

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE
REALIDAD AUMENTADA PARA ENTORNOS
IOT
DEVELOPMENT OF AN AUGMENTED REALITY
APPLICATION FOR IOT ENVIRONMENTS



TRABAJO FIN DE MÁSTER
CURSO 2022-2023

AUTOR
MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ LÓPEZ

DIRECTOR
JUAN ANTONIO RECIO GARCÍA
COLABORADOR
CARLOS GROSSOCORDON PÉREZ

CONVOCATORIA: JULIO 2023
CALIFICACIÓN: 9,8

MÁSTER EN INTERNET DE LAS COSAS
FACULTAD DE INFORMÁTICA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

DEDICATORIA

Dedicado a mi familia, por apoyarme en todo momento.

A Marina, por apoyarme en todo lo necesario.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mi tutor Juan Antonio Recio García por ayudarme durante el transcurso del proyecto y a la cátedra extraordinaria de BOSCH-UCM por proporcionarme todos los materiales necesarios para el desarrollo del proyecto.

Agradecer a Carlos Grossocordon Pérez de Robert Bosch España por ayudarme en la búsqueda de prácticas de empresa, aconsejarme y proporcionarme el espacio y materiales necesarios para el proyecto.

Agradecer a mi familia por haberme dado una buena educación, motivarme a seguir adelante cada día y aguantarme días en los que no podía hacerlo ni yo.

RESUMEN

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA PARA ENTORNOS IOT

Este trabajo de fin de máster presenta el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada para entornos IoT, concretamente para Smart Homes, con el objetivo de demostrar las posibilidades que nos puede ofrecer la realidad aumentada aplicada al ámbito del Internet de las Cosas. La aplicación desarrollada ofrece al usuario un entorno mediante el cual puede simular una casa inteligente e interactuar con los distintos dispositivos virtuales que ofrece.

En primer lugar, se investigaron diferentes dispositivos IoT de realidad aumentada existentes en el mercado para realizar el proyecto, se investigaron los distintos ámbitos relacionados con el internet de las cosas en cuanto a hogares inteligentes y las diversas librerías mediante las cuales se pueden realizar un desarrollo software. Con base en estas investigaciones, se ha diseñado y desarrollado una aplicación para las gafas de realidad aumentada Microsoft Hololens 2.

La aplicación permite a los usuarios superponer elementos virtuales sobre su entorno físico, ofreciendo una experiencia inmersiva y fácil de utilizar. A través de la aplicación, los usuarios pueden interactuar con los diversos dispositivos inteligentes y realizar acciones como ajustar la iluminación, controlar los electrodomésticos y acceder a la información de estos, todo ello de manera intuitiva mediante gestos, comandos visuales y de voz. Los resultados obtenidos muestran que la aplicación de realidad aumentada proporciona una forma innovadora de interactuar con los dispositivos IoT y sistemas de un hogar inteligente.

En conclusión, este proyecto demuestra el potencial de la realidad aumentada en el ámbito del Internet de las Cosas ofreciendo una solución innovadora para mejorar la experiencia de los usuarios a la hora de gestionar y controlar su entorno doméstico inteligente.

Palabras clave

Internet de las Cosas (IoT), Realidad Aumentada, Casas inteligentes, Desarrollo software, Realidad Mixta, Ciudades inteligentes.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF AN AUGMENTED REALITY APPLICATION FOR IOT ENVIROMENTS

This master's thesis presents the development of an augmented reality application for IoT environments, specifically for Smart Homes, with the aim of demonstrating the possibilities that augmented reality can offer us together with the field of the Internet of Things. The developed application offers the user an environment through which they can simulate a smart home and interact with the different virtual devices it offers.

In the first place, an investigation was carried out on the different augmented reality devices on the market to carry out the project, the different areas related to the Internet of Things in terms of smart homes and the various libraries through which they could be used to carry out software development. Based on these investigations, an application for Microsoft Hololens 2 augmented reality glasses was designed and developed.

The app allows users to overlay virtual elements on top of their physical environment, offering an immersive and easy-to-use experience. Through the app, users can interact with various smart devices and are allowed to perform actions such as adjust lighting, control home appliances and access information from them, all intuitively using gestures, visual and voice commands. The results obtained show that the augmented reality application provides an innovative way to interact with the devices and systems of a smart home.

In conclusion, this TFM demonstrates the potential of augmented reality in the field of the Internet of Things by offering an innovative solution to improve the user experience when it comes to managing and controlling their smart home environment.

Keywords

Internet of Things (IoT), Augmented Reality, Smart Home, Software Development, Mixed Reality, Smart Cities.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	III
Agradecimientos	V
Resumen.....	VII
Abstract	IX
Índice de contenidos	X
Índice de figuras	XIV
Índice de tablas.....	XVII
Capítulo 1 - Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Plan de trabajo	2
1.4 Estructura del documento	3
Capítulo 2 - Estado de la cuestión	5
2.1 ¿Qué es la Realidad Aumentada?	5
2.2 Investigación sobre gafas de Realidad Aumentada actuales	9
2.2.1 dynaEdge™ Smart Glasses	10
2.2.2 Google Glass Enterprise Edition 2	10
2.2.3 Nreal Light	11
2.2.4 Microsoft HoloLens2	12
2.2.5 Smartglasses Light Drive BML500P	12
2.2.6 Lenovo ThinkReality A3	13
2.2.7 Vuzix Blade Upgraded	13

2.2.8 Comparativa de las distintas gafas y elección final.....	14
2.3 Internet of Things.....	15
2.3.1 Smart Industry	16
2.3.2 Smart Cities	17
2.3.3 Smart Homes.....	18
2.4 Unity	19
2.5 Aplicación Industrial	20
2.6 Conclusión.....	22
Capítulo 3 - Planificación y recursos.....	23
3.1 Modelo de desarrollo iterativo	23
3.2 Kanban	24
3.3 Herramientas utilizadas	25
3.3.1 Audacity	25
3.3.2 Gimp.....	25
3.3.3 Blender	25
3.3.4 ESP Rainmaker	26
3.4 MRKT (Mixed Reality Toolkit 2) for Unity	28
3.5 Configuración del dispositivo de realidad aumentada.....	29
3.6 Configuración del proyecto de Unity	30
3.7 Pruebas iniciales.....	32
3.8 Conclusión.....	34
Capítulo 4 - Descripción funcional.....	35
4.1 Interfaz	35
4.1.1 Hand menú.....	35
4.1.2 Panel de dispositivos	36

4.1.3 Dispositivos	37
4.1.4 Simulación.....	39
4.2 Dispositivos.....	40
4.2.1 Luces	40
4.2.2 Electrodomésticos.....	41
4.2.3 Seguridad	42
4.2.4 Sensores	43
4.2.5 Temperatura	44
4.2.6 Exterior.....	45
4.2.7 Interior	46
4.2.8 Limpieza	47
4.3 Conclusión.....	47
Capítulo 5 - Implementación e Integración con la Smart Home.....	49
5.1 Explicación general del código front-end para la Realidad Aumentada.....	49
5.2 Repositorio del proyecto.....	50
5.3 Conexión del Backend IoT con la aplicación de Realidad Aumentada.....	50
5.4 Conclusión.....	54
Capítulo 6 - Conclusiones y trabajo futuro.....	55
Motivation	57
Objectives	58
Work Plan.....	59
Document Structure	60
Bibliografía.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Gráfico sobre el crecimiento de aplicaciones de Realidad Aumentada y Virtual.	6
Figura 2-2 Aplicación de realidad aumentada Pokémon Go.	7
Figura 2-3 Aplicación de Altermecnia.	8
Figura 2-4 Aplicación IKEA Place.	9
Figura 2-5 Gafas investigadas durante el proyecto.	10
Figura 2-7 Interfaz de la aplicación desarrollada en Bosch.	22
Figura 3-1 Diagrama de Gantt del proyecto.	24
Figura 3-2 Tablero del proyecto.	24
Figura 3-3 Esquema de conexión de RainMaker.	27
Figura 3-4 Desglose de MRKT.	28
Figura 4-1 Interfaz al mostrar la mano a cámara.	35
Figura 4-2 Panel de dispositivos mostrado en la aplicación.	36
Figura 4-3 Interfaz de objetos.	37
Figura 4-4 Menú individual de cada dispositivo.	37
Figura 4-5 Interfaz de configuración de las luces.	38
Figura 4-6 Interfaz de información.	38
Figura 4-7 Interfaz del ajuste de un dispositivo.	39
Figura 4-8 Interfaz de simulación.	40
Figura 4-9 Bombilla Inteligente de la aplicación.	40
Figura 4-10 Caldera eléctrica Inteligente de la aplicación.	41
Figura 4-11 Cámara de seguridad Inteligente de la aplicación.	42
Figura 4-12 Sensor BMA400 de la aplicación.	43
Figura 4-13 Unidad de Control de temperatura de la aplicación.	44

Figura 4-14 Aspersor Inteligente de la aplicación.	45
Figura 4-15 Altavoz Inteligente de la aplicación.	46
Figura 4-16 Robot Inteligente de la aplicación.....	47
Figura 5-1 Esquema comunicación entre la API y la aplicación.	51
Figura 5-2 Petición GET para obtener información de un dispositivo.	52
Figura 5-3 Petición POST para cambiar atributo de un dispositivo.	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Tabla Comparativa de las gafas investigadas	14
--	----

Capítulo 1 - Introducción

1.1 Motivación

El Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things) es un ámbito en constante crecimiento y desarrollo. Con el avance de la tecnología, es cada vez más común visualizar un futuro donde nuestros hogares se conviertan en entornos inteligentes y conectados. En este escenario, la Realidad Aumentada (RA) también se posiciona como una interfaz que puede ayudar y transformar nuestra manera de interactuar con los dispositivos. En este contexto, la motivación de este trabajo radica en investigar las posibilidades de aplicar RA en los hogares inteligente, demostrando como esta tecnología puede servir como interfaz y mejorar la experiencia del usuario y potenciar la eficiencia de los dispositivos IoT domésticos.

En los últimos años los dispositivos de realidad aumentada como las Smart Glasses han obtenido mejoras con respecto a sus versiones anteriores, esto ha provocado un aumento en el mercado y ha acercado a distintas empresas al ámbito de la realidad aumentada. Las empresas han comenzado a investigar y desarrollar nuevos modelos de negocio, así como aplicaciones basadas en estas tecnologías.

El trabajo se va a realizar con unas Smart Glasses cedidas por la Cátedra Extraordinaria BOSCH-UCM, las Microsoft Hololens 2. En estas gafas podemos ver una mejora significativa con respecto a su predecesora, contando con un campo de visión más amplio, una pantalla de mayor resolución, una cámara de seguimiento mejorada. También cuenta con un mejor diseño más cómodo y ergonómico, en cuanto al software ha mejorado la integración de aplicaciones de realidad aumentada y una mejor capacidad de procesamiento de gráficos.

1.2 Objetivos

El objetivo principal del proyecto es el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada para un entorno virtual IoT demostrando que esta tecnología puede resultar de utilidad para la interacción con ecosistemas del internet de las cosas. La aplicación se enfocará en aprovechar las capacidades de la realidad aumentada para mejorar la experiencia de los usuarios al interactuar con dispositivos y sensores conectados en un entorno de realidad aumentada. Con este proyecto, se busca demostrar que la combinación de IoT y realidad aumentada puede brindar beneficios significativos en diversos campos, como la *Smart industry*, las *Smart Cities* y las *Smart Homes*.

La aplicación consistirá en realizar una simulación interactiva de una casa inteligente o Smart House, mediante la aplicación el usuario podrá visualizar diferentes objetos virtuales en su entorno y colocarlos donde desee e interactuar con ellos. Estos elementos virtuales podrán ser desde sensores hasta muebles y aparatos inteligentes como electrodomésticos, bombillas, etc.

En cuanto objetivos específicos para el proyecto se encuentran los siguientes:

- Investigar las características y necesidades de interacción con los ecosistemas del Internet de las Cosas.
- Investigar las posibilidades de integración de la Realidad Aumentada como interfaz de interacción con los diversos dispositivos IoT que se pueden emplear en las *Smart Home*.
- Realizar un prototipo que permita la evaluación de las tecnologías implicadas y su aplicabilidad a los entornos IoT.

1.3 Plan de trabajo

Para lograr los objetivos mencionados en el apartado anterior, primero hay que realizar una investigación extensa en cuanto a la realidad aumentada y los distintos dispositivos existentes en el mercado con el objetivo de encontrar el más eficaz a la hora de desarrollar una aplicación. También se deberá investigar distintas aplicaciones de realidad aumentada existentes en el mercado para poder observar como de potente es la tecnología y que podemos desarrollar con ella.

Con una idea establecida sobre la realidad aumentada, las aplicaciones existentes en el mercado y los distintos dispositivos disponibles para desarrollar, se deberá investigar los distintos ámbitos del Internet de las Cosas más relacionados con el estilo de aplicación que se desea crear, en este caso el objetivo es desarrollar una aplicación para la simulación de una casa inteligente por lo que se investigará sobre Smart Industry, Smart Cities y, finalmente sobre Smart Home y todas las posibilidades que pueden ofrecer actualmente así como distintos sensores y aparatos inteligentes disponibles para éstos.

También se realizará una investigación sobre Unity y todas las características que puede ofrecer para la creación de aplicaciones de realidad aumentada, así como el kit de desarrollo software que nos ofrece Microsoft.

Por último, una vez realizados los distintos estudios se iniciará la fase de desarrollo e implementación de la aplicación. Esta última fase dará comienzo con la configuración del dispositivo escogido, así como distintas pruebas sobre la plataforma escogida con el objetivo de aprender a utilizar el kit de desarrollo MRTK (Mixed Reality Toolkit2), una vez analizado el potencial de las herramientas se comenzará el desarrollo de la aplicación final empleando un modelo de desarrollo iterativo hasta llegar al producto deseado.

1.4 Estructura del documento

El contenido de este documento se divide en los siguientes capítulos:

En el Capítulo 2 se describen las distintas investigaciones realizadas para el conocimiento de las tecnologías que se van a emplear durante el desarrollo de la aplicación. En concreto, se habla de la investigación de la realidad aumentada con un estudio de las aplicaciones actuales en el mercado, la investigación de distintas gafas inteligentes realizando una comparativa entre todas ellas, el estudio de los ámbitos del Internet de las Cosas más relacionados con la aplicación a desarrollar e información sobre el motor que se va a emplear y del kit de desarrollo utilizado en el proyecto.

En el Capítulo 3 se muestra la planificación que se ha realizado para llevar a cabo el proyecto, así como la metodología y herramientas empleadas para el desarrollo de la aplicación. También se muestra el proceso de configuración del dispositivo de

realidad aumentada escogido y las distintas pruebas iniciales que se han llevado a cabo para comprobar el correcto funcionamiento del dispositivo.

En el Capítulo 4 se muestra un video de la aplicación en uso y se describen las distintas funcionalidades de la aplicación, se muestran las distintas interfaces mediante las cuales puede interactuar el usuario y los distintos tipos de dispositivos que se encuentran dentro de la aplicación.

En el Capítulo 5 se divide en dos partes, en la primera se realizará una explicación general del código desarrollado durante el proceso de desarrollo, también se ofrece el repositorio con el código totalmente visible. En la segunda parte del capítulo también se describe una propuesta mediante la cual sería posible unir el dispositivo virtual generado a través de la aplicación con un dispositivo real en la casa del usuario, creando un "Digital Twin" o gemelo digital por medio de un backend.

Finalmente, en el Capítulo 6 se describe la conclusión después de haber realizado todo el proyecto, teniendo en cuenta los resultados obtenidos. También se discutirá sobre las posibles implementaciones que se podrían realizar en un futuro para ampliar y conseguir una mejora del proyecto.

Capítulo 2 - Estado de la cuestión

En este capítulo se describirán las distintas investigaciones realizadas y recursos empleados en el desarrollo del trabajo, así como una breve explicación de las herramientas seleccionadas para la creación de este.

2.1 ¿Qué es la Realidad Aumentada?

La Realidad Aumentada (RA) es una tecnología que permite superponer elementos virtuales sobre el mundo real a través de un dispositivo o conjuntos de dispositivos. Para ello se emplean distintos dispositivos como los teléfonos móviles, *tablets* o gafas [1].

Actualmente existen dos tipos de realidad aumentada: basada en marcadores y sin marcadores:

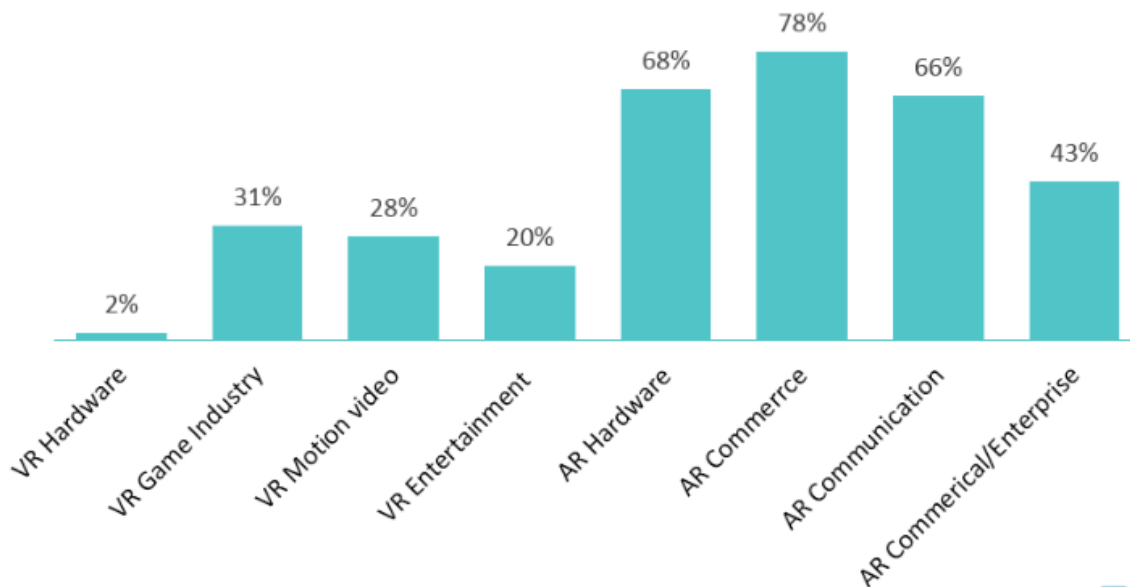
La realidad aumentada basada en marcadores [2] utiliza reconocimiento de imágenes para identificar objetos que ya están programados en la aplicación de realidad aumentada. Estos objetos pueden servir como puntos de referencia con el objetivo de determinar la posición y orientación de la cámara. Una vez que el dispositivo detecta este marcador ya es capaz de determinar matemáticamente la postura en la que se va a colocar la imagen virtual.

La realidad aumentada sin marcadores [2] resulta más difícil a la hora de desarrollar ya que no existe ningún enfoque para el dispositivo, es por esto por lo que el dispositivo debe reconocer los elementos que aparecen en la vista a través de distintos métodos como por ejemplo un algoritmo de reconocimiento, buscando patrones, etc. Una vez determinado el objeto ya es posible superponer las imágenes deseadas dentro del entorno en el mundo real gracias al uso del GPS, el acelerómetro y la información de la brújula.

Esta tecnología se encuentra en pleno crecimiento económico debido a sus múltiples usos en diferentes ámbitos y las diferentes mejoras realizadas a los dispositivos capaces de reproducirla. Según el informe de *Mordor Intelligence* [3] (Figura 2 - 1), se contempla un crecimiento del 68% en el desarrollo de hardware, un 78% en el uso de la

tecnología en el comercio, especialmente electrónico, un 66% en comunicación y un 43% en el área empresarial y comercial.

Growth of Various AR/VR Applications (%), Global (2020-2025)



Source: CitiBank



Figura 2-1 Gráfico sobre el crecimiento de aplicaciones de Realidad Aumentada y Virtual.

Según otro análisis de mercado por parte de *GrandViewResearch* [4], se espera que el mercado global de la realidad aumentada está estimado en 25 billones de dólares y se espera que siga expandiéndose con una componente anual de crecimiento del 40.9% desde 2022 a 2030. Además, se espera que la mejora de la tecnología en dispositivos portátiles como teléfonos inteligentes y *smart glasses* pueda brindar una experiencia más inmersiva y contribuyan al crecimiento del mercado.

Como se ha mencionado en el anterior apartado, la realidad aumentada actualmente se encuentra en pleno crecimiento, experimentando un aumento muy significativo en distintas áreas, incluyendo el entretenimiento, la educación, la industria, ámbito empresarial, el comercio electrónico y la publicidad.

Dentro de las áreas mencionadas podemos encontrar los siguientes ejemplos:

- **Entretenimiento:** existen juegos con realidad aumentada como el Pokémon Go (Figura 2-2) donde se emplea la tecnología para superponer personajes virtuales sobre el mundo real. Además, también existen aplicaciones que permiten la exploración de galerías de arte, museos y lugares turísticos.



Figura 2-2 Aplicación de realidad aumentada Pokémon Go.

- **Educación:** también se está empleando el uso en la educación con el objetivo de mejorar la experiencia de aprendizaje y crear nuevos métodos de enseñanza. Existen aplicaciones que permiten a los alumnos explorar sobre diferentes temas como, por ejemplo, con un modelo virtual del cuerpo humano, los planetas del sistema solar, etc.
- **Industria:** en la industria también se está empleando la realidad aumentada con principal objetivo de conseguir que los empleados consigan una mayor eficacia y rendimiento. Existen aplicaciones que

detectan errores en cadenas de montaje y fallos de fábrica en distintas piezas (Figura 2-3).

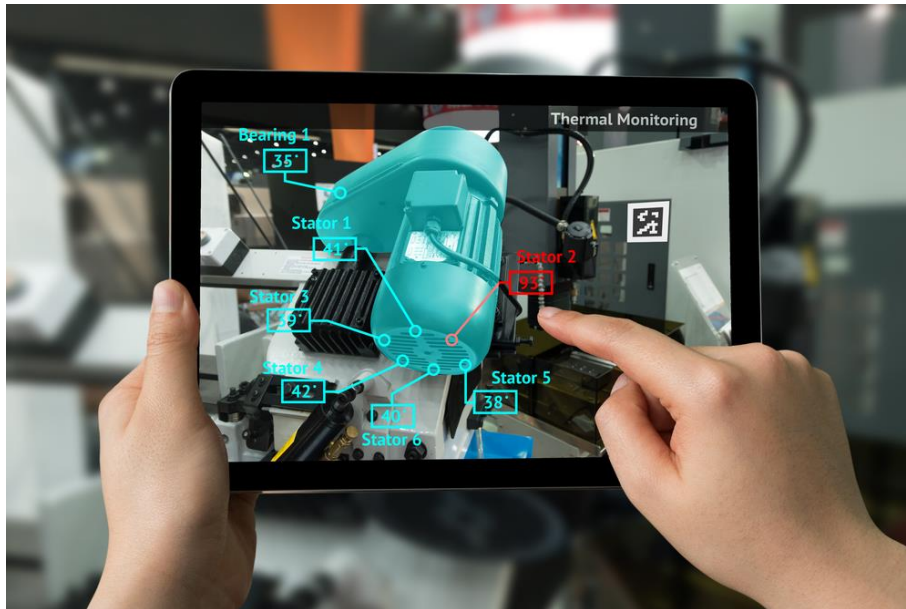


Figura 2-3 Aplicación de Altermecnia.

- **Empresarial:** en el ámbito empresarial se está haciendo uso de esta tecnología principalmente en videoconferencias, permitiendo a los usuarios realizar una llamada sin tener ningún dispositivo en las manos y pudiendo mostrar a las demás personas de la llamada distintos elementos como puede ser una presentación o un modelo virtual.
- **Comercio electrónico:** en cuanto al comercio electrónico algunas tiendas online ya están utilizando realidad aumentada permitiendo que los clientes puedan ver como se verían los diferentes productos en sus hogares, como por ejemplo ver como quedaría un sofá en el salón antes de comprarlo (Figura 2-4).



Figura 2-4 Aplicación IKEA Place.

- **Publicidad:** algunas empresas están utilizando la realidad aumentada en campañas publicitarias con el objetivo de crear experiencias interactivas que resulten más atractivas a los clientes. Por ejemplo, algunas marcas han desarrollado anuncios que junto a una aplicación de realidad aumentada permiten ver el producto de forma virtual.

2.2 Investigación sobre gafas de Realidad Aumentada actuales

Para el desarrollo del trabajo se ha realizado una investigación sobre las gafas de realidad aumentada actuales que existen en el mercado con el objetivo de escoger las más adecuadas para realizar el desarrollo de la aplicación. Durante la investigación se ha realizado un estudio de diversas gafas de realidad aumentada (Figura 2-5) y analizado sus puntos fuertes y características disponibles



Figura 2-5 Gafas investigadas durante el proyecto.

2.2.1 dynaEdge™ Smart Glasses

Las gafas de realidad aumentada de *dynaEdge* [5] son un dispositivo creado por Toshiba y están diseñadas principalmente para ayudar a los trabajadores de campo, profesionales de la industria y otros trabajadores a mejorar su productividad y eficiencia a la hora de realizar sus labores.

Estas gafas poseen una cámara integrada, un micrófono y un altavoz, estos elementos permiten al usuario tomar imágenes y videos o realizar llamadas sin la necesidad de usar las manos, el dispositivo cuenta con un procesador Intel Core de séptima generación lo que proporciona un gran rendimiento a la hora de ejecutar aplicaciones. Además, viene con un mando inalámbrico que permite interactuar con la pantalla sin tener que tocar el dispositivo.

2.2.2 Google Glass Enterprise Edition 2

Google Glass Enterprise 2 [6] es otro dispositivo de realidad virtual, es una versión mejorada de las *Google Glass* y están diseñadas específicamente para su uso en entornos empresariales y de fabricación. El dispositivo posee en el lateral un gestor táctil

para controlarlo mediante el cual detecta diferentes gestos como por ejemplo deslizar los dedos en horizontal y vertical, así como la pulsación. También es posible programar comandos por voz, realizar videoconferencias y escanear QR.

Una de las principales características de las gafas es que cuentan con un procesador *Qualcomm Snapdragon XR1*, lo que permite ejecutar aplicaciones muy potentes, así como 3GB de RAM y 32GB de almacenamiento interno. Otra característica que destacar es que disponen de Bluetooth y de la capacidad de conectarse a Internet a través de *Wi-Fi*, permitiendo a los usuarios a acceder a aplicaciones en línea.

Una de las ventajas principales de estas gafas es que disponen de una guía para desarrolladores muy detallada [7] en la cual explican todas las funcionalidades que se pueden implementar en las gafas, así como pequeños tutoriales y la posibilidad de comunicarse con el equipo de asistencia.

2.2.3 Nreal Light

Nreal Light [8] es el último dispositivo de realidad aumentada desarrollado por la empresa Nreal, son unas gafas ligeras que permiten al usuario ver elementos virtuales superpuestos en el mundo real. Estas gafas utilizan la tecnología SLAM¹ para rastrear la posición y el movimiento del usuario y conseguir superponer los elementos virtuales de una forma más precisa.

El dispositivo se conecta a un teléfono móvil mediante un cable USB-C, el móvil debe ser Android ya que actualmente no soporta otros sistemas. Cuenta con controles táctiles y de voz para interactuar con los elementos virtuales.

Nreal ha desarrollado su propia plataforma de realidad aumentada llamada Nreal SDK [9], esta plataforma permite a los desarrolladores crear aplicaciones más personalizadas para las gafas, así como poder probar aplicaciones creadas por otros usuarios. Además, también cuenta con su propia web para desarrolladores en la cual se pueden encontrar tutoriales de cómo utilizar la SDK y crear tus propias aplicaciones.

¹ SLAM: Simultaneous Localization and Mapping.

2.2.4 Microsoft HoloLens2

Las gafas HoloLens 2 son un dispositivo de realidad aumentada creado por Microsoft [10] y diseñado para ser usado en entornos empresariales y de desarrollo. Fueron lanzadas en 2019 y son una mejora con respecto a la versión original HoloLens.

Una de las características más destacadas de las gafas es el seguimiento ocular, que permite a los usuarios interactuar con los objetos digitales haciendo gestos o simplemente mirándolos. Además, en esta versión son más ligeras y cuenta con un sistema de enfriado para que los usuarios puedan estar usándolas durante periodos mayores de tiempo. Otra característica para destacar es que este dispositivo junto a los componentes del proyecto MRTK-Unity [11] permite el *hand tracking*, por lo que detecta la mano del usuario cuando esta delante de la cámara y permite que interactúe con los objetos virtuales.

Una de las ventajas que tiene el dispositivo es que Microsoft cuenta con una documentación muy extensa [12] y con varios ejemplos para comenzar los proyectos, además, las gafas soportan Unity y es posible desarrollar las aplicaciones sobre este motor de juego.

2.2.5 Smartglasses Light Drive BML500P

Las SmartGlasses Light Drive [13] son unas gafas inteligentes desarrolladas por la empresa de tecnología Bosch. Estas gafas incorporan un módulo de proyección en la patilla derecha que permite al usuario visualizar información. El dispositivo emplea una tecnología de proyección basada en láser que permite mostrar la información de alta calidad.

Las gafas están diseñadas para ser utilizadas en una amplia variedad de aplicaciones como, por ejemplo, la asistencia al trabajador en el sector industrial o mostrar productos al cliente final mediante realidad aumentada. Estas gafas se pueden controlar mediante gestos y comandos de voz.

Además, las gafas cuentan con herramientas que son programables como las herramientas de interfaz y el sistema de calibrado.

2.2.6 Lenovo ThinkReality A3

Las gafas de Lenovo ThinkReality [14] son un dispositivo de realidad aumentada diseñado para ser empleado en entornos empresariales, formación, asistencia remota, etc. Están diseñadas para ser compatibles con distintos dispositivos informáticos y móviles de Lenovo.

Este dispositivo también cuenta con una SDK llamada ThinkReality mediante la cual los desarrolladores pueden crear y administrar aplicaciones nuevas para posteriormente instalarlas en las gafas.

Uno de los puntos negativos de estas gafas es que tienen una enorme dependencia de equipos de Lenovo ya que son necesarios para poder descargar la SDK y probar lo que esta ofrece.

2.2.7 Vuzix Blade Upgraded

Las gafas Vuzix Blade Upgraded [15] son un dispositivo de realidad aumentada diseñadas para ser utilizadas en una amplia variedad de aplicaciones empresariales como la gestión de inventarios, la asistencia remota, la formación y la atención al cliente. Cuentan con una pantalla transparente que permite al usuario ver información digital superpuesta en un entorno real. Además, tienen conectividad Wi-Fi y Bluetooth lo que permite conectarse a aplicaciones en línea.

Una de las características principales es que tienen una buena capacidad de integración con aplicaciones empresariales existentes lo que permite a los empleados mejorar la eficiencia y precisión en sus tareas.

Vuzix cuenta con un centro para desarrolladores [16] donde se pueden encontrar distintos ejemplos de código, así como las últimas notas de lanzamiento de los dispositivos disponibles para el desarrollo.

2.2.8 Comparativa de las distintas gafas y elección final

Especificación	dynaEdgeTM	Google Glass Enterprise Edition 2	Nreal Light	Microsoft Hololens 2	Lenovo ThinkReality A3	Vuzix Blade Upgraded
Precio	2000\$	1000\$	1200\$	3500\$	1800\$	800\$
Resolución	1280x720	640x360 por ojo	1080x1080	2048x1080	1080p	720p
Campo de visión(FOV)	30 grados	20 grados	52 grados	52 grados	40 grados	40 grados
Peso	290g	46g	106g	566g	130g	89g
CPU	Intel Core	Qualcomm Snapdragon XR2	Qualcomm Snapdragon XR2	Qualcomm Snapdragon 850	Qualcomm Snapdragon XR2	Qualcomm Snapdragon XR1
RAM	6GB	3GB	6GB	4GB	6GB	2GB
Almacenamiento Interno	128GB	32GB	64GB	64GB	128GB	64GB
Conectividad	Wi-Fi, Bluetooth	Wi-Fi, Bluetooth, LTE, USB-C	Wi-Fi, USB-C, BT 5.0	Wi-Fi, Bluetooth	Wi-Fi, USB-C, BT	Wi-Fi, Micro USB, BT 4.2
Duración batería	6 Horas	8 Horas	3 Horas	3 Horas	2 Horas	2 Horas

Tabla 2-1. Tabla Comparativa de las gafas investigadas²

En la Tabla 2-1 se pueden observar las especificaciones de las distintas gafas investigadas para el desarrollo del trabajo, cada una tiene sus puntos fuertes y puntos débiles. Entre los mejores dispositivos podemos destacar las Google Glass Enterprise 2 con un peso de 46g, 6GB de RAM y 128GB de almacenamiento y también las Hololens2 con una resolución de 2048x1080, los 52 grados de campo de visión, 4GB de RAM y la CPU Snapdragon 850.

Finalmente, las gafas elegidas para el desarrollo del proyecto han sido las Microsoft HoloLens 2 gracias a la ayuda de la cátedra extraordinaria Bosch-UCM. Los motivos por los que se ha escogido este dispositivo son los siguientes:

- **Proyecto MRKT-Unity** [11]: es un proyecto controlado por Microsoft que proporciona un conjunto de componentes y características para acelerar el desarrollo de aplicaciones multiplataforma en Unity. Además, gracias a

² Fuente: Elaboración propia.

este proyecto es posible emplear Hand-Tracking y tener la capacidad de interactuar con los elementos virtuales con nuestras manos.

- **Extensa documentación:** Microsoft cuenta con una gran cantidad de información sobre el desarrollo de aplicaciones para las HoloLens 2 así como diferentes ejemplos y la ayuda para la creación rápida de prototipos.
- **Buenas especificaciones:** el dispositivo HoloLens2 cuenta con unas buenas especificaciones capaces de ejecutar aplicaciones de alto rendimiento.
- **Experiencia previa en Unity:** debido a proyectos anteriores, se cuenta con experiencia en el desarrollo en el motor Unity por lo que la curva de aprendizaje para las aplicaciones de realidad aumentada será menor.
- **Emulador:** Microsoft cuenta con un emulador de las gafas HoloLens2 lo que permite probar versiones y comprobar su funcionamiento previamente de instalarlas en el dispositivo real.

2.3 Internet of Things

El Internet of Things (IoT) [17], o el Internet de las Cosas en español, se refiere a la interconexión de dispositivos físicos que se conectan a Internet y que pueden comunicarse entre sí y con otros sistemas informáticos. Estos dispositivos pueden ser desde bombillas, electrodomésticos hasta sensores industriales y vehículos.

La idea detrás del IoT es que estos dispositivos pueden recopilar y compartir datos entre sí y con los sistemas informáticos en tiempo real sin la necesidad de la intervención humana, esto permite una mayor eficiencia y automatización en una variedad de industrias y aplicaciones, como la agricultura, la salud, la fabricación, etc.

El sector del Internet de las Cosas lleva varios años en constante crecimiento y se espera que siga creciendo mucho más, las empresas han comenzado a crear numerosos productos y servicios IoT. Los campos de aplicación para el IoT son muy numerosos y diversos, una de las áreas más destacadas en la industria, también conocida como '*Smart Industry*', donde existe el desarrollo de sistemas de producción

inteligentes. Otro de los campos más utilizados son las *Smart Cities* o ciudades inteligentes, donde se pueden realizar numerosos proyectos, desde recoger datos sobre temperatura, contaminación humedad en distintos puntos de la ciudad, hasta detección de las entradas a la ciudad más concurridas, gasto de luz por las distintas secciones de la ciudad, etc. [18]

2.3.1 Smart Industry

La Smart Industry, también conocida como Industria 4.0 [19], es un término que se utiliza para describir una nueva revolución industrial, que implica la integración de tecnologías digitales avanzadas en los procesos industriales y de producción. La Smart Industry implica la utilización de tecnologías como el IoT, la inteligencia artificial, la robótica, la realidad aumentada y la impresión 3D para mejorar la eficiencia, la productividad y la flexibilidad de las operaciones industriales.

Algunas de las aplicaciones más comunes de la industria inteligente incluyen la optimización y automatización de los procesos de producción, así como la monitorización en tiempo real de las máquinas, también existe su uso en la identificación de problemas de manera anticipada, etc.

Entre distintos ejemplos existentes actualmente de la Smart Industry se pueden encontrar los siguientes:

- La empresa Ford [20] utiliza realidad aumentada para crear prototipos virtuales de vehículos y para ayudar en el proceso de diseño. Los diseñadores pueden visualizar modelos de vehículos 3D en tiempo real y hacer cambios en el diseño.
- La empresa de fabricación Airbus [21] utiliza la realidad aumentada para inspeccionar las alas de los aviones durante su producción y es posible ver información virtual sobre las especificaciones de la pieza lo que permite detectar problemas de calidad.
- En cuanto a agricultura, la empresa John Deere [22] emplea sensores de IoT para ayudar a los agricultores a tomar decisiones sobre el uso de sus

tierras para conseguir la información necesaria para decidir cuándo regar los cultivos de manera óptima.

2.3.2 Smart Cities

Las Smart Cities, o ciudades inteligentes [23], son aquellas que utilizan tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, así como la eficiencia de los servicios urbanos. Entre estas tecnologías tenemos el Internet of Things, *Data Science* e Inteligencia Artificial, entre otros.

Dentro de las características comunes que nos ofrecen las ciudades inteligentes se encuentran las siguientes:

- **Conectividad:** están interconectadas a través de redes de comunicación que permiten la recopilación de datos en tiempo real y la comunicación.
- **Sostenibilidad:** se enfocan en el desarrollo sostenible y la reducción de la huella de carbono. Esto puede incluir el uso de energías renovables, la promoción del transporte público, el fomento de la eficiencia energética en edificios y la gestión eficiente de los recursos naturales.
- **Participación ciudadana:** promueven la participación ciudadana y la colaboración en el diseño y la implementación de políticas y servicios urbanos. Esto puede incluir el uso de herramientas digitales para involucrar a los ciudadanos en la toma de decisiones y la creación de soluciones urbanas.
- **Eficiencia en la gestión de servicios urbanos:** utilizan tecnologías avanzadas para optimizar la gestión de servicios urbanos. Esto puede mejorar la eficiencia de los servicios, reducir costes y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.
- **Innovación:** fomentan la innovación y la creatividad en el desarrollo de soluciones urbanas.

Entre los distintos ejemplos sobre Smart cities tenemos Barcelona, que es una ciudad líder en la implementación de estas tecnologías, posee un sistema de

iluminación inteligente que utiliza sensores y análisis de datos para ajustar los niveles de iluminación en función del tráfico peatonal y las condiciones meteorológicas, gracias a ello, la ciudad ha conseguido reducir su consumo de energía [24].

2.3.3 Smart Homes

Los Smart Homes, también conocidos como hogares inteligentes [25], son viviendas que incorporan dispositivos y sistemas electrónicos generalmente conectados a internet y capaces de ser controlados de forma remota y automatizada. Estos dispositivos pueden ser de distintos tipos como, por ejemplo, luces, termostatos, electrodomésticos, cámaras de seguridad, etc.

Algunas de las características y tecnologías comunes en una Smart Home son las siguientes:

- **Control de iluminación:** Permite a los usuarios controlar las luces de la casa a través de dispositivos móviles o por comandos de voz. Es posible programar horarios para encender o apagar las luces, así como ajustar la intensidad o el color de la iluminación.
- **Control de temperatura:** Los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado pueden ser controlados y programados de manera remota. Esto permite ahorrar energía al ajustar la temperatura según las necesidades y horarios de los residentes.
- **Seguridad:** Las Smart Homes suelen tener sistemas de seguridad avanzados, como cámaras de vigilancia, sensores de movimiento, cerraduras inteligentes y alarmas conectadas a una red centralizada. Estos sistemas pueden ser monitoreados y controlados desde cualquier lugar, lo que brinda tranquilidad a los propietarios.
- **Electrodomésticos inteligentes:** Los electrodomésticos como refrigeradores, lavadoras, secadoras, hornos y aspiradoras pueden estar conectados a la red de la casa y controlados a través de una aplicación o comandos de voz. Algunos electrodomésticos incluso pueden realizar

automáticamente pedidos de reposición de productos o ajustar su funcionamiento según las necesidades del usuario.

- **Control de multimedia:** Los sistemas de entretenimiento en el hogar, como televisores, sistemas de sonido y dispositivos de transmisión, pueden estar integrados en una Smart Home. Esto permite controlarlos de forma centralizada y acceder a contenido multimedia desde cualquier habitación.
- **Gestión energética:** Las Smart Homes pueden ofrecer opciones para monitorear y controlar el consumo de energía de los dispositivos del hogar. Esto ayuda a los residentes a tomar decisiones más informadas sobre cómo utilizar la energía de manera eficiente y reducir los costos.
- **Asistentes virtuales:** Los asistentes virtuales como Amazon Alexa, Google Assistant o Apple Siri pueden integrarse en una Smart Home para controlar los dispositivos mediante comandos de voz. Estos asistentes también pueden proporcionar información útil, como el pronóstico del tiempo o responder preguntas generales.

En general, el principal objetivo de una *Smart Home* es ofrecer un mayor nivel de comodidad, seguridad y eficiencia energética permitiendo que los usuarios puedan controlar y automatizar varios aspectos de su hogar a través de la tecnología.

Uno de los ejemplos de hogar inteligente lo podría ofrecer Bosch [26], que ofrece diferentes herramientas para poder hacer que tu casa se convierta en un hogar inteligente ofreciendo una aplicación que puede administrar diferentes dispositivos como, por ejemplo, una cámara de seguridad, una cafetera, una nevera, luces, termostato, etc.

2.4 Unity

Unity [27] principalmente es un motor de videojuegos multiplataforma, muy popular entre los desarrolladores gracias a la gran cantidad de herramientas y funcionalidades que aporta, así como su versatilidad para el desarrollo de diferentes géneros de videojuegos. También cuenta con una comunidad muy activa por lo que

gran cantidad de desarrolladores comparten sus componentes para que otras personas puedan utilizarlos, existe un foro donde solucionan distintos problemas que pueden surgir, etc. Además, Unity cuenta con una tienda de recursos para el desarrollo que pueden ser tanto de pago como gratuitos.

En sus inicios fue un motor de desarrollo de videojuegos, pero en la actualidad se ha convertido en la plataforma líder, junto a Unreal Engine [28], para crear y operar contenido interactivo en tiempo real. Este motor se emplea actualmente para el desarrollo de videojuegos, aplicaciones, aplicaciones de realidad aumentada, realidad virtual incluso en simulaciones industriales.

Unity emplea el lenguaje C# para el scripting debido a que este lenguaje controla el manejo de la memoria automáticamente y gracias a esto evita fugas de memoria o memory leaks³.

Finalmente, en cuanto a las licencias de Unity, los desarrolladores y empresas que no facturen más de 75.000€ al año tienen las licencias de Unity gratuitas. Después, cuenta con varios planes de pago dependiendo de la amplitud del proyecto que se quiera desarrollar.

2.5 Aplicación Industrial

Como se ha mencionado en apartados anteriores, uno de los ámbitos donde se están desarrollando aplicaciones de Realidad Aumentada es la industria, en este caso pude colaborar con la empresa Bosch durante mis prácticas de empresa y tuve el objetivo de desarrollar dicha aplicación.

Durante esta colaboración con Bosch, se colaboró en el desarrollo de una aplicación de Realidad Aumentada (RA) utilizando las gafas Microsoft HoloLens 2 (Figura 2-7). El objetivo principal fue la creación de un software que pudiera ser utilizado para instruir y capacitar a nuevos operarios en las diversas funciones de la máquina ST40. La combinación de la RA con las gafas HoloLens 2 nos permitió ofrecer a los usuarios una

³ Una fuga de memoria es un error de software que ocurre cuando un bloque de memoria reservada no es liberado.

experiencia inmersiva y práctica, donde los elementos virtuales se superponían a la máquina real, proporcionando instrucciones visuales y guías interactivas.

La aplicación desarrollada presentaba modelos tridimensionales detallados de la máquina ST40, con animaciones y elementos visuales que destacaban las partes esenciales y su funcionamiento. Además, implementamos información contextual y procedimientos paso a paso para asegurarnos de que los operarios comprendieran correctamente cada tarea y pudieran realizarla de manera eficiente y segura. La interacción con la aplicación se llevaba a cabo a través de comandos de voz y gestos, lo que permitía a los usuarios mantener las manos libres mientras seguían las instrucciones y realizaban las tareas necesarias.

Esta aplicación demuestra ser un enfoque innovador a la hora de la capacitación de los operarios y pretende ser altamente efectivo ya que brinda la oportunidad de aprender de manera práctica y directa sin necesidad de depender de un supervisor, además de minimizar los posibles errores que se cometan durante el aprendizaje.

Por último, este ejemplo ha resultado muy útil para el desarrollo del proyecto ya que se ha podido observar el interés que tienen las grandes empresas como Bosch en innovar con esta tecnología y de cómo la tecnología de la Realidad Aumentada como interfaz puede brindar beneficios significativos a la hora de optimizar los procesos en el entorno industrial.

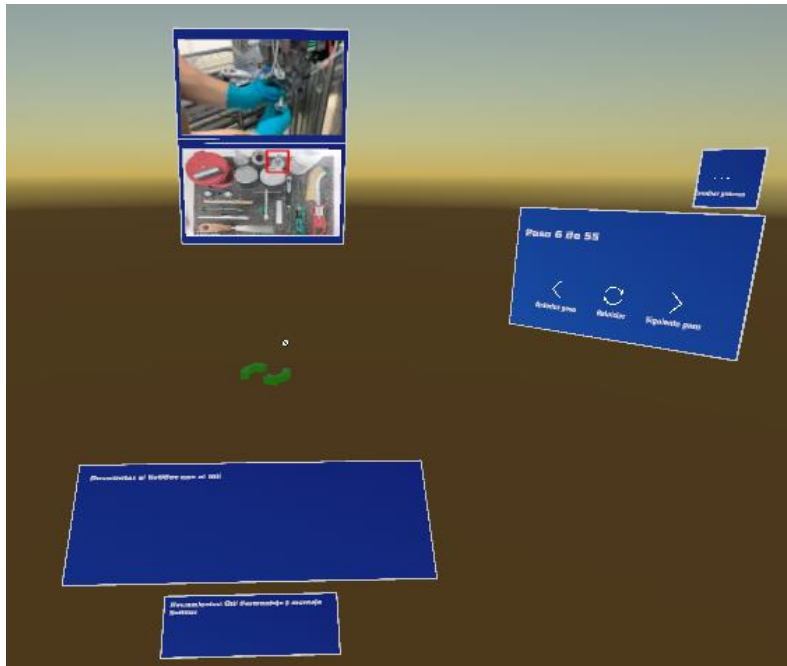


Figura 2-6 Interfaz de la aplicación desarrollada en Bosch.

2.6 Conclusión

En este capítulo se han visto reflejadas las distintas investigaciones que se han llevado a cabo para el desarrollo del proyecto. Se han revisado diversas fuentes bibliográficas que abordan la temática en cuestión permitiendo una visión global del campo de estudio y se ha observado que el uso de la realidad aumentada en entornos de Smart Home y dispositivos IoT está en constante evolución, ofreciendo nuevas posibilidades y soluciones para mejorar la interacción y la experiencia del usuario.

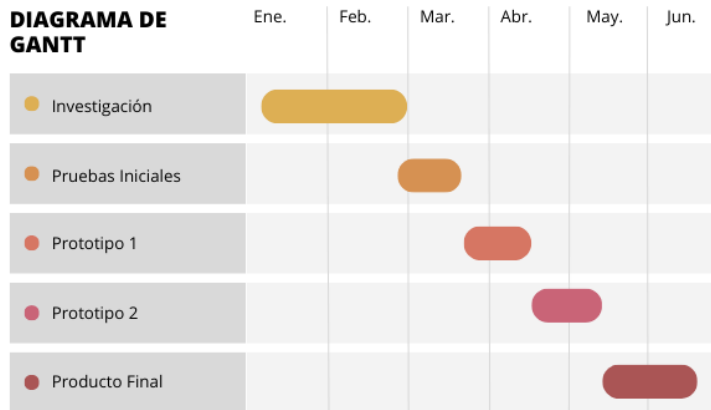
Capítulo 3 - Planificación y recursos

En este capítulo se describirá la metodología empleada para el desarrollo y el sistema Kanban [29], un sistema que consiste en controlar el avance del trabajo y tener el proceso del proyecto a través de tarjetas, se mostrarán las distintas herramientas empleadas en la organización y generación del contenido de la aplicación. También se describirá el proceso de configuración de las gafas de realidad aumentada seleccionadas y se realizará una explicación del proceso de creación de un proyecto en Unity. Finalmente, se mostrará la ejecución de varias pruebas iniciales probando los distintos controles y funciones que nos ofrece el dispositivo.

3.1 Modelo de desarrollo iterativo

El modelo de desarrollo escogido para el desarrollo del proyecto ha sido el modelo de desarrollo iterativo. Este modelo es una evolución del clásico modelo de desarrollo en cascada y está basado en tres ideas principales: entregar un prototipo inicial en el menor tiempo posible, realizar pequeñas iteraciones que aporten beneficios al proyecto y repetir los mismos pasos durante cada una de las iteraciones.

Las ventajas que proporciona este modelo son diversas, comenzando por la reducción del riesgo que se puede asumir ya que si existe algún impedimento en el desarrollo se puede solventar de una manera más fácil en la siguiente iteración. Otra de las ventajas es que permite que las partes más complicadas se diluyan en pequeñas partes menos complejas. Además, como el proyecto se va desarrollando por iteraciones (Figura 3-1), el conocimiento sobre la aplicación va creciendo progresivamente.



3.2 Kanban

Figura 3-1 Diagrama de Gantt del proyecto.

Kanban es un método para gestionar el trabajo que surgió en *Toyota Production System* en el que la producción se basa en la demanda de los clientes y no en la práctica tradicional de fabricar los productos e intentar venderlos en el mercado. El objetivo principal es crear más valor para el cliente sin generar más gastos [30].

La palabra Kanban viene del japonés y significa tarjeta con signos. El tablero (Figura 3-2) más básico de Kanban está compuesto por tres columnas: “Por hacer”, “En proceso” y “Hecho”. Aunque también se puede añadir otras columnas como: “Pruebas”, “Integración” como se ha realizado en el proyecto.

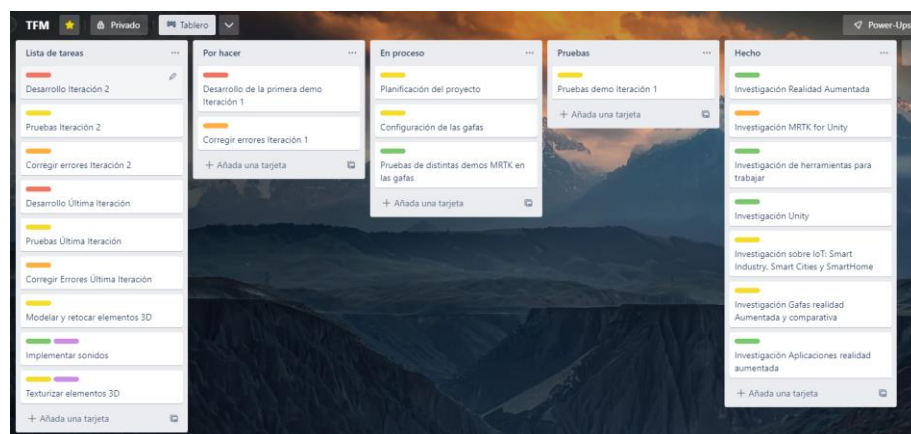


Figura 3-2 Tablero del proyecto.

3.3 Herramientas utilizadas

3.3.1 Audacity

Audacity [31] es un software de código abierto de edición y grabación de sonido digital, es un programa totalmente gratuito. Actualmente se encuentra disponible para Windows, MacOs, Linux y sistemas operativos similares a Unix.

Una de las características del programa es el procesamiento de todo tipo de archivos de audio, con la posibilidad de añadir distintos efectos sonoros. En el proyecto se utilizará para procesar los distintos sonidos que producirá la aplicación.

3.3.2 Gimp

Gimp [32] es otro software gratuito y de código abierto utilizado principalmente para la edición de fotos, se encuentra disponible para Linux, MacOs y Windows. Este software es muy potente y cuenta con una gran cantidad de herramientas, además al ser un programa de código abierto, los usuarios pueden crear extensiones que añaden funcionalidades extras o descargar extensiones creadas por otros usuarios.

En el proyecto se va a emplear este programa para la creación diferentes texturas de los elementos virtuales que aparecen en la aplicación.

3.3.3 Blender

Blender [33] es un software gratuito de código abierto de gráficos 3D, el programa dispone de una gran cantidad de herramientas que permiten la creación de animación, efectos visuales y modelado 3D entre otras cosas.

Este software, al ser un programa de código abierto también es posible utilizar extensiones creadas por la comunidad, además también permite customizar la interfaz y conectar con la API⁴ de render de Blender. En el proyecto se va a emplear esta

⁴ Application Programming Interface (API) o interfaz de programación de aplicaciones, permite la comunicación entre dos sistemas o plataformas diferentes, permitiendo agregar diversas funciones a sitios web y aplicaciones.

herramienta para la creación de los elementos virtuales que van a aparecer en la aplicación como, por ejemplo, bombillas o electrodomésticos.

3.3.4 ESP Rainmaker

ESP RainMaker es una plataforma de desarrollo y gestión diseñada por Espressif Systems, una compañía líder en soluciones de conectividad IoT. Esta plataforma tiene como objetivo simplificar y acelerar el proceso de desarrollo de dispositivos inteligentes y su integración en la nube.

ESP RainMaker ofrece una serie de ventajas y beneficios a los desarrolladores y fabricantes de dispositivos IoT. En primer lugar, simplifica el proceso de desarrollo al proporcionar herramientas y servicios que aceleran la creación de aplicaciones y funcionalidades. Los desarrolladores pueden aprovechar las bibliotecas y componentes predefinidos de la plataforma para agilizar el proceso de desarrollo.

Además, ESP RainMaker permite una gestión centralizada de los dispositivos IoT. Los fabricantes pueden utilizar la plataforma para administrar y controlar sus dispositivos de manera eficiente. La plataforma permite realizar actualizaciones de firmware de forma remota, gestionar la configuración y monitorizar el rendimiento de los dispositivos en tiempo real.

La plataforma también facilita la comunicación con servicios en la nube como por ejemplo Amazon Web Services (AWS) y la interacción con otros dispositivos y aplicaciones mediante protocolos estándar como MQTT. Otra de las ventajas que nos ofrece la plataforma es la seguridad y privacidad de los dispositivos que conectemos, ya que ofrece mecanismos de autenticación y encriptación, así como una infraestructura segura para la comunicación entre la nube y los dispositivos (Figura 3-3).

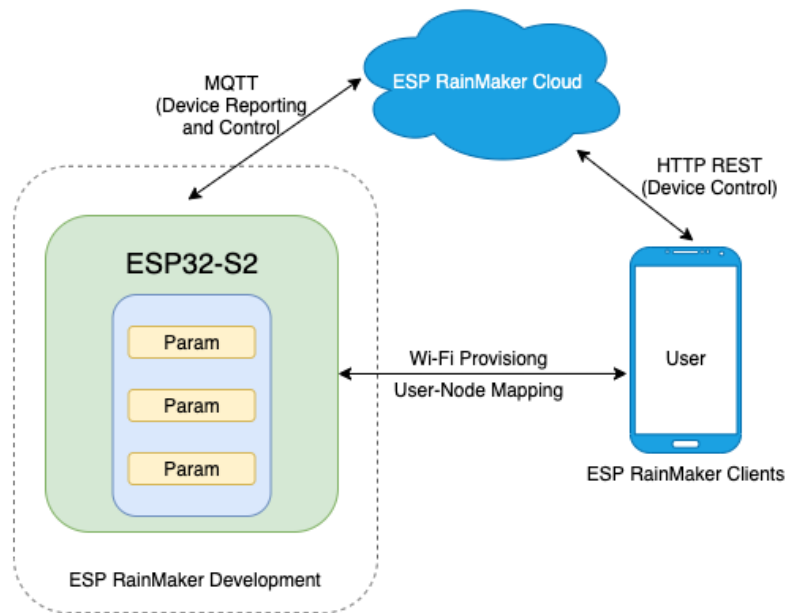


Figura 3-3 Esquema de conexión de RainMaker

ESP RainMaker también proporciona una API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) que permite a los desarrolladores interactuar con la plataforma y realizar diversas operaciones de gestión y control. La API de ESP RainMaker permite a los usuarios realizar tareas como registrar dispositivos, configurar la conectividad Wi-Fi, gestionar la autorización y autenticación de usuarios, controlar dispositivos conectados y acceder a datos y eventos generados por los dispositivos.

La API de ESP RainMaker se basa en estándares abiertos como RESTful y nos proporciona endpoints bien definidos y documentados en su página web ([API Definitions for RainMaker Backend Service](#)). Esto hace que sea una herramienta poderosa para la creación de soluciones personalizadas y la integración con otros sistemas ya que permite a los desarrolladores ampliar las funcionalidades de sus dispositivos IoT, interactuar con ellos de forma remota y aprovechar la plataforma ESP RainMaker para crear aplicaciones y servicios innovadores.

3.4 MRKT (Mixed Reality Toolkit 2) for Unity

MRKT Unity [11] es un proyecto controlado por Microsoft que proporciona una serie de herramientas para acelerar el desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada y Realidad Mixta en Unity.

Este SDK⁵ proporciona un conjunto de componentes y características (Figura 3-4) como por ejemplo un sistema de entrada multiplataforma y bloques de creación para realizar las diferentes interacciones con los objetos virtuales y la interfaz de usuario.

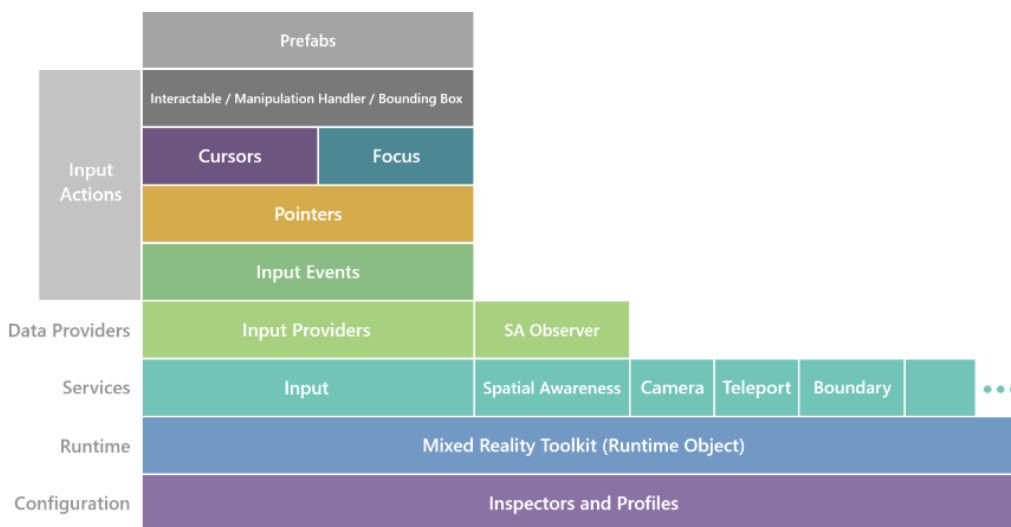


Figura 3-4 Desglose de MRKT

MRTK permite distintos sistemas de entrada para realizar acciones dentro de la aplicación como por ejemplo a través de las manos con diferentes gestos, por voz o por medio de eventos de entrada como podría ser apuntar con la cámara a un lugar concreto.

Las gafas Microsoft HoloLens 2 permiten junto a la librería realizar Hand Tracking empleando los controladores DOF⁶ del dispositivo. En Unity la mano la detectará como un conjunto de formas geométricas primitivas como se muestra en la Figura 2 – 7, la palma de la mano y el índice tienen una especial importancia (Figura 3-5) ya que se necesitan para realizar la mayoría de las acciones.

⁵ SDK: Kit desarrollo software (Software Development Kit)

⁶ Profundidad del terreno (Depth of field)

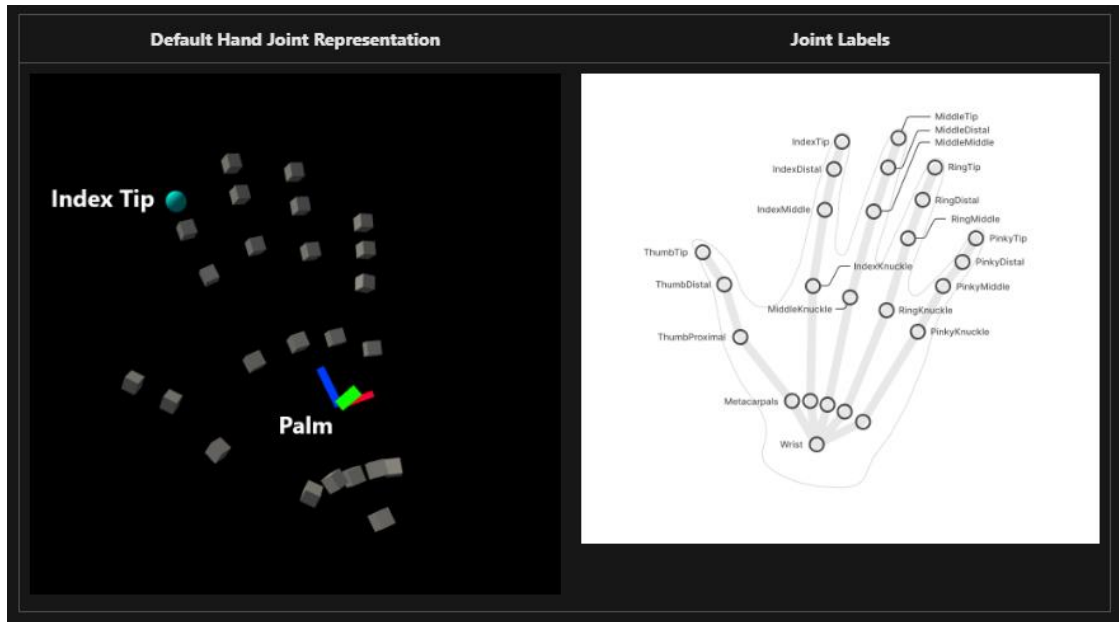


Figura 3-5 Representación de la mano en Unity.

3.5 Configuración del dispositivo de realidad aumentada

El proceso de configuración de las gafas de realidad aumentada no resulta complicado debido a que para realizar la conexión con el ordenador se ha empleado el puerto USB. El primer paso es acceder Actualizaciones y Seguridad a través del menú de configuración del dispositivo y seleccionar la opción Para Desarrolladores en el menú lateral (Figura 3-6).

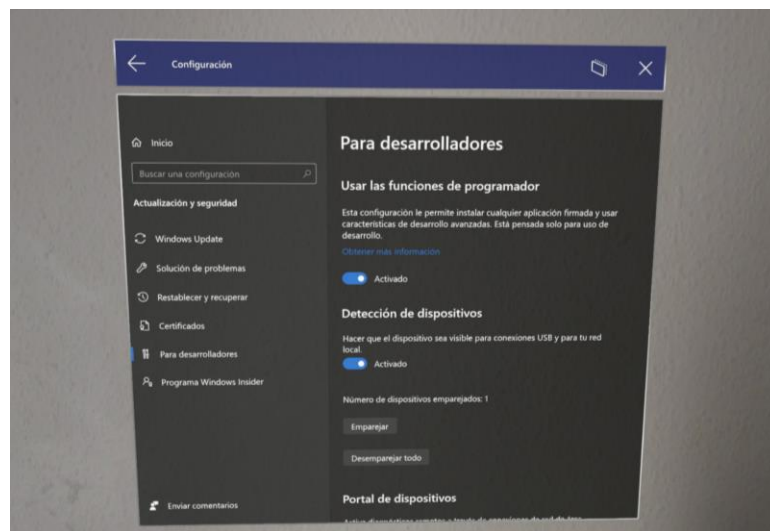


Figura 3-6 Menú Para desarrolladores de las Hololens2.

En este menú se debe activar las dos primeras opciones, usar las funciones de programador y detección de dispositivos.

En el segundo paso se deberá emparejar el dispositivo con el ordenador a través de Visual Studio, la primera vez que se requiere conectar las gafas para poder compilar y enviar la aplicación aparecerá una ventana en Visual Studio pidiendo un código para conseguir emparejar el dispositivo (Figura 3-7), este código se consigue desde las Hololens2 haciendo clic en el botón emparejar del menú Para desarrolladores.

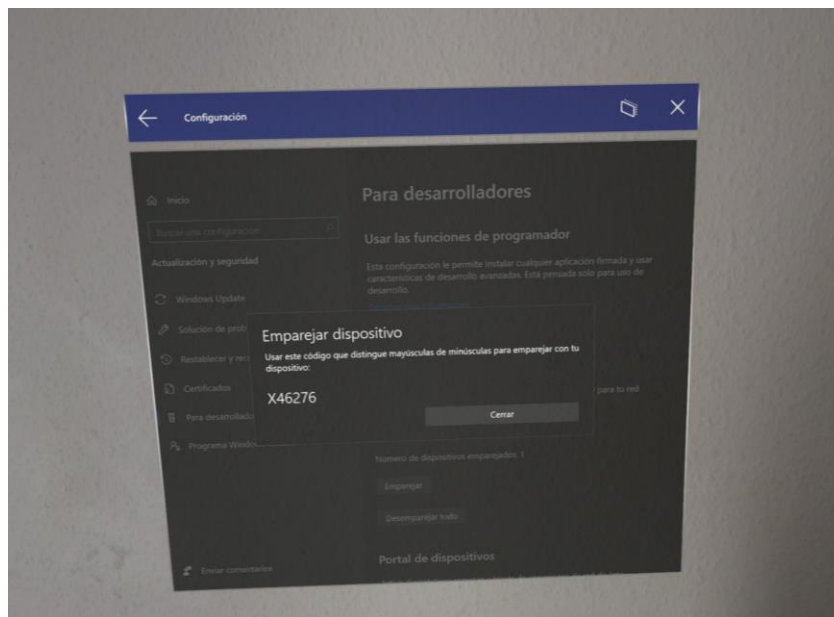


Figura 3-7 Emparejar dispositivo desde las Hololens2.

Una vez introducido el código, el proceso de emparejamiento del dispositivo es completado y es posible realizar la instalación de la aplicación desarrollada en el dispositivo de realidad aumentada. Todo el proceso se debe realizar únicamente la primera vez que se realice la conexión con Visual Studio.

3.6 Configuración del proyecto de Unity

La configuración del proyecto de Unity es un proceso de mayor dificultad que el apartado anterior debido a que para el desarrollo es necesario reproducir exactamente el entorno recomendado por Microsoft ya que cualquier cambio en una versión puede producir como resultado que el proyecto no compile. Para el desarrollo de la aplicación se ha empleado la versión de Unity 2021.3.17 ya que es compatible con el MRKT2 aportado por Microsoft.

El primer paso que se debe realizar será la creación de un proyecto de Unity, el proyecto usará la plantilla "3D Core" que ofrece el motor al seleccionar *New Project*. Una vez creado el proyecto se tendrá que cambiar la configuración de este en *Build Settings* (Figura 3-8) y se deberá cambiar la plataforma de desarrollo a *Universal Windows Platform*, finalmente se tendrá que seleccionar la opción *Architecture* y poner *ARM64*.

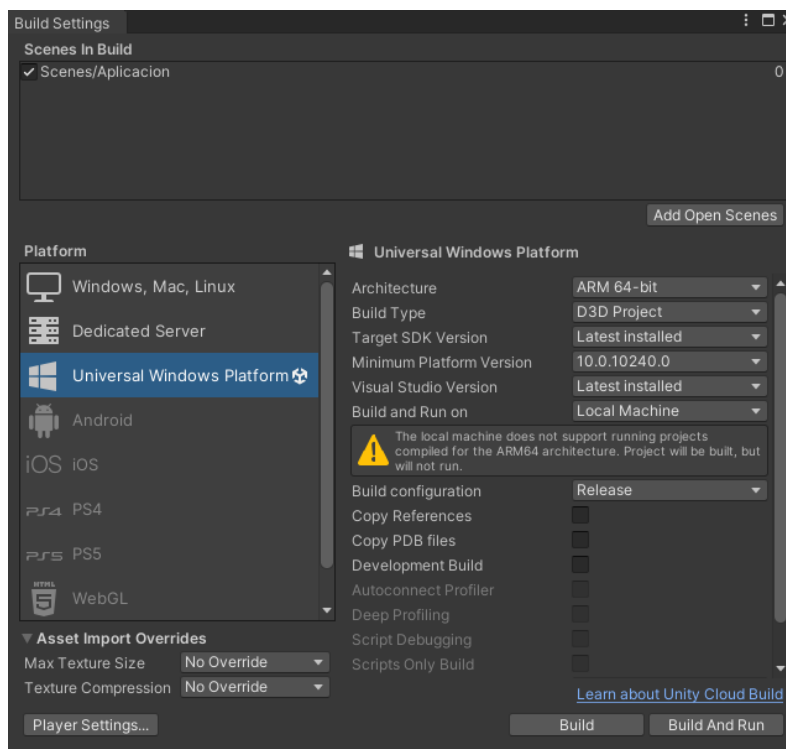


Figura 3-8 Menú *Build Settings* en Unity.

Una vez realizados estos pasos se debe descargar la aplicación *MixedRealityFeatureTool* [34] que se puede encontrar en la documentación de MRTK2, esta aplicación permite importar a Unity todos los paquetes necesarios para el desarrollo. Después de importar todos los paquetes en Unity aparecerá un menú para la configuración de un proyecto con MRTK2 (Figura 3-9), se deberán seguir los distintos pasos de este menú para conseguir una configuración correcta para el desarrollo de la aplicación.

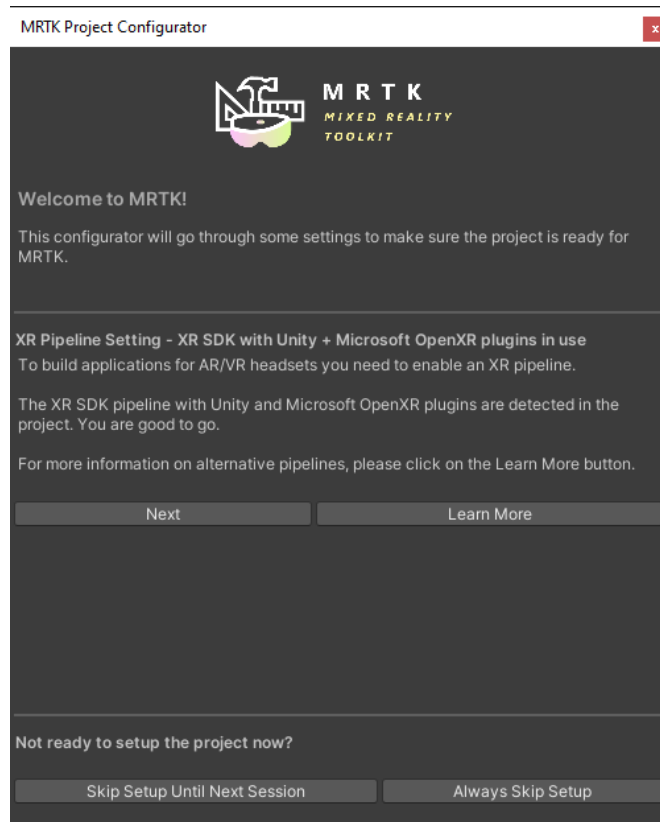


Figura 3-9 Menú de configuración del proyecto MRTK de Unity.

Por último, se debe configurar Unity en el menú *Edit > Preferences* para que el entorno de desarrollo integrado sea Visual Studio y se puedan realizar diversas acciones en este como depurar, ejecutar la aplicación y programar scripts.

3.7 Pruebas iniciales

Para la realización de las primeras demos de la aplicación se han empleado varios ejemplos aportados por Microsoft, gracias a estos ejemplos es posible observar con mayor detalle los elementos que nos ofrece el kit de desarrollo MRTK2 y analizar el comportamiento de los distintos scripts que nos permiten, por ejemplo, mover objetos empleando las manos, seleccionar comandos a través de comandos de voz y crear interfaces interactivas.

La primera demo que se ha analizado ha sido uno de los ejemplos más sencillos que aporta la librería (Figura 3-10), en esta pequeña aplicación muestra como mover objetos con las manos y las distintas formas de mover los objetos. También se muestra las

distintas configuraciones que se pueden añadir a los objetos móviles como, por ejemplo, la rotación, la eliminación y el escalado de estos.

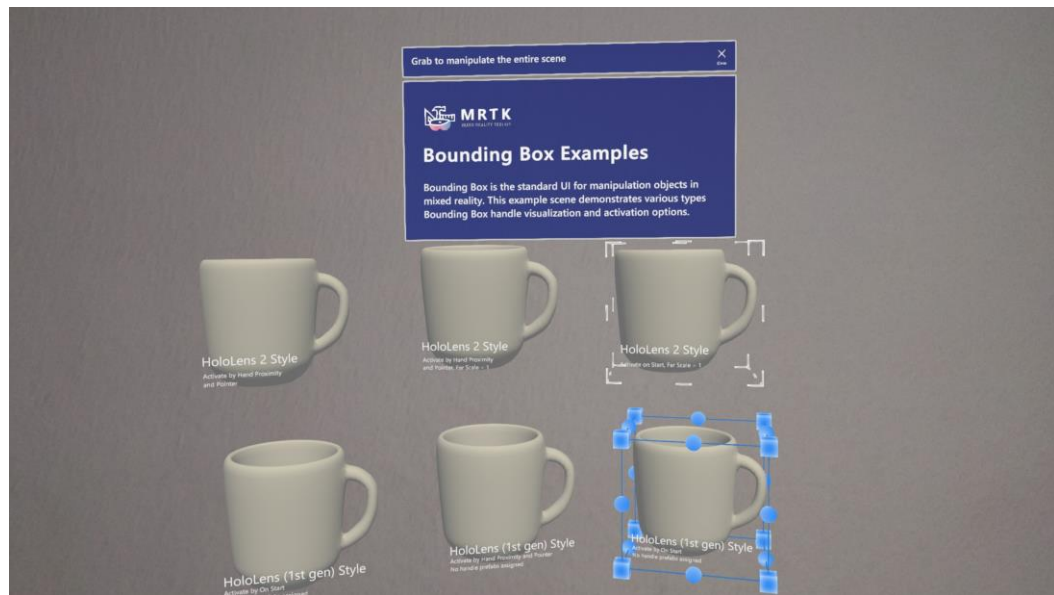


Figura 3-10 Demo de Bounding Box.

La segunda demo analizada ha sido un ejemplo de creación de interfaces debido a que va a ser uno de los elementos fundamentales a la hora de realizar el proyecto, se trata de una aplicación en la que se muestran distintos menús e interfaces, así como diversas formas de crear botones y que se pueda interactuar los distintos elementos en las escenas como, por ejemplo, las teclas de un piano, pulsadores modelos 3D, etc.



Figura 3-11 Demo de elementos interactivos.

Por último, se ha analizado una demo global (Figura 3-11) en la que se podía acceder desde la aplicación a diversos ejemplos, mediante esta aplicación se ha podido investigar la creación de distintos estilos de interfaces como menús que aparecen cuando muestras la palma de la mano. En la aplicación también se han descubierto distintas funciones que nos permite el kit de desarrollo como, por ejemplo, la posibilidad de hacer que el texto se reproduzca también por audio y la selección interacción de elementos de la interfaz únicamente mediante el seguimiento de los ojos.

3.8 Conclusión

En este capítulo se ha abordado la planificación, los recursos y pruebas necesarias para la implementación del proyecto. Se ha analizado la importancia de la planificación y se ha presentado la metodología empleada, así como las herramientas y recursos utilizados en el desarrollo. También se ha mostrado la configuración del proyecto además de las pruebas iniciales necesarias para comprobar que dicha arquitectura era válida y funcional.

Capítulo 4 - Descripción funcional

En este capítulo se describirán las distintas funcionalidades del proyecto, incluyendo las distintas interfaces que existen en la aplicación, los distintos tipos de dispositivos inteligentes implementados y como interactuar con ellos, así como los controles generales y comandos mediante los cuales utilizar la aplicación.

A continuación, se muestra un enlace mediante el cual se puede observar un video mostrando el funcionamiento completo de la aplicación. Este video ha sido grabado mediante las gafas Microsoft Hololens 2:

- [Video TFM](#)

4.1 Interfaz

4.1.1 Hand menú

Para abrir el menú principal, el usuario debe apuntar hacia la cámara del dispositivo con la palma de su mano. Una vez detectada aparecerá un menú (Figura 4-1) con tres opciones: Dispositivos, Simulación y Salir.



Figura 4-1 Interfaz al mostrar la mano a cámara.

Si el usuario clicca el botón de dispositivos con su dedo aparecerá delante de él un panel con los distintos tipos de dispositivos existentes en la aplicación. El botón de simulación hará que aparezca la interfaz que nos permite simular el entorno de la casa inteligente y disparar distintas alertas. Por último, al hacer clic sobre el botón de salir aparecerá una ventana emergente para confirmar si queremos salir de la aplicación.

4.1.2 Panel de dispositivos

El panel de dispositivos (Figura 4-2) muestra al usuario los distintos tipos de dispositivos que existen dentro de la aplicación a través de una interfaz circular donde cada botón representa un tipo.



Figura 4-2 Panel de dispositivos mostrado en la aplicación.

Cuando el usuario clicca cualquiera de los botones del panel de dispositivos, se abrirá un menú que contiene los dispositivos del tipo clicado. Mediante esta interfaz (Figura 4-3) se pueden invocar los objetos virtuales al entorno, para ello se debe clicar el dispositivo que se desee crear.



Figura 4-3 Interfaz de objetos.

4.1.3 Dispositivos

Los dispositivos invocados en el entorno disponen de un menú mediante el cual se pueden realizar distintas acciones sobre dicho dispositivo (Figura 4-4), estas acciones son las siguientes: configuración, información, ajustar y eliminar.



Figura 4-4 Menú individual de cada dispositivo.

El botón de configuración abrirá el menú de configuración para el dispositivo, mediante este menú es posible alterar las distintas características del objeto, así como configurarlo para la activación de manera automática cuando se cumplan las condiciones asignadas. Cada tipo de dispositivo dispone de una configuración distinta,

adaptada a sus parámetros y características concretas. También es posible abrir el menú de configuración (Figura 4-5) observando el dispositivo y diciendo “Confi”.



Figura 4-5 Interfaz de configuración de las luces.

El botón de información abrirá un panel en el cual se muestra información (Figura 4-6) sobre el dispositivo y sus distintas características. Cada dispositivo contiene su propia información y características. También es posible abrir el menú de información observando el dispositivo y diciendo “Info”.



Figura 4-6 Interfaz de información.

El botón de ajustar permite modificar el tamaño del dispositivo y escalarlo (Figura 4-7). Esta acción solo está disponible en algunos dispositivos como las luces y algunos sensores.



Figura 4-7 Interfaz del ajuste de un dispositivo.

Por último, el botón de eliminar sirve para borrar el dispositivo virtual del entorno.

4.1.4 Simulación

El menú de simulación es la interfaz mediante la cual se pueden cambiar las condiciones del entorno virtual, es posible cambiar la etapa del día en la que nos encontramos (mañana, tarde, noche), cambiar la temperatura, así como simular diversas condiciones que pueden ser alertadas por los dispositivos como, por ejemplo, la detección de movimiento, la mala calidad del aire o la detección de gases volátiles en el ambiente.



Figura 4-8 Interfaz de simulación.

4.2 Dispositivos

4.2.1 Luces

El primer tipo de dispositivos inteligentes que existe en la aplicación son las luces, existen varios modelos y simulan el comportamiento de las bombillas inteligentes (Figura 4-9). En la configuración de estos dispositivos es posible cambiar el color de la bombilla, el brillo de esta y podemos establecer cuando queremos que la luz se encienda de forma automática dentro de las etapas del día de la simulación del entorno (mañana, tarde y noche).



Figura 4-9 Bombilla Inteligente de la aplicación.

4.2.2 Electrodomésticos

El segundo tipo de dispositivos inteligentes que existe en la aplicación son los electrodomésticos (Figura 4-10), en la aplicación hay diversos dispositivos de este tipo entre ellos calderas y un frigorífico. En la configuración de estos dispositivos es posible cambiar el modo de funcionamiento a Eco, Normal o Ultra y debido al modo de funcionamiento se indica el consumo correspondiente del dispositivo a lo largo del tiempo.



Figura 4-10 Caldera eléctrica Inteligente de la aplicación.

4.2.3 Seguridad

El tercer tipo de dispositivos inteligentes implementados en la aplicación son los dispositivos de seguridad, en la aplicación podemos encontrar una cámara de seguridad (Figura 4-11) que hará pitar una alarman cuando detecte a un intruso. Mediante el menú de configuración es posible indicar en que momentos del día se encuentra activo el dispositivo.



Figura 4-11 Cámara de seguridad Inteligente de la aplicación.

4.2.4 Sensores

El cuarto tipo de dispositivos inteligente implementados en la aplicación son los sensores (Figura 4-12). Estos dispositivos simulan cajas con los respectivos sensores montados dentro de estas. Estos dispositivos funcionan junto al menú de simulación, si se detecta alguna alerta como, por ejemplo, la detección de gases volátiles y el sensor de gases se encuentra en el entorno, este alertará mediante un pitido del peligro de dichos gases.



Figura 4-12 Sensor BMA400 de la aplicación.

4.2.5 Temperatura

El quinto tipo de dispositivos inteligentes desarrollados en la aplicación han sido los de control de temperatura (Figura 4-13). Dentro de estos dispositivos podemos encontrar aires acondicionados y unidades de control para las casas inteligentes. Desde el menú de configuración de estos dispositivos es posible establecer el modo de activación (Auto o manual) así como la temperatura a la que queremos que se encuentre el entorno digital, es decir, si desde el menú de simulación subimos la temperatura e invocamos un aire acondicionado y le ajustamos la temperatura deseada, el entorno irá disminuyendo la temperatura hasta la deseada.



Figura 4-13 Unidad de Control de temperatura de la aplicación.

4.2.6 Exterior

El sexto tipo de dispositivos inteligentes desarrollados en la aplicación han sido los de exterior. Dentro de estos dispositivos se puede encontrar un aspersor inteligente (Figura 4-14). Desde el menú de configuración es posible encenderlo y apagarlo, así como configurar el dispositivo para que se active de manera automática en el momento del día del usuario que desee.



Figura 4-14 Aspersor Inteligente de la aplicación.

4.2.7 Interior

El séptimo tipo de dispositivos inteligentes implementados en la aplicación han sido distintos elementos de interior como, por ejemplo, un altavoz programable (Figura 4-15) o unas cortinas. Estos dispositivos se pueden configurar para que se activen de manera automática en el momento del día que el usuario desee.



Figura 4-15 Altavoz Inteligente de la aplicación.

4.2.8 Limpieza

Por último, el octavo tipo de dispositivos inteligentes desarrollados para la aplicación han sido los elementos de limpieza. Dentro de este apartado se pueden encontrar robots inteligentes de limpieza (Figura 4-16). Mediante el menú de configuración es posible programar estos dispositivos para que se activen de forma automática en el momento del día deseado por el usuario.



Figura 4-16 Robot Inteligente de la aplicación.

4.3 Conclusión

En este capítulo se ha presentado un video de la aplicación desarrollada y se ha realizado una descripción funcional del proyecto. Se han identificado las principales funciones y características del sistema, así como las diversas interfaces que constituyen la aplicación. También se han mostrado los diversos tipos de dispositivos inteligentes que se han implementado durante el desarrollo y las posibles configuraciones que se pueden establecer en cada uno de estos tipos de dispositivos.

Capítulo 5 - Implementación e Integración con la Smart Home

En la primera parte de este capítulo se describirá brevemente las decisiones tomadas para el desarrollo del código de la aplicación, explicando los distintos tipos de scripts creados, aportando el repositorio de GitHub que contiene el código del proyecto. En la segunda parte del capítulo se presentará una propuesta de conexión entre los dispositivos virtuales generados y los dispositivos reales a través de un backend, creando lo que se conoce como un "Digital Twin" o "Gemelo Digital". Esta propuesta busca permitir una interacción completa con los dispositivos a través de las gafas de realidad aumentada, de modo que cualquier acción realizada en la interfaz virtual también tenga un efecto directo en el objeto real.

5.1 Explicación general del código front-end para la Realidad Aumentada

El código de la aplicación está desarrollado totalmente en C#, los scripts⁷ desarrollados están divididos en dos tipos: *Controllers* y *Configuration*.

Los scripts *controllers* son aquellos que se han desarrollado como manejadores de toda la aplicación y en su código se implementan las funciones para controlar el comportamiento de la aplicación. Dentro de estos scripts encontramos los siguientes:

- Menu Controller: Script que controla el comportamiento de los distintos menús, como mostrar/ocultar, así como el tipo de configuración que se debe mostrar dependiendo del objeto seleccionado.
- Info Controller: Script que controla la interfaz de información, lee un fichero JSON asociado a cada dispositivo y muestra sus características.

⁷ Script: Término usado en programación para hablar de los fragmentos de código utilizados.

- Configuration Controller: Script que controla la interfaz de configuración, poniendo todos los parámetros del dispositivo correctamente en el menú de la configuración.
- Game Controller: Script que controla el comportamiento de la aplicación, como, por ejemplo, el cierre de la aplicación.
- Object Controller: Script que controla la creación y eliminación de los distintos dispositivos en el entorno virtual.
- Simulation Controller: Script que controla toda la lógica de la simulación del hogar inteligente, contiene una lista de todos los dispositivos invocados y gestiona todo lo necesario para que los dispositivos funciones correctamente en su forma automática.

Los scripts *Configuration* son aquellos que se adjuntan a los dispositivos y guardan la información actual de estos, existe un script por cada tipo de dispositivo, en total 8, y en ellos se realiza la lógica de cada objeto, por ejemplo, los sensores tienen un led que parpadea cada 3 segundos, este parpadeo se gestiona mediante su script de configuración.

5.2 Repositorio del proyecto

El código del proyecto está subido a un repositorio de Github y es posible visualizarlo en cualquier momento a través del siguiente enlace:

- <https://github.com/BOSCH-UCM/RA-IoT>

5.3 Conexión del Backend IoT con la aplicación de Realidad Aumentada

El objetivo principal de esta propuesta es establecer una conexión entre el mundo virtual y el mundo real mediante la plataforma de ESP RainMaker. Esta plataforma actuará de Backend mientras que la aplicación desarrollada realizará la

función de interfaz mediante la cual se puedan enlazar dispositivos reales a los dispositivos virtuales creados a través de la aplicación.

La conexión del backend con ESP RainMaker permite generar un gemelo digital del dispositivo simulado en el entorno de realidad aumentada con su contraparte real. El gemelo digital es una representación virtual del dispositivo físico, que replica su funcionamiento y estado en tiempo real. Esta conexión bidireccional permite sincronizar las acciones realizadas en la aplicación de realidad aumentada con los dispositivos reales, lo que proporciona una experiencia más inmersiva y realista para los usuarios.

Para dicha conexión se utilizará la API que nos aporta ESP RainMaker, mediante esta interfaz de programación podremos comunicarnos con el backend enviando mensajes para cambiar el estado del dispositivo como por ejemplo encenderlo y apagarlo, así como recibir mensajes del estado de los distintos dispositivos y sus respectivas configuraciones.

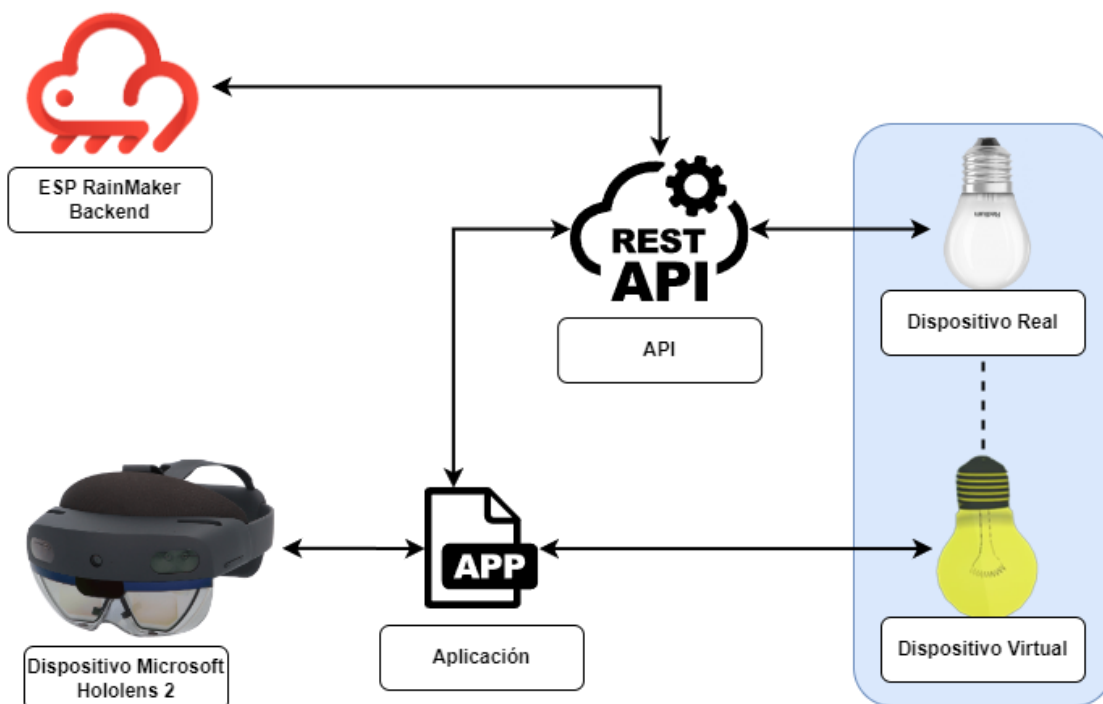


Figura 5-1 Esquema comunicación entre la API y la aplicación⁸.

⁸ Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5-3 se puede observar el esquema realizado para esta propuesta, de manera que el usuario puede interactuar con la aplicación realizada, esta aplicación podrá comunicarse con la API RESTful de RainMaker. Mediante esta comunicación la aplicación podrá tanto recibir mensajes de la API y el dispositivo real como enviar mensajes sobre el dispositivo virtual y todos los cambios que se realicen en este para que se vean reflejados en su gemelo.

Para la conexión de la aplicación con la API de ESP RainMaker primero necesitamos un token de autenticación que nos aportará el acceso a nuestros dispositivos a través del API. Para ello hay que acceder al dashboard que nos ofrece RainMaker y solicitarlo. Además, desde este panel se pueden añadir los distintos dispositivos reales que queremos conectar a nuestra aplicación.

Una vez se ha realizado este paso tendremos que revisar las distintas peticiones que permite realizar el API y desarrollar el código necesario para realizar las distintas peticiones creando un cliente HTTP. Se quiere realizar una petición GET para saber la información de un dispositivo, esto se realizaría en C# de la siguiente manera:

```
//URL base de la API de Rainmaker
string rainmakerBaseUrl = "https://api.rainmaker.espressif.com";
//token de acceso de Rainmaker
string accessToken = "TOKENPRIVADO";
//identificador del dispositivo (En nuestro caso una bombilla)
string deviceId = "BombillaLed1";
// Crea un cliente HTTP
using (var client = new HttpClient())
{
    // Configura el encabezado de autorización
    client.DefaultRequestHeaders.Add("Authorization", $"Bearer {accessToken}");

    try
    {
        // Realiza una solicitud GET para obtener información del dispositivo
        HttpResponseMessage response = await client.GetAsync($"{rainmakerBaseUrl}/devices/{deviceId}");

        if (response.IsSuccessStatusCode)
        {
            string responseBody = await response.Content.ReadAsStringAsync();

            // Aquí tendríamos la respuesta, que consistiría en un JSON con la información
            Console.WriteLine(responseBody);
        }
        else
        {
            Console.WriteLine($"Error en la solicitud: {response.StatusCode}");
        }
    }
    catch (Exception ex)
    {
        Console.WriteLine($"Error en la solicitud: {ex.Message}");
    }
}
```

Figura 5-2 Petición GET para obtener información de un dispositivo.

Como se observa en la Figura 5-2, esta sería la forma de comunicarse con la API, si los datos son correctos, nos devolverá la respuesta a la petición. Todos los datos y posibles respuestas se encuentran en la página web de la interfaz de programación ([API Definitions for RainMaker Backend Service](#)).

Si queremos realizar una petición POST (Figura 5-3) tendremos que realizar el mismo proceso, mirando todos los datos necesarios en la API. A continuación, se muestra cómo se realizaría este tipo de petición para cambiar la intensidad de una bombilla a 25:

```
//URL base de la API de Rainmaker
string rainmakerBaseUrl = "https://api.rainmaker.espressif.com";
//token de acceso de Rainmaker
string accessToken = "TOKENPRIVADO";
//identificador del dispositivo (En nuestro caso una bombilla)
string deviceId = "BombillaLed1";
string postData = "{\"Intensidad\": \"25\"}"; // Datos que queremos introducir
// Crea un cliente HTTP
using (var client = new HttpClient())
{
    // Configura el encabezado de autorización
    client.DefaultRequestHeaders.Add("Authorization", $"Bearer {accessToken}");

    try
    {
        // Realiza una solicitud POST para enviar los datos al dispositivo
        HttpResponseMessage response = await client.PostAsync($"{rainmakerBaseUrl}/devices/{deviceId}"
            , new StringContent(postData, Encoding.UTF8, "application/json"));

        // Verifica el código de estado de la respuesta
        if (response.IsSuccessStatusCode)
        {
            Console.WriteLine("Solicitud POST exitosa");
        }
        else
        {
            Console.WriteLine($"Error en la solicitud: {response.StatusCode}");
        }
    }
    catch (Exception ex)
    {
        Console.WriteLine($"Error en la solicitud: {ex.Message}");
    }
}
```

Figura 5-3 Petición POST para cambiar atributo de un dispositivo.

5.4 Conclusión

En la primera parte del capítulo se ha descrito las distintas partes del código implementado, así como los distintos tipos de scripts desarrollados y las funciones que estos desempeñan durante el transcurso de la aplicación. También se ha aportado el repositorio del proyecto donde se incluyen los scripts para poder visualizarlos y examinarlos de una forma más exhaustiva. En la segunda parte del capítulo se ha descrito una propuesta para la conexión entre el dispositivo virtual y un dispositivo real de las mismas características. Esta conexión se podría realizar a través de un backend al que se puede contactar mediante una API.

Capítulo 6 - Conclusiones y trabajo futuro

Este trabajo de Fin de Máster se ha centrado en el proceso de desarrollo de una aplicación de realidad aumentada que simula un entorno IoT, en concreto, la simulación de una casa inteligente o *Smart Home* con el propósito de aplicar la realidad aumentada en el ámbito del internet de las cosas y demostrar que con esta tecnología es posible desarrollar software capaz ayudar a la evolución del IoT.

Dicha aplicación se ha desarrollado en el motor Unity para el dispositivo Microsoft HoloLens 2. A lo largo del proyecto se ha analizado la tecnología de la realidad aumentada, así como los distintos ámbitos del IoT: *Smart Industry*, *Smart Cities* y *Smart Homes*, la librería de desarrollo de Microsoft para aplicaciones de realidad aumentada MRKT y el motor de Unity para el desarrollo de aplicaciones con esta tecnología.

Los resultados obtenidos muestran que el proceso de desarrollo ha sido exitoso, logrando la creación de una aplicación funcional. Además, esta aplicación ha sido diseñada teniendo en cuenta diversos principios de usabilidad y accesibilidad permitiendo crear una interfaz intuitiva y fácil de usar.

Durante el desarrollo de la aplicación han surgido diversos desafíos y limitaciones. Entre las limitaciones identificadas se encuentra el uso de nuevas tecnologías debido a que no existe tanto conocimiento y se deben desarrollar nuevas soluciones para los distintos problemas que puedan surgir durante el desarrollo de la aplicación. Sin embargo, se ha conseguido realizar un proyecto completamente funcional con la capacidad de ser mejorado y ampliado en un futuro.

Para un trabajo futuro sería posible mejorar la aplicación creando un Backend⁹ que almacene los dispositivos generados virtualmente y se puedan unir al dispositivo físico una vez que este se adquiera. Creando una especie de Gemelo Digital o *Digital Twin* que permitiese al usuario configurar el dispositivo físico a través de las gafas y se pudiese revisar toda la información y características de dicho objeto.

⁹ Backend: parte de una aplicación informática que se encarga del procesamiento y almacenamiento de datos, así como de la lógica y funcionalidad.

En conclusión, este trabajo de Fin de Máster ha permitido el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada para un entorno IoT que cumple con los objetivos establecidos inicialmente y se espera que esta aplicación pueda ser mejorada e implementada en situaciones reales, brindando una herramienta valiosa y facilitando el proceso de transformación de una casa en un hogar inteligente con todas sus ventajas.

Finalmente, se espera que este proyecto inspire a otros académicos y profesionales a seguir investigando y desarrollando soluciones innovadoras en este ámbito, contribuyendo al avance tecnológico.

Chapter - Introduction

Motivation

The Internet of Things (IoT, Internet of Things) is an area in constant growth and development. With the advancement of technology, it is increasingly common to envision a future where our homes become smart and connected environments. In this scenario, Augmented Reality (AR) is also positioned as an interface that can help and transform our way of interacting with devices. In this context, the motivation of this work lies in investigating the possibilities of applying AR to smart homes, demonstrating how this technology can serve as an interface and improve the user experience and enhance the efficiency of home IoT devices.

In recent years, augmented reality devices such as Smart Glasses have obtained improvements compared to their previous versions, this has caused an increase in the market and has brought different companies closer to the field of augmented reality. Companies have begun to research and develop new business models, as well as applications based on these technologies.

The work will be carried out with Smart Glasses donated by the BOSCH-UCM Extraordinary Chair, the Microsoft HoloLens 2. In these glasses we can see a significant improvement over its predecessor, with a wider field of vision, a screen of higher resolution, an improved trail camera. It also has a better, more comfortable and ergonomic design, in terms of software, it has improved the integration of augmented reality applications and better graphics processing capacity.

Objectives

The main objective of the project is the development of an augmented reality application for an IoT virtual environment, demonstrating that this technology can be useful for interaction with Internet of Things ecosystems. The app will focus on leveraging augmented reality capabilities to enhance the user experience when interacting with connected devices and sensors in an augmented reality environment. With this project, the aim is to demonstrate that the combination of IoT and augmented reality can provide significant benefits in various fields, such as the Smart industry, Smart Cities and Smart Homes.

The application will consist of carrying out an interactive simulation of a smart house or Smart House, through the application the user will be able to visualize different virtual objects in their environment and place them where they want and interact with them. These virtual elements may be from sensors to furniture and smart devices such as household appliances, light bulbs, etc.

As specific objectives for the project are the following:

- Investigate the characteristics and interaction needs with the Internet of Things ecosystems.
- Investigate the possibilities of integrating Augmented Reality as an interaction interface with the various IoT devices that can be used in Smart Homes.
- Make a prototype that allows the evaluation of the technologies involved and their applicability to IoT environments.

Work Plan

To achieve the objectives mentioned in the previous section, you must first carry out extensive research in terms of augmented reality and the different devices on the market to find the most effective when developing an application. Different augmented reality applications on the market should also be investigated to see how powerful the technology is and what we can develop with it.

With an established idea about augmented reality, the existing applications on the market and the different devices available to develop, the different areas of the Internet of Things should be investigated more related to the style of application that you want to create, in this case the objective is to develop an application for the simulation of a smart home, so that Smart Industry, Smart Cities and, finally, Smart Home and all the possibilities they can currently offer, as well as different sensors and smart devices available to you, will be investigated.

An investigation will also be carried out on Unity and all the features it can offer for the creation of augmented reality applications, as well as the software development kit offered by Microsoft.

Finally, once the different studies have been carried out, the development and implementation phase of the application will begin. This last phase will begin with the configuration of the chosen device, as well as different tests on the chosen platform with the aim of learning how to use the MRTK development kit (Mixed Reality Toolkit²), once the potential of the tools has been analyzed, the development will begin. of the final application using an Iterative development model until reaching the desired product.

Document Structure

The content of this document is divided into the following chapters:

Chapter 2 describes the different investigations carried out for the knowledge of the technologies that are going to be used during the development of the application. Specifically, we talk about the investigation of augmented reality with a study of the current applications in the market, the investigation of different smart glasses making a comparison between all of them, the study of the areas of the Internet of Things most related to the application to be developed and information about the engine to be used and the development kit used in the project.

Chapter 3 shows the planning that has been carried out to carry out the project, as well as the methodology and tools used for the development of the application. The configuration process of the chosen augmented reality device and the different initial tests that have been carried out to verify the correct operation of the device.

In Chapter 4, a video of the application in use is shown and the different functionalities of the application are described, the different interfaces through which the user can interact and the different types of devices that are within the application are shown.

In Chapter 5 there will be a general explanation of the code developed during the development process, the repository with the fully visible code is also offered. The second part of the chapter also describes a proposal through which it would be possible to join the virtual device generated through the application with a real device in the user's home, creating a "Digital Twin" or digital twin through a backend.

Finally, in Chapter 6 the conclusion is described after having carried out the entire project, considering the results obtained. Possible implementations that could be carried out in the future to expand and improve the project will also be discussed.

Chapter - Conclusions and future work

In summary, this master's thesis has focused on the development process of an augmented reality application that simulates an IoT environment, specifically, the simulation of a Smart Home with the purpose of applying augmented reality in the field of the internet of things and demonstrate that with this technology it is possible to develop software capable of helping the evolution of the IoT.

This application has been developed using the Unity engine for the Microsoft HoloLens 2 device. Throughout the project, augmented reality technology has been analyzed, as well as the different fields of IoT: Smart Industry, Smart Cities and Smart Homes, the library development of Microsoft for applications of augmented reality MRKT and the engine of Unity for the development of applications with this technology.

The results obtained show that the development process has been successful, achieving the creation of a functional application. In addition, this application has been designed considering various principles of usability and accessibility, allowing the creation of an intuitive and easy-to-use interface.

During the development of the application, various challenges and limitations have arisen. Among the limitations identified is the use of new technologies because there is not so much knowledge and new solutions must be developed for the different problems that may arise during the development of the application. However, a fully functional project has been achieved with the ability to be improved and expanded in the future.

For future work, it would be possible to improve the application by creating a Backend that stores the virtually generated devices and can be joined to the physical device once it is acquired. Creating a kind of Digital Twin that allowed the user to configure the physical device through the glasses and could review all the information and characteristics of said object.

In conclusion, this master's thesis has allowed the development of an augmented reality application for an IoT environment that meets the objectives initially established and it is expected that this application can be improved and implemented in real

situations, providing a valuable tool and facilitating the process of transforming a house into a smart home with all its advantages.

Finally, this project is expected to inspire other academics and professionals to continue researching and developing innovative solutions in this field, contributing to technological progress.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Innovae,» 2018. [En línea]. Available: <http://realidadaumentada.info/realidad-aumentada/>.
- [2] «Dynamics 365,» Microsoft, [En línea]. Available: <https://dynamics.microsoft.com/es-es/mixed-reality/guides/what-is-augmented-reality-ar/>. [Último acceso: Marzo 2023].
- [3] «Informe de mercado de realidad aumentada,» Mordor Intelligence, [En línea]. Available: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/augmented-reality-market>. [Último acceso: Marzo 2023].
- [4] «Augment Reality Market Size,» Grand View Research, [En línea]. Available: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/augmented-reality-market>. [Último acceso: Marzo 2023].
- [5] «DynaEdge Smartglasses,» Toshiba, [En línea]. Available: <https://ca.dynabook.com/smartglasses/>. [Último acceso: Abril 2023].
- [6] «Tech Specs - Glass,» Google, [En línea]. Available: <https://www.google.com/glass/tech-specs/>. [Último acceso: Abril 2023].
- [7] «Glass Enterprise Edition 2 developers,» Google, [En línea]. Available: <https://developers.google.com/glass-enterprise>. [Último acceso: Abril 2023].
- [8] «Nreal Light,» Nreal, [En línea]. Available: <https://www.nreal.ai/light/>. [Último acceso: Abril 2023].
- [9] «Nreal Developer,» Nreal, [En línea]. Available: <https://developer.nreal.ai>. [Último acceso: Abril 2023].
- [10] «Hololens 2,» Microsoft, [En línea]. Available: <https://www.microsoft.com/es-es/hololens/buy>. [Último acceso: Abril 2023].
- [11] «MRTK 2.8 Developers,» Microsoft, 2022. [En línea]. Available: <https://learn.microsoft.com/es-es/windows/mixed-reality/mrtk-unity/mrtk2>.

- [12] «HoloLens2 Developers,» Microsoft, [En línea]. Available: <https://www.microsoft.com/es-es/hololens/developers>. [Último acceso: Febrero 2023].
- [13] «Bosch sortec,» Bosch, [En línea]. Available: <https://www.bosch-sortec.com/products/optical-microsystems/smartglasses-light-drive/>. [Último acceso: Marzo 2023].
- [14] «Lenovo ThinkReality A3,» Lenovo, [En línea]. Available: <https://www.lenovo.com/es/es/thinkrealitya3>. [Último acceso: Abril 2023].
- [15] «Vuzix blade Smart Glasses,» Vuzix, [En línea]. Available: <https://www.vuzix.eu/products/vuzix-blade-smart-glasses-upgraded>. [Último acceso: Abril 2023].
- [16] «Vuzix Developer Center,» Vuzix, [En línea]. Available: <https://www.vuzix.com/pages/developer-center>. [Último acceso: Abril 2023].
- [17] «IEEE Internet of Things,» IEEE, [En línea]. Available: <https://iot.ieee.org/about/about-the-ieee-internet-of-things-iot-technical-community.html>. [Último acceso: Mayo 2023].
- [18] H. J. Porter ME, «How Smart, connected products are transforming competition,» *Harv Bus Rev*, pp. 11-64, 2014.
- [19] «World Economic Forum,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>.
- [20] «Ford HoloLens AR,» *As*, 21 Septiembre 2016. [En línea]. Available: https://as.com/meristation/2017/09/21/betech/1505994763_267224.html.
- [21] J. Serván, A. Rebeca, O. Manuel y M. Fernando, «Tecnología de Realidad Aumentada aplicada a los procesos de montaje aeronáuticos,» 2014.

- [22] «John Deere turns to IoT to make smart farming,» Internet of Business, 2016. [En línea]. Available: <https://internetofbusiness.com/john-deere-turns-iot-smart-farming/>.
- [23] «¿Qué son las Smart Cities?» ach, 2018. [En línea]. Available: <https://panelesach.com/blog/smart-cities-o-ciudades-inteligentes-que-son/>.
- [24] «Sistemas iluminación inteligentes,» El periodico, 2021. [En línea]. Available: <https://www.elperiodico.com/es/mas-barcelona/20210816/barcelona-renueva-alumbrado-calles-11993955>.
- [25] «Qué es Smart Homes y sus beneficios,» Ficade, 2017. [En línea]. Available: <https://www.grupoficade.com/blog/que-es-un-smart-home>.
- [26] «Bosch SmartHome,» Bosch, [En línea]. Available: <https://www.bosch-smarthome.com/es/es/>. [Último acceso: Marzo 2023].
- [27] «Unity,» Unity, [En línea]. Available: <https://unity.com/es>. [Último acceso: Marzo 2023].
- [28] «Unreal Engine,» Epic Games, [En línea]. Available: <https://www.unrealengine.com/es-ES>. [Último acceso: Marzo 2023].
- [29] C. Lasa Gómez y A. Álvarez García, Métodos Ágiles. Scrum, Kanban, Lean (MANUALES IMPRESCINDIBLES), ANAYA, 2017.
- [30] «Kanbanize,» 2016. [En línea]. Available: <https://kanbanize.com/es/recursos-de-kanban/primeros-pasos/>.
- [31] «Audacity,» Audacity, [En línea]. Available: <https://audacity.es/>. [Último acceso: Abril 2023].
- [32] «Gimp-Es,» Gimp, [En línea]. Available: <http://www.gimp.org.es/>. [Último acceso: Abril 2023].
- [33] «Blender,» Blender, [En línea]. Available: <https://www.blender.org/>. [Último acceso: Abril 2023].

- [34] «Mixed Reality Feature Tool,» Microsoft, [En línea]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/download>. [Último acceso: Marzo 2023].
- [35] «Visual Studio Code,» Microsoft, [En línea]. Available: <https://code.visualstudio.com/>. [Último acceso: Marzo 2023].
- [36] «Trello,» Atlassian, [En línea]. Available: <https://trello.com/>. [Último acceso: Abril 2023].

