



**SISTEMA DE NAVEGACIÓN PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL
EN ESPACIOS CERRADOS UTILIZANDO REALIDAD AUMENTADA**

Edwin Alfonso Diaz Cárdenas

11161914887

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería de Sistemas y Computación

Facultad de Ingeniería de Sistemas

Bogotá, Colombia

202

Dedicatoria

Dedico a mis cuatro pilares. Mi madre, Lorena; por su admirable lucha sin descanso por ver a sus hijos e hija crecer, por su valentía y sus sacrificios. A mi tía, Diana; mi segunda madre, quien es la calma a mis tormentos y con quien siempre pude contar. A mi Abuela, Obeida; la mujer más especial del mundo, quien sacrifica todo por sus seres amados y quien no conoce límites para amar. Al ser que le dio motivos y razones a mi vida, Dobby; gracias por ser mi fortaleza, mi alegría y mi vida entera, tú siempre sabes cuando y como amar, tu presencia es sinónimo de alegría, de vida, de motivos.

Dedico a mi familia Cárdenas quienes son mi apoyo más sólido.

Dedico a mis amigos, amigas, amigxs de lucha y compañía, quienes me ayudaron a crecer y a creer en mí mismo.

Dedico a mi yo de la niñez quien nunca tuvo otro plan. Niño, seguimos en lucha.

*The only difference between life and dying
Is one is trying, that's all we're called to do
So try to love me and I'll try to save you
Won't you stay alive? I'll take you on a ride
I will make you believe you are lovely*

||-//

**SISTEMA DE NAVEGACIÓN PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD
VISUAL EN ESPACIOS CERRADOS UTILIZANDO REALIDAD AUMENTADA**

Edwin Alfonso Diaz Cárdenas

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero de Sistemas y Computación

Director:

PhD. César Augusto Rodríguez Suárez

Línea de Investigación:

Tecnologías Inmersivas

Grupo de Investigación:

LACSER

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería de Sistemas y Computación

Facultad de Ingeniería de Sistemas

Bogotá, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

,Cumple con los requisitos para
optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Ciudad, Día Mes Año.

Contenido

Lista de figuras	8
Resumen	10
Abstract	103
Introducción	12
1. Planteamiento del problema	13
1.1. Descripción del problema	13
1.2. Formulación del problema	14
1.3. Justificación.....	14
1.4. Objetivos	17
1.4.1. Objetivo general.....	17
1.4.2. Objetivos específicos	17
1.5. Alcance y limitaciones del proyecto.....	17
1.5.1. Alcance	17
1.5.2. Limitaciones.....	18
2. Marco de referencia	19
2.1. Marco Teórico.....	19
2.2. Antecedentes	27
2.3. Marco Legal	33
3. Metodología	34

3.1. SCRUM.....	34
3.1.1. Roles es SCRUM.....	34
3.1.2Eventos en SCRUM.....	35
3.1.3Artefactos de Scrum.....	35
3.2 Aplicación de la metodología.....	36
3.2.1. Sprint 1 – Contextualización e Investigación.....	37
3.2.2. Sprint 2 – Creación recursos necesarios.....	37
3.2.3. Sprint 3 – Implementación de sistema de reconocimiento de códigos rMQR	37
3.2.4. Sprint 4 – Pruebas integrales, correcciones y ajustes finales.	38
4. Desarrollo del proyecto.....	40
4.1. Fase 1: Diseño del sistema de navegación.	40
4.2. Fase 2: Desarrollo de software.....	42
4.3. Fase 3: Implementación.	43
4.4. Fase 4: Pruebas.....	43
4.5. Fase 5: Participantes y Validación.	46
5. Resultados Obtenidos.....	48
6. Conclusiones y discusiones	51
7. Bibliografía	54

Lista de figuras

Figura 1 Realidad Aumentada	19
Figura 2 Realidad Aumentada basada en geolocalización en exteriores	20
Figura 3 Realidad Aumentada basada en posicionamiento en interiores	21
Figura 4 Realidad Aumentada basada en marcadores	22
Figura 5 Realidad Aumentada sin marcadores	23
Figura 6 Realidad Aumentada basada en reconocimiento de objetos	24
Figura 7 Realidad Aumentada basada en reconocimiento de cuerpo	25
Figura 8 Código rMQR	39
Figura 9 Arnés de soporte de pecho para celular inteligente	39
Figura 10 Comparación entre códigos QR y códigos rMQR	40
Figura 11 Esquema de la arquitectura del sistema	41
Figura 12 Aplicación móvil describiendo ambiente	39
Figura 13 Código rMQR con ángulo frontal	44
Figura 14 Código rMQR en ángulo inclinado hacia arriba	44
Figura 15 Código rMQR con ángulo de inclinación hacia abajo	45
Figura 16 Código rMQR con ángulo lateral	45
Figura 17 Estudiante probando el software	46
Figura 18 Aplicación en funcionamiento	48

Lista de tablas

Tabla 1 Ventajas y desventajas de antecedentes	31
Tabla 2 Respuestas sobre la funcionalidad de la aplicación	49

Resumen

La discapacidad visual se refiere a la afectación de la vista que puede resultar en la pérdida parcial o total de la capacidad de ver. En entornos educativos colombianos, los estudiantes con esta condición enfrentan desafíos en la navegación en espacios interiores debido a la carencia de señalización en braille. El presente trabajo detalla el desarrollo, implementación y prueba de una aplicación móvil basada en Realidad Aumentada (RA) que emplea códigos rMQR para ofrecer descripciones sonoras de ubicaciones. Esta aplicación busca mejorar la independencia y movilidad de los estudiantes con discapacidad visual en entornos académicos. La metodología comprendió el diseño de un sistema de navegación, el desarrollo del software utilizando Unity y Vuforia, así como la evaluación de la funcionalidad, precisión, estabilidad y rendimiento de la aplicación. Un grupo de treinta y seis (36) estudiantes validó el software, proporcionando sus opiniones a través de un cuestionario con una escala de Likert de 5 puntos. Los resultados evidenciaron que la aplicación cuenta con una interfaz accesible, brinda información útil sobre los espacios, y aumenta la autonomía y seguridad de los usuarios. Además, se destacó la rapidez y precisión en el escaneo de los códigos. Se validó la efectividad de la aplicación para promover la independencia, cumplir con las expectativas y no interferir con la movilidad. Estos hallazgos subrayan el prometedor potencial de las aplicaciones basadas en RA en el respaldo a personas con discapacidad visual.

Abstract

Visual impairment refers to impairment of vision that can result in partial or total loss of the ability to see. In Colombian educational settings, students with this condition face challenges in navigating indoor spaces due to the lack of braille signage. This work details the development, implementation and testing of a mobile application based on Augmented Reality (AR) that uses rMQR codes to provide sound descriptions of locations. This application seeks to improve the independence and mobility of students with visual disabilities in academic environments. The methodology included the design of a navigation system, the development of the software using Unity and Vuforia, as well as the evaluation of the functionality, accuracy, stability and performance of the application. A group of thirty-six (36) students validated the software, providing their opinions through a questionnaire with a 5-point Likert scale. The results showed that the application has an accessible interface, provides useful information about the spaces, and increases the autonomy and security of users. In addition, the speed and precision in scanning the codes stood out. The app's effectiveness in promoting independence, meeting expectations, and not interfering with mobility was validated. These findings underline the promising potential of AR-based applications in supporting people with visual impairments.

Introducción

La discapacidad visual abarca la pérdida total o parcial de la capacidad de ver. Esta condición implica que quienes la padecen requieren aproximarse a los objetos para percibirlos con claridad o pueden enfrentar una ceguera completa. (Dandona & Dandona, 2006). Según el SNIES (Sistema Nacional de Información de la Educación Superior), en 2016 las instituciones de educación superior matricularon aproximadamente 1.000 estudiantes con discapacidad visual, mientras que el SENA matriculó a más de 1.600 estudiantes en las mismas condiciones (MEN, 2020). En las instituciones educativas colombianas, los estudiantes con discapacidad visual pueden navegar de forma independiente mediante la utilización de un bastón blanco o un perro guía. Sin embargo, la inexistencia de señalización Braille y otras formas, representa un desafío importante para los estudiantes con discapacidad visual a la hora de orientarse dentro de las instituciones educativas. En consecuencia, los estudiantes con discapacidad visual enfrentan una experiencia negativa durante su estadía en las instalaciones de las instituciones superiores. La falta de señalización no sólo impide su capacidad de moverse libremente, sino que también limita su participación en diversas actividades. Esta aplicación fue desarrollada bajo la metodología SCRUM, ya que permite tener entregas en lapso de tiempos cortos con altos índices de calidad.

Este documento está estructurado de la siguiente manera: El capítulo 1 muestra la descripción del problema, los objetivos, la justificación y el alcance del proyecto. El capítulo 2 aborda el marco teórico, marco legal y los antecedentes. El capítulo 3 describe la metodología de desarrollo utilizada. El capítulo 4 contiene el desarrollo del proyecto. El capítulo 5 presenta los resultados obtenidos y conclusiones.

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción del problema

La Realidad Aumentada (RA) es un conjunto de tecnologías que permite superponer elementos virtuales en el mundo real que pueden ser vistos a través de la cámara de un dispositivo electrónico. La RA incorpora tres características principales: a) una combinación de mundos digitales y físicos, b) interacciones realizadas en tiempo real y c) identificación precisa en 3D de objetos virtuales y reales (Microsoft, s.f.). La demanda de esta tecnología ha aumentado significativamente en el mercado actual. En 2021 la Realidad Aumentada representó un mercado de 22.600 mil millones de dólares (Acumen Research and Consulting, 2022). A pesar de que la sociedad ha experimentado grandes innovaciones tecnológicas, a menudo se pasa por alto el potencial de las tecnologías emergentes como la Realidad Aumentada para ayudar a grupos marginados y ser una herramienta para fomentar la inclusión social.

En las instituciones educativas cada vez existen más lugares a los cuales los estudiantes con discapacidad visual deben dirigirse de manera autónoma mediante el uso de su bastón blanco. Este instrumento permite que la persona se oriente con seguridad mediante una movilidad adecuada y accesible (MEN, 2020). Sin embargo, las personas con discapacidad visual desconocen el espacio físico donde se encuentran debido a la ausencia de letreros en sistema de lectura braille. Esto hace que este grupo sea vulnerado y tengan una experiencia negativa durante su estancia en las instituciones. Según el SNIES, en el 2016 hubo aproximadamente 1000 estudiantes con discapacidad visual matriculadas en las instituciones de educación superior (MEN, 2020) y más de 1600 estudiantes matriculados en el SENA. Por lo tanto, es importante adecuar los diferentes espacios dentro de las instalaciones para que sea más accesibles con ayuda del uso de las Tecnologías Inmersivas.

De acuerdo con el artículo 26 de la declaración universal de los derechos humanos: “1. Toda persona tiene derecho a la educación. La educación debe ser gratuita, al menos en lo concerniente a la instrucción elemental y fundamental. La instrucción elemental será obligatoria. La instrucción técnica y profesional habrá de ser generalizada; el acceso a los estudios superiores será igual para todos, en función de los méritos respectivos.” (Asamblea General de la Naciones Unidas, 2006). Es importante comenzar a implementar diferentes alternativas tecnológicas que brinden un apoyo a este grupo afectado. De no ser así, el porcentaje de personas con discapacidad visual que no acceden a la educación superior o que desertan por no ser incluidos seguirá en aumento.

Dado lo anterior, se desarrolló una aplicación móvil que utiliza Realidad Aumentada para detectar y leer códigos rMQR. Estos códigos dirigen a un repositorio de audio donde se reproduce un sonido descriptivo del entorno correspondiente al código rMQR detectado. Esta aplicación ofrece una experiencia inmersiva al usuario al proporcionar información sonora que describe el espacio vinculado al código rMQR identificado.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo puede la Realidad Aumentada ser utilizada como herramienta para mejorar la accesibilidad de las personas con discapacidad visual en las instituciones educativas a través de la lectura de códigos rMQR y la conexión con un repositorio de descripciones de audio de los espacios?

1.3. Justificación

La falta de adaptación en los espacios académicos que incluyan a las personas con discapacidad visual concluye en una vulneración a sus derechos a la igualdad de acceso a la educación y la inclusión (United Nations, 2015). La Organización Mundial de la Salud

(OMS) establece la importancia de apoyar la independencia y movilidad de las personas con discapacidad visual para reducir el efecto de adaptaciones inadecuadas en las instituciones de educación superior. World Health Organization (2019) destaca la importancia de utilizar herramientas técnicas para mejorar la calidad de vida de este grupo, como los teléfonos inteligentes; dispositivos móviles que ofrecen diversas aplicaciones distintas a las llamadas y mensajes de texto tradicionales. Estos dispositivos brindan a los usuarios una experiencia de usuario más interactiva e integrada, como la Realidad Aumentada (AR). Para integrar a las personas con discapacidad visual en los espacios académicos es necesario crear aplicaciones útiles y fáciles de usar (Pamuji, Andajani, & Sartinah, 2022). Desde este punto de vista, la Realidad Aumentada (RA) puede resultar muy valiosa para este grupo de personas (Alyousify & Mstafa, 2022). Esta tecnología tiene el potencial de mejorar su experiencia al proporcionar información adicional y asistencia para navegar y acceder a información en sus entornos. Cuando esta se utiliza de manera efectiva, cierra la brecha de accesibilidad y empodera a las personas con discapacidad visual en entornos académicos.

La aplicación creada brinda un apoyo a los estudiantes con discapacidad visual en las instituciones de educación superior. El uso de esta busca promover la inclusión social de este grupo vulnerable y garantizar el acceso a la educación en igualdad de condiciones. Esta aplicación les permite orientarse de manera autónoma dentro de las instituciones, mejorando su experiencia y calidad de vida en el ámbito educativo. De otra parte, permite la identificación de los espacios físicos de las instituciones de educación superior mediante el uso de códigos rMQR, lo cual brinda un servicio novedoso para sus necesidades.

Esta aplicación fue desarrollada para dispositivos móviles Android, lo que la hace accesible y fácil de usar para el público objetivo. Además, la implementación de una aplicación de Realidad Aumentada (RA) en las instituciones de educación superior para el apoyo a estudiantes con discapacidad visual representa una inversión rentable a largo plazo.

Esto se debe a que la aplicación permite mejorar la calidad de vida de los estudiantes con discapacidad visual, lo que contribuirá a su permanencia en el ámbito educativo. Al ser una aplicación accesible y fácil de usar, se podrá ampliar su alcance a nivel nacional para su uso en otras instituciones educativas. Además, el uso de este tipo de tecnologías representa una solución importante para los obstáculos que enfrenta la sociedad.

Es crucial resaltar que este proyecto generó un impacto personal significativo al permitir al estudiante aplicar diversos conocimientos adquiridos durante su formación académica. Esta experiencia contribuyó a mejorar su destreza en el uso de herramientas necesarias para llevar a cabo investigaciones. Además, el enfoque en la solución de una problemática real ofreció al autor la oportunidad de aplicar sus conocimientos y habilidades de manera práctica, brindando una satisfacción profunda tanto a nivel personal como profesional.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar una aplicación móvil de Realidad Aumentada para ayudar a las personas con discapacidad visual a identificar los diferentes espacios dentro de instituciones educativas y mejorar su experiencia de orientación y movilidad en dichos lugares.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Elaborar un repositorio que almacene los diferentes audios que dan la orientación específica al estudiante con discapacidad.
2. Implementar un sistema de reconocimiento de códigos rMQR para que la aplicación pueda identificar los diferentes espacios dentro de la institución educativa.
3. Crear los diferentes códigos rMQR que se utilizarán dentro de los espacios principales de la institución y configurar su conexión con el repositorio de audios para proveer una adecuada orientación a las personas con discapacidad visual.

1.5. Alcance y limitaciones del proyecto

1.5.1. Alcance

El alcance de la aplicación propuesta incluye:

- Despliegue de modulo que realiza la lectura de códigos rMQR.
- Códigos rMQR que despliegan un repositorio de audios los cuales se reproducen dando a conocer el espacio en el cual se encuentra con su respectiva descripción.
- Repositorio de prueba donde se encuentran los audios de las diferentes descripciones del ambiente.
- La Universidad Antonio Nariño Sede Sur sirvió como ambiente de prueba para el

desarrollo de la aplicación.

Las tecnologías utilizadas para el desarrollo de este proyecto son:

- **Lenguaje de programación:** C#.
- **Framework:** Unity, Android Studio.

1.5.2. Limitaciones

- La precisión de la lectura de los códigos rMQR depende de la calidad de la cámara del dispositivo móvil y de las condiciones de iluminación en el ambiente.
- La aplicación solo está disponible para dispositivos móviles con capacidad de lectura de códigos rMQR y capacidad de procesamiento suficiente para manejar la carga de la aplicación.
- La aplicación solo funciona para equipos Android 8.0 y superior.

2. Marco de referencia

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Discapacidad visual

La discapacidad visual es un término que se usa para describir cualquier tipo de pérdida de la visión, ya sea que la persona le resulte imposible ver o que la pérdida de la vista sea parcial, lo que significa que no ha perdido la vista por completo, pero ha perdido la suficiente visión para tener que acercarse para ver con claridad (Jonathan H. Salvin, 2016).

2.1.1. Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada (RA) implica la interacción entre ambientes virtuales y el mundo físico mediante dispositivos tecnológicos como webcams, teléfonos móviles (tanto IOS como Android), tabletas y otros similares. Básicamente, la RA introduce elementos virtuales en el entorno físico visible para el usuario a través de la interfaz del mundo real, gracias a la ayuda de la tecnología. Este recurso está transformando la manera en que se aborda las actividades diarias, incluso las que involucran a las máquinas (Grapsas, 2021). Como se demuestra en la Figura 1.

Figura 1

Realidad Aumentada



Nota. La figura ilustra el funcionamiento de la Realidad Aumentada a través del

reconocimiento de París en un globo terráqueo y del sobre posicionamiento de la Torre Eiffel en este mismo. Tomado de droiders.com.

La Realidad Aumentada se basa en el uso de desencadenadores que activan acciones específicas según el tipo empleado. En este contexto, se reconocen seis desencadenadores principales:

- Realidad Aumentada basada en geolocalización en exteriores

Cuando prima que la experiencia de la Realidad Aumentada este vinculada a lugares concretos ubicados en exteriores, se basa en geolocalización. En exteriores, se emplea la información de los acelerómetros y el sistema de posicionamiento global (GPS) del teléfono móvil para identificar cuándo se alcanza una ubicación específica, lo que activa una experiencia de Realidad Aumentada geolocalizada exclusiva que no está disponible en ningún otro sitio (Tolsan, 2020). La Figura 2 demuestra un ejemplo de una aplicación utilizando esta herramienta.

Figura 2

Realidad Aumentada basada en geolocalización en exteriores



Nota. La Figura representa un ejemplo de una aplicación móvil llamada Pokémon Go. La cual utiliza la Realidad Aumentada basada en geolocalización en exteriores para superponer personajes. Tomado de ardev.es

- Realidad Aumentada basada en posicionamiento en interiores

En entornos interiores, el GPS no se convierte en una opción viable para obtener información de localización. En su lugar, se recurre a otros métodos, como:

- a) *Beacons*: Estos pequeños dispositivos emiten señales de baja potencia y alcance limitado, las cuales son detectadas por los dispositivos inteligentes cercanos. De esta manera, es posible determinar con bastante precisión la ubicación de un smartphone dentro de un edificio y ofrecer contenidos de Realidad Aumentada que varían según su posición. Se identifica simplemente cuál es el *beacon* más cercano.
- b) *SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)*: Este enfoque se basa en el escaneo y mapeo del entorno para permitir que la Realidad Aumentada se integre con un conocimiento completo del espacio y sus elementos.

(Tolsan, 2020). Mediante la Figura 3 se puede observar un ejemplo del uso de esta herramienta.

Figura 3

Realidad Aumentada basada en posicionamiento en interiores



Nota. La Figura representa una aplicación de navegación la cual utiliza la Realidad Aumentada basada en posicionamiento en interiores como herramienta. Tomado de

medium.com

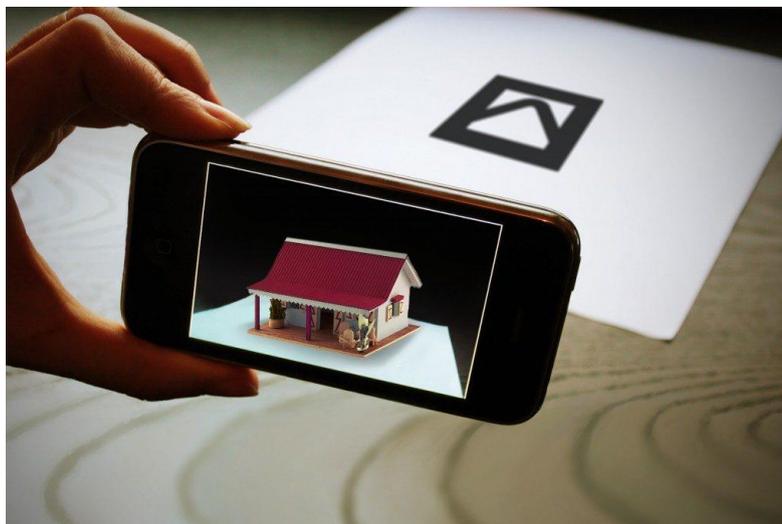
- Realidad Aumentada basada en marcadores

Los marcadores son imágenes que la aplicación de Realidad Aumentada tiene la capacidad de identificar, lo que también se conoce como AR basada en el reconocimiento de imágenes.

Los marcadores más simples consisten en patrones visuales claramente distinguibles del entorno real y no excesivamente complejos, lo que permite que la cámara de un smartphone los reconozca sin dificultad. Un ejemplo común son los códigos QR. Sin embargo, hoy en día la tecnología permite utilizar imágenes más detalladas y naturales, como logotipos de empresas, tarjetas de presentación, etiquetas, menús de restaurantes, mapas turísticos, entre otros. El marcador sirve como el vínculo entre el mundo real y el contenido digital aumentado (Tolsan, 2020).

Figura 4

Realidad Aumentada basada en marcadores



Nota. La Figura representa una aplicación móvil la cual superpone una casa a reconocer un marcador. Tomado de ardev.es.

- Realidad Aumentada sin marcadores

Cuando no se utilizan marcadores, el contenido de Realidad Aumentada tiene la

capacidad de integrarse de manera fluida en el entorno real, ya que se vincula a elementos presentes en dicho entorno. El disparador que activa la aparición de este contenido es la detección de una superficie vertical u horizontal mediante la cámara del smartphone. Esto puede incluir superficies como el suelo, las paredes, una mesa, entre otras. Una vez que se detecta la superficie, el contenido digital se superpone a ella y se queda anclado en su lugar (Tolsan, 2020).

De esta manera, tenemos la libertad de movernos alrededor de la superficie para ver el contenido desde diferentes ángulos, o incluso alejarnos para observarlo desde una perspectiva más amplia. Incluso es posible adentrarse en el contenido caminando si lo que hemos colocado es un objeto tridimensional lo suficientemente grande.

Figura 5

Realidad Aumentada sin marcadores



Nota. La Figura representa una aplicación la cual sobrepone un mueble en un espacio horizontal mediante el uso de Realidad Aumentada sin marcadores. Tomado de ardev.es.

- Realidad Aumentada basada en reconocimiento de objetos

Una Realidad Aumentada potenciada por inteligencia artificial tiene la capacidad de identificar objetos en el entorno real y superponer contenido adicional vinculado a esos objetos.

Por ejemplo, en la industria, es posible reconocer una pieza de maquinaria simplemente apuntando la cámara del dispositivo móvil hacia ella. En respuesta, se despliega información relacionada con ese equipo específico, como instrucciones de uso, historial de mantenimiento, detalles internos sobre su funcionamiento, y más (Tolsan, 2020).

Figura 6

Realidad Aumentada basada en reconocimiento de objetos



Nota. La Figura demuestra una aplicación la cual al detectar un tomate sobrepone información de esta. Tomado de HubSpot.

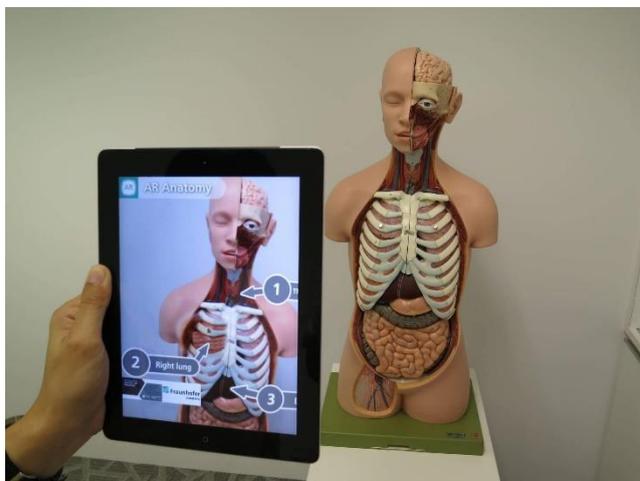
- Realidad Aumentada basada en reconocimiento de cuerpo

Al igual que puede identificar objetos, la Realidad Aumentada avanzada también es capaz de reconocer cuerpos y caras. Los elementos de Realidad Aumentada se superponen de manera precisa sobre la persona, adaptándose a su anatomía y siguiendo incluso los movimientos de diversas partes del cuerpo a través de la tecnología de seguimiento corporal (body tracking).

Un ejemplo concreto de aplicación sería aquella que permite a los usuarios visualizar cómo se vería un tatuaje en su brazo antes de tomar la decisión de hacerlo o también que permita probarse una amplia colección de zapatos desde la comodidad de su hogar, mostrando cómo lucen en sus pies en tiempo real (Tolsan, 2020).

Figura 7

Realidad Aumentada basada en reconocimiento de cuerpo



Nota. La Figura representa una aplicación que detecta un maniquí de un cuerpo humano y sobrepone el nombre de cada parte detectada. Tomado de Realinfluencers.

2.1.2. Código rMQR

Los códigos rMQR son un tipo de código bidimensional de tipo matriz que es fácil de leer y puede almacenar grandes cantidades de información, mientras que su forma rectangular facilita la impresión en espacios estrechos (Denso Wave, 2022). La estructura bidimensional de los códigos rMQR ofrece la ventaja de poder dividirse en secciones más pequeñas sin perder su funcionalidad, a diferencia de los códigos QR. Los códigos rMQR tienen una ventaja particular al escalar, ya que no aumentan su largo y altura simultáneamente como los códigos QR debido a su forma cuadrada, lo que dificulta su posicionamiento. Por el contrario, los códigos rMQR mantienen proporciones más manejables al ser escalados lo que facilita su posicionamiento en espacios como: a) letreros de información en lugares estrechos, b) superficies largas, pero no anchas, c) Señalizaciones estrechas, etc. Además, estos códigos son ideales para su uso en espacios reducidos, ya que facilitan su colocación sin comprometer la legibilidad, lo cual es especialmente útil considerando que ambos códigos pueden almacenar prácticamente la misma cantidad de

información. Adicionalmente tiene una cantidad de almacenamiento mayor que la de un código Micro QR, los cuales se contemplan cuando se piensan en espacios reducidos.

2.1.3. Repositorio de audio

Un repositorio de audio es un lugar donde se almacenan y organizan archivos de audio. Puede ser una plataforma en línea, un servidor, una base de datos o una biblioteca digital que contiene una colección de archivos de audio. Estos archivos pueden ser música, grabaciones de voz, efectos de sonido, etc.

En la implementación de descripciones de audio, es común utilizar herramientas de conversión de texto a voz, como NaturalReader. Esta aplicación tiene la capacidad de transformar texto escrito en archivos de audio, lo que la convierte en una herramienta sumamente útil para describir entornos o espacios de manera efectiva.

2.1.4. Unity

Unity es un motor gráfico versátil y multiplataforma, tanto para el desarrollo de juegos 2D como 3D, que está teniendo un gran impacto en la industria del videojuego. Esta tecnología es propiedad de Unity Technologies y se utiliza principalmente para la creación de videojuegos. Lo que lo hace especialmente poderoso es su capacidad para desarrollar juegos que funcionen en múltiples dispositivos sin la necesidad de cambiar de plataforma. Además, Unity no se limita únicamente a la creación de videojuegos; también se utiliza en la creación de experiencias de realidad virtual, en la industria cinematográfica y de animación, y tiene aplicaciones beneficiosas en una variedad de sectores, como la salud, la automoción, la construcción y muchos otros (Unity, 2018).

2.1.5. Vuforia

Vuforia es una plataforma de desarrollo capaz de crear aplicaciones de Realidad Aumentada (AR) y Realidad Mixta (MR) compatibles con múltiples dispositivos, incluyendo tanto dispositivos móviles como visores de realidad mixta montados en la cabeza, como

Microsoft HoloLens. La integración de Unity en Vuforia facilita la creación de aplicaciones y juegos visuales para Android y iOS mediante un flujo de trabajo de creación intuitivo de arrastrar y soltar. (Unity, 2018)

2.2. Antecedentes

2.2.1. Arianna

Es un sistema diseñado para personas con discapacidad visual para la localización y navegación en espacios abiertos y cerrados en Estados Unidos. Esta aplicación toma como puntos de referencia el uso de códigos QR mediante el reconocimiento de la cámara de un teléfono inteligente y caminos físicos, este software elimina la necesidad de soportes físicos gracias a su biblioteca ARKit (A Navigation and Augmented Reality System for Visually, 2021). Cuenta con los siguientes módulos:

- Servicio de navegación, es capaz de reconocer una línea en el suelo bajo diferentes condiciones de luz gracias a un algoritmo de visión por computadora integrado.
- Servicio de seguimiento, es capaz de comparar la posición del usuario con el mapa conocido del entorno mediante el uso de brújula y acelerómetro. Con el fin de mejorar el rendimiento de servicio de seguimiento.

Arianna necesita importantes adecuaciones para funcionar de manera óptima, lo cual en muchas ocasiones puede resultar en retrasos significativos, incrementando considerablemente sus costos. Incluso podría llegar a comprometer la movilidad de las personas debido al proceso prolongado de adaptación. La utilización de códigos QR por parte de Arianna complica aún más la integración debido a su formato cuadrado. En contraste, la aplicación desarrollada emplea códigos rMQR y prescinde de necesidades de adaptación significativas.

Adicionalmente, la aplicación actual propone emplear el uso de un repositorio para

la reproducción de audios, los cuales describen el espacio físico por donde va transitando la persona con discapacidad visual.

2.2.2. An Interactive Model Based on a Mobile Application and Augmented Reality as a Tool to Support Safe and Efficient Mobility of People with Visual Limitations in Sustainable Urban Environments

Es una herramienta interactiva basada en una aplicación móvil creada para dispositivos Android utilizando Realidad Aumentada en Estados Unidos. Se emplea para la prevención de riesgos ya sea lugares posiblemente peligrosos y/o difícil acceso para personas con discapacidad visual (Edgar Herberto Medina-Sanchez, 2021). Cuenta con los siguientes módulos:

- Orientación espacial, mediante el uso de teléfonos móviles inteligentes generan un conocimiento sobre el medio ambiente circundante.
- Realidad Aumentada, esta une imágenes en tiempo real utilizando una ubicación geográfica del dispositivo y los respectivos metadatos que se guardan en el servidor encargado de informar la coordenada requerida.

Esta aplicación demanda una considerable cantidad de actualizaciones para informar sobre novedades en áreas de riesgo o de complicado acceso, lo que implica una vigilancia constante. Este requerimiento se intensifica de acuerdo al alcance de la aplicación. Por otro lado, en el caso de la aplicación desplegada, no es necesario mantener este mismo grado de actualización y supervisión constante. Esto se debe a que las áreas cerradas que abarca no experimentan perturbaciones con frecuencia.

Adicionalmente, en el proyecto propuesto se emplea el uso de un repositorio para la reproducción de audios los cuales describen el espacio físico por donde va transitando la persona con discapacidad visual.

2.2.3. Augmented Reality for Scene Text Recognition, Visualization and Reading to

Assist Visually Impaired People

Este sistema mediante el uso de Realidad Aumentada propone leer las señales de tráfico en idioma árabe a personas con problemas visuales que conducen un vehículo en Túnez (Augmented Reality for Scene Text Recognition, Visualization and Reading to Assist Visually Impaired People, 2022), utilizando tres módulos:

- Detección y reconocimiento del texto.
- Visualización del texto.
- Conversación de métodos de texto a voz.

Esta aplicación requiere un punto fijo para escanear las señales de tráfico, lo que puede ser difícil de lograr en un automóvil debido a sus variaciones en tamaño, velocidad y el estado de la señal. Sin embargo, esto no es un problema para la aplicación desplegada, ya que utiliza un arnés en el pecho para que la cámara pueda detectar fácilmente el código. De otro parte, la aplicación necesita una respuesta rápida debido a la velocidad de los vehículos, pero esto no es tan importante para la aplicación descrita en el documento ya que está diseñada para espacios cerrados. Adicionalmente, la aplicación depende de señales de tráfico las cuales pueden estar dañadas, obstruidas e incluso replicadas, problema que la aplicación descrita en el documento no presenta, ya que esta solo reconoce códigos rMQR propios.

Finalmente, en el proyecto propuesto se emplea el uso de un repositorio para la reproducción de audios los cuales describen el espacio físico por donde va transitando la persona con discapacidad visual.

2.2.4. *SonarVision*

Es una aplicación móvil para iPhone desarrollada en Francia, la cual se enfoca en la identificación de las rutas más prácticas para las personas con discapacidad visual utilizando “sonido espacial” (SonarVision, 2023). Enfocando se principalmente en tres módulos:

- Ultra precisión utilizando VPS (Visual Positioning System).
- Accesibilidad.
- Experiencia humana.

SonarVision es una aplicación que depende en gran medida del GPS para proporcionar información sobre la ubicación y ruta a seguir. No obstante, esta dependencia puede generar fallos en espacios cerrados donde la calidad del GPS no es estable, lo que puede resultar en una mala identificación de la ruta y causar que el usuario se pierda. En comparación, la aplicación desplegada utiliza la tecnología de escaneo de códigos QR para conectarse a un repositorio de audio y proporcionar información sobre el entorno circundante. Debido al uso de esta herramienta, la aplicación propuesta no puede generar información falsa como lo podría hacer SonarVision en ciertos espacios cerrados.

2.2.5. E-Glance

Es una aplicación española que permite a las personas con discapacidad visual adaptarse fácilmente a diferentes entornos, como puede ser el planificar una ruta en medio de múltiples obstáculos móviles u obtener información sobre la localización e identificar personas y objetos a distancia. (Asociación D.O.C.E. Discapacidad Otros Ciegos de España, 2017), contando con tres módulos:

- Módulo de captación de la realidad.
- Módulo virtual que refleja el mundo físico en tiempo real.
- Módulo de Realidad Aumentada.

La utilización de herramientas de alto rendimiento en E-Glance puede ocasionar una disminución en la velocidad del dispositivo, resultando en posibles inconvenientes en el funcionamiento de la aplicación e incluso su cierre inesperado. Dado que E-Glance se fundamenta en la planificación de rutas, los retrasos en este proceso pueden generar

complicaciones y desorientar al usuario. En contraposición, en la aplicación desplegada cada código rMQR dispone de una descripción específica en el repositorio de audios, mitigando así la probabilidad de desorientación que podría surgir con E-Glance.

A través de la tabla 1 realiza una comparación de ventajas y desventajas de cada aplicación presentada en este apartado.

Tabla 1

Ventajas y desventajas de antecedentes

Propuestas	Ventajas	Desventajas
Arianna	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uso de herramientas para un seguimiento exacto. 2. Uso de documentación ARKit. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uso de código QR el cual resulta difícil de posicionar en espacios estrechos. 2. Necesidad de espacios físicos (Como líneas en el suelo). 3. Disponibilidad solo en IOS.
An Interactive Model Based on a Mobile Application and Augmented Reality as a Tool to Support Safe and Efficient Mobility of People with Visual Limitations in Sustainable Urban Environments	<ol style="list-style-type: none"> 1. Orientación espacial. 2. Uso de ubicación geográfica del dispositivo. 3. Uso de coordenadas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Disponibilidad solo en Android. 2. Problemas de confiabilidad de lugares de difícil acceso o de peligro que no han sido reportados.
Augmented Reality for Scene Text Recognition, Visualization and Reading to Assist Visually Impaired People	<ol style="list-style-type: none"> 1. Disponibilidad en iOS y Android. 2. Uso de modelos de señales de tránsito para un reconocimiento más rápido. 3. Uso de texto a voz con 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Problemas de confiabilidad por señales de tránsito en mal estado que la Realidad Aumentada no pueda reconocer. 2. Necesidad de constantes

	flexibilidad para modificar características de la voz y volumen.	actualizaciones.
SonarVision	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uso de sonido espacial. 2. Precisión en VPS. 3. Practico debido al uso de experiencia humana. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Disponible solo en iPhone. 2. Poca precisión en espacios de difícil acceso por medio del GPS.
E-Glance	1. Capta la realidad y lo refleja en un módulo virtual en tiempo real.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Necesidad de constantes actualizaciones. 2. Aplicación con herramientas bastante pesadas que puede generar una lentitud en su uso.

2.3. Marco Legal

Este proyecto tendrá en cuenta las siguientes normas:

1. **Decreto 1360 de 1989:** este decreto menciona la inscripción del soporte lógico (software) en el Registro Nacional de Derechos de Autor con lo previsto en la Ley 23 de 1982 considerando el software como una creación propia de dominio literario, por lo que se protegerá mediante Derecho de Autor (Presidencia de la República de Colombia, 1989).
2. **Ley 23 de 1982:** esta ley protege las obras de los autores mediante derechos de autor. Esta Ley protege exclusivamente la forma literaria, plástica o sonora, como las ideas del autor son descritas, explicadas, ilustradas o incorporadas en las obras literarias, científicas y artísticas (Congreso de la República de Colombia, 1982).

3. Metodología

3.1. SCRUM

La aplicación se desarrolló bajo la metodología SCRUM, ya que es un marco de trabajo que reduce la complejidad de desarrollo del producto mediante el trabajo en torno a los requisitos. Además, es útil cuando se requieren resultados en corto plazo de un proyecto complejo.

Scrum está conformado por tres roles principales: a) Product Owner (Dueño del Producto), b) Scrum Master (Dueño del proceso) y c) Team (Miembros del Equipo de Desarrollo) (Integra IT, 2019).

3.1.1. Roles es SCRUM

- **Product Owner:** el dueño del producto o *Product Owner* es una única persona que conoce el negocio del cliente y su visión del producto. Es el encargado de registrar las ideas del cliente en unas historias de usuario, priorizarlas, colocarlas en el *Product Backlog* y gestionar este mismo ordenando los elementos para alcanzar los objetivos y misiones de la mejor manera posible. Al ser el responsable de maximizar el valor del producto debe asegurarse que el equipo de desarrollo entiende los elementos del *Product Backlog* (Schwaber & Sutherland, 2016). El *Product Owner* en este proyecto es el profesor líder del semillero de tecnologías inmersivas de la UAN Cesar Augusto Rodríguez Suárez.
- **Scrum Máster:** es el encargado de comprobar que el modelo y la metodología funciona y es responsable de asegurar que *Scrum* se entienda y se adopte. Es un líder que está al servicio del Equipo *Scrum* asegurándose de que trabajan ajustándose a la teoría y práctica de *Scrum*. También ayuda al *Product Owner* en sus tareas relacionadas al *Product Backlog* o *Sprint Backlog* para maximizar el valor

(Schwaber & Sutherland, 2016). El *Scrum Máster* en este proyecto es el estudiante de Ingeniería de Sistemas y Computación Edwin Alfonso Diaz Cárdenas.

- ***Development Team:*** Es un equipo pequeño de profesionales con autoridad para autoorganizarse y tomar decisiones para conseguir su objetivo. Estos realizan el trabajo para entregar un incremento del producto terminado al final de cada *Sprint*. Es equipo generalmente está conformado entre 3 y 9 personas para permanecer ágil y completar una cantidad de trabajo significativa (Schwaber & Sutherland, 2016). El equipo de desarrollólo conformaron el estudiante de Ingeniería de Sistemas y Computación Edwin Alfonso Diaz Cárdenas.

3.1.2 *Eventos en SCRUM*

Scrum define cinco eventos principales para controlar sus procesos utilizando *Sprints*.

El Sprint de Scrum es un intervalo de tiempo fijo durante el cual se crea un incremento de producto “Hecho” o “terminado” utilizable, potencialmente entregable (OBS Business School, 2021). Está principalmente dividido en 5 etapas: a) *Sprint Planning*, b) *Daily meeting*, c) *Sprint review* y d) *Sprint retrospective*.

- **Sprint Planning:** es una reunión con el fin de inspeccionar el *Product Backlog*.
- **Daily meeting:** es una reunión diaria la cual durará 15 minutos, en donde se revisará el progreso del respectivo *Sprint*.
- **Sprint review:** es una reunión donde se evalúa los resultados que obtuvo el equipo Scrum luego de un Sprint. Esto permite analizar el progreso que se ha tenido al cumplir con el objetivo establecido.
- **Sprint retrospective:** es el último evento de un Sprint, donde se reúne al equipo de SCRUM y se planifica las mejores formas de aumentar la calidad y eficacia con base al *Sprint* que acaba de terminar.

3.1.3 *Artefactos de Scrum*

- Los artefactos del SCRUM ágil son información que un equipo de SCRUM y las partes interesadas utilizan para detallar el producto en desarrollo, las acciones para producirlo y las tareas realizadas durante el proyecto. Estos artefactos ofrecen metadatos que dan una idea del rendimiento de un Sprint. Son herramientas esenciales para todos los equipos de SCRUM, ya que posibilitan los atributos básicos de transparencia, inspección y adaptación (Harris, s.f.). En SCRUM se considera tres artefactos esenciales: a) *Product Backlog*, b) *Sprint Backlog*, c) *Product Increment*.
- Product Backlog: el *backlog* del producto es una lista de nuevas funciones, mejoras, correcciones de errores, tareas o requisitos de trabajo necesarios para crear un producto. Se obtiene a partir de fuentes como la atención al cliente, los análisis de la competencia, las demandas del mercado y los análisis empresariales en general. En la aplicación se realizó el *Product Backlog* mediante el análisis de la competencia.
- Sprint Backlog: el backlog de Sprint es un conjunto de tareas del backlog del producto que se han seleccionado para desarrollarse durante el siguiente incremento del producto. Los equipos de desarrollo crean los *backlogs* del *Sprint* para planificar las entregas de los futuros incrementos y detallar el trabajo necesario para concebir el incremento.
- Product Increment: un incremento del producto es la entrega al cliente que tiene lugar al completar las tareas del backlog del producto durante un *Sprint*. También incluye los incrementos de todos los *Sprint* anteriores. Siempre hay un incremento por cada *Sprint* y tal incremento se decide durante la fase de planificación de SCRUM.

3.2 Aplicación de la metodología

La aplicación de la metodología se dividió en 4 *Sprint*, cada *Sprint* con una duración de 3 semanas en donde se realizaron las siguientes tareas:

3.2.1. *Sprint 1 – Contextualización e Investigación*

Esta fase completó la realización de las siguientes tareas:

- Reunión con el equipo de investigación
- Levantamiento de Requerimientos
- Identificación de las tecnologías a usar
- Despliegue de la zona de trabajo Unity
- Agregar la plataforma de desarrollo Vuforia al proyecto

Este *Sprint* tuvo como resultado los siguientes productos:

- Product backlog
- Escenario de trabajo

3.2.2. *Sprint 2 – Creación recursos necesarios*

Este *Sprint* contempló la realización de las siguientes tareas:

- Desarrollo de los códigos rMQR
- Crear audios descriptivos
- Crear repositorio de audios

Este *Sprint* tuvo como resultado los siguientes productos:

- Recursos necesarios para el despliegue de la aplicación

3.2.3. *Sprint 3 – Implementación de sistema de reconocimiento de códigos rMQR*

Este *Sprint* contempló la realización de las siguientes tareas:

- Reconocimiento de los códigos rMQR por parte del software
- Conexión entre la lectura de los códigos rMQR con el repositorio de audios

Este *Sprint* tuvo como resultado el siguiente producto:

- Conexión con el repositorio de audios.

3.2.4. *Sprint 4 – Pruebas integrales, correcciones y ajustes finales.*

Este *Sprint* contempló la realización de las siguientes tareas:

- Pruebas de escaneo del software
- Corrección de errores

Este *Sprint* tuvo como resultado los siguientes productos:

- Software funcional

3.3 Metodología de desarrollo

La aplicación fue instalada en un celular Android 8.0 el cual es capaz de leer cada código rMQR (ver Figura 8), y a su vez conectarse a un repositorio donde se encuentran las descripciones de los espacios (en audio).

Figura 8

Código rMQR



76 digits

Nota. La figura representa un código rMQR. Tomado de Denso Wave.com.

Para la facilidad del escaneo se implementó el uso un arnés de soporte de celulares (ver Figura 9), el cual es capaz de sostener en un punto fijo un teléfono inteligente con la intención de que este detecte de forma rápida y fácil el código rMQR.

Figura 9

Arnés de soporte de pecho para celular inteligente



Nota. La figura representa un arnés de soporte para celulares inteligentes la cual se ubica en el pecho. Tomado de Mercado libre.

4. Desarrollo del proyecto

Esta sección presenta las etapas fundamentales del proceso de investigación, que involucran el desarrollo, implementación y evaluación del software por parte del grupo objetivo de usuarios.

4.1. Fase 1: Diseño del sistema de navegación.

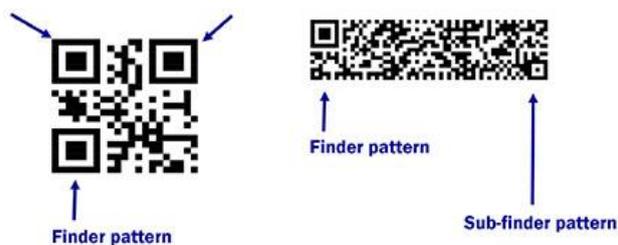
El diseño del sistema de navegación se desarrolló considerando lo siguiente:

4.1.1. Asignación de códigos rMQR únicos

Se asignó un código rMQR único a cada punto de interés, lo que permite una fácil detección y conexión con la aplicación RA. En cada espacio descrito, se posicionó estratégicamente un código rMQR en un área visible, asegurando un rápido reconocimiento por parte del programa, creando un camino que guía a las personas con discapacidad visual. La Figura 10 muestra cómo el Código rMQR ahorra espacio al reducir el número de "patrones de buscador" con forma de ojo de tres a uno y medio. Esta reducción en los patrones del buscador contribuye a un diseño más compacto. El código rMQR es valioso para imprimir en piezas de trabajo estrechas o delgadas debido a la adopción de una forma rectangular que ahorra espacio. La forma rectangular permite una impresión y posicionamiento eficientes en espacios limitados donde los códigos QR convencionales pueden no caber.

Figura 10

Comparación entre códigos QR y códigos rMQR



Nota. La Figura compara las diferencias entre el código rMQR y el código QR.

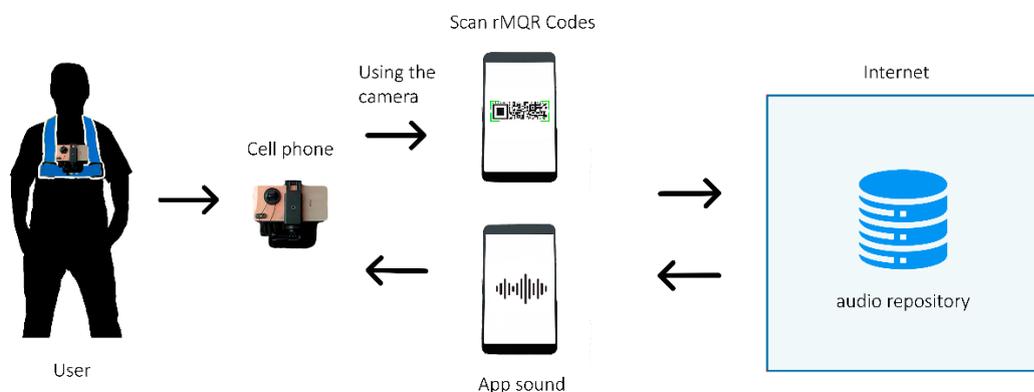
Tomado de QR code.com

4.1.2. Arquitectura del sistema

El sistema de navegación auditiva se basa en una arquitectura cliente-servidor (Ali, Alauldeen, & Ruaa, 2020). La aplicación instalada en el teléfono inteligente actúa como cliente, mientras que un servidor es responsable de almacenar y administrar los datos del código rMQR y los archivos de audio correspondientes para cada ubicación. La Figura 11 muestra a un usuario utilizando su teléfono móvil para leer un código almacenado en un repositorio a través de Internet. Posteriormente, reprodujo un audio descripción del lugar. A medida que el usuario navega, la cámara del teléfono reconoce el código y la aplicación lo escanea e interpreta.

Figura 11

Esquema de la arquitectura del sistema



Nota. La Figura demuestra la arquitectura del sistema.

4.1.3. Tecnologías utilizadas

La implementación del sistema se realizó utilizando herramientas como Vuforia y Unity. Estas tecnologías permiten la detección y lectura de códigos rMQR, así como la reproducción de archivos de audio asociados a cada punto de interés. El SDK de Vuforia incluye herramientas para crear objetivos de imágenes, que son marcadores visuales específicos utilizados para rastrear e identificar objetos en el mundo real (Vuforia, 2017). Estos objetivos de imagen reconocen y rastrean códigos rMQR, lo que permite que la aplicación RA superponga contenido virtual o active acciones específicas basadas en los códigos detectados. Por otro lado, Unity proporciona un entorno de desarrollo sólido para crear los elementos visuales e interactivos de la experiencia RA (Unity Technology, 2018).

4.2. Fase 2: Desarrollo de software.

Para el desarrollo del software se utilizó Unity y Vuforia. Unity es un entorno de desarrollo reconocido por su accesibilidad y capacidad de integración con diversas herramientas y Vuforia es una herramienta para mejorar las funcionalidades del proyecto utilizando el lenguaje de programación C#. Vuforia es una plataforma de desarrollo multiplataforma para aplicaciones de Realidad Aumentada (AR) y Realidad Mixta (MR), que ofrece seguimiento y rendimiento sólidos en una variedad de dispositivos (Liu, Sohn, & Park, 2018). Para detectar los códigos rMQR, se utilizó el seguimiento basado en marcadores (*Image Targets*) proporcionado por Vuforia. Cuando *Image Target* detecta uno de estos códigos, activa una función llamada *On Target Found()*, que obedece un conjunto de instrucciones para reproducir un audio específico. Se generó los códigos rMQR utilizando una herramienta generadora de códigos en línea. Cada código contiene el nombre del espacio para el que queremos proporcionar audio descripciones. Para crear los audios descriptivos se utilizó NaturalReader, una aplicación capaz de leer textos en español y generar archivos de audio (Viridius & Rifa'i,

2021). Se almaceno las descripciones de los respectivos entornos en estos archivos y posteriormente se guardaron en un repositorio. Las descripciones incluyen las características más relevantes de los espacios y su entorno. El objetivo de este proceso es proporcionar a los usuarios información útil y precisa sobre cada espacio, mejorando su comprensión y experiencia.

4.3. Fase 3: Implementación.

Se posicionaron los códigos rMQR en espacios como baños, biblioteca, bienestar universitario, entre otros. Cada descripción de espacio incluye su propia información, así como información sobre su entorno. Además, se realizó pruebas de funcionalidad, pruebas de precisión y estabilidad y pruebas de rendimiento.

Figura 12

Aplicación móvil describiendo ambiente



Nota. La Figura representa un ejemplo del escaneo de un ambiente. Este escaneo reproduce un audio que explica que cual es ese bloque y que encuentra a su alrededor.

4.4. Fase 4: Pruebas.

Se realizo pruebas para evaluar la lectura precisa y confiable de códigos rMQR por

parte de la aplicación en diversas condiciones. El objetivo de estas pruebas era determinar si la aplicación podía leer los códigos de forma precisa y confiable, independientemente del ángulo desde el que se realizará la lectura.

4.4.1. Pruebas de funcionalidad.

- a) Ángulo frontal: el código rMQR se posicionó en un ángulo de 90 grados. Los resultados de la prueba confirmaron que el programa escanea instantáneamente el código y reproduce el sonido con precisión.

Figura 13

Código rMQR con ángulo frontal



Nota. La Figura representa un código rMQR posicionado en un ángulo frontal.

- b) Ángulo de inclinación hacia arriba: el programa lee rápidamente el código rMQR en un ángulo de 120 grados y emite el sonido con precisión. Esta prueba tiene como objetivo simular la situación en la que el código este en una posición superior al del dispositivo lector.

Figura 14

Código rMQR con ángulo inclinado hacia arriba



Nota. La Figura representa un código rMQR posicionado en un ángulo inclinado hacia arriba.

- c) Ángulo de inclinación hacia abajo: el código rMQR se posicionó en un ángulo inferior al

esperado de 60 grados. El programa lee rápidamente el código y emite el sonido con precisión. Esta prueba simula la situación en la que la posición del código es inferior al del dispositivo lector.

Figura 15

Código rMQR con ángulo de inclinación hacia abajo



Nota. La Figura representa un código rMQR posicionado en un ángulo de inclinación hacia abajo.

- d) Ángulo lateral: en esta prueba, el código se adhirió a un objeto curvo. El programa lee rápidamente el código y emite el sonido con precisión. Esta prueba tiene como objetivo evaluar el comportamiento de la lectura de código en condiciones no planas.

Figura 16

Código rMQR con ángulo lateral



Nota. La Figura representa un código rMQR posicionado en un ángulo lateral.

Finalmente, a través de varias pruebas, se descubrió que el programa encuentra dificultades al escanear códigos rMQR en ángulos superiores a 160 grados o inferiores a 20 grados. En estas situaciones, se observó que la aplicación tiene dificultades para diferenciar correctamente los códigos y por ende el sonido correspondiente.

4.4.2. Prueba de precisión y estabilidad

Se realizó una prueba para evaluar la precisión y estabilidad de la lectura de códigos rMQR. Después de escanear cada código, se comparó la descripción proporcionada por la

aplicación con la descripción del audio esperada. Este proceso verificó la capacidad de la aplicación para leer con precisión códigos rMQR.

4.4.3. Prueba de rendimiento

Esta prueba evaluó el rendimiento de la aplicación a diferentes distancias mediante múltiples lecturas de códigos rMQR. El objetivo era encontrar una distancia óptima para una lectura efectiva. A través de las pruebas realizadas, se determinó que la distancia óptima para una lectura efectiva de códigos rMQR es de 1 a 2 m. Dentro de este rango, la aplicación demostró un rendimiento confiable y eficiente. Sin embargo, se observó dificultades al leer códigos a distancias superiores a tres (3) metros, lo que resultó en problemas de lectura y reconocimiento de códigos rMQR. La aplicación encontró dificultades para diferenciar los códigos y reproducir el audio correcto más allá de los 3,5 metros. También es importante tener en cuenta que la distancia puede influir según el tamaño del código rMQR. En estos casos utilizamos códigos con dimensiones de 2 x 15 cm.

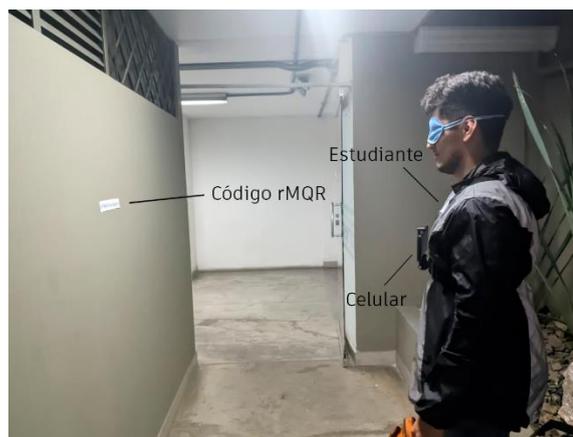
Finalmente, para evaluar el consumo de recursos del dispositivo mientras la aplicación se estaba ejecutando, se utilizó durante un tiempo prolongado y se detectó que el consumo de miliamperios-hora (mAh) de la aplicación se aproximaba a 1530 mAh por hora.

4.5. Fase 5: Participantes y Validación.

Treinta y seis (36) estudiantes validaron el software. Cada participante realizó un recorrido por el interior de la universidad llevando un arnés (Figura 3) para garantizar la libre movilidad mediante el teléfono móvil. Durante las pruebas, los estudiantes usaron máscaras para dormir. Esta medida tuvo como objetivo replicar la experiencia de los estudiantes con discapacidad visual y evaluar la efectividad y accesibilidad de la aplicación para este grupo (ver Figura 10).

Figura 17

Estudiante probando el software.



Nota. La Figura muestra a un estudiante probando el software.

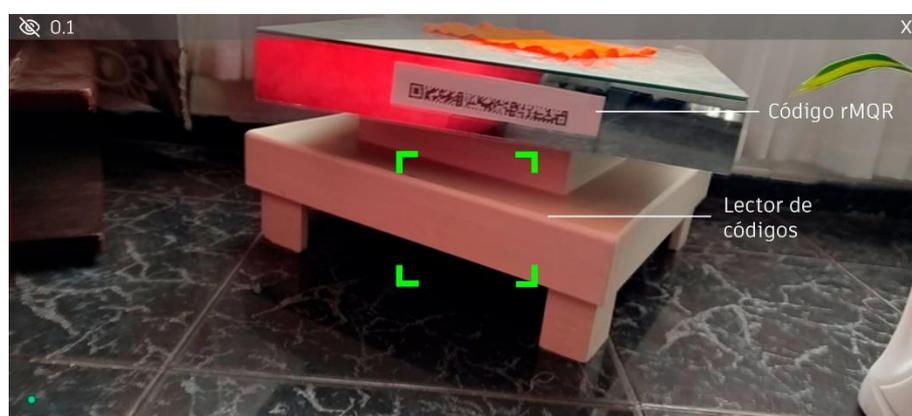
Los estudiantes respondieron un cuestionario de diez (10) preguntas utilizando la escala de 5 Likert para validar la aplicación. La escala de 5 Likert es un método de respuesta utilizado en cuestionarios para medir el grado de acuerdo o desacuerdo de una persona con una afirmación (Solmaz, 2020). Esta escala permite a los usuarios expresar su nivel de acuerdo o desacuerdo con cada afirmación presentada en la encuesta. Este método ayuda a recopilar información valiosa sobre la experiencia de los usuarios y la percepción del software. Las opciones de respuesta utilizadas son: (a) Totalmente de acuerdo, (b) De acuerdo, (c) Neutral, (d) En desacuerdo y (e) Totalmente en desacuerdo. El cuestionario ayudó a validar el software. Se centró en varios criterios, como una interfaz accesible y fácil de usar, autonomía y seguridad a través de descripciones detalladas de los lugares. Estos criterios tuvieron como objetivo evaluar la capacidad del software para permitir y ayudar a personas con discapacidad visual en sus universidades.

5. Resultados Obtenidos

A continuación (ver Figura 18), se puede apreciar la aplicación en correcto funcionamiento, la cual fue utilizada para la fase de validación ya descrita en el documento.

Figura 18

Aplicación en funcionamiento



Nota: Esta Figura demuestra la aplicación en funcionamiento, destacando las partes más importantes de esta.

Es importante mencionar que la información proporcionada en los cuestionarios fue de vital importancia para comprender su experiencia y perspectiva con la aplicación, así como para evaluar la efectividad y utilidad del software en relación con las necesidades de las personas con discapacidad visual.

Este estudio comienza centrándose en la accesibilidad de la interfaz de la aplicación para usuarios con discapacidad visual. Para asignar valores numéricos a cada opción de respuesta en la escala Likert de 5 puntos, utilizamos los siguientes valores: (a) Muy de acuerdo = 5, (b) De acuerdo = 4, (c) Neutral = 3, (d) En desacuerdo = 2, (e) Totalmente en desacuerdo = 1. Estos valores numéricos representan el nivel de acuerdo o desacuerdo asociado con cada opción de respuesta. Se utilizó la desviación estándar para medir la dispersión de las respuestas

en cada pregunta de la escala Likert. Proporciona una evaluación de cuánto se desvían las respuestas individuales de la media de las respuestas. La desviación estándar es una medida estadística que cuantifica la cantidad de variación o dispersión en un conjunto de datos (Lee, In, & Lee, 2015). Mide qué tan separados están los valores de la media (promedio) de los datos. Matemáticamente, la desviación estándar calcula la raíz cuadrada de la varianza, que calcula el promedio de las diferencias al cuadrado entre cada punto de datos y la media.

La fórmula para calcular la desviación estándar de un conjunto de datos es la siguiente:

$$(\sigma) = \sqrt{\sum(x - \mu)^2 / N} \quad (1)$$

Donde: σ representa la desviación estándar. Σ denota la suma de los valores. x representa cada valor individual en el conjunto de datos. μ representa la media (promedio) del conjunto de datos. N representa el número total de puntos de datos.

La Tabla 2 muestra que la mayoría de las preguntas obtuvieron puntuaciones medias altas, lo que indica buenas experiencias con las funcionalidades de la aplicación.

Tabla 2

Respuestas sobre la funcionalidad de la aplicación

Question	Mean	Squared Deviations	Standard Deviation
¿Does the application have an accessible and easy-to-navigate interface, specifically designed for users with visual disabilities?	4.778	0.1728	0.0693
¿Does the app provide useful information about the spaces where a person with visual disabilities moves?	4.861	0.1196	0.0573

¿Does the mobile application improve the autonomy and safety of people with visual disabilities by describing the spaces?	4.722	0.2006	0.0748
¿Does the app offer any type of assistance through voice functions or auditory notifications to help people with visual disabilities use it effectively?	4.833	0.1388	0.0624
¿Is the app fast and efficient when scanning rMQR codes?	4.778	0.1728	0.0693
¿Is the app reliable and accurate in identifying and describing rMQR codes?	4.833	0.1388	0.0624
¿Does the app provide clear and understandable information about the features and objects present in the scanned spaces?	4.750	0.1736	0.0693
¿Does the app promote the independence and confidence of people with visual disabilities when moving in separate places?	4.722	0.4228	0.1081
¿Does the app meet the expectations and needs of people with visual disabilities when describing the spaces?	4.667	0.2222	0.0787
¿Does the use of the harness not interfere with the mobility or restrict the movements of the person with visual disabilities?	4.778	0.1728	0.0693

6. Conclusiones y discusiones

En el contexto de este estudio, la desviación estándar ayuda a comprender la variabilidad de opiniones y actitudes entre los participantes para cada pregunta. Una desviación estándar más alta indica una mayor dispersión en las respuestas, lo que implica una gama más amplia de opiniones o niveles de acuerdo/desacuerdo entre los participantes. Por otro lado, una desviación estándar más baja indica menor variabilidad y mayor consistencia en las respuestas. Al analizar los resultados de la escala Likert (Tabla 2), la desviación estándar permite identificar preguntas donde las respuestas tienden a ser más uniformes y aquellas donde hay más divergencia de opiniones. Esto ayuda a comprender la coherencia y distribución de las respuestas, y también puede proporcionar información valiosa sobre hasta qué punto los participantes están de acuerdo o en desacuerdo con cada afirmación de las preguntas. En general, la mayoría de los participantes están de acuerdo o totalmente de acuerdo en que la aplicación tiene una interfaz accesible y fácil de navegar para usuarios con discapacidad visual. La media de todas las respuestas es 4,778, lo que indica un importante nivel de acuerdo en este ámbito. Además, los participantes expresaron un alto grado de acuerdo en que la aplicación brinda información útil sobre los espacios donde se mueve una persona con discapacidad visual. La media de todas las respuestas es 4.861, lo que reafirma la efectividad de la aplicación para brindar información relevante. En cuanto a la mejora en la autonomía y seguridad de las personas con discapacidad visual al describir los espacios, los participantes mostraron una inclinación positiva con una media de 4.722, indicando una percepción favorable hacia esta funcionalidad de la aplicación. Cabe señalar que la aplicación recibió una puntuación alta en cuanto a ayudar a través de funciones de voz o notificaciones auditivas a ayudar a las personas con discapacidad visual a utilizarla de manera efectiva. La

media de todas las respuestas es 4,833, lo que sugiere una satisfacción general con estas características. Los participantes también percibieron la aplicación como rápida y eficiente al escanear códigos QR, con una media de 4,778, lo que indica una experiencia positiva en términos de velocidad y eficacia de la funcionalidad de escaneo. En cuanto a la confiabilidad y precisión de la aplicación para identificar y describir códigos QR, los participantes expresaron un elevado nivel de acuerdo, con una media de 4,833, lo que sugiere una confianza general en la capacidad de la aplicación para proporcionar descripciones precisas. En cuanto a brindar información clara y comprensible sobre las características y objetos presentes en los espacios escaneados, la aplicación recibió una puntuación positiva, con una media de 4.750. Esto indica que los participantes creen que la aplicación cumple su objetivo de proporcionar descripciones claras y útiles.

En relación con promover la independencia y confianza de las personas con discapacidad visual a la hora de desplazarse en diversos lugares, los resultados muestran una inclinación positiva, aunque existe una pequeña desviación estándar de 4,722. Esto podría indicar una variabilidad en las opiniones de los participantes en este aspecto. Esta variabilidad puede indicar que los individuos tienen una experiencia más positiva y se sienten más independientes y seguros al utilizar la aplicación en diversos lugares, mientras que otros pueden tener opiniones más diversas o incluso menos favorables.

Esto presenta oportunidades de mejora en términos de una mejor comprensión de las necesidades y expectativas individuales de las personas con discapacidad visual en cuanto a la promoción de su independencia y confianza al desplazarse en distintos lugares. Se podría considerar la realización de encuestas adicionales o entrevistas en profundidad para recopilar información más detallada sobre áreas específicas que podrían mejorar la experiencia de los usuarios en este aspecto. Los participantes mostraron un grado significativo de acuerdo en que la aplicación satisface las expectativas y necesidades de las

personas con discapacidad visual a la hora de describir los espacios, con una media de 4.667. Esto sugiere que la aplicación cumple con éxito las expectativas de los usuarios en términos de proporcionar información relevante y útil. Finalmente, respecto al uso del arnés, los participantes expresaron un alto grado de acuerdo en que no interfiere en la movilidad ni restringe los movimientos de las personas con discapacidad visual. Esta alta puntuación refleja el fuerte acuerdo de los participantes en que el arnés no interfiere con la movilidad ni restringe los movimientos de las personas con discapacidad visual. Los resultados indican una percepción positiva de la accesibilidad de la aplicación, provisión de información útil, mejora de la autonomía y seguridad, funciones de asistencia, velocidad y eficiencia en el escaneo de códigos rMQR, confiabilidad y precisión en la identificación y descripción de códigos rMQR, claridad de la información proporcionada, satisfaciendo expectativas y necesidades, y mínima interferencia del arnés. Estos hallazgos resaltan la eficacia de la aplicación para satisfacer las necesidades de los usuarios con discapacidad visual y promover su independencia y confianza en diversos espacios.

7. Bibliografía

- (2021). *A Navigation and Augmented Reality System for Visually*. MDPI.
- Acumen Research and Consulting. (2022). Augmented Reality and Virtual Reality Market Size is Expected to Reach at USD 451.5 Billion by 2030, registering a CAGR of 38.5%, Owing to Growing Applications in Healthcare Sector.
- Ali, S., Alauldeen, R., & Ruaa, A. (2020). What is Client-Server System: Architecture, Issues and Challenge of Client-Server System. *HBRP Publication*.
- Alyousify, A. L., & Mstafa, R. J. (2022). AR-Assisted Children Book For Smart Teaching And Learning Of Turkish Alphabets. *Virtual Reality and Intelligent Hardware*, 3-5.
- Asociación D.O.C.E. Discapacidad Otros Ciegos de España. (16 de Enero de 2017). *E-GLANCE UNA APP PARA MEJORAR LA PERCEPCIÓN Y ORIENTACIÓN ESPACIAL*. Obtenido de <https://asociaciondoce.com/2017/01/16/e-glance-una-app-para-mejorar-la-percepcion-y-orientacion-espacial/>
- Augmented Reality for Scene Text Recognition, Visualization and Reading to Assist Visually Impaired People. (2022). *ELSEVIER*.
- Batterman, J. M., Martin, V. F., Yeung, D., & Walker, B. N. (2018). Connected cane: Tactile button input for controlling gestures of iOS voiceover embedded in a white cane. *Assistive Technology*.
- Dandona, L., & Dandona, R. (2006). Revision of visual impairment definitions in the International Statistical Classification of Disease. *BMC Med*, 4(10.1186/1741-7015-4-7), 2-3.
- Dynamics 365 Guides. (s.f.). What is augmented reality or AR.
- Edgar Herberto Medina-Sanchez. (2021). *An Interactive Model Based on a Mobile Application and Augmented Reality as a Tool to Support Safe and Efficient Mobility of People with Visual Limitations in Sustainable Urban Environments*. MDPI.
- Harris, C. (s.f.). *Atlassian*. Obtenido de <https://www.atlassian.com/es/agile/scrum/artifacts#:~:text=del%20scrum%20%C3%A1gil%3>

F-

,Los%20artefactos%20del%20scrum%20%20C3%A1gil%20son%20informaci%C3%B3n%20que%20un%20equipo,del%20rendimiento%20de%20un%20sprint.

Khan, I., Khusro, S., & Ullah, I. (2018). Technology-assisted white cane: Evaluation and future directions. *PeerJ*, 2-3.

Lee, D. K., In, J., & Lee, S. (2015). Standard deviation and standard error of the mean. *Korean J Anesthesiol*.

Liu, X., Sohn, Y.-H., & Park, D.-W. (2018). Application development with vuforia and unity 3D. *International Journal of Applied Engineering Research*.

Martiniello, N., & Wittich, W. (2022). The association between tactile, motor and cognitive capacities and braille reading performance: a scoping review of primary evidence to advance research on braille and aging. *Disabil Rehabil*, 2-3.

Medina-Sanchez, E. H., Mikusova, M., & Callejas-Cuervo, M. (2021). An interactive model based on a mobile application and augmented reality as a tool to support safe and efficient mobility of people with visual limitations in sustainable urban environments. *Sustainability (Switzerland)*, 3-7.

MEN. (2020). Orientaciones complementarias para la atención de estudiantes con discapacidad visual en el marco de la Educacion Superior Inclusiva. 8-10.

OBS Business School. (25 de Abril de 2021). *OBS Business School*. Obtenido de <https://www.obsbusiness.school/blog/las-5-etapas-en-los-sprints-de-un-desarrollo-scrum>

Ouali, I., Halima, M. B., & Wali, A. (2022). “Augmented Reality for Scene Text Recognition, Visualization and Reading to Assist Visually Impaired People. *Procedia Computer Science*, 5-8.

Pamuji, P., Andajani, S. J., & Sartinah, E. P. (2022). The implementation of mobile apps for visually impaired students’ mobility in undergraduate programme, Faculty of Education. *World Journal on Educational Technology: Current Issues*, 11-12.

Qr Corde. (s.f.). rMQR.

Solmaz. (2020). Likert scale: definition and how to use it. *Mentimeter*.

- SonarVision. (2023). *SonarVision*. Obtenido de <https://docs.sonarvision.fr/>
- United Nations. (2015). The Right to Education of Persons with Disabilities - Committee on Rights of Persons with Disabilities holds Day of General Discussion. *UNITED NATIONS HUMAN RIGHTS*.
- Unity. (28 de Febrero de 2018). *Unity Documentation*. Obtenido de <https://docs.unity3d.com/es/2018.4/Manual/vuforia-sdk-overview.html>
- Unity Technology. (2018). Unity 3D. *Unity Technology*.
- Valvo, A. L., Croce, D., Garlisi, D., Giuliano, F., Giarré, L., & Tinnirello, I. (2021). A Navigation and Augmented Reality System for Visually Impaired People. *Sensors (Basel)*, 4-7.
- Venugopal, G. (2015). *Indian J Sci Technol*.
- Virdaus, V. V., & Rifa'i, S. (2021). The Fluency of Oral Reading with Natural Reader Software. *Journal of Development Research*.
- Vuforia. (2017). Image Targets | Vuforia Library. *Vuforia Developer Library*.
- World Health Organization. (2019). World report on vision. *World Health Organization*.