técnicos, adaptar mejor el sistema a los usuarios reales y garantizar la validez de los resultados obtenidos.

La elección de las tecnologías basadas en Bluetooth Low Energy (BLE), junto con el uso de módulos ESP32, se demostró adecuada tanto en términos de funcionalidad como de viabilidad económica. Esta elección técnica permitió superar limitaciones comunes en otros sistemas como el GPS o la realidad aumentada, ofreciendo una solución efectiva para entornos interiores como el campus universitario.

La aplicación móvil desarrollada integró de forma exitosa diversas tecnologías de asistencia, como la síntesis de voz (TextToSpeech), el reconocimiento de comandos de voz, la retroalimentación mediante vibración y la lectura de señales BLE mediante análisis de RSSI. Esta integración permitió una interacción completamente auditiva y sin necesidad de pantallas, facilitando su uso por parte de personas con discapacidad visual y cumpliendo con los principios del diseño universal.

Los resultados obtenidos a partir de las pruebas de usuario, tanto con población general como con una persona en condición real de discapacidad visual, evidencian la eficacia y usabilidad del sistema. En particular, la participación directa de un usuario con discapacidad visual permitió validar su funcionalidad en contexto, destacando aspectos positivos como la accesibilidad, la claridad de las instrucciones y el nivel de autonomía alcanzado durante el recorrido.

Es importante destacar que, aunque el sistema incorpora elementos técnicos propios de la georreferenciación y la localización, su propósito central no es ubicar al usuario en un mapa ni mostrar coordenadas espaciales, sino orientarlo activamente dentro del entorno físico, proporcionándole instrucciones precisas y contextuales mediante mensajes auditivos. En este sentido, se trata de un sistema de orientación accesible, que guía paso a paso al usuario desde puntos de entrada hasta destinos clave dentro del campus.

El sistema no solo funciona en exteriores, sino que también incluye rutas de navegación al interior de los edificios, lo cual refuerza su alcance y utilidad. Se diseñaron instrucciones específicas para recorridos como el desplazamiento desde la entrada del Edificio B hasta el Departamento de Tecnología, donde el usuario recibía las indicaciones mediante una secuencia lógica y estructurada por pasos, por ejemplo, "desde la entrada del edificio B, avance 100 pasos, luego 5 a la izquierda, avance 5 pasos y habrá llegado al Departamento de Tecnología.", lo que facilita la comprensión espacial del entorno. Igualmente, se cubren trayectos como el que va desde la portería del Edificio A hasta el Centro Tiflotecnológico, permitiendo una orientación detallada en algunas zonas del campus. Además, se contemplaron puntos internos relevantes como el Museo, donde el sistema continúa brindando orientación con base en la cercanía a balizas interiores.

Este proyecto no solo tiene implicaciones técnicas, sino también sociales y educativas. Desde una perspectiva inclusiva, el sistema desarrollado promueve la igualdad de oportunidades dentro del entorno universitario y visibiliza la necesidad de adaptar los espacios educativos a las personas con discapacidad. Además, desde el ámbito académico, representa un ejemplo claro de cómo la ingeniería y la tecnología pueden ponerse al servicio de la inclusión y la transformación social.

13. RECOMENDACIONES

Aunque el sistema de orientación demostró ser funcional y accesible en condiciones reales de uso, existen aspectos técnicos y logísticos que conviene mejorar en futuras fases del proyecto. Uno de los principales retos identificados es la cobertura limitada del sistema. Actualmente, las balizas se encuentran instaladas únicamente en los edificios A, B, Cafetería, el Museo, punto interno del museo y las porterías de la Calle 72 y 73, quedando sin cobertura espacios como los edificios C, E y P. Por tanto, se recomienda extender la red de balizas hacia estos sectores para garantizar una experiencia de orientación más completa y continua en todo el campus.

En cuanto a la accesibilidad, la aplicación fue desarrollada inicialmente solo en idioma español, lo cual limita su uso por parte de estudiantes o visitantes internacionales. Sería deseable incorporar soporte multilingüe con base en la configuración del dispositivo del usuario, lo que aumentaría su alcance e inclusividad.

Un aspecto importante por mejorar es el sistema de alimentación eléctrica de las balizas. Actualmente, la autonomía energética de los dispositivos es de aproximadamente 14 horas, lo que obliga a realizar recargas diarias. Esta situación puede ser insostenible en contextos institucionales con alta demanda. Se recomienda desarrollar una solución basada en conexión directa a la red eléctrica o integrar un sistema de autocarga, como paneles solares o estaciones de recarga automatizada, que minimicen la intervención humana y aseguren un funcionamiento continuo.

Desde el punto de vista de compatibilidad tecnológica, la aplicación presenta algunas limitaciones relacionadas con el hardware y el sistema operativo. Solo puede ser instalada en

dispositivos con Android versión 6 o superior que cuenten con soporte para Bluetooth Low Energy (BLE), ya que esta tecnología es fundamental para la detección y comunicación con las balizas del sistema. No obstante, es importante señalar que los dispositivos que no disponen de BLE son actualmente muy escasos y corresponden, en su mayoría, a modelos antiguos o de gama baja que han quedado obsoletos frente a las exigencias tecnológicas actuales. Por tanto, la gran mayoría de los teléfonos inteligentes en circulación son compatibles, lo que garantiza un amplio margen de usabilidad para los usuarios. Adicionalmente, se prevé incluir soporte para dispositivos con sistema operativo iOS, lo que permitiría ampliar aún más la cobertura y disponibilidad de la aplicación en distintas plataformas móviles.

Otro aspecto a considerar es que, aunque gran parte de la funcionalidad de la app no depende de internet, algunos procesos sí requieren conectividad para descargar recursos, sintetizar voz o actualizar la app. Por ello, se recomienda optimizar la aplicación para que funcione completamente sin conexión a internet una vez descargada, garantizando mayor autonomía al usuario en entornos con baja conectividad.

Asimismo, se identificó que el sistema aún no permite cambiar de destino en medio del recorrido, lo que representa una limitación para los usuarios que deseen modificar su ruta de forma espontánea. Una mejora recomendable sería la inclusión de comandos por voz como "cambiar destino" o "volver al inicio", que otorguen mayor flexibilidad y control durante la navegación.

14. REFERENCIAS

Bohórquez E, Melo O. (2008). ESTUDIO SOBRE EL APRENDIZAJE DE GEOREFERENCIACIÓN EN NIÑOS DE 8 A 10 AÑOS. Francisco José de Caldas. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/UDGeo/article/download/3673/5278/15133#:~:text=El%20proceso%20de%20georreferenciaci%C3%B3n%20consiste,en%20el%22>

Cardona Ahmed, Vázquez Rubén. (2019). DISPOSITIVOS DE ASISTENCIA PARA LA MOVILIDAD EN PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA. https://www.researchgate.net/publication/334185545_Dispositivos_de_asistencia_para_la_movilidad_en_personas_con_discapacidad_visual_una_revision_bibliografica/fulltext/5d1c237892851cf4406025fc/Dispositivos-de-asistencia-para-la-movilidad-en-personas-con-discapacidad-visual-una-revision-bibliografica.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Discapacidad. DANE. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/discapacidad>

Función Pública. Ley 1618 de 2013. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=55611#:~:text=El%20objeto%20de%20la%20presente,plena%20participaci%C3%B3n%20en%20la%20sociedad>

Garijo Hernández, J. D. (2015). Papel de las TIC en personas con baja visión. Universidad de Valladolid. <https://core.ac.uk/download/pdf/211097801.pdf>

González C, Landazábal R. (2020). APLICACIÓN MÓVIL PARA FACILITAR EL DESPLAZAMIENTO DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL DENTRO DE LA UNIVERSIDAD, MI LAZARILLO UNAB.

https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/12066/2020_Tesis_Carlos_Francisco_Gonzalez.pdf?sequence=1

González Rodríguez, R. (2018). Sistema de balizas con tecnología Bluetooth de bajo consumo y su aplicación para facilitar a personas ciegas o con discapacidad visual la identificación y localización de lugares u objetos.

<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/30415/TFG-P-786.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Documentos cartográficos para la gestión de Archivos y Cartotecas. “Propuesta Metodológica”

<https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/CTC-Ibercarto-V-Georreferenciacion.pdf>

Instituto Nacional Para Ciegos. (2020). Orientaciones complementarias para la atención de estudiantes con discapacidad visual en el marco de la educación superior inclusiva.

<https://www.inci.gov.co/sites/default/files/cartillas1/Orietacionescomplementarias.pdf>

Losada Perdomo, A. (2020). LAS TICS COMO ESTRATEGIA DE INCLUSIÓN Y SOCIALIZACIÓN EN LA BÁSICA PRIMARIA DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA BOSQUES DE PINARES.

[https://alejandria.poligran.edu.co/bitstream/handle/10823/2760/PROYECTO%20DE%20I
NVESTIGACION%20AURORA%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://alejandria.poligran.edu.co/bitstream/handle/10823/2760/PROYECTO%20DE%20I
NVESTIGACION%20AURORA%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Nordic Semiconductor ASA. (s. f.). *Beacons*. En *Applications*.
<https://www.nordicsemi.com/Applications/Beacons>

Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos.
(2019). Guía de capacitación sobre la Convención sobre los Derechos de las Personas con
Discapacidad.

[https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Publications/CRPd_TrainingGuide_
PTS19_sp.pdf](https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Publications/CRPd_TrainingGuide_
PTS19_sp.pdf)

Organización Mundial de la Salud. (2021, 18 de octubre). Ceguera y discapacidad
visual. WHO.

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>

PRAXIS & SABER (2018). GUÍA PARA EL ANÁLISIS DE CALIDAD DE OBJETOS
VIRTUALES DE APRENDIZAJE PARA EDUCACIÓN BÁSICA Y MEDIA EN COLOMBIA.

https://revistas.uptc.edu.co/index.php/praxis_saber/article/view/8923

Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*.
University of Illinois Press.

[https://monoskop.org/images/b/be/Shannon_Claude_E_Weaver_Warren_The_Mathema
tical_Theory_of_Communication_1963.pdf](https://monoskop.org/images/b/be/Shannon_Claude_E_Weaver_Warren_The_Mathema
tical_Theory_of_Communication_1963.pdf)

Valley. (2022, 30 de marzo). *Qué son los Beacons y cuál es su potencial*. The Valley
Digital Business School.

<https://thevalley.es/blog/que-son-los-beacons-y-cual-es-su-potencial/>

Organización Mundial de la Salud. (2018). *Tecnología de asistencia*.

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/assistive-technology>

ONCE. (2017). *Orientación y movilidad: guía básica*. Organización Nacional de Ciegos Españoles.

<https://biblioteca.fundaciononce.es/publicaciones/otras-editoriales/guia-de-orientacion-y-movilidad-para-personas-con-sordoceguera>

Google. (2024). *Android Studio - Developer tools*. Android Developers.

<https://developer.android.com/studio>

JetBrains. (2024). *Kotlin Programming Language*. Kotlinlang.org. <https://kotlinlang.org>

The Valley. (2022). *Qué son los beacons y cómo se usan en marketing digital*.

<https://thevalley.es/blog/que-son-los-beacons>

Google. (2024). *Bluetooth Low Energy overview*. Android Developers.

<https://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth-le>

Google. (2024). *SpeechRecognizer*. Android Developers.

<https://developer.android.com/reference/android/speech/SpeechRecognizer>

Google. (2024). *TextToSpeech*. Android Developers.

<https://developer.android.com/reference/android/speech/tts/TextToSpeech>

Google. (2024). *Design for accessibility*. Android Developers.

<https://developer.android.com/guide/topics/ui/accessibility>

Instituto Geográfico Nacional. (2024). *Localización geográfica*. Gobierno de España.

<https://www.ign.es>

Instituto Geográfico Nacional. (s. f.). *Glosario de términos geográficos*. Gobierno de España. <https://www.ign.es>

Real Academia Española. (2024). *Geo-*. Diccionario de la lengua española.

<https://dle.rae.es/geo->

CAST. (2018). *Universal Design for Learning Guidelines version 2.2*. Center for Applied Special Technology. <http://udlguidelines.cast.org/>



International Organization for Standardization. (2018). *ISO 9241-11:2018: Ergonomics of human-system interaction – Part 11: Usability: Definitions and concepts*.


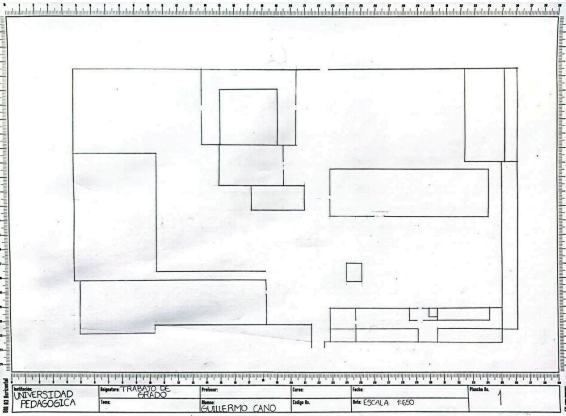
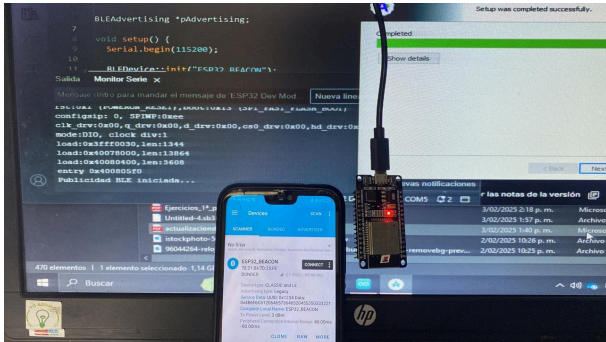
<https://www.iso.org/standard/63500.html>

World Wide Web Consortium. (2018). *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*.

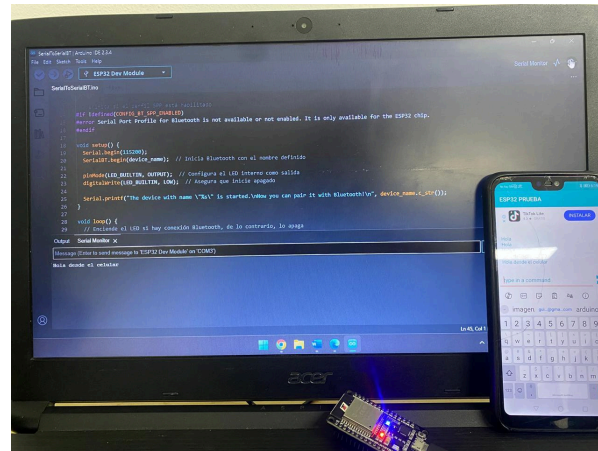
<https://www.w3.org/TR/WCAG21/>

15. ANEXOS

Anexos	Imagen / Link	Descripción
1. Investigación previa con persona con discapacidad visual		Entrevista preliminar con una persona con discapacidad visual para obtener aclaraciones relevantes antes de la ejecución de la investigación
2. Medición de espacios		Con la herramienta del decámetro, se realizó una medición de los espacios internos de la Universidad Pedagógica Nacional, con el propósito de elaborar el plano y ubicar correctamente los puntos de referencia (balizas). En la fotografía se evidencia el proceso de medición llevado a cabo dentro de las instalaciones de la universidad.

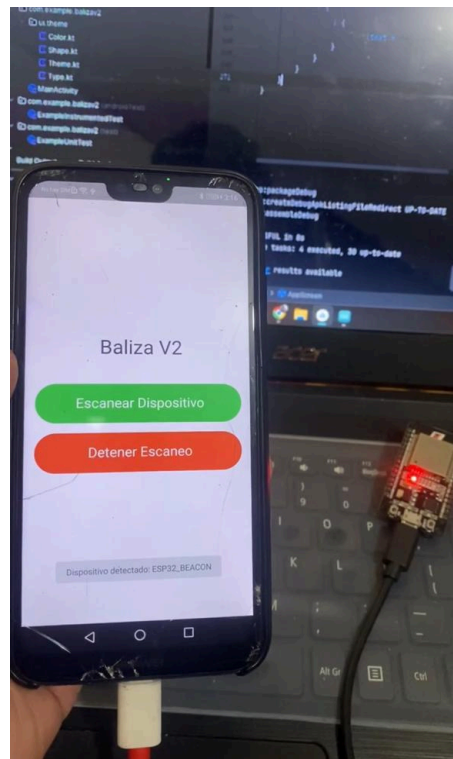
<p>3. Medición de espacios</p>		<p>Con la herramienta del decámetro, se llevó a cabo una medición de los espacios externos de la Universidad Pedagógica Nacional, con el fin de elaborar el plano general. La fotografía muestra el desarrollo de la medición en las áreas exteriores de las instalaciones.</p>
<p>4. Construcción de plano</p>		<p>Se construyó el plano a una escala de 1:650, basado en las mediciones previamente realizadas en la Universidad Pedagógica Nacional.</p>
<p>5. Prueba de código</p>		<p>La programación de los módulos ESP32 se realizó a través del entorno de desarrollo Arduino y fue verificada mediante una aplicación móvil.</p>

6. Prueba de código



En la imagen se observa el enlace establecido entre la aplicación móvil y los dispositivos BLE, incluido el módulo ESP32 previamente programado.

7. Pruebas de código



Se realizaron pruebas constantes del código para verificar la integración de los módulos ESP32 con la interfaz desarrollada mediante Android Studio.

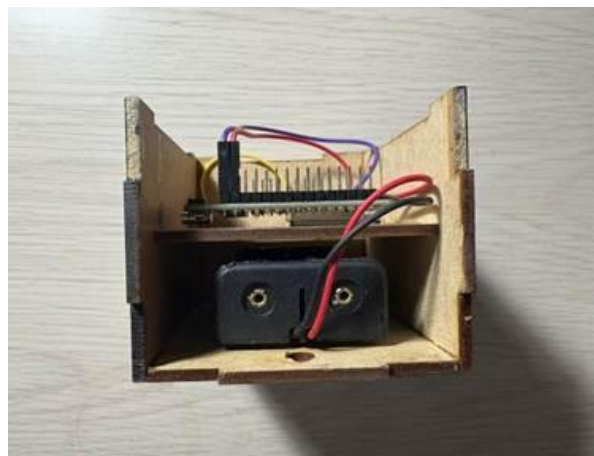
8. Construcción de balizas



Como se evidenció en el documento, se elaboró el plano de cada una de las piezas que conforman la baliza. Para ello, se utilizó la herramienta OnShape, una plataforma de diseño CAD que permite visualizar los modelos en 3D. Una vez finalizado el diseño, las piezas fueron enviadas a corte en MDF de 3 mm de espesor.

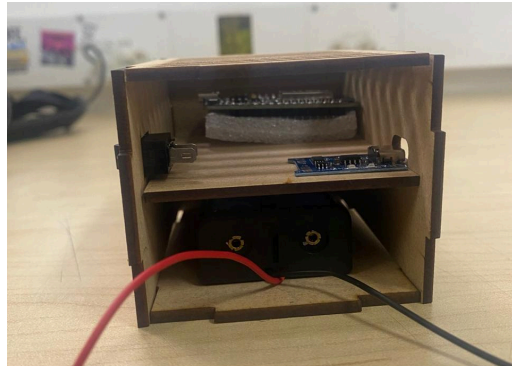
En la fotografía se observa el proceso de construcción y ensamblaje de cada una de las piezas, lo cual permitió la correcta conformación de la baliza

9. Construcción de balizas



En la fotografía se evidencia el proceso de construcción de la baliza, integrando los componentes necesarios para garantizar su correcto funcionamiento.

10. Construcción de balizas



En la fotografía se evidencia el proceso de construcción de la baliza, integrando los componentes necesarios para garantizar su correcto funcionamiento.

11. Finalización de baliza



En la fotografía se observa la baliza finalizada, con todos los componentes correctamente instalados para asegurar su adecuado funcionamiento.

12. Finalización de balizas



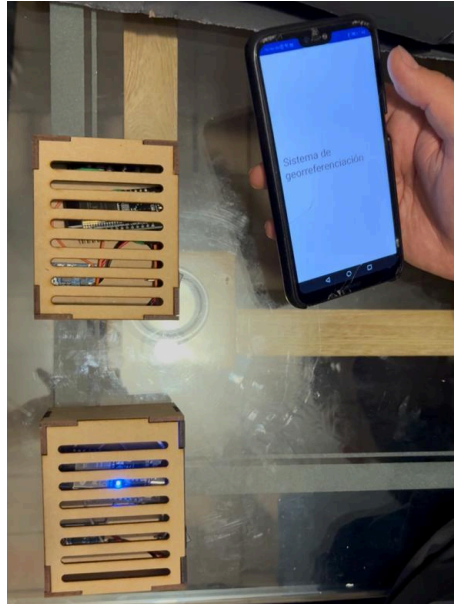
En la fotografía se observa la baliza finalizada, con todos los componentes correctamente instalados para asegurar su adecuado funcionamiento.

13. Finalización de balizas



En la fotografía se observa la baliza finalizada, con todos los componentes correctamente instalados para asegurar su adecuado funcionamiento.

14. Pruebas del sistema



En la fotografía se observa la conexión de la baliza con la aplicación móvil, como parte del proceso de integración del sistema.

15. Pruebas del sistema



En la fotografía se observa una prueba preliminar realizada en los puntos previamente ubicados en la Universidad Pedagógica Nacional, con el fin de comprobar la conexión entre la baliza y la aplicación móvil, como parte del proceso de integración del sistema.

16. Puntos
ubicados



En la fotografía se observa la ubicación del punto correspondiente al museo de la Universidad Pedagógica Nacional, establecido con un permiso previamente autorizado.

17. Puntos
ubicados



En la fotografía se observa la ubicación del punto correspondiente al edificio A de la Universidad Pedagógica Nacional.

18. Puntos ubicados



En la fotografía se observa la ubicación del punto correspondiente al edificio B de la Universidad Pedagógica Nacional.

19. Puntos ubicados



En la fotografía se observa la ubicación del punto correspondiente a la cafetería de la Universidad Pedagógica Nacional.

20. Implementación



En la fotografía se evidencia la implementación a personas sin discapacidad visual.

21.
Implementación





En la fotografía se evidencia la implementación a personas sin discapacidad visual.

22.
Implementación



En la fotografía se evidencia la implementación a personas sin discapacidad visual.

<p>23. Implementación a persona con discapacidad visual</p>		<p>En la fotografía se evidencia la implementación con una persona con discapacidad visual</p>
<p>24. Implementación a persona con discapacidad visual</p>		<p>En la fotografía se evidencia la implementación con una persona con discapacidad visual</p>
<p>25. Drive con videos y fotos de la implementación</p>	<p>https://drive.google.com/drive/folders/196wG1RNHBe3-b_YW8I0rwjjFM3uC9H6C?usp=drive_link</p>	<p>En el link se encuentra las fotos y videos de la implementación</p>

26. Encuestas	https://drive.google.com/drive/folders/1JP7NWLbQfeVK3ckTLV-vvcz2k-NBOKUx?usp=drive_link	En el link se encuentra las encuestas pre-implementación y post-implementación
27. Forms	https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=nGREgiPT_k6Tg1M4a_CM6Gqk-LsNI59Cvkjbl3z0LgtUMzJZQk1FOUxBVIBWWk9NRVQyUzdBOUJYRi4u	Encuesta inicial
28. Forms	https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=nGREgiPT_k6Tg1M4a_CM6Gqk-LsNI59Cvkjbl3z0LgtUMldQRTJDRVFIWEwzM002SkxZM09VSEZPUi4u	Encuesta pre-implementación
29. Forms	https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=nGREgiPT_k6Tg1M4a_CM6Gqk-LsNI59Cvkjbl3z0LgtUOE84SVFUNjk2VzczOTBCREdES0RaWkIXNS4u	Encuesta post-implementación
30. Forms	https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=nGREgiPT_k6Tg1M4a_CM6Gqk-LsNI59Cvkjbl3z0LgtUNUEyNIJXRDO3U1I4SDBDWloyOTNKNIBLUC4u	Encuesta pre-implementación a persona con discapacidad visual
31. Forms	https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=nGREgiPT_k6Tg1M4a_CM6Gqk-LsNI59Cvkjbl3z0LgtUM1dZRkILWE83WU9KMzhaOFdGnUpER1hDRi4u	Encuesta post-implementación a persona con discapacidad visual
32. GitHub	https://github.com/Guillo-Cano/TRABAJO-DE-GRADO	Repositorio del código
33. APK	https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1MBNrqfXPrwWnBdETi1x8OZ7VD-cd_yra	Link del apk