



UNIVERSIDAD DE JAÉN
*Escuela Politécnica Superior
de Jaén*

Trabajo Fin de Grado

SISTEMAS DE REALIDAD AUMENTADA PARA LA SUPERVISIÓN DE INSTALACIONES DE EDIFICIOS

Alumno: David Jurado Rodríguez

Tutor: Dña. Lidia Ortega Alvarado
D. Juan Manuel Jurado Rodríguez

Dpto: Departamento de Informática

septiembre, 2018



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Informática

Dña Lidia Ortega Alvarado y D. Juan Manuel Jurado Rodríguez, tutores del Proyecto
Fin de Carrera titulado: SISTEMAS DE REALIDAD AUMENTADA PARA LA
SUPERVISIÓN DE INSTALACIONES DE EDIFICIOS, que presenta David Jurado
Rodríguez, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela
Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, MES de 2018

El alumno:

David Jurado Rodríguez

Los tutores:

Dña. Lidia Ortega Alvarado

D. Juan Manuel Jurado Rodríguez

Agradecimientos

En este espacio, quisiera expresar mis mayores agradecimientos a todas y cada una de las personas que han contribuido positivamente durante el desarrollo de este proyecto fin de grado. Una mención especial para:

Mi familia la cual día tras día me han apoyado de forma incondicional y aconsejado con el objetivo de realizar este proyecto de la mejor forma posible.

Mis tutores, Lidia Ortega Alvarado y Juan Manuel Jurado Rodríguez, quienes me plantearon la realización de este proyecto fin de grado y gracias a los cuales he aprendido un gran número de conocimientos que he puesto en práctica en el desarrollo de este trabajo. Su involucración, dedicación, así como disponibilidad con este proyecto ha sido plena y gracias a ello, se ha podido conseguir un resultado final novedoso a la vez que competitivo.

Muchas gracias a todos.

Índice de contenidos

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	11
1.2. Antecedentes y evolución tecnológica.....	13
1.3. Contexto del problema	20
1.4. Planteamiento del problema.....	21
1.5. Metodología	22
1.6. Objetivo General	23
1.7. Objetivo Específicos.....	24
1.8. Estructura de la memoria	24
CAPÍTULO 2: PLANIFICACIÓN	27
3.1. Identificación de tareas	28
3.2. Planificación temporal	29
3.2.1. Estimación de costes	31
3.2.2. Costes de recursos humanos.....	31
3.2.3. Costes de Hardware	32
3.2.4. Costes de Software	33
3.2.5. Costes Totales	34
CAPÍTULO 3: ANALISIS DEL SISTEMA	35
4.1. Estudio del contexto y alcance	36
4.2. Análisis de requisitos.....	38
4.2.1. Incremento 1	42
4.2.2. Incremento 2	44
4.2.3. Incremento 3	48
CAPÍTULO 4: TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS	51
4.3. Google Glass: estudio y análisis	52
4.4. Herramientas de preprocesamiento	53
4.4.1. MapInfo	54
4.4.2. Blender	55
4.5. ARCore	57
4.6. Motor de Desarrollo.....	59
4.7. Lenguajes de programación	60
CAPÍTULO 5: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	63
5.1. Diseño de los datos.....	64

5.1.1.	Transformación de los datos	64
5.1.2.	Gestión de los datos en memoria.....	65
5.2.	Diseño de la interfaz de usuario	65
5.2.1.	Guía de estilos: Usabilidad.....	66
5.2.2.	Storyboard	67
5.3.	Sistema de navegación	69
5.4.	Implementación Incremento 1	70
5.5.	Implementación Incremento 2	72
5.6.	Implementación Incremento 3	74
CAPÍTULO 6: CASOS DE PRUEBA.....		77
6.1.	Casos de prueba.....	78
6.3.	Tipos de usuarios y pruebas de usabilidad.....	80
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES		87
8.1.	Conclusiones.....	88
8.2.	Trabajo a futuro.....	90
Bibliografía		91
ANEXO A		95

Índice de ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1: DISTINTOS ESCENARIOS SEGÚN EL NIVEL DE INMERSIÓN [3]	13
ILUSTRACIÓN 2: OCULUS RIFT DK1 [5]	14
ILUSTRACIÓN 3: PROTOTIPO DE AR DESARROLLADO POR CAUDELL [7]	15
ILUSTRACIÓN 4: ESCENARIO DE REALIDAD MIXTA [8]	16
ILUSTRACIÓN 5: APLICACIÓN MÓVIL UTILIZANDO ARKIT [10]	17
ILUSTRACIÓN 6: APLICACIÓN MÓVIL ARCORE [2]	18
ILUSTRACIÓN 7: DIAGRAMA DE GANTT [AUTOR]	30
ILUSTRACIÓN 8: PERIODO DE TIEMPO DE CADA INCREMENTO	37
ILUSTRACIÓN 9: DIAGRAMA FRONTERA DEL SISTEMA.....	41
ILUSTRACIÓN 10: USO DE LAS GOOGLE GLASS [AUTOR]	53
ILUSTRACIÓN 11: PLANO CAD INICIAL [AUTOR]	54
ILUSTRACIÓN 12: SCRIPTS QUE INCLUYE LA APLICACIÓN	61
ILUSTRACIÓN 13: TRANSFORMACIÓN DE LOS DATOS [AUTOR].....	65
ILUSTRACIÓN 14: STORYBOARD PARTE A [AUTOR]	68
ILUSTRACIÓN 15: STORYBOARD PARTE B [AUTOR]	68
ILUSTRACIÓN 16: STORYBOARD PARTE C [AUTOR]	69
ILUSTRACIÓN 17: REPRESENTACIÓN INICIAL EDIFICIO [AUTOR]	71
ILUSTRACIÓN 18: REPRESENTACIÓN INSTALACIONES DE ABASTECIMIENTO [AUTOR]	71
ILUSTRACIÓN 19: SISTEMA DE MOVIMIENTO DE LA CÁMARA [AUTOR]	72
ILUSTRACIÓN 20: VISIÓN CÁMARA ARCORE [AUTOR]	72
ILUSTRACIÓN 21: REESTRUCTURACIÓN GEOMÉTRICA [AUTOR].....	73
ILUSTRACIÓN 22: REORIENTACIÓN NORMALES [AUTOR].....	73
ILUSTRACIÓN 23: INTERFAZ DE USUARIO [AUTOR]	74
ILUSTRACIÓN 24: INTERFAZ Y VISUALIZACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS [AUTOR].....	75
ILUSTRACIÓN 25: PANTALLA INICIAL [AUTOR].....	96
ILUSTRACIÓN 26: MULTITOUCH GESTURES [AUTOR].....	96
ILUSTRACIÓN 27: PANTALLA POSICIONAMIENTO [AUTOR].....	96
ILUSTRACIÓN 28: VISUALIZACIÓN FINAL [AUTOR]	96

Índice de tablas

TABLA 1: COSTES DE RECURSOS HUMANOS	32
TABLA 2: COSTES DE HARDWARE	33
TABLA 3: COSTES DE SOFTWARE.....	33
TABLA 4: COSTES TOTALES	34
TABLA 5: RESULTADO ENCUESTA	83
TABLA 6: RESUMEN ENCUESTA	84

RESUMEN

El continuo avance en el área de las tecnologías de la información y comunicación plantea a la comunidad científica y a la industria nuevos escenarios de interacción y/o dispositivos con los que abordar nuevos desafíos. En este proyecto, se ha aplicado la tecnología de Realidad Aumentada [1] (AR, por sus siglas en inglés) para la supervisión de infraestructuras de servicios (electricidad, climatización, red de comunicaciones, etc.) no visibles directamente en el interior de los edificios. Este campo de investigación e innovación despierta gran interés en multitud de empresas y organismos públicos dedicados a tareas de Smart Cities, arquitectura o ingeniería civil debido a la gran versatilidad de las soluciones propuestas. Esta tecnología emergente posibilita la superposición de elementos virtuales sobre el mundo real mediante el uso de distintos dispositivos tales como gafas, cascos o móviles. Se produce así, un enriquecimiento visual del mundo real mostrando al usuario/cliente información tanto en 2D (texto) como 3D (modelos tridimensionales) que diferirán según el caso de aplicación. Actualmente, la Realidad Aumentada está cada vez más cerca del sector empresarial y se requieren aplicaciones que den respuesta a multitud de necesidades en las que esta tecnología puede contribuir. No obstante, su desarrollo requiere de un gran esfuerzo con el objetivo de analizar los dispositivos de AR disponibles en el mercado, así como desarrollar adecuadamente estándares y escenarios 3D virtuales válidos para visualizar e interactuar en Realidad Aumentada.

En este Trabajo Fin de Grado denominado “Sistema de Realidad Aumentada para la Supervisión de Instalaciones de Edificios”, presenta un prototipo de aplicación móvil desarrollado mediante la librería ARCor [2] e, presentada por Google en marzo de 2018. El principal objetivo consiste en posibilitar una visualización 3D e interacción en tiempo real e in situ de las instalaciones de servicios ubicadas en el interior del edificio A4 de la Universidad de Jaén. El resultado obtenido se traduce en un nuevo entorno 3D derivado de la fusión entre el mundo real y el mundo virtual, cuya aplicación siguiendo la metodología propuesta, es extensible para la gestión de otras infraestructuras.

ABSTRACT

The continuous advance in the area of information and communication technologies propose novel scenarios for the scientific community and the industry in order to use the whole current devices and available platforms. In this project, the Augmented Reality technology [1] (AR) has been applied for the supervision of indoor infrastructures which are no directly visible such as electricity network, air conditioning, communications network, etc. This field of research and innovation suppose a great interest by many companies and public entities that are dedicated to Smart Cities challenges, architecture and civil engineering due to the versatility of AR solutions. This emerging technology enables the superposition of virtual elements over the real world through the use of different devices such as glasses, headsets or mobiles. Thus, a visual enrichment of the real world is produced, showing very useful information for users in both 2D (text) and 3D (three-dimensional models) that will differ depending on the application case. Nowadays, the Augmented Reality is increasingly closer to the business sector and there are many applications in which this technology can contribute. However, its development requires a great effort in order to analyse the appropriate AR devices, which are available in the market, as well as to develop efficient virtual 3D scenes to visualize and interact through Augmented Reality.

In this Final Degree Project whose name is "Augmented Reality System for the Supervision of Buildings Infrastructures", we have developed a mobile application using ARCore API [2], which has announced in March of 2018 by Google. The main goal is to enable a 3D visualization and interaction in real time of the whole infrastructures located inside the A4 building of the University of Jaén. The result obtained involves a new 3D environment in which the real world and the virtual world have been combined and its application, following the proposed methodology, can be applied for the management of any indoor infrastructures.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se expone, la motivación sobre la cual gira la realización de este proyecto, se plasma la evolución que ha experimentado la tecnología usada para su desarrollo y se plantea el problema que se desea abordar especificando los objetivos que la solución propuesta tendrá que cumplir.

1.1. Motivación

La sociedad ya convive con las nuevas tecnologías, y cada vez más aparecen nuevas necesidades a las que tanto usuarios como la industria deben adaptarse. La inmediatez, la fiabilidad y la capacidad de realizar procesos cada vez con una mayor eficiencia son retos actuales que desde el área de Informática y en concreto en la especialidad de Tecnologías de la Información deben estar presentes. En la actualidad, tecnologías como la Realidad Aumentada o la Realidad Virtual se encuentran en pleno auge creciendo cada vez más sus ámbitos de aplicación. Del mismo modo las soluciones propuestas están cada vez más pulidas y ajustadas a las necesidades de los clientes cada vez más interesados en este tipo herramientas.

A medida que la sociedad va requiriendo más servicios el despliegue en cuanto a infraestructuras en edificios y ciudades crece exponencialmente. Se van introduciendo nuevas líneas e instalaciones de abastecimiento (climatización central, aire acondicionado, cableado de red, etc.), de tal forma que el número de instalaciones ocultas tras muros o techos aumenta progresivamente. Este amplio número de infraestructuras requiere la creación y desarrollo de planos de alta complejidad alejados totalmente de la comprensión trivial de gran parte de la población, haciendo necesaria la intervención de los profesionales del sector para la interpretación de los planos de construcción.

En este proyecto se plantea el desarrollo de un prototipo que consiste en una aplicación móvil mediante la cual, cualquier tipo de usuario con tan solo un dispositivo móvil sea capaz no solo de visualizar todas las infraestructuras de servicios en el interior de su vivienda, sino que podrá interactuar con ellas consultando información específica de la cada instalación.

1.2. Antecedentes y evolución tecnológica

Actualmente, la evolución constante que experimentan las tecnologías de la información y comunicación proponen multitud de escenarios de aplicación con el objetivo de ampliar su funcionalidad existente, así como el planteamiento de nuevas metodologías de trabajo más eficientes e intuitivas. En este sentido, durante los últimos años el auge de la Realidad Aumentada (AR, por sus siglas en inglés) y la Realidad Virtual (VR) ha supuesto un salto cualitativo en cuanto a la interacción persona-ordenador. Ambas tecnologías requieren de unos dispositivos específicos capaces de manejar modelos tridimensionales en un entorno cuyo nivel de inmersión va a ser el elemento diferenciador entre ellas. En la literatura, es cada vez más frecuente encontrarse con términos tales como: “*Realidad Virtual*”, “*Realidad Aumentada*”, “*Realidad Mixta*” e incluso “*Contenido inmersivo*”. Sin duda alguna, en ocasiones las similitudes y diferencias entre estos conceptos suscitan confusiones al lector. En la Ilustración 1 se muestran hasta siete escenarios cuyo nivel de inmersión requerido va aumentando a medida que nos alejamos de entornos reales y nos acercamos a escenarios virtuales.

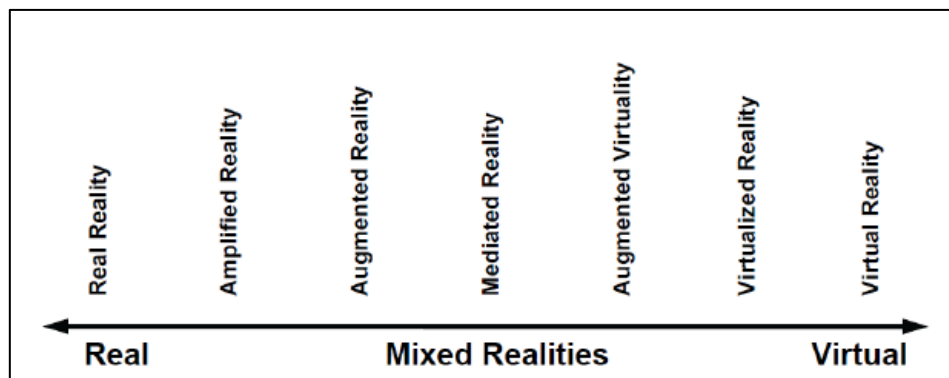


Ilustración 1: Distintos escenarios según el nivel de inmersión [3]

El término *inmersión*, comúnmente utilizado en el contexto de la Realidad Virtual, proviene de la industria del cine y significa adentrarse por completo en un mundo. La inmersión total se logra cuando el usuario ignora por completo que se encuentra en un mundo no real, siendo capaz de utilizar sus cinco sentidos. De esta forma, el mundo virtual es percibido como una nueva realidad.

La Realidad Virtual es la tecnología actual más inmersiva que pretende simular una experiencia sensorial completa para el usuario, en un ambiente artificial sin recibir información alguna del exterior. Su desarrollo comienza a finales de la década de los 70 mediante la creación de un simulador para clases de aviación. Con este antecedente, Scott Fisher, considerado uno de los fundadores de la Realidad Virtual, crea el *Visiocasco*, el primer casco interactivo de Realidad Virtual. Tiempo después la misma NASA comenzó a desarrollar herramientas de un modo más profesional y controlado que permitían al usuario interactuar con el entorno virtual. En torno a 2007, *Google* introdujo *Google Street View* [4], un servicio que nos muestra vistas panorámicas sobre infinidad de puntos de nuestro planeta desde carreteras, edificios o áreas rurales. Además, puede ser usado en modo estereoscópico 3D. En 2010, Palmer Luckey diseñó el primer prototipo de Oculus Rift [5]. Este dispositivo fue conocido por Oculus Rift DK1 (Ilustración 2) que fue retirado del mercado en 2014 días previos a la presentación del segundo kit de desarrollo o DK2. Finalmente, en el año 2016 Oculus lanzó al mercado la versión para el consumidor. Durante este mismo año, cabe destacar el lanzamiento de las gafas HTC Vive como alternativa a las Oculus Rift.



Ilustración 2: Oculus Rift DK1 [5]

El notable avance tecnológico de la Realidad Virtual tuvo sus efectos positivos en aplicaciones relacionadas con la Realidad Aumentada (AR) [1]. Siendo una tecnología que avanza de forma más paulatina, ya en torno a 1990, *Tom Caudell* científico en *Boeing* [6] (empresa dedicada a la fabricación de vehículos de transporte) centró su investigación en el desarrollo de una metodología más eficiente que ahorrara costes en el proceso de cableado durante la fabricación de aviones (Ilustración 3) [7]. El procedimiento estándar requería de una consulta periódica a manuales y mapas de

información, lo que provocaba una ejecución lenta y tediosa de cada tarea. La solución propuesta consistió en el desarrollo de una herramienta colocada en la cabeza, para no ocupar las manos de los operarios, que proporcionara una visualización de dichos manuales mediante una pantalla transparente, al mismo tiempo que los trabajadores realizaban su tarea específica. Sin embargo, se trataba de una tecnología de propósito específico y en fase de desarrollo que no llegó a extenderse de forma masiva. *Caudell*, indicaba que, en gran parte, dicho fracaso fue debido a la falta de sensibilidad del sistema en el movimiento de la cabeza.



Ilustración 3: Prototipo de AR desarrollado por Caudell [7]

Durante décadas posteriores, desde un punto de vista tanto científico como empresarial, se ha manifestado un gran interés por la inclusión y aplicación de la Realidad Aumentada con la finalidad de mejorar flujos de trabajo hasta ahora ineficientes. En este sentido, se ha planteado el desarrollo de nuevas herramientas que proponen espacios de interacción que conjugan elementos virtuales, así como reales. Estas son de gran utilidad en multitud de sectores profesionales tales como: el industrial, marketing, civil, educación, medicina e incluso medios de comunicación. La principal ventaja de la AR consiste en dotar al usuario la capacidad de conocer su entorno real en mayor profundidad de forma intuitiva y poco intrusiva. La evolución de los dispositivos móviles capaces de simular gráficos tridimensionales ha permitido la evolución de esta tecnología de tal forma que los usuarios puedan utilizar este medio para visualizar el conjunto de elementos virtuales descriptivos de su entorno real sin ninguna adaptación a otra tecnología diferente que supondría un aprendizaje paulatino.

La creciente evolución de las tecnologías de AR y VR nos conducen a nuevos retos que la industria y la comunidad científica deben abordar. Como se ha mencionado anteriormente, existen multitud de aplicaciones en curso que pretenden extraer el máximo potencial de dichas tecnologías. Cuando apenas los usuarios comenzaban a familiarizarse con la Realidad Virtual y más adelante con la Realidad Aumentada surge el concepto de Realidad Mixta. A pesar de que estas tres tecnologías se encuentran estrechamente relacionadas es de vital importancia conocer sus principales diferencias.

Como punto de inflexión entre VR y AR se ubica la Realidad Mixta (MR) que reúne características de ambas y plantea escenarios ligeramente más complejos. Esta fusión permite crear escenas en los que los objetos físicos y virtuales coexisten e interactúan en tiempo real (Ilustración 4). En muchas ocasiones la MR es confundida con la AR ya que, en cierto sentido, la MR es una evolución de la AR, incorporando un mayor nivel de inmersión, así como de interacción. Sin embargo, la principal diferencia entre ambas se evidencia a la hora de posicionar y superponer los objetos virtuales sobre el mundo real. En este caso, los elementos virtuales deben reconocer el mundo real, las limitaciones espaciales, las condiciones lumínicas, entre otras, de tal forma que su percepción y su comportamiento vaya en conjunción al entorno de la realidad en el que se encuentren. El usuario que coteja una experiencia de realidad mixta puede navegar a través de entornos reales y virtuales al mismo tiempo, en lugar de sumergirse en un mundo completamente virtual, siendo consciente del entorno que le rodea, lo que provoca que las interacciones cobren un mayor nivel de realismo.



Ilustración 4: Escenario de Realidad Mixta [8]

1.2.1. Soluciones de AR actuales

Actualmente, en el mercado coexisten distintas soluciones de Realidad Aumentada sobre las que se están trabajando, con el fin de obtener entornos de trabajo usables aportando un conjunto de herramientas intuitivas y adaptativas al tipo de aplicación.

La compañía Apple, desde el año 2017, ofrece para sus dispositivos la librería *ARKIT* (Ilustración 5) [9]. Esta librería proporciona una plataforma para el desarrollo de apps que usen Realidad Aumentada tanto en iPhone como iPad. Para ayudar a los desarrolladores, Apple proporciona un framework adecuado para su integración y una serie de herramientas que posibilitan el posicionamiento de elementos virtuales y la comprensión de escenas esenciales reales. Como el concepto de Realidad Aumentada aún suena vago a ojos de gran parte de la población, *Apple* se ha encargado de acercar dicha tecnología al gran público mediante la aplicación móvil de *IKEA*. El gigante sueco, así como tantas empresas de alto prestigio, colaboran con Apple para acercar aún más la Realidad Aumentada a los ciudadanos

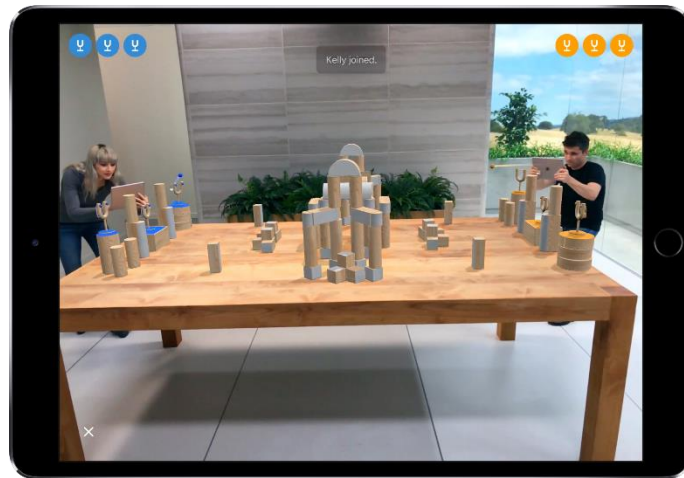


Ilustración 5: Aplicación móvil utilizando ARKIT [10]

De forma paralela, tras tres años de desarrollo, Google cierra *Project Tango* [11]. El Proyecto Tango nace en 2014 del equipo de investigación, *Tecnología Avanzada y Proyectos* (ATAP). Más tarde, en 2015 se integra a Google de forma oficial con el nombre de Tango, con el objetivo de conseguir una herramienta portátil de visión artificial, que permita mapear espacios 3D con un dispositivo móvil. Sin embargo, los principales problemas que llevaron el proyecto Tango hacia el fracaso, fueron sus altos requisitos hardware y software, así como la necesidad de tres cámaras, un

elevado almacenamiento para las aplicaciones y un alto nivel de cómputo para ejecutar dichas aplicaciones de forma fluida.

En 2017 con el anuncio de ARCore se concluye el soporte a Tango y se abre un abanico de desarrollos entorno a esta nueva API capaz de construir experiencias de Realidad Aumentada en multitud de dispositivos móviles recientes.

ARCore (Ilustración 6) se sitúa claramente como competidora directa de ARKit. Curiosamente, ARCore presenta mayor número de similitudes con *ARKit* que con el proyecto propio de Google, Tango. Sin embargo, son tres las capacidades contenidas en ARCore ofrece tres herramientas clave para integrar el contenido virtual en el mundo real:

- El seguimiento de movimiento que permite que el teléfono comprende y rastree la posición relativa al mundo
- La comprensión ambiental posibilita que el teléfono detecte el tamaño.
- La ubicación de todo tipo de superficies y la estimación de luz mediante la cual el teléfono conoce las condiciones de iluminación del entorno.



Ilustración 6: Aplicación Móvil ARCore [2]

Por último, en cuanto a gafas de AR caben destacar las *Google Glass* un dispositivo con el que Google no consiguió el efecto deseado en el sector debido a las limitaciones que tenía dicha tecnología. En este proyecto, han sido utilizadas inicialmente y más adelante se describe en detalle cuales han sido las ventajas y desventajas para el caso de uso. Finalmente, las HoloLens de Microsoft son un prototipo en fase de desarrollo sobre el que a pesar de ofrecer un conjunto de herramientas bastante útiles requiere de una serie de mejoras referentes al peso del *headset*, así como el tamaño del display o los métodos de interacción propuestos.

1.2.2. Aplicación de la AR en los SIG

Esta evolución tecnológica pretende alcanzar otros ámbitos de aplicación en los que se exploren nuevas vías de solución a problemas hasta ahora abordados mediante técnicas tradicionales. En concreto, en este trabajo se aborda la gestión de infraestructuras no visibles en el interior de los edificios. El adecuado funcionamiento de todas ellas es tarea crucial para técnicos de mantenimiento, responsables de garantizar la permanente disponibilidad de tales servicios. En este sentido, es necesario el desarrollo de herramientas capaces de visualizar, interactuar y gestionar dichas infraestructuras lo que permitirá reducir el impacto de las intervenciones, reducir gastos y, en definitiva, proporcionar un mejor servicio a los ciudadanos.

Tanto las instituciones públicas, cómo empresas privadas carecen de herramientas tecnológicas para garantizar un trabajo óptimo en la tarea de mantenimiento. Entre los recursos más demandados se encuentran los *Sistemas de Información Geográfica (SIG)* en los que se utiliza fundamentalmente una representación bidimensional.

En este Trabajo de Fin de Grado, se ha desarrollado un prototipo para dispositivos móviles basado en Realidad Aumentada. Dicha aplicación permitirá la visualización tridimensional e interacción con las infraestructuras de edificios. Es más, servirá para facilitar tareas de mantenimiento de instalaciones de edificios. Puesto que mediante la utilización de la cámara de cualquier dispositivo móvil el usuario será capaz de conocer la posición de todas y cada una de las instalaciones. A diferencia de otras aplicaciones móviles, esta app, ofrecerá la posibilidad de moverse con total libertad en el mundo real, visualizando sin problema alguno todo tipo de instalaciones de abastecimiento del edificio. Como elemento software de desarrollo se sitúa la plataforma implementada por Google, ARCore, la cual ocupa una posición de gran importancia en este proyecto, puesto que, gracias a la información suministrada de su parte sobre el entorno, se es capaz de realizar el posicionamiento indoor, así como una correcta orientación. Todo ello, facilita que la superposición del mundo virtual sobre el mundo real contenga el mínimo coeficiente de error, permitiendo así que la aplicación fluya con éxito.

1.3. Contexto del problema

Son cada vez más las ciudades que van acercándose hacia las nuevas tecnologías, e incluso las que utilizan dichas tecnologías para mejorar la gestión de infraestructuras. Hasta el momento, en la mayoría de los casos, las ciudades utilizaban planos 2D, realizados con la herramienta *CAD (Computer Aided Design)* o similares, que manejan modelos 2D y 2D_{1/2} siendo casi inexistentes aquellas que realmente manejan modelos 3D. El proyecto que se presenta en esta memoria es aplicable a las infraestructuras de abastecimiento en el interior de los edificios. Haciendo uso de la tecnología de Realidad Aumentada se desarrolla un prototipo para dispositivos móviles que facilita la supervisión y gestión de las infraestructuras ocultas tras la pared o techo. La visualización e interacción con estas instalaciones de electricidad, luz o climatización, entre otras, servirá de ayuda a los procesos de mantenimiento habituales requeridos para el adecuado suministro de los servicios que ofrecen.

Para el manejo de modelos 3D en entornos de escritorio o tablet existen un gran número de herramientas. Sin embargo, existen muy pocas soluciones que combinen el uso de los datos CAD de las infraestructuras de tal forma que se solapen mediante Realidad Aumentada con el mundo real. De esta forma, tanto su análisis como seguimiento es mucho más rápido e intuitivo agilizando las tareas de reparación y resolución de averías. En este sentido, los SIGs (Sistemas de Información Geográficos) tratan con datos espaciales en 3D y su aplicación en el ámbito de la Realidad Aumentada queda aún por explorar. En este proyecto, con el fin de alcanzar una mayor eficiencia en el proceso de identificación y actualización de la información, se plantea un sistema ubicuo válido para visualizar e interactuar con las infraestructuras in situ. Mediante el uso de dispositivos móviles se llevará a cabo una visualización total de las instalaciones referentes al interior de un edificio.

Uno de los mayores problemas que puede llegar a presentarse a la hora de trabajar con herramientas de Realidad Aumentada se sustenta en la correspondencia y superposición del mundo virtual con el mundo real. En este proyecto se propone una solución basada en la librería *ARCore*, que ofrece una serie de funcionalidades con la que ubicarnos tanto en el mundo real como el mundo virtual estableciendo una correspondencia espacial entre ambos entornos.

1.4. Planteamiento del problema

La gestión y organización de la información de infraestructuras de edificios, tal y como se ha mencionado anteriormente, representa una tarea esencial si se quiere garantizar una buena calidad de todos los servicios de abastecimiento. En este trabajo, se aborda el problema de la gestión eficiente de dichas infraestructuras. Como espacio de validación se ha elegido el edificio A4 de la Universidad de Jaén, debido a la posibilidad real de disponer con todos los datos correspondientes a las instalaciones de dicho edificio. Sin embargo, la solución propuesta en este proyecto es totalmente escalable a cualquier edificio del cual se posea información CAD sobre sus infraestructuras. En este marco de trabajo, coexisten gran variedad de canalizaciones que requieren de una labor de mantenimiento permanente, luego la percepción visual de las mismas, protagonizará una mayor facilidad para desarrollar dicho trabajo.

Actualmente la Unidad Técnica es el equipo responsable del mantenimiento de las infraestructuras instaladas en la Universidad de Jaén. El modo de trabajo de estos profesionales consiste en supervisar dichas infraestructuras teniendo como referencia un mapa CAD bidimensional. En contra posición, este proyecto, permitirá no solo una visualización de las mismas en 3D, sino que, además, mediante el uso de la Realidad Aumentada, se podrán distinguir dichas instalaciones in situ, conforme los operarios realizan un recorrido por el edificio. Con el paso del tiempo, los mapas CAD tienden a quedarse desactualizados y requieren un conocimiento previo para su interpretación. Sin embargo, el proyecto presente, plantea una autogestión eficiente del conjunto de todas las instalaciones, revisando el estado actual de las mismas. Es más, plantea un alto nivel de abstracción, de manera que cualquier usuario, sin hacer distinción entre usuario experimentado y usuario principiante, podrá distinguir todas y cada una de las instalaciones existentes de forma intuitiva, sin necesidad de conocer terminología específica de la tecnología desarrollada.

La optimización de recursos, la sostenibilidad, y la adecuada planificación del consumo, son retos marcados por la mayoría de empresas y organismos. En el caso de la Universidad de Jaén, se aporta una herramienta que posibilite un acceso rápido, simple, conciso de las infraestructuras del edificio A4 de forma que permita una visualización en tiempo real mediante Realidad Aumentada de las mismas.

1.5. Metodología

En este proyecto, se ha llevado a cabo una metodología de desarrollo incremental. La idea principal de este desarrollo es la de crear un sistema final, resultado de un conjunto de versiones anteriores más simples. En primer lugar, se comienza por la implementación bastante sencilla de los requerimientos del sistema e iterativamente se va mejorando cada una de las entregas posteriores hasta lograr una solución final y completa.

El proceso de desarrollo seguido para este prototipo se retroalimenta de cada una de las versiones en las que el cliente ha podido interactuar con el sistema. Para guiar cada etapa de iteración, se elabora un historial de tareas que deben ser realizadas en dicho ciclo. En esta lista de control se incluyen las nuevas funcionalidades del sistema, los distintos requerimientos abordados y las dificultades que implican un rediseño de la solución. Dicha lista, es revisada periódicamente como resultado de la fase de análisis. De esta forma, se priorizan los objetivos y los requisitos en función del valor que aportan al cliente.

En este caso, cada interacción tiene una duración aproximada de 4 semanas coincidiendo con los meses naturales excepto el último incremento que se extiende hasta un mes y medio. Los clientes o usuarios de este trabajo son: la Unidad Técnica de la Universidad de Jaén y los miembros de la comunidad universitaria. El objetivo fundamental de esta metodología es la de gestionar las expectativas del cliente de forma regular, con el fin de tomar las decisiones acertadas en cada iteración y así alcanzar un prototipo final ajustado a las necesidades del cliente. El proceso de desarrollo se divide por tanto en tres incrementos de igual duración. A medida, que se van realizando cada uno de los incrementos se va añadiendo funcionalidad al sistema. Durante la secuencia lineal de cada ciclo se llevan a cabo cuatro fases: análisis, diseño, implementación y pruebas.

Al final de cada iteración se va a tener una versión beta de la aplicación con la que el cliente y/o coordinadores de este trabajo van a poder examinar y probar la aplicación. Este modelo es muy útil cuando no se tiene a *priori* una especificación completa de todos los requerimientos del sistema. La naturaleza interactiva que tiene el modelo incremental brinda la posibilidad de manejar pequeñas soluciones y definir

mucho mejor el producto final. Las principales ventajas que aporta esta metodología en el desarrollo de este proyecto son:

- Se reduce el tiempo dedicado al desarrollo inicial, puesto que se implementa una funcionalidad parcial de todo el sistema.
- El cliente es consciente de los avances del proyecto, ya que periódicamente tiene diferentes entregas en las que puede probar la aplicación.
- La retroalimentación de cada incremento con su anterior permite un desarrollo más libre de errores e imprecisiones.
- Resulta más sencillo realizar cambios al estar dividido el proyecto en pequeños módulos correspondientes a cada incremento.

1.6. Objetivo General

El presente Trabajo Fin de Grado denominado “Sistemas de Realidad Aumentada para la Supervisión de Instalaciones de Edificios” plantea el desarrollo de modelos, métodos, técnicas, así como mecanismos para la visualización e interacción tridimensional in situ, de las instalaciones del edificio A4 de la Universidad de Jaén, más concretamente de las instalaciones de la primera planta. En este marco de investigación y desarrollo, se ubica dicho trabajo, cuyo principal objetivo es la creación de una aplicación móvil, la cual, mediante Realidad Aumentada, realiza una superposición de modelos 3D, así como información descriptiva de los mismo sobre el mundo real. Mediante esta herramienta, se conseguirá simplificar las actividades llevadas a cabo por la Unidad Técnica con el fin de optimizar sus flujos de trabajo. Como resultado final, se desea alcanzar una correspondencia con el mínimo coeficiente de error entre el mundo real y un mundo virtual, de manera que se mantenga una correspondencia espacial aceptable entre las instalaciones reales de un edificio y los modelos 3D virtuales que las definen.

Otra línea de trabajo sobre la que se va a investigar en este proyecto consiste en explorar técnicas relacionadas con la orientación y posicionamiento *indoor* del usuario, de manera que, con tan solo indicar la posición inicial, el usuario pueda moverse libremente por todo el edificio y visualizar sin problema alguno las instalaciones de abastecimiento.

1.7. Objetivo Específicos

Los objetivos específicos definidos para este proyecto son los siguientes:

- O1.** Desarrollar una metodología para la transformación de los datos CAD de entrada en modelos 3D de salida.
- O2.** Estudio y revisión de los dispositivos y plataformas actuales para el desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada.
- O3.** Estudio de la librería ARCore para la superposición del mundo virtual sobre el mundo real.
- O4.** Desarrollar técnicas que permitan el posicionamiento y orientación *indoor*.
- O5.** Diseño y creación de un mundo virtual con los modelos de las instalaciones de abastecimiento manteniendo una correlación espacial entre ellas.
- O6.** Visualizar en 3D las infraestructuras con diferentes niveles de detalle.
- O7.** Estudio de técnicas para la captura en tiempo de real del entorno con el objetivo de reconocer escenarios futuros de forma inteligente.

1.8. Estructura de la memoria

Este documento está organizado en 7 capítulos clasificando, de esta forma, todo el contenido presentado en función de la fase de desarrollo a la que pertenezca. La metodología incremental definida en este proyecto que comprende para cada iteración las etapas de análisis, diseño, implementación y pruebas está desglosada en tareas en los respectivos capítulos 5 y 6.

En primer lugar, el Capítulo 1, se elabora un estado del arte del tema de estudio en este trabajo, se plantea el problema abordado, y se indica el objetivo general, así como los objetivos específicos establecidos para este proyecto.

En el Capítulo 2, se plasma la planificación inicial del proyecto que contiene una relación de actividades, a nivel general, que se van a llevar a cabo durante el desarrollo del presente trabajo y un diagrama de Gantt que refleja una cronología de

cada una de las tareas a realizar, así como el tiempo dedicado a cada una de ellas. Además, se incluye la estimación de costes para la elaboración del proyecto.

En el Capítulo 3, se describen las tecnologías y herramientas utilizadas a lo largo de este proyecto, entre las que cabe destacar: Plataforma ARCore desarrollada por Google, así como programas de gran utilidad para el manejo y procesamiento de datos.

En el Capítulo 4, comienza la fase de análisis del proyecto en base a tres incrementos. Se llevan a cabo las tareas habitualmente utilizadas en Ingeniería del Software, que tiene como objetivo el estudio del contexto del problema, así como el análisis de los requerimientos.

En el Capítulo 5, se plantea tanto el diseño de la interfaz de usuario definiendo el storyboard que muestra la navegación entre las distintas vistas, así como la implementación y aspectos relevante sobre el sistema.

En el Capítulo 6, una vez concluida la etapa de desarrollo con la fase de implementación del sistema, se obtiene un prototipo de aplicación. Seguidamente, se ponen en práctica una serie de pruebas necesarias para comprobar el correcto funcionamiento de los requerimientos impuestos por la aplicación.

Por último, durante el capítulo 7 se exponen las conclusiones obtenidas tras la elaboración de este trabajo y se plantean las distintas líneas de investigación de desarrollo con perspectiva a futuro.

CAPÍTULO 2

PLANIFICACIÓN

La etapa de planificación es una de las más importantes, ya que van a determinar la estimación del tiempo, coste y riesgo de un proyecto. Las estimaciones realizadas durante la fase de planificación deben definir todos los escenarios que se pueden producir durante el desarrollo del proyecto. El objetivo de esta planificación consiste en estimar el tiempo requerido para el desarrollo de cada una de las tareas. En este capítulo, se van a reconocer las actividades a realizar y se va a definir una planificación temporal, con el fin de acotar en el tiempo la duración de cada una de ellas.

3.1. Identificación de tareas

En esta sección se van a identificar las actividades que se tienen que llevar a cabo para alcanzar los objetivos propuestos para este proyecto en tiempo y forma. A continuación, se muestra una clasificación de todas las tareas planificadas en base a las áreas de trabajo a la que pertenecen.

- Estudio y elaboración del estado del arte.
- Lectura y Preprocesamiento de los datos:
 - Capa Ventilación.
 - Cableado Iluminación.
 - Capa Climatización.
 - Cableado de Red.
- Modelado 3D de infraestructuras:
 - Extrusión de paredes, muros y pilares.
 - Optimización de la escena 3D.
 - Reparación geométrica y reorientación de normales.
- Análisis de requerimientos.
- Diseño y creación de la escena:
 - Creación del entorno básico de la escena.
 - Diseño de la interfaz.
 - Inclusión de las infraestructuras en el escenario virtual:
 - Representación del circuito de ventilación.
 - Representación del sistema de iluminación.
 - Representación del sistema de climatización.
 - Representación del cableado de red.

- Estudio de las infraestructuras
 - Extracción de las características de cada sistema de canalización.
 - Clasificación de infraestructuras en distintas capas según el servicio provisto.
 - Gestión de la visualización de las diferentes capas en distintos niveles de detalle.
- Realidad Aumentada
 - Posicionamiento *indoor* del usuario.
 - Estudio de la librería ARCore.
 - Superposición del mundo real y mundo virtual.
- Realización de pruebas.
- Redacción de la memoria.

3.2. Planificación temporal

En esta sección se muestra una planificación temporal del proyecto mediante un diagrama Gantt. Este diagrama permite planificar y programar las tareas en un largo periodo de tiempo, así como visualizar con tan solo un golpe de vista el tiempo empleado en la realización de cada tarea. De esta forma, en este cronograma, se pueden ver tanto actividades iniciales en primera posición, así como actividades que transcurren de forma paralela, siendo posible realizar una identificación *a priori* de aquellas tareas más costosas.

En la siguiente página se muestra el diagrama Gantt realizado durante la etapa de planificación de este proyecto.

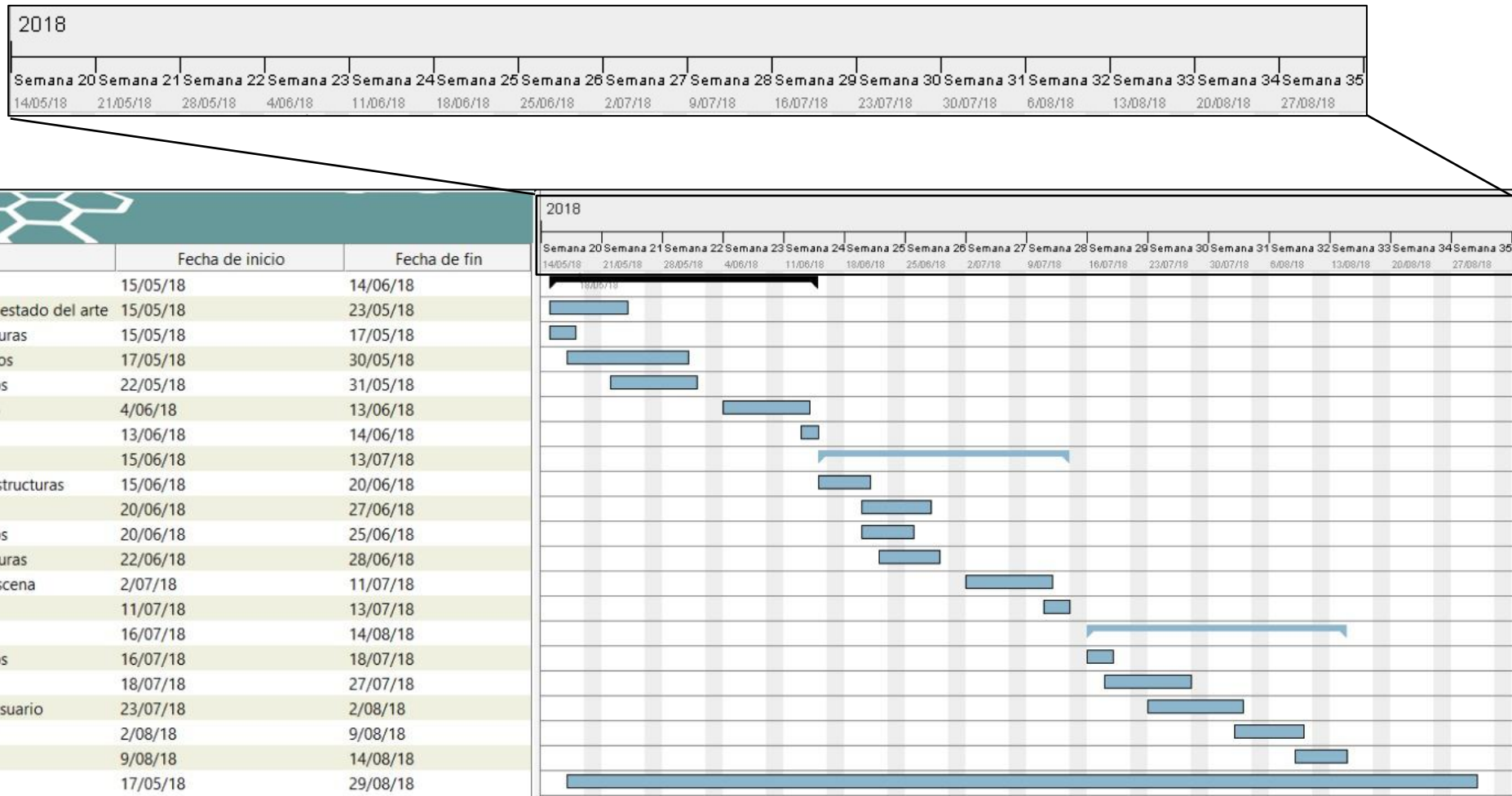


Ilustración 7: Diagrama de Gantt [Autor]

3.2.1. Estimación de costes

La estimación del coste de desarrollo se calcula en base al calendario del proyecto, con el fin de obtener una aproximación con el mínimo coeficiente de error del tiempo invertido en cada una de las tareas. Con el propósito de plasmar una estimación de costes completa, se pueden identificar los siguientes aspectos que merece la pena analizar.

- Costes de recursos humanos.
- Costes hardware.
- Costes software.

3.2.2. Costes de recursos humanos

Este tipo de costes derivan del personal que trabaja en el proyecto y corresponde a la retribución económica que reciben todos y cada uno de ellos en base al tiempo invertido en la realización de dicho trabajo.

El equipo de desarrollo para este trabajo está formado por una persona (autor de este proyecto) encargada de realizar las actividades correspondientes a tres roles que son: Gestor de proyecto, analista de sistemas y técnico programador. El salario base anual medio para un gestor de proyectos gira en torno a 31.927€ [12], para un analista de sistemas corresponde uno 26.876€ [12] y para un programador con titulación de graduado 17.463€ [12]. Estos salarios se distribuyen en 14 pagas, siendo dos de ellas, pagas extraordinarias. Cada trabajador tiene una jornada laboral de 40 horas semanales y trabaja 4 semanas al mes durante 12 meses, obteniéndose un salario mínimo por hora de: 16,53 € para el gestor, 13,98 € para el analista y 9,10€ para el programador. Las tareas asignadas a cada uno de estos trabajadores se pueden ver en la relación de actividades indicadas en el epígrafe 2.1 de este capítulo. Por lo tanto, una vez conocido el saldo que tendrá cada profesional se muestra el coste que supondría para la empresa cada trabajador (Tabla 1).

Concepto	Horas	Importe/Hora (€)	Coste	Coste Total (+ 31% gasto de empresa y seguridad social)
Gestor de proyectos	80 horas	16,53 €	1.322,40 €	1.719,12 €
Analista	50 horas	13,98 €	699 €	908,70 €
Programador	170 horas	9,10 €	1.547 €	2.008,10 €
Total	300 horas		3.568,4 €	4.635,92 €

Tabla 1: Costes de recursos humanos

3.2.3. Costes de Hardware

El coste hardware, corresponde al gasto invertido en los dispositivos necesarios para llevar a cabo el prototipo de aplicación propuesto en este trabajo fin de grado. En concreto, la plataforma utilizada para su desarrollo, *ARCore*, experimenta actualmente su fase estable para que los desarrolladores puedan crear sus primeras aplicaciones móviles basadas en Realidad Aumentada. Los únicos dispositivos móviles que inicialmente son compatibles con esta plataforma eran los *Pixel XL* y *Pixel 2XL*. Sin embargo, durante este último mes de agosto, *ARCore* ya está disponible para un gran número de dispositivos móviles Android [13].

Google actualiza de manera frecuente la lista oficial de dispositivos compatibles con *ARCore*, para añadir nuevos modelos que serán capaces de ejecutar aplicaciones basadas en dicha plataforma. No obstante, aún sigue siendo necesario que estos dispositivos soporten la actualización *8.0 de Android* o superior. Este gran avance, ha permitido que el kit de desarrollo *ARCore* se encuentre totalmente accesible en *Play Store*.

El hecho de utilizar una plataforma de desarrollo la cual se encuentre accesible de forma gratuita, protagoniza amplio decremento en los costes hardware, ya que únicamente sería necesario un dispositivo móvil que soporte la actualización *8.0 de Android*. En concreto, para la realización de este se ha utilizado tanto un dispositivo móvil, así como un equipo informático, ambos descritos en la Tabla 2.

Nombre del modelo	Marca	Vida útil	Importe
Pixel XL	Google	5 años	350 €: Para la duración de este proyecto supone un coste de: 17,50 €
Equipo Portátil (N550JV)	Asus	5 años	1.200€: Para la duración de este proyecto supone un coste de: 70 €
Total			87,50 €

Tabla 2: Costes de Hardware

3.2.4. Costes de Software

Los costes software, representan el gasto necesario para adquirir las licencias correspondientes de las herramientas de desarrollo necesarias para llevar a cabo el proyecto en cuestión. Gran parte del conjunto de las herramientas utilizadas han sido bajo licencia académica, por lo que no han supuesto coste adicional alguno. No obstante, para tener un cálculo del valor amortizado se exponen dichos costes en la siguiente tabla.

Concepto	Coste Licencia	Duración	Importe
MapInfo	500,00€	1 año	33,33€
Global Mapper	475€	2 años	31,66€
SketchUp Pro	100€	2 años	16,66€
Blender	0,00€	Software libre	-
Unity	0,00€	Licencia académica	
Total			81,65€

Tabla 3: Costes de Software

Uno de los aspectos relevantes en cuanto a los costes requeridos por el software utilizado para este proyecto es la total accesibilidad de la librería ARCore para el desarrollo de aplicaciones móviles basadas en la Realidad Aumentada. El uso de esta API no supone coste alguno para el desarrollador lo que ha facilitado su aplicación y despliegue.

3.2.5. Costes Totales

Una vez realizada la estimación de forma individual de todos y cada uno de los costes que la realización de un proyecto de tales características involucra, en la siguiente tabla se muestra el coste total, producto de la suma de los gastos mencionados anteriormente.

Concepto	Coste
Costes de recursos humanos	4.635,92 €
Costes hardware	87,50 €
Costes software	81,65 €
Total	4.805,07 €

Tabla 4: Costes totales

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DEL SISTEMA

En cualquier tipo de desarrollo software es necesario definir una metodología que permita que todas las etapas de desarrollo del sistema, desde el análisis inicial de los requerimientos hasta las pruebas finales de aplicación, sean coherentes entre sí. En este capítulo, se evalúan tanto el alcance como el contexto del propósito desarrollado, los perfiles asociados y las tareas que se han realizado en cada incremento de la fase de análisis

4.1. Estudio del contexto y alcance

Este proyecto se ubica en un contexto donde no existe ninguna herramienta de Realidad Aumentada que sirva de soporte al mantenimiento de infraestructuras de la Universidad de Jaén mediante el uso de la Realidad Aumentada. Aunque existen en el mercado un gran número de frameworks orientados a la creación de instalaciones de suministro en 3D, ninguno plantea una gestión de estos mediante el uso de Realidad Aumentada. En el caso de la Universidad de Jaén, el único soporte hasta la actualidad utilizado trata de una representación CAD en donde se recolectan todas y cada una de las instalaciones de suministro de los distintos edificios del complejo. La Unidad Técnica, clientes de este prototipo, reconocerán útil dicha herramienta capaz de realizar la visualización, así como interacción de las diferentes infraestructuras repartidas en el edificio alejadas de la visión del usuario. En todo proceso de Ingeniería del Software es necesario identificar a nivel general los diferentes elementos que van a formar parte del sistema a desarrollar. Para este prototipo de aplicación cabe destacar los siguientes ítems:

- **Usuarios:** Se refiere a aquellas personas que van a utilizar esta herramienta. En este caso sería cualquier usuario interesado, no necesariamente ha de ser un técnico.
- **Contenido:** Este elemento engloba el conjunto de infraestructuras del edificio, así como el resto de entidades espaciales que aportan funcionalidad al prototipo.
- **Acceso:** Esta aplicación móvil ha sido desarrollada prácticamente en toda su totalidad mediante C# con el fin de aprovechar todas las ventajas de accesibilidad y portabilidad de dicho lenguaje.

El proyecto presentado en este trabajo significa un punto de partida para una visualización e interacción, bajo una perspectiva 3D orientada a la Realidad Aumentada, de las infraestructuras de abastecimiento del edificio A4 de la Universidad de Jaén. Para los profesionales en este campo, es de vital importancia acceder a este recurso desde cualquier dispositivo móvil. Por esta razón, se opta por una aplicación Android que posibilite un acceso rápido desde prácticamente cualquier tipo de dispositivo móvil.

El alcance en cuanto a funcionalidad para este proyecto consta de una traducción de planos CAD a una escena tridimensional de las infraestructuras, una recopilación y clasificación del texto descriptivo, así como de una correcta superposición de dicha escena tridimensional sobre el mundo real.

A lo largo de la etapa de desarrollo de este proyecto se ha seguido una metodología incremental. De esta forma, se ha tratado de simplificar la solución final realizando una subdivisión de la misma en diferentes incrementos. Cada uno de ellos cumple una serie de requerimientos, más lo definidos para el incremento anterior. En concreto esta división consta de 3 partes desglosados en el siguiente cronograma.

	Duración	Fecha Inicio	Fecha Fin
Incremento 1	1 mes	15 de mayo	14 de junio
Incremento 2	1 mes	15 de junio	13 de julio
Incremento 3	1 mes y medio	14 de julio	29 de agosto

Ilustración 8: Periodo de tiempo de cada incremento

Tal y como se describía en el epígrafe de Metodología del [Capítulo 1](#), en cada iteración se lleva a cabo una fase de análisis, diseño, implementación y pruebas. En este capítulo, se identifican cada una de las tareas de análisis que se han realizado en cada ciclo.

4.2. Análisis de requisitos

El análisis de requisitos es el primer paso en el proceso del desarrollo del software. Éste, resulta de vital importancia ya que asienta la base del resto de etapas en dicho proceso. Por ello, la obtención del documento de especificación de requisitos del sistema (*System Requirement Specification*) [13] es primordial, y debe ser el eje de rotación de todo proceso de ingeniería del software. Los requisitos juegan un papel ya que forman la base de la arquitectura del sistema, así como de las actividades de diseño. Además, proporcionan un medio de comunicación entre los diferentes técnicos que interactúan a lo largo del proyecto. Así pues, un requerimiento, o, mejor dicho, el conjunto de requerimientos que conforman el SRS, nos sirve para que un cliente describa claramente los objetivos del proyecto, de forma que se eviten vueltas atrás en la etapa de diseño o de desarrollo, de manera que se obtenga una base sólida sobre la que probar y validar el producto final. En este proceso de análisis es fundamental que, mediante las distintas técnicas de especificación de requerimiento funcionales, así como no funcionales, el desarrollador comprenda completamente la naturaleza de la aplicación, la función requerida, comportamiento y rendimiento.

Un buen análisis de requerimientos debe dar respuesta a todas las necesidades planteadas por el cliente. Un requerimiento, según la IEEE, “*es la condición o capacidad que debe poseer o exhibir un sistema para satisfacer un contrato, estándar, especificación, u otra documentación formalmente impuesta*” [14]. El propósito fundamental del análisis de los requerimientos consiste en permitir que el desarrollador explique cómo ha entendido lo que el cliente pretende del sistema e indicar a los diseñadores que funcionalidades y características va a tener el sistema resultante. Además, todos estos requerimientos definen las diferentes pruebas que se deben realizar para garantizar que el sistema cumpla con todas las necesidades del cliente. Según Pfleeger [15] los requerimientos recopilados durante la etapa de análisis deben tener las siguientes características.

- **Correctos:** Se dice que un requerimiento es correcto cuando ha sido revisado y aprobado tanto por el cliente, así como por el desarrollador.
- **Consistentes:** Se dice que dos requerimientos son consistentes cuando es imposible realizar una satisfacción de ambos de manera simultánea.

- **Completos:** Un requerimiento es considerado completo cuando todos los estados viables, cambios de estado, así como restricciones de los mismo están descritos.
- **Realistas:** Esta característica subyace de la posibilidad real para que los requerimientos sean cumplidos.
- **Correlación con el cliente:** Se deben realizar todos los requerimientos para conservar sólo aquellos que inciden en la resolución del problema planteado por el cliente.
- **Verificables:** Los requerimientos verificables deben estar corroborados por una serie de pruebas que demuestren su cumplimiento en la herramienta.
- **Rastreables:** Esta última característica y no por ello menos importante, hace referencia a la relación existente entre un requerimiento con la función específica que lo satisface en el sistema.

Teniendo como principal objetivo satisfacer todo lo anteriormente mencionado, en cada interacción se va a realizar un análisis de los requerimientos clasificado en las siguientes fases:

- Reunión.
- Casos de Uso.
- Identificación y clasificación de requisitos.
- Priorización de requerimientos.

En primer lugar, la entrevista [16] es una forma sutil a la vez que de gran utilidad para recoger los requerimientos que el cliente demanda. Mediante una breve conversación previamente preparada, se mantiene un diálogo directo con el cliente para entender cada una de sus necesidades. En este tipo de entrevistas se hacen preguntas sobre el sistema utilizado y sobre las funcionalidades que requieren la nueva aplicación que se va a desarrollar. En lo que concierna al tipo de entrevista existentes, podemos encontrar tres variantes de la misma, entrevistas cerradas, entrevistas abierta y entrevistas mixtas. En las entrevistas cerradas, el cliente debe responder a un conjunto predefinido de preguntas. En contra posición, en las entrevistas abiertas, no se define ningún guion de preguntas a priori, sino que se mantiene una conversación con el cliente en la que se tratan las necesidades

demandadas. Por último, las entrevistas mixtas, tal y como su propio nombre indican, tratan de una mezcla de las dos anteriormente mencionadas.

A lo largo de este trabajo, se han mantenido un gran número de reuniones con los coordinadores académicos. Sin embargo, habría sido de gran interés realizar alguna o más de una reunión con la Unidad Técnica de mantenimiento. Ya que el objetivo de estos encuentros es definir los requerimientos que den tener cada uno de los incrementos que se van a desarrollar.

A continuación, comienza la elaboración de los casos de uso en base a toda la información obtenida durante las reuniones mantenidas. Los casos de uso se definen como una técnica de Ingeniería de Software para especificar el comportamiento de un sistema, es decir, *“Un caso de uso es una secuencia de interacciones entre un sistema y alguien o algo que usa alguno de sus servicios”*. Esta técnica de análisis tiene como principal objetivo definir cada una de las acciones del usuario y establecer la respuesta que, en consecuencia, da el sistema. Para la realización de un caso de uso, los componentes a definir en cada escenario de este sistema son:

- Nombre del caso de uso
- Sistema al que pertenece
- Actores
- Condiciones previas
- Operaciones básicas del escenario

En este proyecto entre los actores que van a utilizar este prototipo se distinguen, miembros de la comunidad universitaria, profesionales responsables de la gestión y mantenimiento de las infraestructuras de la Universidad de Jaén, así como cualquier otro usuario interesado en la visualización tridimensional de dichas infraestructuras mediante Realidad Aumentada. Para entender los requerimientos, que más adelante son descritos en cada iteración, se va a definir el diagrama frontera del proyecto en el cual se muestran las funcionalidades esenciales del sistema.

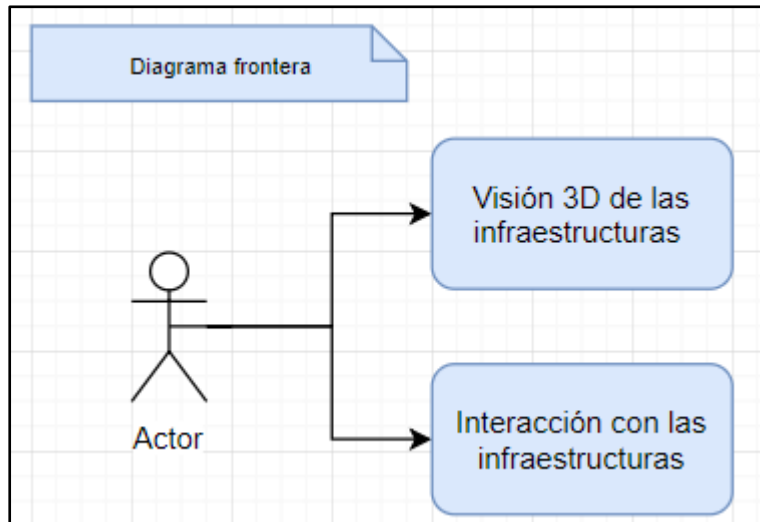


Ilustración 9: Diagrama frontera del sistema

En las fases de identificación y clasificación de requerimientos, se pretende analizar todos los casos de uso realizados previamente. De esta forma, se pretende, definir el conjunto de requerimientos que debe tener la aplicación. Estos requerimientos poder ser de dos tipos: funcionales y no funcionales. Por un lado, los requerimientos funcionales describen la interacción entre el sistema y su entorno, es decir, cómo debe reaccionar la aplicación ante una determinada acción del usuario. Este tipo de requisitos son muestra de los servicios que la herramienta debe ofrecer al cliente.

En algunos casos, también pueden especificar lo que el sistema no debe hacer. Por otro lado, los requerimientos no funcionales describen los límites y restricciones del sistema. En este caso, se tratan requerimientos tales como restricciones de tiempo, fluidez de navegación, rapidez de carga, fiabilidad, tiempo de respuesta o capacidad de almacenamiento.

Por último, una vez identificados los requerimientos, se elabora una lista de tareas para cada incremento de desarrollo. En esta lista se ordenan los requisitos planteados en base a la prioridad dado por el cliente. De esta manera se garantiza que los requerimientos más relevantes sean realizados en primer lugar y que cada incremento los cumpla siguiendo la prioridad aplicada.

A continuación, se van a describir con mayor nivel de detalle cada uno de los incrementos logrados describiendo las tareas de análisis asociadas.

4.2.1. Incremento 1

En cualquier tipo de desarrollo, la fase inicial suele ser siempre la más costosa, así como la que supone mayor nivel de investigación al respecto. En ella se establece la base sobre la que se va a construir el prototipo. Para ello lo primero que ha de llevarse a cabo, sería una entrevista con la Unidad Técnica de Mantenimiento de la Universidad de Jaén, mediante la cual, el objetivo principal quedará fijado, así como el contexto y el alcance del proyecto definido en su totalidad. Es más, las funcionalidades básicas ha desarrollar en el proyecto han de establecerse mediante el consenso de todos los integrantes de la reunión. Por otro lado, uno de los aspectos más relevantes tenidos en cuenta durante el desarrollo de esta entrevista inicial, gira en torno a la creación de confianza entre cliente y desarrollador. Razón por la cual, realizar una fase previa de preparación frente a dicha reunión es de vital importancia para transmitir seguridad y certeza al cliente.

Entrevista 1

- *¿Qué metodología de trabajo se está utilizando?*

Se trabaja en base a unos planos CAD en dos dimensiones. Este tipo de representación realiza la diferenciación de capas de infraestructuras con el fin de analizar de forma más simplificada los datos de cada edificio requeridos en cada momento. Estos planos CAD están albergados en las cuentas de *Google Drive* de cada uno de los técnicos de mantenimiento exportados como imagen. De esta forma, cada técnico tendrá libre acceso a dichas imágenes con tan solo acceder a su cuenta de *Google Drive*.

- *¿Existe alguna herramienta de visualización tridimensional de las infraestructuras de los edificios?*

No, esta es considerada una ardua tarea. A la hora de realizar la reparación de cualquier desperfecto en la infraestructura, únicamente suministra al profesional encargado de dicha reparación los planos del edificio recogidos en un mapa CAD.

- *¿Qué funcionalidades básicas debe permitir esta aplicación?*

Esta aplicación debería permitir al menos una visualización tridimensional de las infraestructuras mediante Realidad Aumentada. Además, podría llegar a ser interesante interactuar con los diferentes modelos superpuestos en el mundo real, de manera que se obtuviera información específica y personalizada de cada tipo de infraestructura.

A continuación, se realiza una breve simulación de los aspectos importantes a destacar durante la entrevista y primer contacto con el cliente.

Una vez realizada la entrevista, se lleva a cabo una labor de análisis de toda la información recogida en ella y se trabaja en torno a la especificación de los requerimientos funcionales, así como no funcionales del sistema para el primer incremento. En este primer avance del proyecto, no se llega a realizar la descripción de los diferentes casos de uso, ya que ahora el usuario únicamente tendrá la opción de visualizar modelos superpuestos sobre el mundo real situados de manera no controlada.

En lo referente a los requerimientos funcionales que se deberán cumplir en dicha iteración, cabe destacar los siguientes:

- Creación de una escena 3D en la que se visualice sin problema alguno el edificio que engloba el marco de trabajo para este proyecto.
- Localiza la ubicación que van a asumir cada uno de las capas que forman parte del edificio en cuestión.
- Realizar una transformación de los datos recolectados bidimensionales a datos tridimensionales.
- Permitir, algún tipo de navegación para que el usuario pueda moverse en el mundo real, al mismo tiempo que en el mundo virtual.

Estos requisitos plantean la creación de un escenario 3D simple en donde se muestre el edificio sobre el cual se va basar la aplicación, y se realice el posicionamiento de las diferentes capas sobre el mismo.

Una vez especificados los requerimientos funcionales, se procede a identificar los requerimientos no funcionales que el sistema debe cumplir en esta fase inicial:

- La aplicación debe ofrecer plena disponibilidad. En todo momento, los técnicos pueden requerir su uso, luego ésta debe mantenerse accesible en todo momento.

Todos y cada uno de los requerimientos recogidos en este incremento, son de alta prioridad para el desarrollo del proyecto, ya que conforman la base de la escena sobre la que, en las siguientes iteraciones, se va a continuar trabajando

4.2.2.Incremento 2

En este segundo incremento, se continúa avanzando sobre el prototipo resultado del primer incremento, añadiendo nuevas funcionalidades al sistema. En este caso, se han mantenido varias reuniones con los coordinadores de este proyecto con el fin de analizar las dificultades encontradas y definir nuevos requerimientos para este segundo incremento. Los temas abordados en estos encuentros son los siguientes:

Reuniones con los coordinadores

- *¿Qué barreras difíciles de superar han sido planteadas en la etapa anterior?*

Durante el desarrollo del anterior incremento, se han afrontado una serie de problemas que no han sido resueltos de forma trivial.

En primer lugar, la implantación de la librería ARCore en el proyecto ha protagonizado una ardua tarea, no solo por el hecho de importar dicha plataforma, sino por la indecisión desde un principio de que versión de la misma tendría un mayor rango de proyección aplicada al proyecto.

Seguidamente, transformar la información recogida en los mapas CAD de forma bidimensional, a modelos tridimensionales mediante la utilización de herramientas de diseño, no se posiciona como una tarea fácilmente resoluble.

- *¿Qué nuevos objetivos se plantean?*

En esta segunda fase, sería interesante mejorar la escena anteriormente creada alcanzando un mayor nivel de realismo, corriendo el coeficiente de error de la superposición entre mundo real con el mundo virtual e incorporando parte de las infraestructuras de abastecimiento del edificio.

Por otro lado, se debe realizar una investigación en torno a las técnicas y mecanismos que ARCore utiliza para realizar el posicionamiento y orientación. Disponer de esta información será de gran utilidad a la hora de implementar la navegación por el escenario.

- *¿El sistema de navegación propuesto es adecuado?*

La experiencia durante la prueba realizada fue gratamente recibida, la forma de navegar por la escena resultó totalmente intuitiva y fácil de utilizar. Además, nos permite navegar hacia cualquier parte de la escena. Puesto que dicha escena virtual se encuentra correctamente superpuesta sobre el mundo real. La navegación por la misma no se encuentra dificultosa en ningún momento.

- *¿Sería interesante tener la opción de ocultar capas de infraestructuras y así centralizar toda la atención a la capa deseada?*

Evidentemente, la posibilidad de ocultar capas innecesarias, sería un aspecto significativo a la hora de visualizar únicamente la capa sobre la cual debe realizarse la reparación.

Hasta el momento la aplicación móvil no dispone de ninguna interfaz gráfica de usuario, ya que el diseño y construcción de la escena 3D es una prioridad en estas primeras fases. Una vez establecida la escena 3D en su totalidad, tan solo debería estudiarse con detenimiento, aquellos aspectos que podrían interesar al usuario modificar y diseñar una interfaz para que el usuario realice modificaciones en el entorno.

Sin embargo, en dicha entrevista se han recopilado un número significativo de requerimientos de manera que pueden especificarse los siguientes casos de uso:

1. Caso de uso: Posicionamiento Inicial

- **Actor Principal:** Usuario
- **Condiciones previas:** El usuario ha descargado la aplicación en su dispositivo móvil y se dispone a hacer uso de ella.
- **Escenario principal:**
 - i. El usuario visualiza un mapa en el cual debe realizar un double tap para indicar su posición inicial.

- ii. Una vez que el usuario indique la posición en la cual se encuentra, el sistema habilita el botón comenzar.
- iii. Acceso a la visualización de infraestructuras.

2. Caso de uso: Activar Capas

- **Actor Principal:** Usuario
- **Condiciones previas:** El usuario, ha iniciado la aplicación, clicado sobre el botón seleccionar capas y se dispone a activar alguna capa de infraestructura
- **Escenario principal:**
 - i. El usuario hace click sobre el botón contiguo a la capa que desea activar.
 - ii. El sistema detecta la acción del usuario mostrando la capa seleccionada.

3. Caso de uso: Ocultar Capas

- **Actor Principal:** Usuario
- **Condiciones previas:** El usuario ha iniciado la aplicación, clicado sobre el botón seleccionar capas y se dispone a ocultar alguna capa de infraestructura
- **Escenario principal:**
 - i. El usuario hace click sobre el botón contiguo a la capa que desea ocultar.

4. Caso de uso: Consulta de las infraestructuras

- **Actor Principal:** Usuario
- **Condiciones previas:** El usuario ha iniciado la aplicación y desea conocer las características de una tubería.
- **Escenario principal:**
 - i. El usuario se mueve en la escena y localiza la capa de infraestructura sobre la cual desea conocer sus características.
 - ii. Hace click sobre la capa
 - iii. El sistema detecta la acción y cambia la apariencia de la tubería y muestra en un panel lateral izquierdo la información asociada

Teniendo como referencia las dificultades encontradas en la etapa anterior, se fijan nuevos objetivos para este segundo ciclo, el cual puede traducirse en los siguientes requerimientos funcionales.

- Ofrecer una visión 3D de la escena más realista en la que prácticamente no se perciba error en la superposición del mundo virtual sobre el mundo real.
- Permitir al usuario la visualización de las infraestructuras propias del edificio.
- Realizar una investigación avanzada sobre las técnicas y conceptos en los que la plataforma ARCore para llevar a cabo el posicionamiento, así como, la orientación.

Una vez especificados los requerimientos funcionales, lo siguiente es reconocer los requerimientos no funcionales que se deben cumplir en este incremento:

- La aplicación debe ser fiable, es decir, mantener su nivel de prestaciones durante un periodo de tiempo bajo una serie de condiciones propias del contexto. Para valorar esto, se llevan a cabo pruebas de acceso, de recuperabilidad y de tolerancia a fallos, entre otras.

Por último, en este incremento cobra especial relevancia la parte del estudio del edificio y preprocesamiento de datos. En esta fase se va a presentar por primera vez una visual sobre la parte de las infraestructuras del edificio por lo que habría que estudiar qué problemas presenta este requerimiento, así como qué soluciones son viables para la resolución del mismo.

4.2.3. Incremento 3

En este último ciclo, se concluye la fase de análisis definiendo los últimos requerimientos en base al prototipo mejorado en cada iteración. Tras lograr todos los requisitos del incremento 1 así como de aquellos referentes al incremento 2, se ha conseguido una aplicación parcialmente completa. Para alcanzar una solución final de la aplicación y mostrar el trabajo realizado hasta ahora, se ha planificado una última entrevista con la Unidad Técnica. En esta cita, el objetivo es enseñar la herramienta y analizar junto al cliente las últimas funcionalidades que se van a incorporar al sistema. Previamente a dicha fase, se ha realizado una pequeña recopilación de posibles mejoras de la aplicación, con el objetivo de que cuando el usuario se encuentre en fase de prueba de la aplicación, vaya recibiendo posibles opciones de mejora de la misma.

Entrevista 1

- *¿Qué valoración tiene sobre la solución propuesta hasta el momento?*

Los usuarios reconocen la utilidad que puede tener este prototipo en su trabajo. Todas las funcionalidades planteadas en las anteriores reuniones han sido incorporadas y el resultado final tiene muy buen aspecto. Es más, la visualización que ofrece dicha aplicación móvil sobre las infraestructuras del edificio es cuanto menos novedosa, así como de gran utilidad.

Sin embargo, aunque el cliente se encuentre satisfecho con el producto ofrecido. Este proyecto ambicioso aspira a posibles mejoras en un futuro, con ello se perfeccionarán aspectos claves de esta aplicación móvil, así como se introducirán nuevas funcionalidades que ofrezcan al usuario tanto una mayor facilidad, así como una amplia usabilidad.

Por último, en este incremento, todos los requerimientos deben formar parte del prototipo final. No obstante, se prioriza en primer lugar la tarea de revisar cada una de las acciones de la aplicación y tratar de reducir al máximo el esfuerzo que deben hacer los usuarios para realizarlas.

CAPÍTULO 4

TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS

En este capítulo, se van a presentar todas y cada una de las herramientas y lenguajes utilizados tanto para el desarrollo de este proyecto, así como para el preprocesamiento de datos iniciales.

4.3. Google Glass: estudio y análisis

Nada más comenzar la planificación de este proyecto, se llevó a cabo un análisis detallado para definir la herramienta a utilizar para el desarrollo de este proyecto. Una de las tecnologías punteras sobre la cual se realizó una amplia investigación al respecto fueron las famosas *Google Glass* [17] mencionadas en el [Capítulo 1](#).

Debatir en torno a las *Google Glass* es sin duda hablar de innovación, así como de una evolución radical en la tecnología actual en una época en la cual nos encontramos inmersos de lleno en la web 4.0 [18] (web ubicua, en continuo movimiento, donde las experiencias virtuales y 3D logran su máximo esplendor).

La principal ventaja que esta herramienta tecnológica otorga al usuario radica en la forma de interaccionar con ellas. Mediante el uso de su voz o con tan solo un simple parpadeo de ojos, el usuario realizará la interacción con el dispositivo. Por supuesto, y como no podría ser de otra forma, no solo se podrá controlar estas *Google Glass* mediante la voz, sino que, además, si se desea se podrá interactuar con ellas mediante un panel táctil dispuesto en la parte derecha de la montura.

Este dispositivo de AR ha sido utilizado en este proyecto durante etapas iniciales del mismo. Esta herramienta genera una pequeña pantalla virtual sobre un ojo en la que aparecen diversas funcionalidades, desde realizar una llamada, enviar mensaje, hacer una fotografía, etc. Mediante una conexión Wi-Fi y/o bluetooth, las *Google Glass* se sincronizan con el dispositivo móvil permitiendo notificar cualquier incidencia producida en el mismo.

Sin duda alguna, son muchas las utilidades que pueden sacarse de este nuevo invento tecnológico. Actualmente, Google pretende acercar las *Google Glass* al ámbito de la salud, facilitando y agilizando la gestión de rondas, recordatorio de pruebas médicas, etc.

En este proyecto se han testado las distintas funcionalidades que ofrece este dispositivo de Realidad Aumentada (Ilustración 7). Como resultado del conjunto de pruebas realizadas se ha tomado la decisión de considerar insuficiente las prestaciones de esta herramienta tecnológica como instrumento principal debido al reducido tamaño de la pantalla virtual generada. Una de las características más relevantes de esta tecnología es el ser considerada poco intrusiva para el usuario de tal forma mediante un solo ojo (izquierdo o derecho) se solape la información relevante para el usuario. La pantalla sobre la cual el usuario debe interactuar es demasiado pequeña para mostrar toda la información relevante para el mantenimiento de las infraestructuras de abastecimiento no visibles en el interior de los edificios. No obstante, no se descarta que, para trabajos futuros, las *Google Glass* puedan llegar a ser de gran utilidad como herramienta complementaria. Esta puede ser utilizada en paralelo a la solución propuesta en este proyecto con el objetivo de indicar al usuario mensajes destacados o alertas sobre el estado reciente de la infraestructura a revisar.

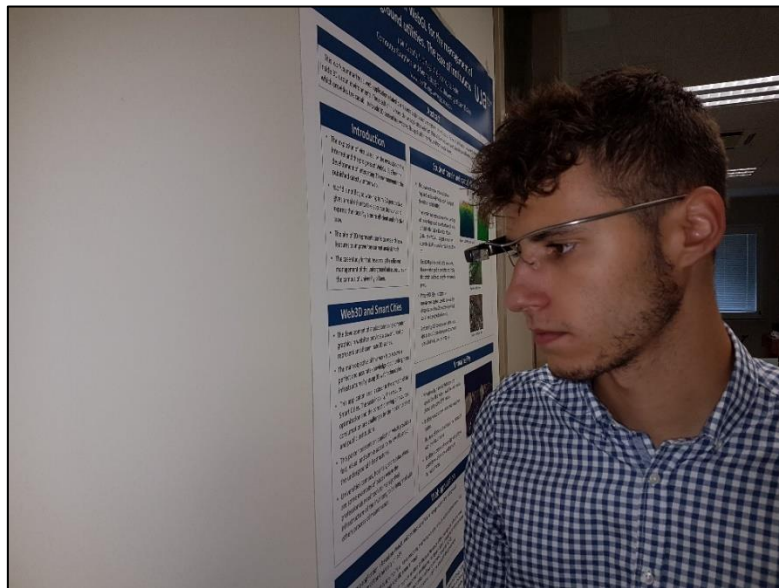


Ilustración 10: Uso de las Google Glass [Autor]

4.4. Herramientas de preprocesamiento

A lo largo del tiempo de desarrollo de este trabajo, son muchas las herramientas que se han utilizado para el preprocesamiento de datos. El uso de todas y cada una de ellas ha permitido convertir la información obtenida en la requerida por parte del prototipo de aplicación móvil, con el fin de conseguir el objetivo general marcado.

4.4.1. MapInfo

En primer lugar, *MapInfo* es un software SIG que permite crear, administrar y visualizar toda la información contenida en un Sistema de Gestión de Información. Esta herramienta ha sido desarrollada por *Pitney Bowes* quien la define como “Sistema capaz de acceder y gestionar los archivos geoespaciales, visualizar datos de inteligencia de negocio y de los clientes, y compartir mapas interactivos de alta calidad” [19]. *MapInfo* junto con *ArcGis* de *ESRI* [20] son las herramientas más demandadas en el mercado comercial de SIG.

En concreto, para este proyecto fin de grado, la utilización de este software SIG ha sido fundamental para realizar el preprocesamiento de datos. Como información inicial, se albergaba un plano CAD (Ilustración 8) bidimensional del edificio A3 en el cual se localizaban todas las infraestructuras de abastecimiento, así como información adicional al respecto, tal y como se puede visualizar en la imagen inferior.

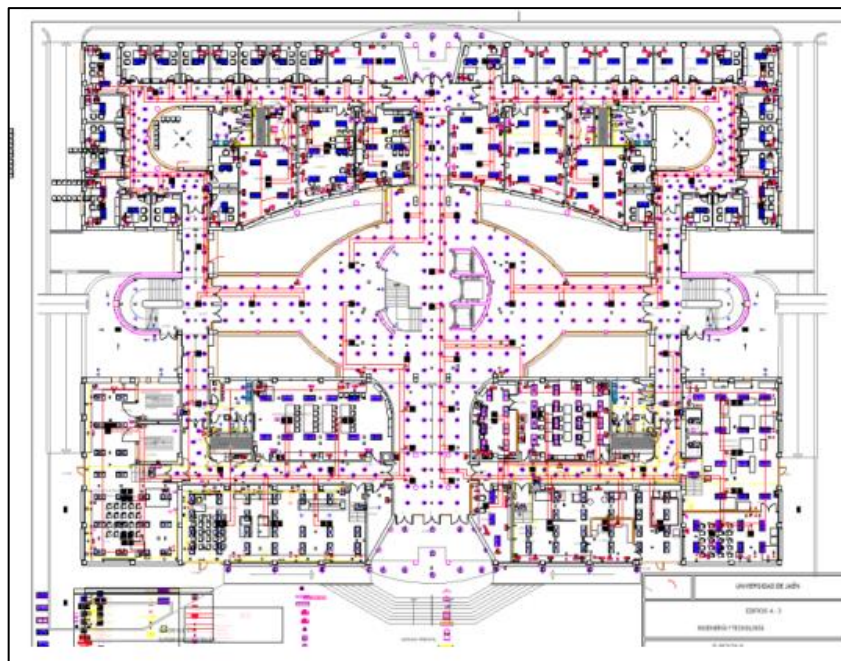


Ilustración 11: Plano CAD inicial [Autor]

Gracias a la utilización *MapInfo*, se ha realizado sin dificultad alguna, una lectura previa de todas y cada una de las capas albergadas en el plano inicial CAD, con todas las capas superpuestas. Mediante la herramienta suministrada por *MapInfo* llamada *Universal Translator* [21], se ha llevado a cabo una clasificación de las diferentes capas del plano inicial, permitiendo la separación de capas de interés, descartando

las irrelevantes e identificando aquellas sobre las cuales se trabajará en etapas posteriores de desarrollo.

A continuación, se muestra el resultado obtenido tras utilizar la herramienta de *Universal Translator* sobre las capas que contienen información sobre muros, pilares y carpintería (Ilustración 9). El procedimiento aplicado a estas tres capas es totalmente expandible hacia aquellas capas de interés para el desarrollo de prototipo de aplicación que este trabajo de fin de grado plantea.

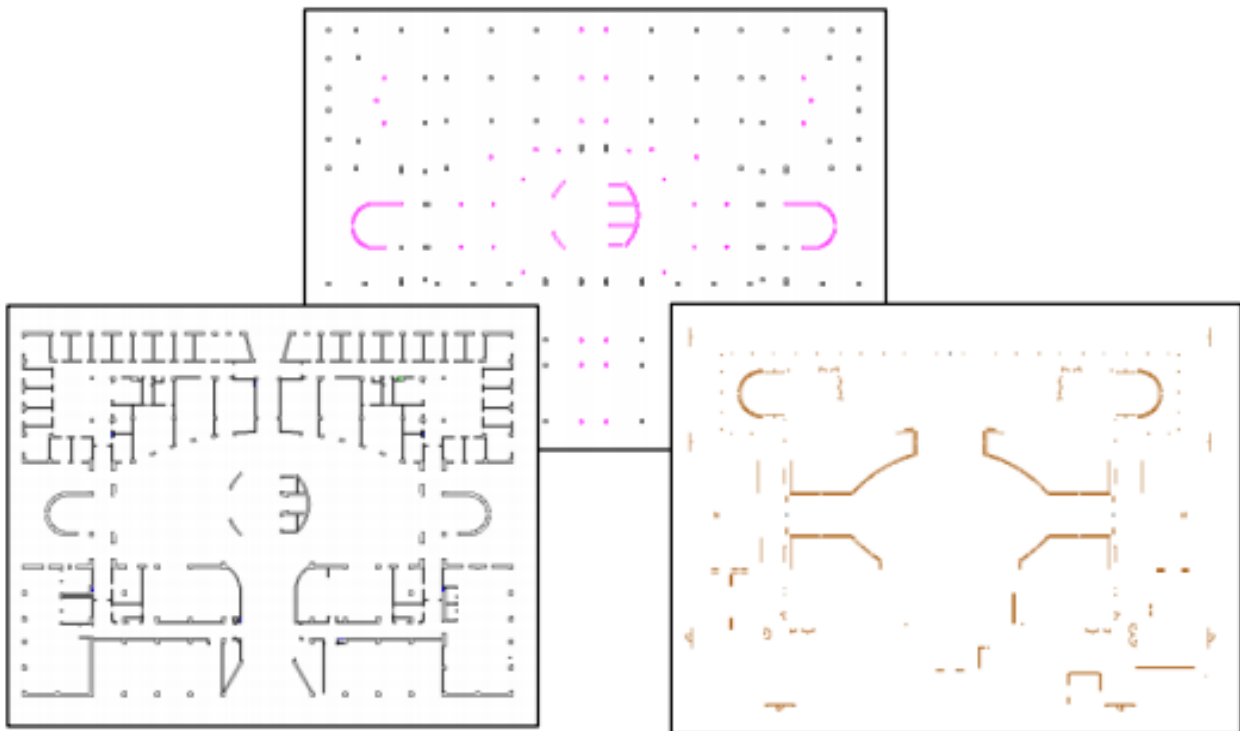


Ilustración 9: Capas de muros, pilares y carpintería [Autor]

4.4.2. Blender

En segundo lugar, el software *Blender*, se ha posicionado como herramienta mediante la cual se han importado las capas bidimensionales CAD generadas por *MapInfo* y mediante la utilización de la herramienta *Extrude* [22] se ha conseguido generar modelos tridimensionales (Ilustración 10).



Ilustración 10: Modelo tridimensional resultado de la extrusión [Autor]

De esta forma, la información inicial bidimensional suministrada, ha sido transformada en información tridimensional sin realizar alteración alguna sobre sus características distintivas. No obstante, una vez importado el modelo tridimensional en Blender, ha sido necesario realizar una reestructuración geométrica, así como topológica del modelo (Ilustración 11). Entre algunas de las tareas propias de la reestructuración, se encuentra la corrección de normales y la revisión de una correcta triangulación. La realización de estas tareas ha permitido mejorar la fluidez del prototipo de aplicación móvil planteada en este proyecto fin de grado.

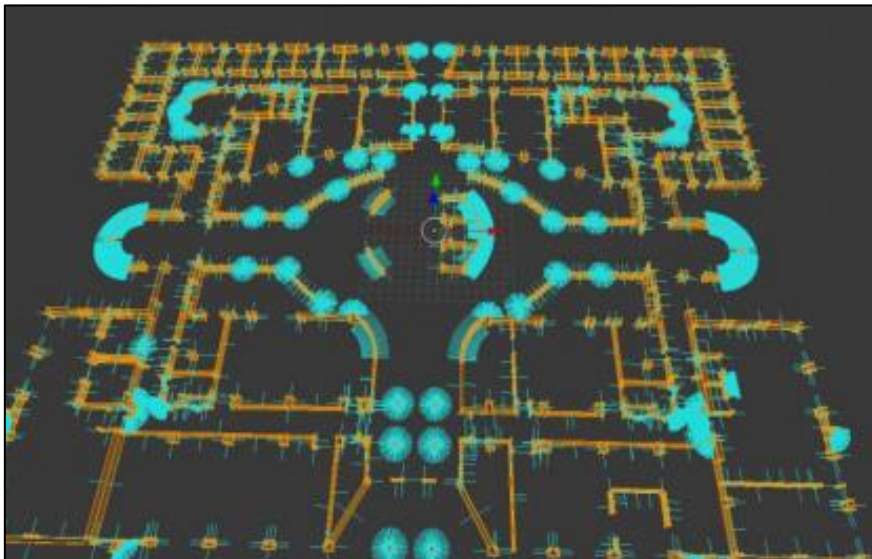


Ilustración 11: Reestructuración Normales Modelo [Autor]

4.5. ARCore

En este apartado se describirá la librería de desarrollo sobre la cual recae casi en su totalidad la implementación de este trabajo, esta recibe el nombre de ARCore. En aspectos generales, ARCore realiza dos tareas fundamentalmente: Rastreo de la posición del dispositivo móvil contemplando su movimiento y el desarrollo de una compresión propia del mundo real.

La tecnología de seguimiento del movimiento de ARCore, utiliza un proceso llamado asignación y edometría concurrente, para comprender dónde se encuentra el teléfono en relación con el mundo que le rodea. ARCore detecta características visualmente distintas en la imagen capturada de la cámara llamadas, puntos característicos y utiliza estos puntos para calcular su cambio de ubicación. La información visual se combina con mediciones inerciales de IMU del dispositivo para estimar la posición, así como la orientación de la cámara en tiempo de ejecución. Al alinear la posición de la cámara virtual que renderiza su contenido 3D con la posición de la cámara del dispositivo proporcionado por ARCore, los desarrolladores pueden presentar contenido virtual desde la perspectiva correcta (Ilustración 12). La imagen virtual procesada puede superponerse sobre la imagen obtenida desde la cámara del dispositivo, haciendo que parezca que el contenido virtual forma parte de manera inherente del mundo real.



Ilustración 12: Rastreo de Movimiento [2]

Además de identificar puntos clave, ARCore lleva a cabo la detección de superficies planas horizontales y verticales, así como también puede detectar información sobre la iluminación promedia de su entorno y de acorde a esta habilitar o no objetos virtuales (Ilustración 13). Estas capacidades se combinan para permitir que ARCore sea capaz de realizar una correcta comprensión del entorno que rodea al usuario.



Ilustración 13: Estimación de la luz [2]

La comprensión de ARCore sobre el mundo real, permite no solo colocar objetos tridimensionales integrándose perfectamente en el mundo real, sino que además permite un suministro de información adicional virtual sobre el mundo real hacia el usuario. Es más, no solo la visualización de dichos modelos obtiene relevancia en dicha API, sino que, la interacción con ellos permite dar un gran paso hacia la Realidad Mixta.

Sin embargo, antes de sumergirse en ARCore, es realmente útil comprender todos estos conceptos fundamentales mencionados anteriormente. Juntos, dichos conceptos ilustran cómo ARCore recrea experiencias de contenido virtual superpuesto sobre superficies reales sin causar extrañeza alguna sobre la visualización de ambos mundos superpuestos.

4.6. Motor de Desarrollo

En la actualidad pueden encontrarse gran variedad de motores de desarrollo para aplicaciones móviles, cada uno, con sus características distintivas, sus ventajas y sus inconvenientes. Entre todos ellos, se ha decidido utilizar *Unity 3D* como motor de desarrollo de para el prototipo de aplicación móvil planteada en este proyecto de fin de grado.

Unity3D es propiedad de *Unity Technologies* [23], y actualmente es uno de los motores de juego más importantes y extendidos. Permite utilizar *JavaScript*, *Boo*, así como *C#*, y dispone de un editor que agiliza el desarrollo de la aplicación. Además, posee una amplísima comunidad, que ayuda a resolver dudas y crea *plugin* para cubrir aspectos puntuales del desarrollo, algunos de los cuales son muy potentes y su uso está ampliamente extendido.

Una de las principales razones por la cual se ha tomado la decisión de escoger *Unity* como motor de desarrollo, se fundamenta en la visión compartida que *Unity* y *Google* (desarrollador de la plataforma *ARCore*) mantienen acerca de la democratización del desarrollo de Realidad Virtual y Aumentada. El equipo de *XR de Unity* ha estado trabajado estos últimos años codo a codo con el equipo de *Inmersive Computing de Google* [24] para establecer una solución estable a un gran número de desafíos que representa el desarrollo de aplicaciones de AR.

Este acercamiento entre *Unity* y *Google* ha facilitado la labor de configuración de *Unity* como motor de desarrollo para realizar aplicaciones móviles orientadas hacia la Realidad Aumentada. Esta facilidad radica en el lanzamiento de una vista previa de *ARCore SDK* [25] para *Unity*, permitiendo de esta manera que usuarios interesados en el desarrollo de aplicaciones de AR puedan descargar este SDK e importarlo en *Unity* sin problema alguno y comenzar a incorporar funcionalidades que aporta *ARCore* en el desarrollo de sus aplicaciones móviles.

En lo que respecta a este proyecto fin de grado, *Unity* se ha posicionado como motor de desarrollo a través del cual se ha realizado el diseño e implementación de la interfaz de usuario, así como, el modelado de la escena virtual. El sistema de navegación sobre dicha escena definido utilizando funcionalidades suministradas por *ARCore*.

4.7. Lenguajes de programación

Una vez elegido Unity como motor de desarrollo, se deberá escoger un lenguaje de programación. Este motor, permite emplear JavaScript, Boo y C# e incluso utilizar varios a la vez. Debido a recomendaciones suscitadas desde los foros de Unity, la utilización de varios lenguajes de programación en un mismo proyecto propiciaba un alto porcentaje de errores, ya que habría que tener en cuenta el orden de ejecución y compilación de cada script, se descartó rápidamente esta opción. *Boo*, lenguaje inspirado en Python, también fue descartado inicialmente debido a la falta de apoyo por parte de la comunidad.

Teniendo en cuenta que C# presentaba una sintaxis mucho más familiar a la de *Java*, lenguaje a través del cual se ha trabajado en gran parte de la carrera, se decidió utilizar éste. Además, proporciona un mayor control, aunque esto mismo exija una mayor responsabilidad por parte del programador. Por último, y para reforzar la decisión, se consultó fuentes digitales (foros principalmente) y libros, y la mayoría de estos recomendaban la utilización de C# como lenguaje de programación para la implementación de aplicaciones móviles mediante la utilización de Unity como motor de desarrollo.

En lo que respecta a la gestión y control del funcionamiento del prototipo de aplicación móvil planteado en este proyecto de fin de grado, cabe destacar la utilización de funcionalidades suministradas por ARCore SDK, así como la creación de un gran número de scripts (Ilustración 12). Estos aseguran una correcta interacción con la aplicación y garantizan una visualización adecuada. En los siguientes gráficos se muestra el conjunto de scripts destacables detallando la utilidad de los mismo para llevar a cabo el desarrollo de este prototipo de aplicación móvil.

AR Core SDK scripts

ARCoreSession: Administra el estado del sistema AR.

- *Permite crear una sesión, configurarla e iniciarla/detenerla.*
- *Gestiona la recepción de información sobre la posición del dispositivo.*

HelloARController: Maneja tareas críticas en cada fotograma.

- *Seguimiento del movimiento.*
- *Detección de Cloud Anchor [35].*

PlayerPosition: Calcula en todo momento la posición del usuario.

RayCast: Realiza un RayCast contra objetos físicos rastreados por ARCore.

ARCoreBackGround: Utiliza la cámara del dispositivo para capturar imágenes del mundo real y ponerlas a disposición como

PointCloud Visualizer: Contiene el conjunto de puntos 3D observados

Detected Plane Generator: Proporciona la creación de planos mediante la detección de puntos 3D del mundo real.

Scripts Propios

Touch Camera: Controla la interacción del usuario con el dispositivo móvil.

Drop Down: Gestiona la interfaz proporcionada para que el usuario realice modificaciones sobre elementos virtuales superpuestos sobre el mundo real.

Remove Post: Inicializa la posición inicial del usuario nada más iniciar la aplicación

Ilustración 12: Scripts que incluye la aplicación

CAPÍTULO 5

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se va a describir el conjunto de actividades que se han realizado durante la fase de diseño e implementación del sistema. En esta etapa se realiza la traducción de los requerimientos funcionales, así como no funcionales establecidos en la fase de análisis. Además, durante este capítulo, se desarrollará un prototipo real y funcional cumpliendo con todos los requerimientos de análisis y diseño.

5.1. Diseño de los datos

5.1.1. Transformación de los datos

Una vez descritas en el capítulo anterior el conjunto de herramientas utilizadas durante este proyecto, a continuación, se describe la evolución de los datos. En la Ilustración 11 se muestra de forma esquemática la evolución del conjunto de datos que forman parte de la aplicación resultante de este proyecto. Estos datos pueden ser categorizados en dos secciones:

- 1. Datos de entrada:** mapa CAD con información de las infraestructuras instaladas en el interior del edificio A4 de la Universidad de Jaén.
- 2. Datos procedentes del reconocimiento del entorno:** nube de puntos y conjunto de planos generados a medida que se utiliza la aplicación y el usuario se desplaza por el mundo real.

Tal y como aparece en la siguiente imagen (Ilustración 11), se tiene como fuente de entrada un mapa CAD en el que se muestran solapadas todas las infraestructuras sin topología alguna. Para la adecuada gestión de esta información se lleva a cabo el proceso de clasificación y preprocesamiento de las capas CAD. Una vez identificada cada capa de servicios es exportada a Blender en donde se realizan las operaciones de extrusión, recálculo de normales y triangulación. Finalmente, se lleva a cabo la integración de todos los modelos 3D, manteniendo la escala y correspondencia espacial, en Unity. Se utiliza la librería ARCore para la generación de una nube de puntos dispersa y un conjunto de planos que describen el entorno real del usuario. Todas estas fases quedan detalladas en mayor profundidad en el capítulo anterior.

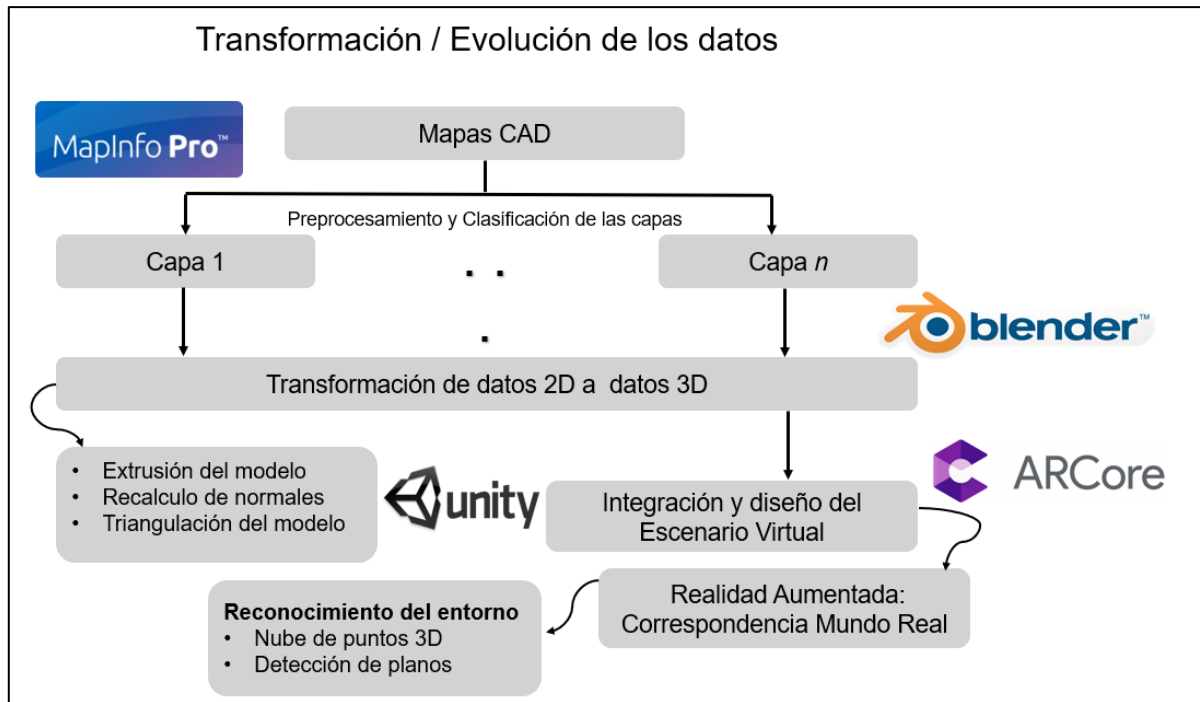


Ilustración 13: Transformación de los datos [Autor]

5.1.2. Gestión de los datos en memoria

En este proyecto el conjunto de información y datos quedan almacenados en la memoria de la aplicación. Tanto la nube de puntos como los planos generados mediante la librería ARCore son almacenados en estructuras de datos internas con el objetivo de ser utilizadas y consultadas de forma eficiente en tiempo real. El conjunto de infraestructuras y modelos 3D no requieren de geolocalización y se registra para cada una de ellas coordenadas relativas de mundo. En cuanto a la información descriptiva de las infraestructuras queda almacenada de forma estática en la aplicación móvil. En este sentido, cabe destacar que para un eficiente rendimiento de la aplicación es necesario que el conjunto de datos esté almacenado en memoria de esta forma, se evitan posibles pérdidas relativas a la conexión cliente-servidor.

5.2. Diseño de la interfaz de usuario

En este apartado se va a realizar una descripción acerca del proceso llevado a cabo en la realización de este proyecto fin de grado para conseguir desarrollar una buena interfaz de usuario. En términos generales, todo diseño debe comenzar por conocer a los usuarios de destino, así como los perfiles respectivos de edad, sexo, habilidades físicas, educación, antecedentes culturales o étnicos, motivación,

objetivos y personalidad [26]. A la hora de diseñar la interfaz de usuario, se ha de tener en cuenta la correcta colocación de todos los elementos con el fin de garantizar una buena experiencia de usuario.

El prototipo de aplicación móvil desarrollado en este proyecto fin de grado, plantea una interfaz donde tanto la usabilidad, así como la accesibilidad se establecen como base durante el diseño e implementación de interacción. A diferencia de la mayoría de aplicaciones móviles, este prototipo de aplicación maneja tecnología AR, por lo que la interfaz de usuario no ha de contener nivel elevado de intrusismo. Los elementos de esta interfaz han de estar correctamente ordenados y ubicados, de manera que no provoque problema alguno al usuario para visualizar el mundo.

Esta parte del diseño, así como la de implementación de la interfaz, ha sido realizada durante el incremento dos y tres, ya que hasta entonces eran otros los requerimientos fijados tanto por parte del cliente, así como por parte del desarrollador. En este caso, con el fin de conseguir una interfaz que contenga todas las características mencionadas anteriormente, ésta ha de sufrir modificaciones continuamente según los requerimientos fijados en todos y cada uno de los incrementos. No obstante, para tener una visión general acerca de la interfaz, la realización de un storyboard es realmente útil.

5.2.1. Guía de estilos: Usabilidad

La usabilidad es considerada uno de los factores más importantes dentro de la calidad de un producto software. Particularmente, la usabilidad de una aplicación software se refiere a la facilidad con que los usuarios pueden utilizar la misma para alcanzar un objetivo concreto [27]. El prototipo de aplicación móvil desarrollado en este proyecto, presenta una interfaz de usuario totalmente accesible, así como intuitiva. Esta interfaz específicamente diseñada para ser utilizada en Realidad Aumentada tiene como principal característica no ser intrusiva para el usuario. Queda así, desplazada a la zona inferior o lateral de la pantalla teniendo la posibilidad de ocultarse en caso de ser necesario. En cuanto al texto utilizado, se mantiene un tamaño 18 pt y de color negro para la fuente sobre fondo blanco para facilitar así la lectura al usuario. En una aplicación de Realidad Aumentada es de vital importancia que la interfaz no ocupe la mayor parte del campo visual del usuario. De esta forma,

se evita distraer al usuario atrayendo su foco de atención hacia el solapamiento del escenario virtual sobre el mundo real.

5.2.2. Storyboard

La herramienta de storyboard consiste en un conjunto de ilustraciones mostradas en una secuencia, con el fin de tener un guía inicial del sistema de navegación en una aplicación determinada. EL proceso de Storyboarding, fue desarrollado en el estudio de Walt Disney durante la década de 1930. EL objetivo era tratar de representar un conjunto de viñetas de forma que la secuenciación de todas ellas permitiese la recreación del movimiento. Actualmente, esta técnica se encuentra extendida hacia muchas áreas de la informática. En concreto, está presente en la etapa del diseño de la interfaz con el fin de mostrar mediante un guión gráfico todo el flujo de navegación [28].

Los storyboards son muy útiles para propiciar un buen entendimiento entre el desarrollador y el cliente. Previo a la implementación se realiza un esquema sobre papel de forma que se muestre al cliente el proceso de interacción que van a tener los diferentes usuarios con el sistema. Una de las principales ventajas que aporta la realización de un storyboard consiste en la detección temprana de posibles errores de interacción, evitando así, corregir estos aspectos en las últimas fases en donde suele ser demasiado costoso.

A continuación, se va a mostrar un Storyboard en el que se evidencia todo el flujo de navegación del prototipo realizado durante este trabajo, así como su evolución durante la realización del mismo, obteniendo en cada interacción una mejora significativa (Storyboard A, B, C).

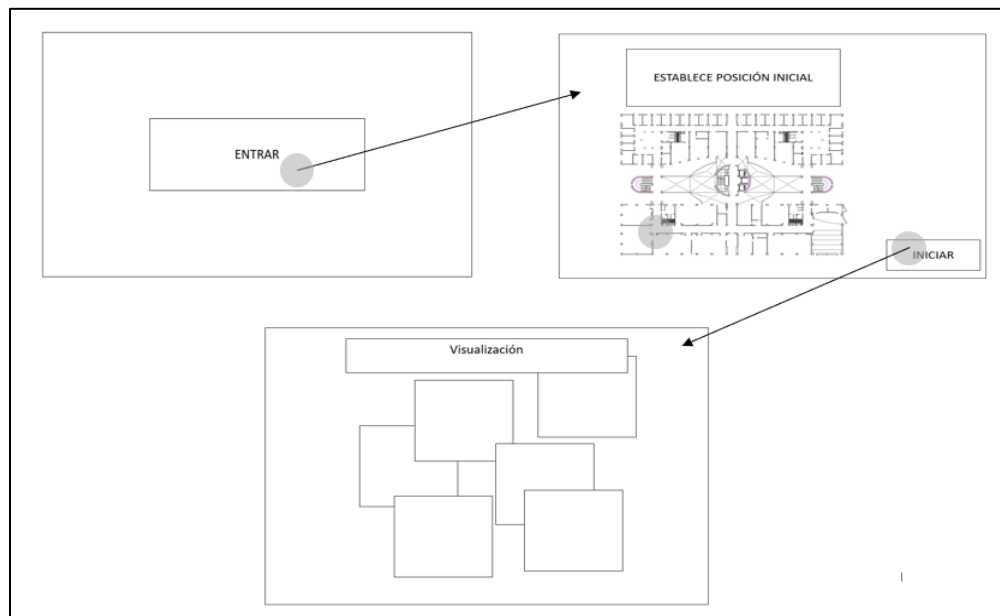


Ilustración 14: Storyboard Parte A [Autor]

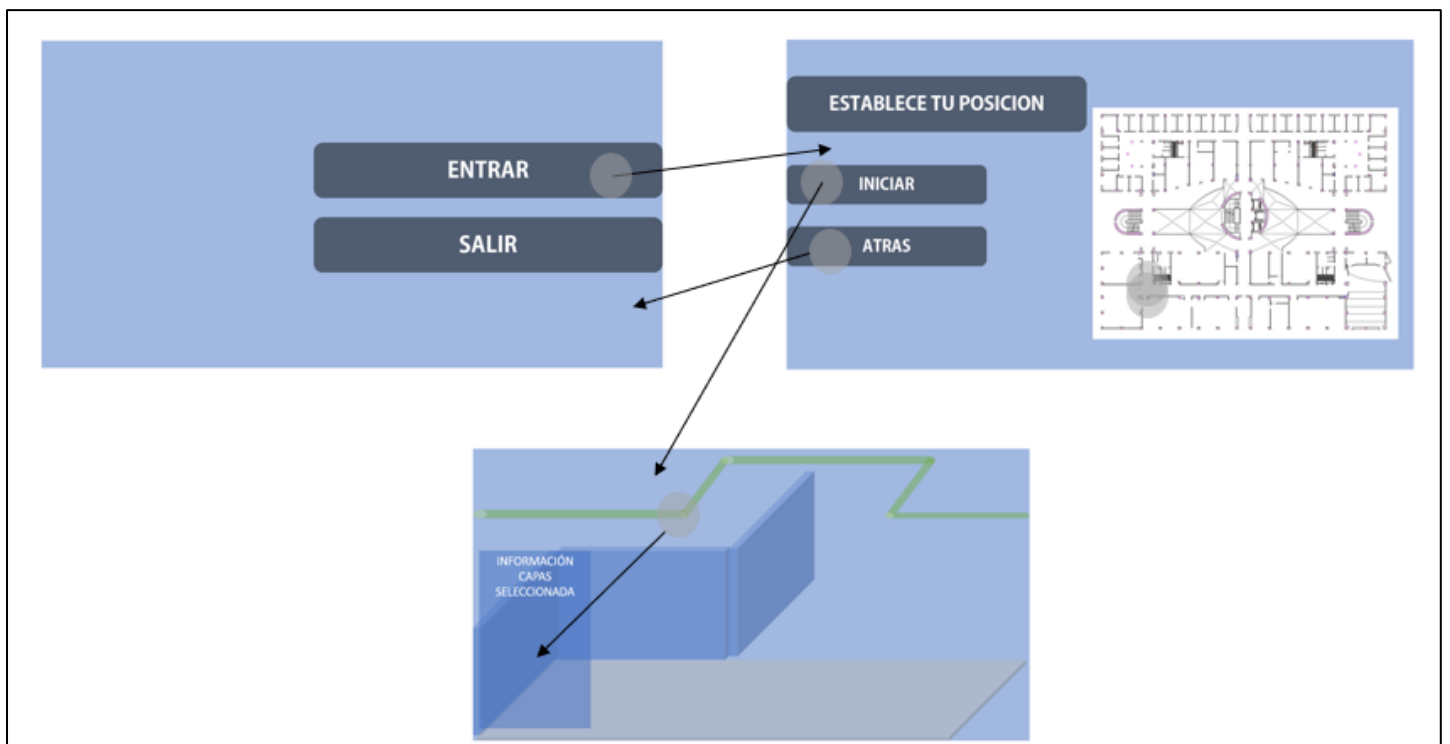


Ilustración 15: Storyboard Parte B [Autor]

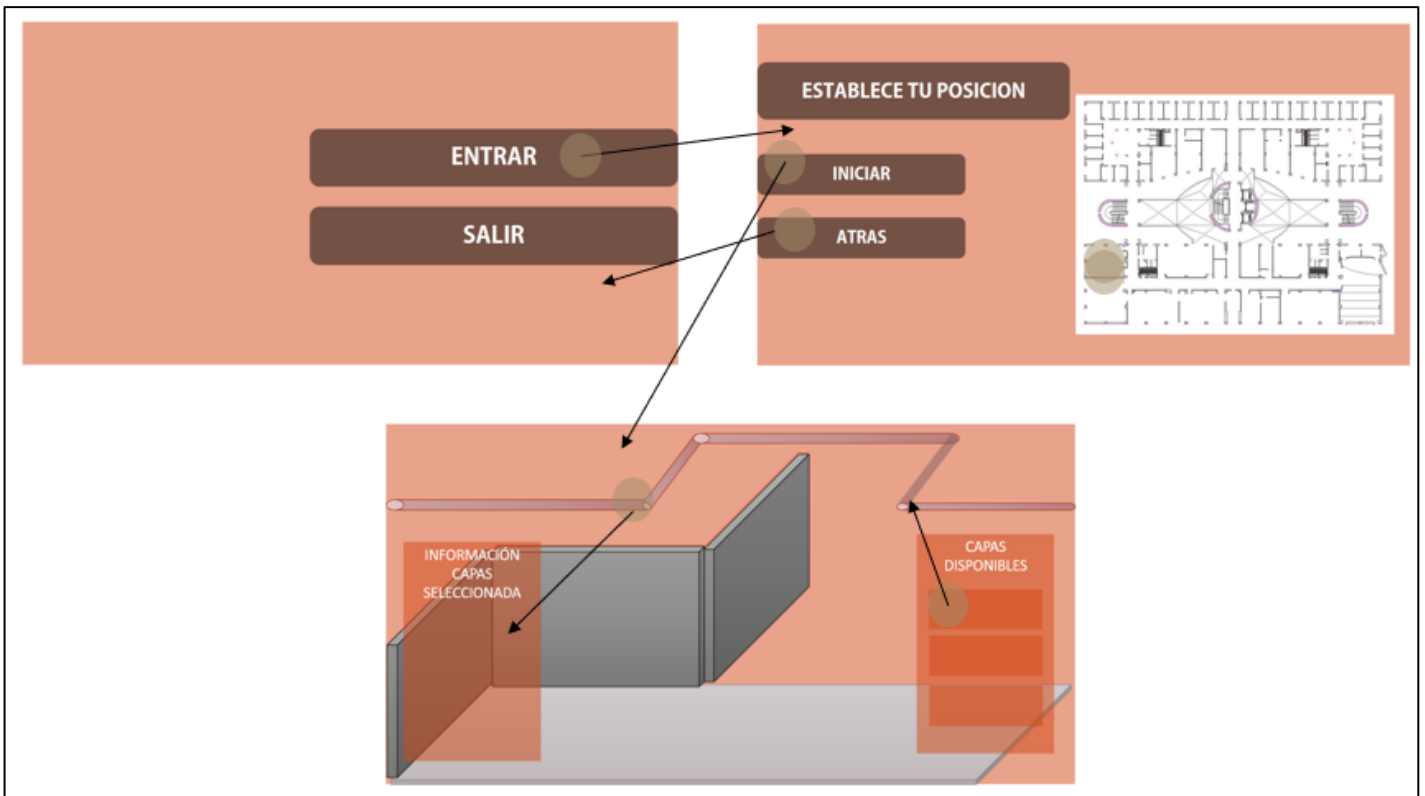


Ilustración 16: Storyboard Parte C [Autor]

5.3. Sistema de navegación

El sistema de navegación es uno de los aspectos clave en cualquier tipo de aplicación móvil. Cuando se trabaja con escenarios tridimensionales, en ocasiones resulta realmente complicado definir un grado de libertad de movimiento adecuado. Durante la realización del prototipo de aplicación móvil planteado en este proyecto fin de grado, se han utilizado características propias de ARCore, fundamentales para llevar a cabo al completo el sistema de navegación demandado.

El hecho de que ARCore contenga funcionalidades referentes al posicionamiento, así como a la orientación del dispositivo móvil, facilita en gran medida la gestión y control del sistema de navegación. Sin embargo, Para llevar a cabo un correcto sistema de navegación, en lo que a nivel de implementación respecta, es necesario realizar el seguimiento de movimiento una vez establecida una posición inicial ya que la orientación se realizará de acorde a la posición establecida. El seguimiento de movimiento, permite que el teléfono comprenda y rastree su posición relativa del mundo.

De esta manera, los elementos virtuales quedan naturalmente superpuestos sobre el mundo real. En el momento que el usuario se disponga a desplazarse, éste a su vez experimenta el mismo movimiento en el mundo virtual. Debido a la correspondencia existente entre mundo real y mundo virtual, el usuario percibe de manera natural la incorporación de elementos virtuales sobre su entorno real.

5.4. Implementación Incremento 1

En esta fase inicial de implementación, lo primero que se ha realizado es dedicar varios días a leer e investigar sobre la amplia gama de funcionalidades que ofrece ARCore SDK. Tras realizar dicha documentación previa, se consigue una visión muy general acerca del alcance de esta nueva tecnología. Sin embargo, ha sido necesario indagar aún más acerca de la adaptación de funcionalidades de ARCore en este proyecto en cuestión y cómo estas funcionalidades pueden ser útiles para la implementación del prototipo de aplicación móvil planteado en este trabajo.

Una vez decidida la herramienta en torno a la cual gira el desarrollo e implementación de este proyecto, se ha de trabajar sobre el diseño y creación del escenario 3D que se pretende superponer sobre el mundo real. A continuación, se exponen los componentes de esta primera escena tridimensional, escena la cual se plantea como un prototipo inicial sobre la cual se irán realizando modificaciones e incorporaciones según las conclusiones adquiridas en cada incremento del análisis de requisitos.

- Cámara ARCore y sus respectivos controles (Ilustración 16).
- Modelo 3D edificio A4 (Ilustración 14).
- Elemento ARCore PointCloud, permite la detección de puntos 3D en coordenadas de mundo.
- Elemento ARCore Detected Plane, conforme a los puntos detectados, se generan planos tridimensionales.

En este punto ya se tiene definido el marco de trabajo, el siguiente paso consiste en visualizar las capas de las instalaciones de abastecimiento sobre el edificio. Tal y como se especifican en los requerimientos funcionales, se debe lograr el posicionamiento del edificio en la escena, así como adecuación de todas y cada una

de las infraestructuras por separado, habiendo realizado previamente la conversión de los datos bidimensionales a datos tridimensionales (Ilustraciones 15 y 17). Finalmente, se obtiene una escena 3D en la que se puede:

- Visualizar sin problema alguno el edificio A4 e identificar todas y cada una de las instalaciones ocultas en el mundo real por techos y muros.
- Realizar desplazamientos muy triviales.

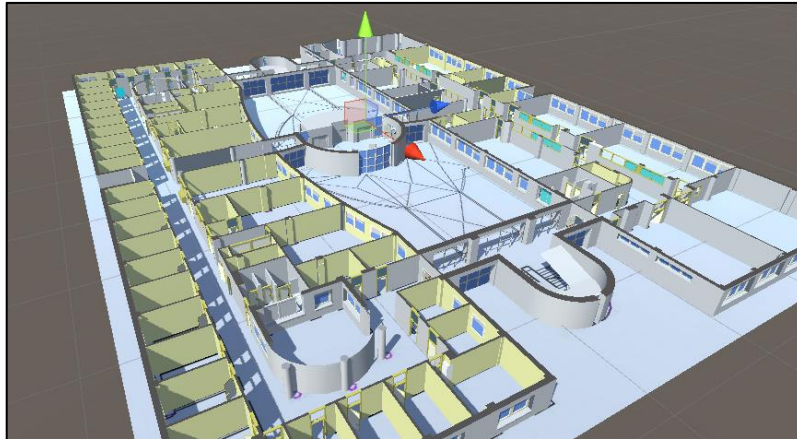


Ilustración 17: Representación inicial edificio [Autor]

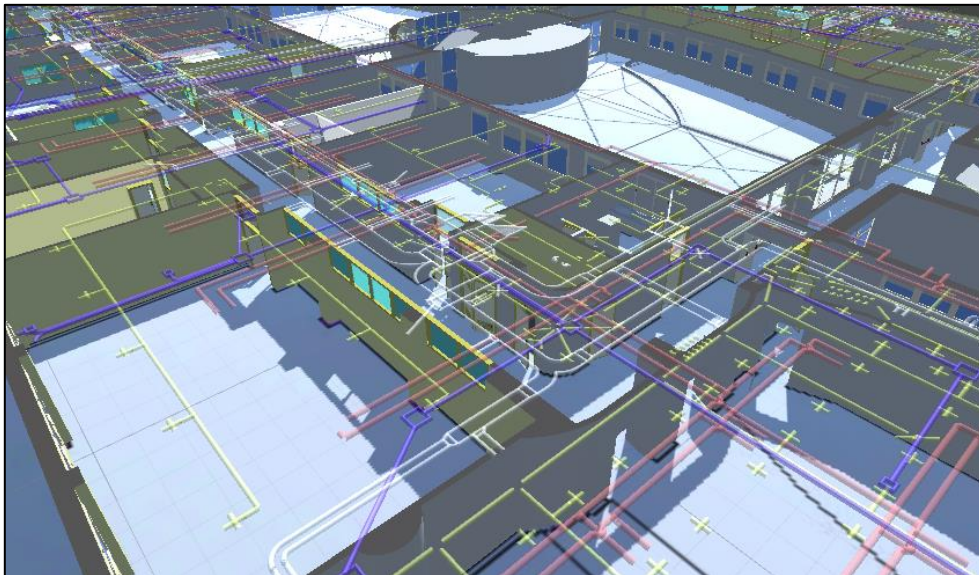


Ilustración 18: Representación Instalaciones de abastecimiento [Autor]

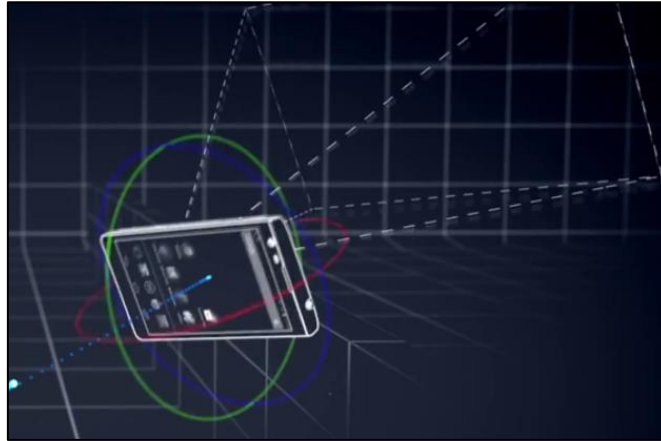


Ilustración 19: Sistema de movimiento de la cámara [Autor]

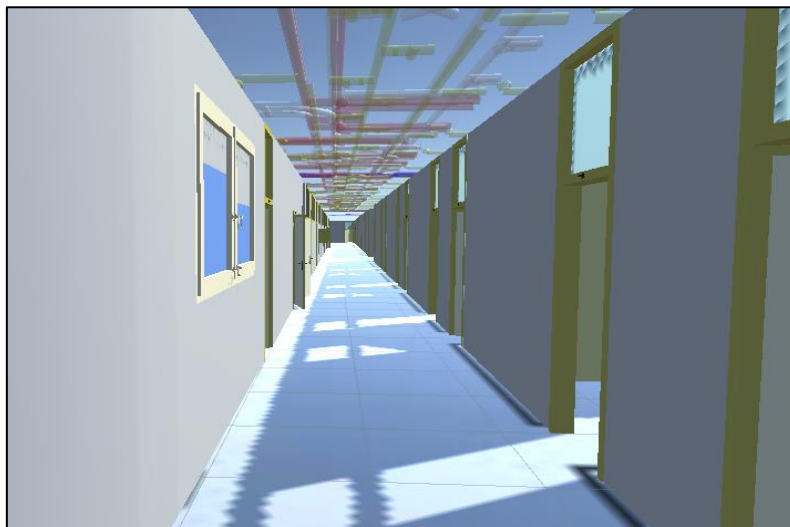


Ilustración 20: Visión Cámara ARCore [Autor]

5.5. Implementación Incremento 2

En este segundo incremento, el principal objetivo propuesto en esta fase de implementación es dotar de mayor realismo a la escena a la hora de realizar la superposición del mundo virtual respecto al mundo real. La primera tarea llevada a cabo consiste en realizar pequeñas modificaciones sobre todos y cada de los modelos importados en el escenario tridimensional.

Durante el desarrollo del primer incremento, los modelos 3D habían sido importados sin conocer con exactitud su geometría y topología. Sin embargo, durante este incremento mediante la utilización de una herramienta rica en funcionalidades propias para el modelaje de objetos tridimensionales, llamada *Blender* [29], se ha

podido realizar un análisis exhaustivo sobre estos modelos realizando transformaciones geométricas (Ilustración 20), así como topológicas (Ilustración 21) con el objetivo de favorecer la fluidez de la aplicación.

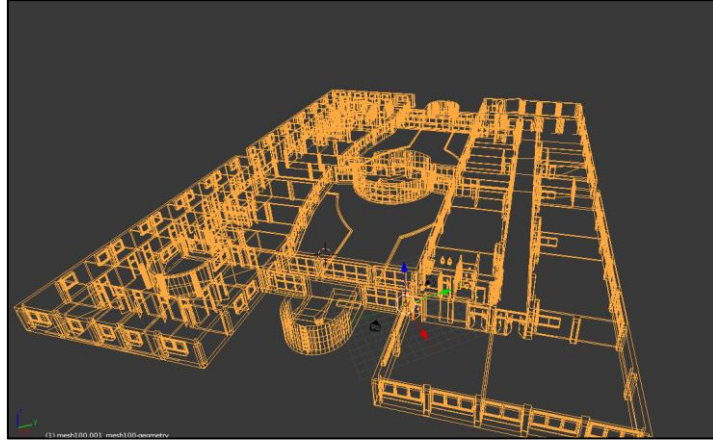


Ilustración 21: Reestructuración Geométrica [Autor]

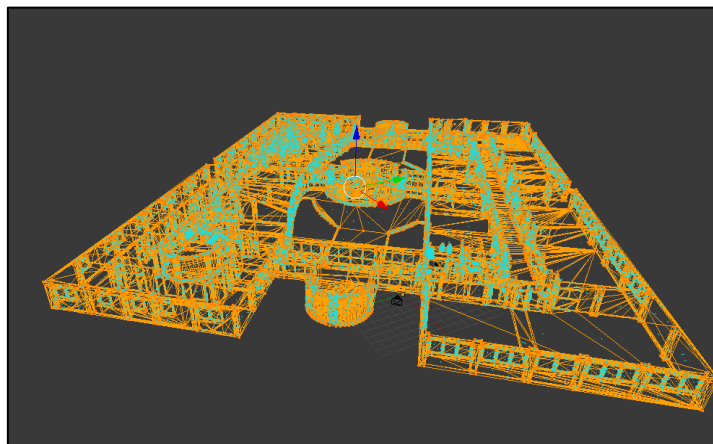


Ilustración 22: Reorientación Normales [Autor]

Una vez realizada la mejora sobre los modelos utilizados en el escenario tridimensional, se procede a reajustar las dimensiones de la escena para conseguir un mayor realismo a la hora de realizar la superposición con el mundo real. En este punto de desarrollo, se ha obtenido una escena 3D bastante más realista que en el incremento anterior, tan solo faltaría realizar los cambios pertinentes para habilitar el sistema de navegación que ARCore suministra y analizar posibles mejoras.

Una vez conseguida una escena tridimensional suficientemente realista y completa, es el momento de iniciar el diseño de la interfaz gráfica de usuario. Según los requerimientos funcionales de este prototipo de aplicación, el usuario deberá serle

fácil recoger información acerca de cualquier instalación de abastecimiento. Además, mediante la interfaz de usuario este podrá ocultar y habilitar cualquier instalación en cualquier momento (Ilustración 22). Para ello, se ha diseñado una interfaz gráfica de acorde a los storyboards realizados en apartados anteriores teniendo siempre presente la usabilidad, así como accesibilidad de la misma.

En la siguiente imagen se plasma la interfaz gráfica de usuario desarrollada para este prototipo de aplicación móvil.

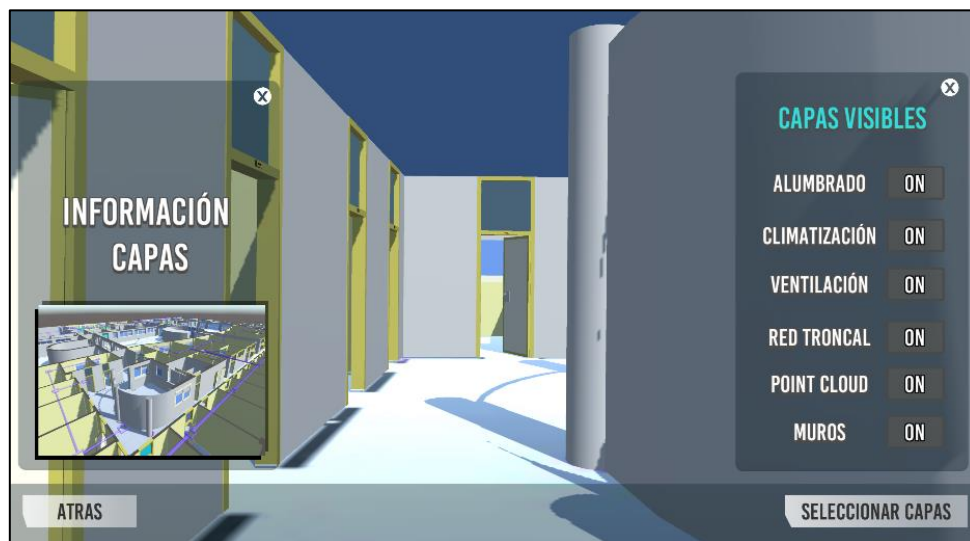


Ilustración 23: Interfaz de Usuario [Autor]

5.6. Implementación Incremento 3

En este último incremento, tal y como se recoge en la fase de análisis, se van a realizar mejoras significativas sobre todos y cada uno de los requerimientos desarrollados en incrementos anteriores. Estas mejoras han permitido obtener un prototipo de aplicación móvil parcialmente completo y una interfaz de usuario como la que se puede visualizar en la imagen inferior, intuitiva, así como poco intrusiva (Ilustración 23).

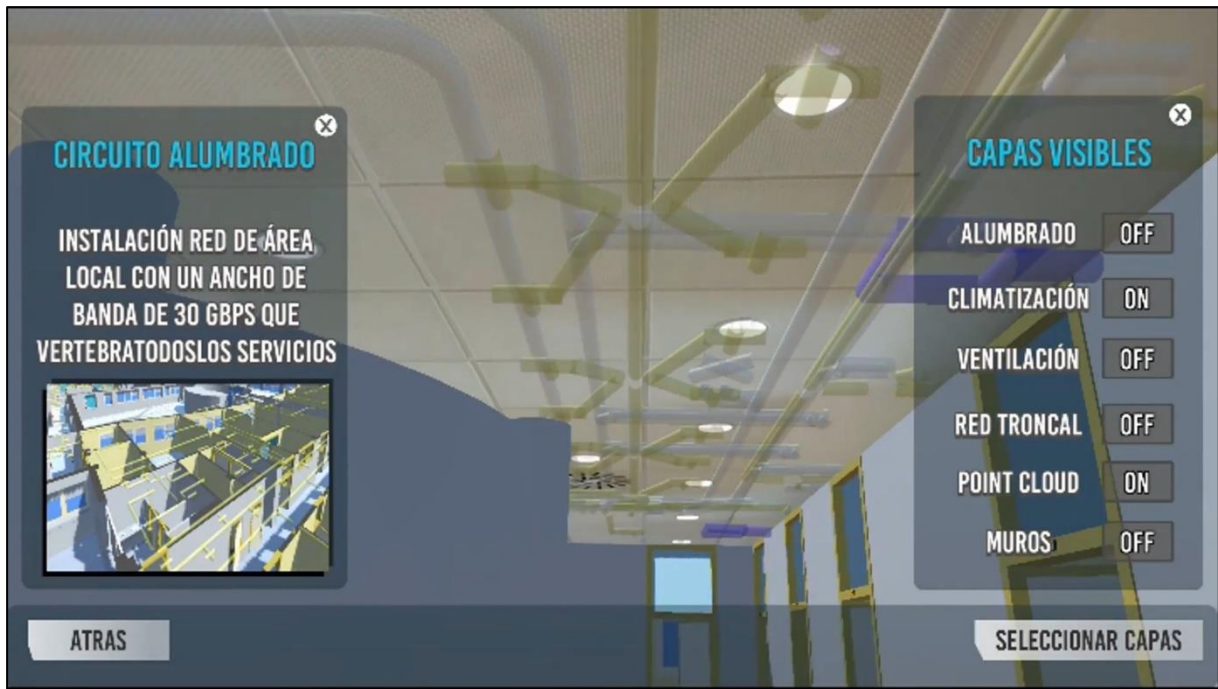


Ilustración 24: Interfaz y visualización de las infraestructuras [Autor]

Previamente a dar por finalizada la fase de diseño e implementación del sistema, se realiza una pequeña recopilación de posibles mejoras sobre la aplicación, con el objetivo de impresionar con funcionalidades imprevistas al usuario que les ayude a realizar alguna tarea en la aplicación. No obstante, no es recomendable cerrar al completo la línea de desarrollo de este prototipo de aplicación móvil debido a la novedad de la tecnología que plantea, así como la utilidad que aplicaciones de esta índole representan actualmente en la sociedad.

CAPÍTULO 6

CASOS DE PRUEBA

Una vez realizado el análisis, diseño e implementación del sistema al completo, el prototipo de aplicación móvil desarrollado ha de someterse a una serie de pruebas para verificar que esté libre de errores. Para realizar el testeo de cualquier prototipo software, existen dos procedimientos. Por un lado, se llevan a cabo pruebas de caja negra [30] en la cual se verifica que cada función se encuentra operativa sin errores. Por otro lado, se elaboran pruebas de caja blanca [31] a través de las cuales se comprueban las operaciones internas a nivel de código existente en el sistema.

6.1. Casos de prueba

Para llevar a cabo el objetivo planteado durante este proyecto fin de grado, se han llevado a cabo la implementación de un gran número de algoritmos que han de examinarse de forma exhaustiva y detallada. Para ello, es necesario incluir pruebas de caja blanca tal y como se ha mencionado anteriormente. Sin embargo, para comprobar la reacción del sistema frente a las distintas acciones de usuario para cada requisito funcional, se han utilizado pruebas de caja negra. A continuación, se plasman los test diseñados para corroborar la funcionalidad, así como accesibilidad del sistema llevado a cabo.

- **Prueba 1:** Indicar posición inicial

Requisitos testeados	Posicionamiento del usuario.
Precondiciones	El usuario debe haber ejecutado la aplicación.
Acción	El usuario no introduce su posición.
Checkpoint 1	El sistema no habilita el botón comenzar hasta que el usuario no indique su posición inicial.
Acción	El usuario marca sobre el mapa su posición.
Checkpoint 2	El sistema habilita el botón comenzar.

- **Prueba 2:** Consultar información infraestructuras

Requisitos testeados	El sistema debe mostrar las características distintivas de cada instalación de abastecimiento.
Precondiciones	El usuario debe previamente haberse posicionado
Acción	El usuario interacciona sobre cualquier tubería visible
Checkpoint 1	El sistema comprueba que se trata de un elemento registrado y muestra la información asociada a dicho elemento.

- **Prueba 3:** Ocultar/ ver las capas de la escena

Requisitos testeados	El sistema debe permitir ocultar las capas de las infraestructuras.
Precondiciones	El usuario debe previamente haberse posicionado y clicado sobre el botón seleccionar capas.
Acción	El usuario utiliza los botones ON, OFF para determinar que capa quiere mantener visible y cual ocultar.
Checkpoint 1	El sistema oculta/visualiza la capa determinada.

6.2. Resultados obtenidos

Una vez realizadas todas y cada una de las pruebas pertinentes acerca de las tareas que pueden presentar problema alguno por parte del usuario en su realización, se muestra a continuación el resultado obtenido en los puntos de verificación (Checkpoint) que se han establecido en la ejecución de cada prueba.

Prueba 1	
Checkpoint 1	OK
Checkpoint 2	OK
Prueba 2	
Checkpoint 1	OK
Prueba 3	
Checkpoint 1	OK

Tal y como queda reflejado en la tabla, el desarrollo, así como la ejecución de todas las pruebas, han sido realizada exitosamente. Es más, pensando en los tipos de usuarios que pueden servirse de este prototipo de aplicación, estas pruebas han sido llevadas a cabo por usuarios de distinta índole. Tal y como se era de esperar, cada usuario ha tenido un orden de interacción a la hora de concluir cada tarea. Sin embargo, todos y cada uno de ellos han conseguido finalizarla sin ayuda ninguna de manera intuitiva a la vez que satisfactoria.

6.3. Tipos de usuarios y pruebas de usabilidad

Para la realización del conjunto de casos de prueba se han requerido a tres tipos de usuarios con distinto nivel de experto. Tras una breve introducción esquematizada de las funcionalidades que tiene este prototipo, se han extraído las una serie de conclusiones estadísticas en función del resultado de la siguiente encuesta:

- **Pregunta 1:** Indica de 0 a 10, el grado de innovación que presenta este prototipo de aplicación móvil.
- **Pregunta 2:** Puntúe de 0 a 10, siendo 10 muy accesible y 0 poco accesible, el grado de accesibilidad que presenta este prototipo de aplicación móvil.
- **Pregunta 3:** Indica de 0 a 10, siendo 0 muy poco intuitivo y 10 muy intuitivo, la acción de reconocer su ubicación en el mapa, así como moverte en él y marcar su localización.
- **Pregunta 4:** ¿Crees correcta la superposición del mundo virtual sobre el mundo real?, puntúe de 0 a 10.
- **Pregunta 5:** ¿Te genera cansancio o fatiga la necesidad de tener continuamente los brazos extendidos para visualizar el entorno virtual generado?, indique dicha fatiga de 0 a 10, siendo 0 mucha fatiga y 10 poco cansancio.
- **Pregunta 6:** Con respecto a la interfaz de usuario, ¿Has tenido problema alguno para interactuar con la aplicación?, de 0 a 10 el grado de dificultad.
- **Pregunta 7:** En lo que respecta a la forma de interactuar con los elementos virtuales valora de 0 a 10, ¿Crees de utilidad la posibilidad de obtener información al respecto?
- **Pregunta 8:** Siguiendo con la interfaz de usuario califica de 0 a 10, ¿Te parece adecuada la combinación de colores elegida?

Todas y cada una de las cuestiones planteadas anteriormente, conforman una encuesta. Este formulario se trasladada a cada usuario categorizados en tres tipos. La principal característica que establece diferencia entre ellos se fundamenta en el grado de conocimiento de los mismos (principiante, intermedio y avanzado) sobre su familiaridad de uso con tecnologías similares. A continuación, se establece una pequeña descripción acerca de cada usuario y se muestran los resultados obtenidos para todos y cada uno de ellos.

En primer lugar, el usuario principiante puede definirse como aquel que ha tenido un contacto esporádico con aplicaciones o tecnologías similares a las presentadas. La persona escogida para esta prueba trata de un familiar cercano interesado en los resultados logrados en esta aplicación. Además, su conocimiento sobre estas es relativamente escaso, así como insuficiente para interactuar de forma autónoma con

la aplicación. Este usuario requiere de una explicación previa sobre el mecanismo de funcionamiento de la aplicación, así como una continua ayuda a la hora de realizar cualquier actividad en concreto. La curva de aprendizaje de este usuario es la más pronunciada, no obstante parte del reto de este desarrollo consiste en acercar este prototipo a cualquier usuario y que este pueda en un reducido periodo de tiempo familiarizarse con el entorno.

En segundo lugar, el usuario intermedio tiene habilidad suficiente, para con tan solo una breve y concisa explicación de todas y cada una de las funcionalidades de la aplicación sea capaz de realizar cualquier tipo de actividad sin la necesidad de una explicación previa. En este caso, se ha elegido a un profesional del sector de Ingeniería civil interesado y al alcance para realizar las pruebas pertinentes. Este usuario puede ser representado por gran parte de la sociedad pues su conocimiento sobre las tecnologías de la información es moderado. No obstante, al tratarse de una aplicación a la que no está acostumbrado a ver y utilizar puede requerir de ayuda de forma puntual.

En tercer y último lugar, el usuario avanzado posee un alto nivel de conocimiento sobre la tecnología y herramientas usadas. La persona elegida ha sido el tutor que supervisa el presente proyecto. En ocasiones, este tipo de usuarios han formado parte de proyectos profesionales similares al presentado en este proyecto. Su punto de vista sobre esta herramienta es de gran importancia pues será mucho más exigente que el resto de usuarios anteriormente descritos. Su nivel de conocimiento le posibilita el uso autónomo de la aplicación sin requerir ninguna ayuda externa.

Una vez descritos cada tipo de usuario elegido para realizar las pruebas del prototipo y la realización de la encuesta previamente indicada se recogen las calificaciones obtenidas para cada una de las preguntas (Tabla 5):

	Usuario Principiante	Usuario Intermedio	Usuario Avanzado
Pregunta 1	10	9	8
Pregunta 2	7	10	9
Pregunta 3	6	9	9
Pregunta 4	9	8	7
Pregunta 5	6	8	8
Pregunta 6	9	8	10
Pregunta 7	10	10	10
Pregunta 8	10	9	9

Tabla 5: Resultado Encuesta

Una vez obtenidas las respuestas particulares de cada tipo de usuario cabe destacar la gran aceptación por parte de los usuarios de la aplicación, así como sus altas calificaciones. Con el objetivo de analizar de forma conjunta las distintas experiencias de los usuarios según los indicadores preguntados se lleva a cabo una estadística con la que plantear, de forma general, el nivel de impacto que este prototipo de aplicación móvil puede llegar a ocasionar si llega al mercado.

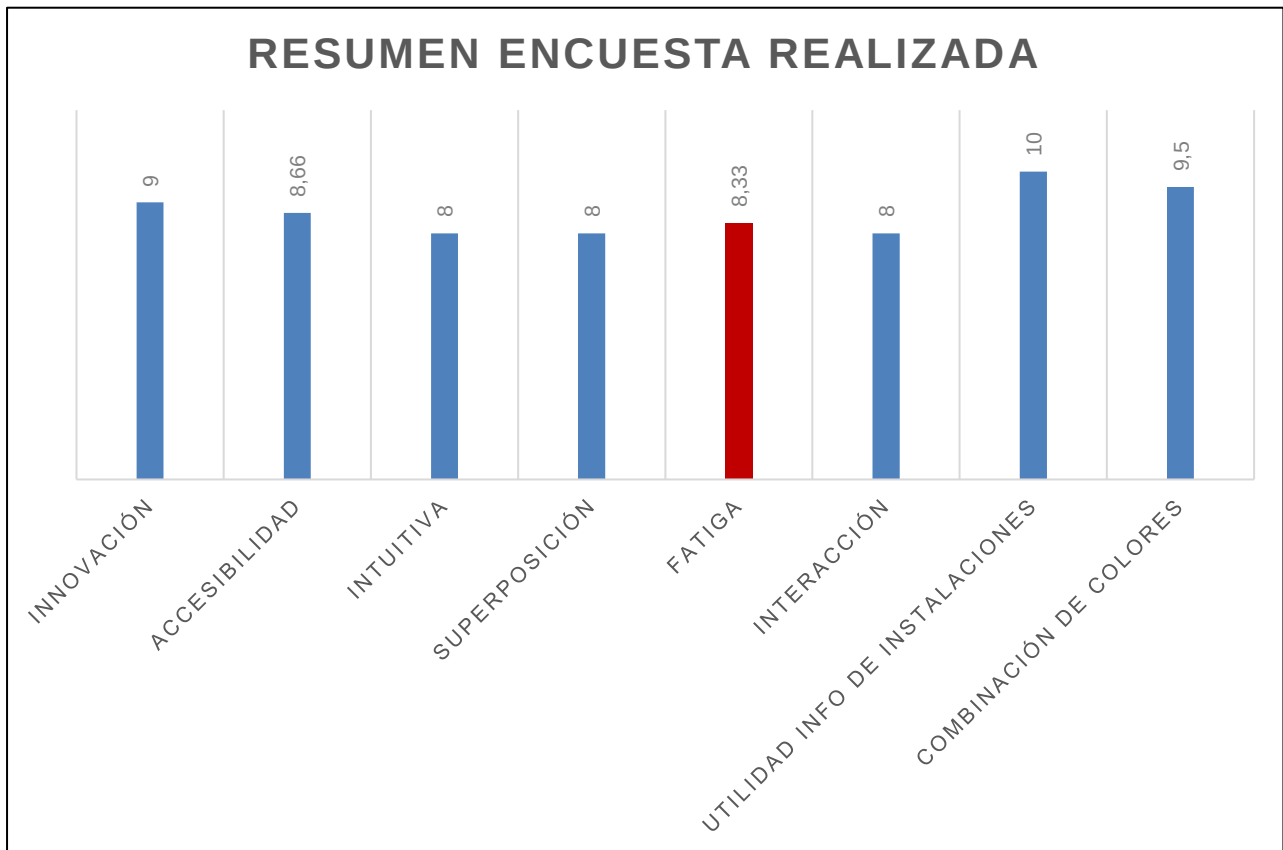


Tabla 6: Resumen Encuesta

La generación de esta idea más global de este prototipo de aplicación ha permitido detectar que principalmente la mayor parte de usuario detectan cierta fatiga a la hora de utilizar la aplicación durante a mayor periodo de tiempo. Entre los aspectos positivos, extraídos en clave, podemos destacar la buena impresión que ha causado tanto la interfaz de usuario, así como, la innovación del sistema, de manera que gran parte de los usuarios perciban dicho prototipo accesible a la vez que útil e intuitivo.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

7.1. Conclusiones

La evolución tecnológica experimentada durante estos últimos años ha sido veloz y universal. Sin embargo, apenas ha permitido reflexionar sobre las facilidades que su utilización aporta a un gran número de sectores. Actualmente, la visión tridimensional, es la forma natural en la que el ser humano percibe su entorno. Debido a los avances tecnológicos actuales, es posible plantear un gran número de proyectos ambiciosos en donde se utilicen tecnologías novedosas y atractivas a la vez que útiles para el usuario y se diseñen interfaces de usuario intuitivas que permitan la optimización de flujos de trabajo. De esta forma, desde el punto de vista empresarial se aumenta la productividad y se mejoran los servicios prestados a los clientes. No es nada atípico, encontrarse con instituciones tanto públicas como privadas con problemas subyacentes a métodos de trabajo ineficaces e ineficientes a consecuencia de la ausencia de herramientas que permitan agilizar procesos complejos al mismo tiempo que costosos.

El prototipo de aplicación móvil llevado a cabo durante el desarrollo de este proyecto fin de grado, plantea una solución software relativa al estudio de las infraestructuras ocultas tras muros y techos del edificio A4 de la Universidad de Jaén. Se trata de un trabajo en el cual se abordan distintos ámbitos de la ingeniería informática y con el que se ha puesto en práctica la capacidad de resolver problemas en entornos de carácter multidisciplinar. En este proyecto, se ha trabajado con herramientas SIG muy útiles para el análisis de datos de la rama de sistemas de la información, se han interpretado y clasificado infraestructuras en planos CAD frecuentemente utilizados en áreas de la ingeniería, se ha desarrollado sobre herramientas atribuidas al modelaje de elementos tridimensionales, entre otros aspectos.

La realización de un proyecto de estas características implica una importante recopilación de información previa, con el objetivo de descubrir los recursos disponibles, los problemas más frecuentes y las metodologías de trabajo que se ha llevado a cabo hasta el momento por el personal responsable del mantenimiento de infraestructuras. No obstante, el diseño y elaboración del escenario 3D llevado a cabo, requiere una importante labor de investigación para lograr los modelos tridimensionales, los cuales se superpondrán sobre el mundo real.

Todo lo aprendido a lo largo de este trabajo, se adjunta con una gran variedad de conceptos y competencias que el Grado de Ingeniería Informática engloba. Todas y cada una de las asignaturas cursadas durante estos cuatro años de formación en la Universidad de Jaén, han servido de gran utilidad, así como el temario adquirido para llevar a cabo la realización de este proyecto fin de grado.

Para concluir, me gustaría realizar una breve enumeración detallada acerca de los conocimientos y habilidades adquiridas una vez finalizado este proyecto. Durante este amplio periodo de tiempo, he trabajado sobre unos objetivos marcados, con implicaciones a terceros y con una fecha de resolución. Además, he tenido el privilegio de conocer a distintos profesionales que trabajan en un área donde es para ellos un medio a través del cual logras un objetivo específico. Gracias a la realización de este proyecto, he mejorado mi competencia comunicativa, habilidad fundamental para incorporarse a cualquier equipo de trabajo. La cercanía que se ha mantenido con las personas que han colaborado en gran medida con este proyecto fin de grado son parte del éxito de este proyecto. El objetivo es ofrecerles a la Unidad Técnica de mantenimiento un prototipo de aplicación móvil, mediante la cual se pueda visualizar, in situ, el estado actual de todas y cada una de las infraestructuras albergadas en el edificio A4 de la Universidad de Jaén. Esto actualmente es una realidad y se espera que en un futuro cercano esta herramienta forme parte de su metodología y les agilice todas las tareas de mantenimiento.

7.2. Trabajo a futuro

En esta sección se plantean diferentes líneas de desarrollo con la perspectiva a trabajo futuro. A pesar de las funcionalidades y características que reúne el prototipo de aplicación planteada en este proyecto fin de grado, quedan abiertas nuevas áreas sobre las que profundizar, así como añadir más utilidades para la gestión de infraestructuras.

En lo que al sistema de navegación respecta, sería de gran utilidad en modificaciones futuras, investigar acerca del posicionamiento indoor [32]. De manera que la indicación de la posición actual sea innecesaria, ya que el dispositivo sería el encargado mediante técnicas de reconocimiento del entorno que le rodea, ubicarse y posicionarse de manera automática.

Haciendo referencia al sistema de interacción del usuario con respecto a la aplicación, sería de gran utilidad que las instalaciones de abastecimiento no fueran solo modelos tridimensionales superpuestos en el mundo real, si no que estuvieran asociados una base de datos que recoja información específica de cada parte de esta instalación. De esta manera, se facilitaría la búsqueda de imperfecciones en las infraestructuras para agilizar su reparación.

Por último, con el fin de establecer una plataforma sobre la cual los usuarios tengan la opción de notificar algún desperfecto detectado sobre las instalaciones, se ha analizado que la creación de dos tipos de usuarios, sería de gran utilidad, de manera que los profesionales encargados del mantenimiento de las infraestructuras recibirían cualquier anomalía producida en tiempo real.

Bibliografía

- [1] M. C. A. & L. G. Billingham, «A survey of augmented reality,» *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction*, vol. 8, pp. 2-3, 2015.
- [2] «ARCore-Google,» 16 8 2018. [En línea]. Available: <https://developers.google.com/ar/>.
- [3] D. a. B. C. a. H. Z. a. H. P. hatzopoulos, «Mobile augmented reality survey: From where we are to where we go,» *IEEE Access*, vol. 5, pp. 6917-6950, 2017.
- [4] N. M. J. K. K. R. L. A. & R. A. Rajagopal, «Welcome to my world: demystifying multi-user AR with the cloud: demo abstract. In Proceedings of the 17th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks,» *IEEE Press.*, pp. 146-147, 2018.
- [5] P. R. D. P. N. A. K. D. & M. K. Desai, «A review paper on oculus rift-a virtual reality headset,» *arXiv preprint arXiv:1408.1173*, 2014.
- [6] T. P. & M. D. W. Caudell, «Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes.,» *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on*, vol. 2, pp. 659-669, 1992.
- [7] W. a. C. T. Barfield, «Fundamentos de Informática usable y Realidad Aumentada,» *Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum*, 2001.
- [8] M. Billingham, «<https://medium.com/@marknb00/what-is-mixed-reality-60e5cc284330>,» 19 7 2018. [En línea].
- [9] U. & E. M. Dilek, «Detecting position using ARKit II: generating position-time graphs in real-time and further information on limitations of ARKit.,» *Physics Education*, vol. 3, nº 035020, p. 53, 2018.
- [10] Apple, «ARKit-Apple,» 27 8 2018. [En línea]. Available: <https://developer.apple.com/arkit/>.
- [11] T. S. Z. P. A. S.-F. S. & F. T. M. Kalyan, «Construction quality assessment using 3D as-built models generated with Project Tango,» *Procedia Engineering*, , vol. 145, pp. 1416-1423, 2016.
- [12] «indeed,» 3 8 2018. [En línea]. Available: <https://www.indeed.es/salaries/Gestor/a-de-proyectos-Salaries>.
- [13] (. R. Specification), «EMM-Studio: an integrated model-driven environment for requirements specification, validation and formatting.,» 2007.

- [14] W. H. J. O. Crhistopher J. Turner, «Discrete Event Simulation and Virtual,» *IEEE Transactions on HumanMachine*, vol. 46, nº 6, pp. 882-894, 2016.
- [15] Pfleeger, «Ingeniería del software,» *PRENTICE HALL ARGENTINA*, 2002.
- [16] G. M. d. Carmen, «Análisis de requerimientos,» *Casa abierta al tiempo*, 2011.
- [17] P. A. B. A. & I. B. S. Rauschnabel, «Who will buy smart glasses? Empirical results of two pre-market-entry studies on the role of personality in individual awareness and intended adoption of Google Glass wearables,» *Computers in Human Behavior*, vol. 49, pp. 635-647, 2015.
- [18] N. Choudhury, «World Wide Web and its journey from web 1.0 to web 4.0,» *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, vol. 5, nº 6, pp. 8096-8100, 2014.
- [19] B. Pitney, «MapInfo Pro,» 15 7 2016. [En línea]. Available: <http://www.pitneybowes.com/us/location-intelligence/geographic-information-systems/mapinfo.html..>
- [20] ESRI, «ArcGIS,» 2 8 2016. [En línea]. Available: : <https://www.arcgis.com/features/index.html>.
- [21] S. K. L. J. P. M. H. R. K. & Z. Z. Cunnington, «U.S. Patent No,» *Patent and Trademark Office.*, vol. 8, pp. 600-731, 2013.
- [22] D. T. A. & J. K. T., «Methodology for creating 3D paper unfolded models with complex geometry using open-source software and resources with free personal and commercial license,» *ANNUAL JOURNAL OF TECHNICAL UNIVERSITY OF VARNA, BULGARIA*, vol. 2, pp. 39-46, 2018.
- [23] U. Technologies, «Unity Manua,» 2016.
- [24] J. R. T. C. & O. R. Herrington, «Immersive learning technologies: Realism and online authentic learning,» *Journal of Computing in Higher Education*, vol. 1, pp. 80-99, 2007.
- [25] A. D. S. & H. N. A. Aultman, «Design Heuristics for Mobile Augmented Reality Game User Interfaces. In Extended Abstracts of the 2018,» *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2018.
- [26] R. S. Pressman, «Ingeniería del software un enfoque práctico,» *McGrawhill,*, 1998.
- [27] J. G. a. C. S. I. Enriquez, «Usabilidad en aplicaciones móviles,» *Informes Científicos-Técnicos UNPA*, vol. 5, nº 2, pp. 25-47, 2014.
- [28] C. P. U. C. van der Lelie, «The value of storyboards in the product design process,» *Springer-Verlag*, vol. 10, pp. 159-162, 2006.

- [29] A. Brito, « Blender 3D: Architecture, Buildings, and Scenery: Create photorealistic 3D architectural visualizations of buildings, interiors, and environmental scenery,» *Packt Publishing Ltd*, 2008.
- [30] A. L. A. & T. J. C. Prieto, «Introducción a la Informática,» *McGraw-Hill*, 1995.
- [31] D. G.-S. D. & D.-D. M. D. Jústiz-Núñez, «Proceso de pruebas para productos de software en un laboratorio de calidad.,» *Ingeniería Industrial*, vol. 2, nº 35, pp. 131-145, 2014.
- [32] E. & O.-C. D. Cabrera-Goyes, «Posicionamiento en espacios interiores con Android, Bluetooth y RSSI.,» *Enfoque UTE*, vol. 9, nº 1, pp. 118-126, 2018.
- [33] «<https://leiva2014.wordpress.com/recursos-2/oculus-rift-dk1/>,» LEIVA, 2 8 2018. [En línea].
- [34] B. M. Geographics, «Global Mapper,» 9 8 2016. [En línea]. Available: <http://www.blumablegeo.com/products/global-mapper.php..>
- [35] M. H. B. D. Y. A. Z. B. Z. H. N. J. & N. M. Speicher, «XD-AR: Challenges and Opportunities in Cross-Device Augmented Reality Application Development.,» *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, vol. 7, 2018.

ANEXO A

MANUAL DE USUARIO

En este anexo, se va a desarrollar el manual de usuario. En él, se realizará una enumeración detallada acerca de todas y cada una de las funcionalidades del prototipo de aplicación móvil desarrollado durante este proyecto fin de grado. En primer lugar, tener acceso a la aplicación, hay que instalar el archivo APK, mediante el cual se instalara la aplicación en el dispositivo móvil.

En la mayoría de los casos, Android tiene deshabilitada la opción de instalar aplicaciones de orígenes desconocidos, que son todas las que no se instalan a través de Google Play. Para ello, es necesario dirigirse hacia los Ajustes de Android, y una vez en ellos clicar la opción seguridad. Ya dentro de las opciones de seguridad, hay que activar la opción Orígenes Desconocidos. Google realizará un aviso de que el sistema quedará expuesto a ataques innecesarios. No obstante, obviando dicha notificación irrelevante, el dispositivo móvil ya permitiría la instalación de la aplicación desarrollada sin ningún tipo de problema.

Una vez instalada y ejecutada la aplicación, se mostrará una pantalla inicial en la cual permitirá salir de esta en caso contrario entrar en la aplicación (Ilustración 24).



Ilustración 25: Pantalla inicial [Autor]

En el caso de que el usuario clique entrar, se topará con una segunda pantalla en la cual se visualiza el mapa al completo de la segunda planta del edificio A4 de la Universidad de Jaén (Ilustración 25). El usuario deberá establecer su posición inicial, hasta entonces el botón continuar permanecerá deshabilitado. El mapa visualizado es

completamente interactivo, se tiene la opción de alejar y acercar el mapa, así como de moverlo con el fin de que se consiga con el mayor nivel de exactitud establecer la posición inicial (Ilustración 26).

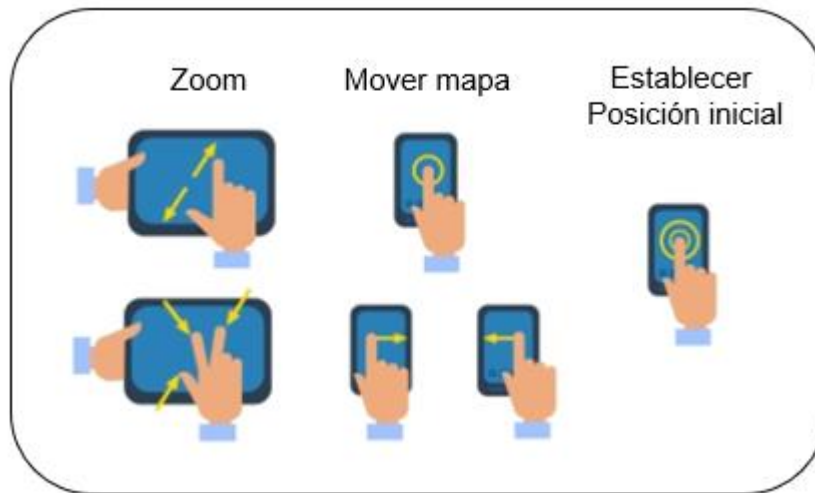


Ilustración 26: Multitouch gestures [Autor]

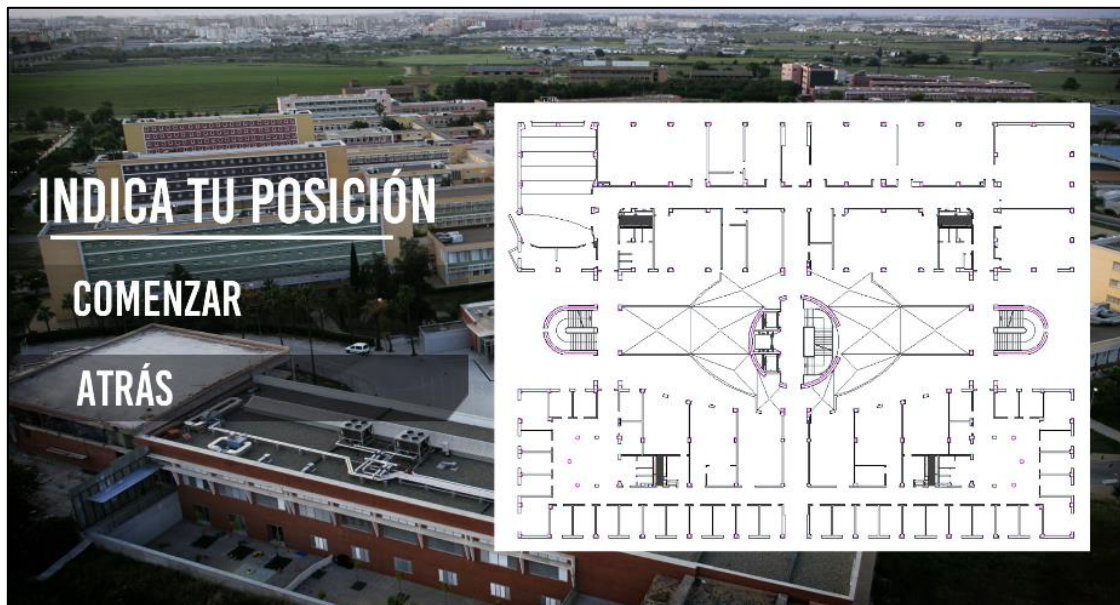


Ilustración 27: Pantalla posicionamiento [Autor]

Una vez que el usuario haya establecido su posición inicial, el botón comenzar queda habilitado para ser clicado. En el caso de que el usuario desee modificar su posición de partida en la aplicación, anteriormente de clicar sobre comenzar tendrá la opción de volver a posicionarse.

Considerando que el usuario haya establecido definitivamente la posición inicial y haya clicado sobre el botón comenzar, se pasaría a la escena final de la aplicación. En ella se visualizan las instalaciones de abastecimiento. Como se puede ver en la siguiente imagen, al usuario se le presenta una interfaz bastante intuitiva (Ilustración 27). En la parte inferior derecha se encuentra el botón seleccionar capas, este botón despliega todas las capas, así como el estado de cada una de ellas. Además, si entra en detalles, no solo aparecen las capas de las instalaciones de abastecimiento, sino que también aparecen la capa de muros, así como la visualización de puntos 3D captados mediante ARCore. A través de los botones OFF y ON el usuario tendrá la posibilidad de decidir que capa ocultar, así como aquella que desea dejar visible.



Ilustración 28: Visualización Final [Autor]

En lo referente al sistema de interacción con las infraestructuras, el usuario recibirá en la parte central izquierda, información característica de todas y cada una de las instalaciones de abastecimiento. En la imagen anterior, para recibir información acerca del cableado troncal instalado por el edificio, tan solo ha sido necesario clicar sobre la instalación en cuestión.

