

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Máster

**APLICACIÓN DE REALIDAD VIRTUAL Y MIXTA
PARA LA INSPECCIÓN DE
INFRAESTRUCTURAS PORTUARIAS**
(Virtual and Mixed Reality Application for
Surveillance of Port Infrastructures)

Para acceder al Título de

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN
INGENIERIA INDUSTRIAL**

Autor: Ana Carrera Monterde

Marzo - 2023

Agradecimientos

A Valen por su dedicación y ayuda.

A mis padres, hermanas y abuela por ser mi refugio y apoyo durante estos meses.

A Eder por ser mi roca y siempre sacarme una sonrisa cuando más lo necesito.

A mis amigos, especialmente a Moni, por dedicarme tanto tiempo y cariño.

A mi grupo de biblioteca, Julián, Miguel, Paula y Sandu por hacerme sentir arropada y siempre escuchar mis
agobios.

Muchas gracias a todos por vuestro apoyo incondicional.

Índice

1	MEMORIA.....	18
1.1	OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN.....	18
1.2	MARCO DE TRABAJO.....	20
1.3	INTRODUCCIÓN AL PROYECTO.....	20
1.4	METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	21
1.4.1	Building Information Methodology (BIM).....	21
1.4.2	Realidad eXtendida, Realidad Aumentada y Realidad Virtual.....	28
1.4.3	Dispositivos de Realidad eXtendida.....	33
2	PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO.....	38
2.1	PLANIFICACIÓN.....	38
2.1.1	Trello.....	39
2.1.2	Plan de trabajo.....	41
2.2	PRESUPUESTO.....	44
2.2.1	Costes asociados a personal.....	44
2.2.2	Costes asociados al software.....	45
2.2.3	Costes asociados a equipos.....	45
2.2.4	Costes totales.....	46
3	ESPECIFICACIÓN.....	47
3.1	ESTUDIOS Y ANÁLISIS PREVIOS.....	47
3.2	REQUISITOS DEL USUARIO.....	50
4	DISEÑO DE IMPLEMENTACIÓN.....	52
4.1	ANÁLISIS DEL HORIZONTE TECNOLÓGICO.....	52
4.1.1	Unity.....	52
4.1.2	Microsoft Visual Studio.....	53
4.2	FLUJO DE TRABAJO.....	54
4.2.1	Modelado BIM.....	54
4.2.2	Exportación a IFC.....	59
4.2.3	Importación de los modelos BIM.....	60
4.2.4	Procesamiento de los modelos y sus datos.....	68
4.2.5	Desarrollo de RV.....	73
4.2.6	Desarrollo RA.....	75

4.2.7	Dispositivo móvil empleados.....	80
4.2.8	Compilar la aplicación y carga al dispositivo Android.....	82
4.3	CODIGO FUENTE DEL PRODUCTO.....	83
4.4	MANUALES.....	85
4.4.1	Menú inicial.....	86
4.4.2	Realidad virtual.....	95
4.4.3	Realidad Aumentada e Imagen Alkion.....	110
4.4.4	Opciones comunes entre RA, Realidad Virtual e “Imagen Alkion”.....	114
4.5	PRUEBAS.....	125
4.5.1	Visita 01-12-2022.....	126
4.5.2	Visita 16-12-2022.....	128
4.5.3	Visita 22-12-2022.....	132
4.5.4	Visita 13-01-2023.....	138
5	CONCLUSIONES.....	141
5.1	TRABAJOS FUTUROS.....	142
6	Bibliografía.....	¡Error! Marcador no definido.
7	APÉNDICE 1.....	149

Índice de figuras

Fig. 1 Implementación de metodología BIM en el mundo; Fuente: ((IVE), 2018).....	23
Fig. 2 Grados dentro de la RX. Fuente: (Schnabel, 2009).....	28
Fig. 3 Ejemplo de arte informativo que indica la llegada de correos electrónicos. Fuente: (Redström, Skog, & Hallnäs, 2000).....	29
Fig. 4 Prueba de relojes usando RA. Fuente: (Baume & Mercier, 2023)	29
Fig. 5 Aplicación de RV en medicina. Fuente: (Andrews, Silva, Southworth, & Silva, 2019)30	
Fig. 6 Ejemplo de RA nivel 1. Fuente: (Szczepaniak, 2023).....	31
Fig. 7 HTC Vive Cosmos (HMD de RV). Fuente: Amazon.....	34
Fig. 8 Google Glass Enterprise Edition 2 (HMD de RA). Fuente: Amazon.....	34
Fig. 9 Hololens 2. Fuente: Amazon.	35
Fig. 10 Tabla de HMD en los últimos años. Fuente: (Alizadehsalehi, Hadavi, & Chuenhuei Huang, 2020).....	35
Fig. 11 Dispositivos Samsung S20. Fuente: Elaboración propia.	36
Fig. 12 Dipositivos utilizados en aplicaciones de RM. Fuente: (de Belén, Nguyen, Filonik, Del Favero, & Bednarz, 2019).....	37
Fig. 13 Ejemplo de tableros de Trello. Fuente: Elaboración propia.....	39
Fig. 14 Tablero de Trello empleado. Fuente: Elaboración propia Trello.es.....	40
Fig. 15 Bloques de trabajo y tareas realizadas. Fuente: Elaboración propia.	42
Fig. 16 Diagrama de Gantt del proyecto. Fuente: Elaboración propia.	43
Fig. 17 Implementación de RM en AEC SmartVidente Fuente: (Schall, Zollmann, & Reitmayr, 2013)	48
Fig. 18 Dispositivos necesacion para SmartVidente. Fuente: (Schall, Zollmann, & Reitmayr, 2013)	49
Fig. 19 Logo de Unity. Fuente: Unity.com	52
Fig. 20 Flujo de trabajo. Fuente: Elaboración propia	54
Fig. 21 Logos de Civil 3D y Revit Fuentes: Autodesk.....	55
Fig. 22 Alumbrado(izda.) y estructuras (drcha.) Fuente: Elaboración propia	55
Fig. 23 Abastecimiento. Fuente: Elaboración propia.	56
Fig. 24 Taques y murete. Fuente: Elaboración propia.	56
Fig. 25 Columnas de grava. Fuente: Elaboración propia.....	56
Fig. 26 Dragados (izda.) Taludes (drcha.). Fuente: Elaboración propia.....	56

Fig. 27 Drenaje. Fuente: Elaboración propia	57
Fig. 28 Tabla de Clasificación de los PSets. Fuente: Guía BIM de puertos del estado.....	58
Fig. 29 Formato IFC. Fuente: Building SMART International.....	59
Fig. 30 Ejemplo de scripts con datos importado con Tridify. Fuente: Elaboración propia ...	61
Fig. 31 Columnas importadas con Tridify (izda) Columnas importadas correctamente (drcha). Fuente: Elaboración propia	62
Fig. 32 Red de drenaje importada Tridify (izda). Red drenaje correctamente importada (drcha.) Fuente: Creación propia	62
Fig. 33 Errores de ensamblado importando Tridify. Fuente: elaboración propia	63
Fig. 34 Variación entre elemento físico, origen de coordenadas y BoxCollider. Fuente: elaboración propia	63
Fig. 35 Modelo Estructuras en Revit. Fuente: Elaboración propia	65
Fig. 36 Modelo Estructuras en Unity. Fuente: Elaboración propia	65
Fig. 37 Extracto de la tabla de planificación en Revit del modelo Estructuras. Fuente: Elaboración propia	66
Fig. 38 Extracto del Documento .txt del modelo estructuras. Fuente: Elaboración propia ..	66
Fig. 39 Columnas importadas lejos del origen de coordenadas. Fuente: Elaboración propia	67
Fig. 40 Columnas importadas cerca del origen. Fuente: Elaboración propia	67
Fig. 41 Puntos de luz añadidos en Unity. Fuente: Elaboración propia.....	69
Fig. 42 Superficie que simula el mar. Fuente: Elaboración propia.....	69
Fig. 43 Superficie realista de mar. Fuente: Elaboración propia	70
Fig. 44 Entorno virtual sin SkyBox (izda.) Entorno Virtual con SkyBox (drcha.).....	70
Fig. 45 Modelo sin materiales asignados. Fuente: Elaboración propia	71
Fig. 46 Ejemplos de materiales sencillos de creación propia. Fuente: Elaboración propia .	71
Fig. 47 Ejemplo de materiales de librerías de Asset Store. Fuente: Elaboración Propia.....	72
Fig. 48 Modelo con materiales asignados. Fuente: Elaboración propia	72
Fig. 49 Ejemplo de la interfaz de usuario de la aplicación. Fuente: Elaboración propia.....	73
Fig. 50 Captura de interfaz gráfica de un botón de Unity. Fuente: Elaboración propia.	74
Fig. 51 Código asociado a botón Bolardo. Fuente: Elaboración propia.	74
Fig. 52 Logo de ARKit. Fuente: https://developer.apple.com/augmented-reality/	75
Fig. 53 Logo de ARCore. Fuente: https://developers.google.com/ar?hl=es-419	75
Fig. 54 Logo de Vuforia. Fuente: https://developer.vuforia.com/	76
Fig. 55 Ejemplo de aplicación de RA (entorno virtual sobre el entorno real). Fuente: Elaboración Propia.....	77

Fig. 56 Ejemplo de Cylinder Target (izda.) Ejemplo de Multi Target (drcha.). Fuente: https://developer.vuforia.com/	78
Fig. 57 Ejemplo de Model Target. Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=6W7_ZssUTDQ&ab_channel=Vuforia%2CaPTCTechnology	78
Fig. 58 Ejemplo de un Area Target. Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=ZY46CWn_4f4&ab_channel=Vuforia%2CaPTCTechnology	79
Fig. 59 Image Target empleado. Fuente: Elaboración propia.....	80
Fig. 60 Instalación del Image Target en la obra. Fuente: Elaboración propia.....	80
Fig. 61 Dispositivo Samsung Galaxy Tab S6. Fuente: Elaboración propia.....	81
Fig. 62 Ventana “Consola” de la interfaz de Unity. Fuente: Elaboración propia.....	82
Fig. 63 Ejemplo de script. Fuente: Elaboración propia.....	84
Fig. 64 Icono de la aplicación.....	85
Fig. 65 Pantalla de carga de la aplicación.....	86
Fig. 66 Pantalla inicial. Fuente: Elaboración propia.....	86
Fig. 67 Menú de ajustes. Fuente: elaboración propia.....	87
Fig. 68 Menú obras. Fuente: Elaboración propia.....	88
Fig. 69 Menú salir. Fuente: Elaboración propia.....	88
Fig. 70 Opciones menú entrar. Fuente: Elaboración Propia.....	90
Fig. 71 Pantalla de carga del modelo. Fuente: Elaboración propia.....	91
Fig. 72 Interfaz de usuario común para todas las visualizaciones. Fuente: Elaboración propia.....	91
Fig. 73 Menú salida. Fuente: Elaboración propia.....	92
Fig. 74 Menú opciones. Fuente: Elaboración propia.....	92
Fig. 75 Botones de pestañas del menú opciones. Fuente: Elaboración propia.....	93
Fig. 76 Botón cerrar de Menú Opciones. Fuente: Elaboración propia.....	93
Fig. 77 Menús de perspectivas en RV. Fuente: Elaboración propia.....	95
Fig. 78 Vista Global. Fuente: Elaboración propia.....	96
Fig. 79 Vista dragados. Fuente: Elaboración propia.....	97
Fig. 80 Vista servicios. Fuente: Elaboración propia.....	97
Fig. 81 Vista columnas. Fuente: Elaboración propia.....	98
Fig. 82 Vistas cajones. Fuente: Elaboración propia.....	98
Fig. 83 Vista “Bolardo”. Fuente: Elaboración propia.....	99
Fig. 84 Vista arqueta. Fuente: Elaboración propia.....	100

<i>Fig. 85 Vista luminaria. Fuente: Elaboración propia.</i>	100
<i>Fig. 86 Vista del muro de tablestacas. Fuente: Elaboración propia</i>	101
<i>Fig. 87 Pestaña mapa. Fuente: Elaboración propia.</i>	102
<i>Fig. 88 Opción transparente. Fuente: Elaboración propia.</i>	103
<i>Fig. 89 Opción transparente activada. Fuente: Elaboración propia.</i>	103
<i>Fig. 90 Opción de visualización 360°. Fuente: Elaboración propia.</i>	104
<i>Fig. 91 Capturas de la vista 360°. Fuente: Elaboración propia.</i>	105
<i>Fig. 92 Opción de “Desplazamiento”. Fuente: Elaboración propia.</i>	106
<i>Fig. 93 Gesto para el comando zoom. Fuente: Elaboración propia.</i>	107
<i>Fig. 94 Opción deslizar. Fuente: Elaboración propia.</i>	107
<i>Fig. 95 Opción orbita. Fuente: Elaboración propia.</i>	108
<i>Fig. 96 Deslizaderas de velocidad de comandos. Fuentes: Elaboración propia.</i>	108
<i>Fig. 97 Desplazamiento por Joysticks. Fuente: Elaboración propia.</i>	109
<i>Fig. 98 Desplazamiento mediante Joysticks. Fuente: Elaboración propia.</i>	109
<i>Fig. 99 Muelle superpuesto al entorno real. Fuente: Elaboración propia.</i>	110
<i>Fig. 100 Image Target de los tanques Alkion. Fuente: Elaboración propia.</i>	111
<i>Fig. 101 Tanques de Alkion superpuestos al entorno real. Fuente: Elaboración propia.</i>	111
<i>Fig. 102 Interfaz de usuario de RA y Imagen Alkion. Fuente: Elaboración propia.</i>	112
<i>Fig. 103 Desalineación entre los modelos de los tanques Alkion (cilindros grises) y “tanques Alkion” reales (depósitos una línea verde). Fuente: Elaboración propia.</i>	113
<i>Fig. 104 Alineación manual de los “Tanques Alkion”. Fuente: Elaboración propia.</i>	113
<i>Fig. 105 Pestaña elementos. Fuente: Elaboración propia.</i>	114
<i>Fig. 106 Modelo 3D con todos los elementos activados. Fuente: Elaboración propia.</i>	115
<i>Fig. 107 Misma perspectiva anterior con disciplinas ocultas. Fuente: Elaboración propia.</i>	115
<i>Fig. 108 Opción “Nombres”. Fuente: Elaboración Propia.</i>	116
<i>Fig. 109 Atributos de la opción Nombres. Fuente: Elaboración propia.</i>	117
<i>Fig. 110 Ejemplos de “Opción Nombres”. Fuente: Elaboración Propia.</i>	118
<i>Fig. 111 Opción Información. Fuente: Elaboración Propia.</i>	119
<i>Fig. 112 Menú Elementos. Fuente: Elaboración propia.</i>	120
<i>Fig. 113 Pestaña PSets_01 de “Menú elementos”. Fuente: Elaboración propia.</i>	121
<i>Fig. 114 Pestaña PSets_02 de “Menú elementos”. Fuente: Elaboración propia.</i>	121
<i>Fig. 115 Pestaña PSets_03 de “Menú elementos”. Fuente: Elaboración propia.</i>	122
<i>Fig. 116 Ejemplo de plano accesible con URL. Fuente: Elaboración propia.</i>	122
<i>Fig. 117 Pestaña PSets_04 de “Menú elementos”. Fuente: Elaboración propia.</i>	123
<i>Fig. 118 Pestaña PSets_05 de “Menú elementos”. Fuente: Elaboración propia.</i>	123

<i>Fig. 119 Pestaña planos de “Menú elementos”. Fuente: Elaboración propia.....</i>	124
<i>Fig. 120 Opción “Elementos” RA. Fuente: Elaboración Propia.</i>	124
<i>Fig. 121 Punto de posicionamiento del Image Target: posición respecto de tanque Alkion (arriba), posición respecto del apoyo de hormigón (abajo). Fuente: Elaboración propia....</i>	126
<i>Fig. 122 Vista de la valla de Alkion (invariante en la obra). Fuente: Elaboración propia. ..</i>	127
<i>Fig. 123 Tanques girados 180° respecto de su ubicación. Fuente: Elaboración propia. ...</i>	128
<i>Fig. 124 Reposicionamiento manual del Image Target. Fuente: Elaboración propia.</i>	129
<i>Fig. 125 Diferencia de escala modelo virtual y real (esquina). Fuente: Elaboración propia.</i>	129
<i>Fig. 126 Diferencia de escala entre modelo virtual y modelo real (luminaria). Fuente: Elaboración propia.</i>	130
<i>Fig. 127 Diferencia de tamaño entre tanques reales y virtuales. Fuente: Elaboración propia.</i>	132
<i>Fig. 128 Opción “Escala” pestaña “Consulta”. Fuente: Elaboración propia.....</i>	132
<i>Fig. 129 Modelo reescalado sin colocar. Fuente: Elaboración propia.....</i>	133
<i>Fig. 130 Modelo reescalado y colocado. Fuente: Elaboración propia.....</i>	134
<i>Fig. 131 Tanques opacos. Fuente: Elaboración propia.</i>	135
<i>Fig. 132 Tanques transparente. Fuente: Elaboración propia.....</i>	135
<i>Fig. 133 Cambiar la altura de la valla. Fuente: Elaboración Propia.</i>	136
<i>Fig. 134 Tanques superpuestos a contenedores que bloquean el acceso. Fuente: Elaboración propia.....</i>	138
<i>Fig. 135 La vista virtual de los modelos bloqueadas por el contenedor. Fuente: Elaboración Propia.</i>	138
<i>Fig. 136 Modelo inclinado por problemas del Image Target. Fuente: Elaboración Propia</i>	139
<i>Fig. 137 Image target correctamente fijado. Fuente: Elaboración propia.....</i>	139
<i>Fig. 138 Modelo correctamente orientado, con una correcta colocación Image Target. Fuente: Elaboración Propia.....</i>	140

TÍTULO	Aplicación de Realidad Virtual y Mixta para la inspección de infraestructuras portuarias.		
AUTOR	Ana Carrera Monterde		
DIRECTOR / PONENTE	Valentín Gómez Jáuregui		
TITULACIÓN	<i>Master Universitario Ingeniería Industrial</i>	FECHA	23-03-2023

PALABRAS CLAVE

BIM, Realidad Virtual, Realidad Aumentada, Realidad Mixta, Realidad eXtendida, Aplicación Móvil, Unity, IFC

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, en el ámbito de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC), el presente se está orientado hacia la adopción de nuevas tecnologías como es la metodología BIM (Building Information Methodology). Esta metodología permite recoger un mayor volumen de información de las infraestructuras que es adjunto al de la geometría de cada uno de los elementos. Esta información permite una gestión más efectiva de las instalaciones, que en ocasiones solo puede ser consultada desde ordenadores en oficina u obra. Es por ello que la metodología BIM no ha alcanzado su potencial máximo, debido a dicha brecha de acceso a esta información geométrica y alfanumérica.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto presenta una aplicación para dispositivos móviles que permite acceder a la geometría y la información de los modelos BIM, de forma sencilla e intuitiva. Esta aplicación usa tecnología de Realidad eXtendida (RX) para poder visualizar estos modelos 3D de forma inmersiva, tanto de forma remota como de forma presencial.

La aplicación permite visualizar el entorno de forma remota (Realidad Virtual), lo que resulta de gran utilidad cuando no se puede acceder a la infraestructura por temas de peligrosidad, acceso o lejanía. Esta app permite al usuario examinar el entorno real



desplazándose por la infraestructura libremente mediante el uso de joysticks o gestos táctiles en la pantalla.

Asimismo, mediante Realidad Aumentada, esta aplicación permite visualizar el entorno virtual superpuesto al entorno real en la propia obra. Esto se ha conseguido utilizando una imagen como punto común entre ambos entornos consiguiendo la alineación entre sendas geometrías, virtual y real. El usuario puede desplazarse en ambos entornos de forma simultánea, permitiendo explorarlos con facilidad.

Por otro lado, se implementan opciones comunes para ambos modos de visualización como son el filtrado de elementos visibles y la consulta de datos de los modelos 3D. Esta aplicación se elabora utilizando el software de desarrollo de videojuegos Unity, usando la extensión Vuforia para la implementación de la Realidad Aumentada.

CONCLUSIONES / PRESUPUESTO

Este proyecto, cumple con los requisitos determinados por el cliente y explicados anteriormente. Además, aporta opciones adicionales como visión aérea 360º del modelo y puntos de vista en el entorno de Realidad Virtual.

Se ha realizado una prueba de concepto, durante la última visita de implementación de Realidad Aumentada, confirmando que la superposición entre los modelos real y virtual es satisfactoria.

En cuanto al presupuesto, el proyecto tiene una duración de 6 meses con un coste final de 5808,42€.

Costes totales	
Costes personal	5130.00 €
Costes de software	640,23 €
Costes de equipo	38,19 €
Total (sin IVA)	5808,42 €

KEYWORDS

BIM, Virtual Reality, Augmented Reality, Mixed Reality, eXtended Reality, Mobile Application, Unity, IFC

PROBLEM STATEMENT

Nowadays, the AEC field is being oriented towards embodying new technologies such as BIM. This methodology allows gathering a greater volume of information from the infrastructure and it is then attached to the geometry of each element. This information allows a more effective management of the facilities, but it can only be accessed from office or construction site computers. BIM methodology has not reached its full potential, due to this difficulty in accessing this geometric and alphanumeric information.

PROJECT DESCRIPTION

The project features an app for mobile devices that, easily and intuitively, grants access to the geometry and information attached to the BIM models. This app uses eXtended Reality technology for displaying the 3D models in an immersive way, regardless of the mobile device location (remote or on site).

This app allows viewing the environment remotely (Virtual Reality). This option is very practical when areas of the infrastructure cannot be accessed due to security or accessibility issues. Using this visualization option, the user can examine the virtual environment moving freely around the infrastructure by using joysticks or touchscreen commands.

Furthermore, by using Augmented Reality, the app shows the virtual environment overlaid on top of the real one, in the construction site. This is possible by using an image as a reference point between both environments. The referencing image



achieves the alignment between the geometries, virtual and real. The user can move along both environments simultaneously, allowing an easier exploration.

Additionally, common options between all the visualisation methods are implemented, such as filtering of visible elements or checking the information from the 3D models. This app is generated using Unity, a videogame developing software and Vuforia is used as an extension for implementing Augmented Reality.

CONCLUSIONS / BUDGET

This project complies with all the requirements set by the client. In addition to these requirements, the app offers extra options, for instance, an aerial vision 360° and different perspectives of the environments in Virtual Reality.

A proof of concept has been developed throughout the last Augmented Reality visit, in which it was verified that the overlaying of the real and virtual models was satisfactory.

Regarding the budget, the project lasted 6 month with a final cost of 5808,42€.

Total Cost	
Staff costs	5130,00 €
Software costs	640,23 €
Equipment costs	38,19 €
Total Cost(€)	5808,42 €

BIBLIOGRAFÍA

- (IVE), I. V. (17 de Mayo de 2018). *Benefits of BIM and its level of adoption in European countries*. (BIMplement news) Recuperado el 26 de Mayo de 2021, de <https://www.bimplement-project.eu/benefits-of-bim-and-its-level-of-adoption-in-european-countries/>
- ¿Qué es C# y para que sirve? (05 de 07 de 2022). Obtenido de Solucion TIC, BE Software: <https://bsw.es/que-es-c/>
- 3D Repo . (2022). Obtenido de Collaborate for a better built environment.: <https://3drepo.com/>
- About AR Foundation. (2021). Obtenido de <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@4.1/manual/index.html>
- Adillah Ismail, N., Chiozzi, M., & Drogemuller, R. (2017). An overview of BIM uptake in Asian developing countries. *AIP Conference Proceedings*. Brisbane: American INstitute of Physics.
- Alizadehsalehi, S., Hadavi, A., & Chuenhui Huang, J. (2020). From BIM to extended reality in AEC industry. *Automation in Construction*, Volume 116.
- Andrews, C., Silva, J., Southworth, M., & Silva, J. (2019). Extended Reality in Medical Practice. *Current Treatment Option in Cardiovascular Medicine*.
- Apple Developer. (2017). *Dive into the world of augmented reality*. Obtenido de ARKit: <https://developer.apple.com/augmented-reality/>
- Autodesk App Store. (20 de Marzo de 2023). *The easiest BIM Communication Service for all stakeholders*. Obtenido de TRIDIFY: <https://apps.autodesk.com/de/Publisher/PublisherHomepage?ID=ZQ8PQN75GY7D>
- AutoDesk Civil 3D. (2023). *Civil 3D*. Obtenido de Completo software de diseño y documentación detallados para infraestructuras civiles: <https://www.autodesk.es/products/civil-3d/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Baume & Mercier. (2023). Obtenido de <https://www.baume-et-mercier.com/en/watches/womens-watches.html>
- Billinghurst, M., Lee, G., Mill, J., Lindeman, R., Clark, A., Piumsomboon, T., . . . Fukuden, S. (2023). *CityViewAR*. Obtenido de Human Interface Technology Lab New Zealand, University of Canterbury: <https://www.hitlabnz.org/index.php/project/cityviewer/>
- BIM, C. (2016). *Acerca de BIM*. Recuperado el 10 de Abril de 2021, de <http://www.certificatebim.com/acerca-de-bim/>
- BIM.Africa*. (2022). Obtenido de Building InfBIM is an innovative process and technology that is transforming the way buildings and city infrastructure are designed.: <https://bimafrika.org/>
- BIMes. (2020). *Qué es BIM*. Recuperado el 6 de 04 de 2021, de <https://cbim.mitma.es/>
- BIMnD, b. n. (2019). *Las 7 Dimensiones BIM*. Recuperado el 8 de Abril de 2021, de <https://www.bimnd.es/7dimensionesbim/>
- building SMART. (20 de Febrero de 2023). *What we do*. Obtenido de building SMART international: <https://www.buildingsmart.org/about/what-we-do/>
- Cosmina, C. (2018). A Glance Into Virtual Reality Development Using Unity. *Informatica Economica*.
- de Belén, R., Nguyen, H., Filonik, D., Del Favero, D., & Bednarz, T. (2019). A systematic review of the current state of collaborative mixed reality technologies 2103-2018. *AIMS Electronics and Electrical Engineering* 3 (2), 181-223.
- Doolani, S., Wessels, C., Kanal, V., Sevastopoulos, C., Jaiswal, A., Nambiappan, H., & Makedon, F. (2020). A Review of Extended Reality (XR) Technologies for Manufacturing Training. *Selected Paper fro the PETRA Conference Series*. PETRA.
- El BIM en Latinoamérica*. (2018). Obtenido de EDITECA: <https://editeca.com/bim-en-latinoamerica/>
- Fitzgerald, L. (8 de september de 2009). *The Augmented Reality Hype Cycle*. (SPRXMobile) Recuperado el 29 de Mayo de 2021, de <https://huguesrey.wordpress.com/2009/09/08/the-augmented-reality-hype-cycle-sprxmobile-mobile-service-architects/>
- Fonseca, D., Martí, N., Redondo, E., Navarro, I., & Sánchez, A. (2013). Relationship between student profile, tool use, participation, and performance with the use of Augmented Reality technology for visualized architecture models. En *Computers in human behaviour* (págs. 434-454). Elsevier.
- GameDev, V. (1 de Marzo de 2019). *Unity Asset Store*. Obtenido de Asphalt materials: <https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/roads/asphalt-materials-141036>
- Gauër, N. (31 de May de 2017). *Fast Buoyancy*. Obtenido de Unity Asset Store: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/physics/fast-buoyancy-61079>
- Glover, J., & Linowes, J. (2019). *Complete Virtual Reality and Augmented Reality Development with Unity*. Packt>.
- Google Developer. (2018). *ARCore*. Obtenido de Construye el futuro: <https://developers.google.com/ar?hl=es-419>
- Hakkarainen, M., Woodward, C., & Rainio, K. (2009). Software architecture for mobile mixed reality and 4D BIM interactions. *26th International COnference on IT in Construction/Managing Construction for Tomorrow* (págs. 517-524). Istanbul, Turkey: Balkema.
- Iberdrola. (2018). *¿Que es la realidad virtual?* Recuperado el 1 de Junio de 2021, de <https://www.iberdrola.com/innovacion/realidad-virtual>
- IMARC Group. (2022). *Extended Reality (XR) Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2023-2028*. IMARC Impactful Insights.

- inesa TECH civil engineering school & consulting. (10 de Marzo de 2023). *Las múltiples dimensiones del BIM*. Recuperado el 08 de 04 de 2021, de <https://www.inesa-tech.com/>
- Joske, W. (16 de Abril de 2021). *BIM in Australia*. Obtenido de bimacademy: <https://www.bimacademy.global/insights/digital-technologies/bim-in-australia/>
- Kanbanize. (2020). *Qué es Kanban: Definición Características y Ventajas*. Recuperado el 5 de Junio de 2021, de <https://kanbanize.com/es/recursos-de-kanban/primeros-pasos/que-es-kanban>
- Lovatto Studio. (8 de Abril de 2019). *UJoystick*. Obtenido de Unity Asset Store: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/input-management/ujoystick-49186>
- Microsoft 365. (14 de Marzo de 2023). *Todo lo que necesites para obtener mejores resultados en menos tiempo*. Obtenido de <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/buy/compare-all-microsoft-365-products-b>
- Microsoft Visual Studio. (2023). Obtenido de Así es como se crea software: <https://visualstudio.microsoft.com/es/>
- National Institute of Building Sciences. (5 de Marzo de 2022). *U.S. National Building Information Management (BIM) Program*. Obtenido de <https://www.nibs.org/usbimprogram>
- NCH Software. (10 de Febrero de 2023). Obtenido de Spin 3D File Converter Software: <https://www.nchsoftware.com/3dconverter/index.html>
- OHB Digital Solutions GmbH. (10 de Marzo de 2023). *Pomar 3D*. Obtenido de <https://www.ohb-digital.at/en/research/pomar3d>
- pixyz. (8 de Marzo de 2023). Obtenido de GET YOUR 3D DATA READY FOR NEW EXPERIENCES: <https://www.pixyz-software.com/>
- Puertos del Estado, M. (2019). *Guía BIM del Sistema de Portuario de Titularidad Estatal*.
- Real-time and Automated Monitoring and Control. (Marzo de 2023). *Marker-Less Mobile Augmented Reality for Context Aware Applications*. Obtenido de HD4AR: <https://raamac.cce.illinois.edu/hd4ar>
- Redström, J., Skog, T., & Hallnäs, L. (2000). Informative art: using amplified artworks as information displays. En *DARE'00 Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments* (págs. 103-114).
- Revit, A. (27 de Febrero de 2023). *Revit*. Obtenido de Software BIM para diseñadores, constructores y emprendedores: <https://www.autodesk.es/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Reyes, R. (27 de Febrero de 2017). *¿Ya conocer la 7D de BIM?* (Team) Recuperado el 6 de Abril de 2021, de <https://www.teamnet.com.mx/blog/bim-7d>
- Ruben. (28 de 10 de 2022). *Certicalia*. Obtenido de Coordenadas UTM: todo lo que necesitas saber: <https://www.certicalia.com/blog/que-son-las-coordenadas-utm>
- Schall, G., Zollmann, S., & Reitmayr, G. (2013). Smart Vidente: advances in mobiles augmented reality for interactive visualization of underground infrastructure. *Personal and Ubiquitous Computing*, 1533-1549.
- Schnabel, M. A. (2009). Framing Mixed Realities. En M. A. Schnabel, & X. Wang, *Mixed Reality in Architecture, Design and Construction* (págs. 3-11). Springer Science+ Business Media B.V.
- Scribani, J. (16 de Enero de 2019). *What is Extended Reality (XR)?* Obtenido de Technology : <https://www.visualcapitalist.com/extended-reality-xr/>
- SlimUI. (13 de Diciembre de 2022). *3D Modern Menu UI*. Obtenido de Unity Asset Store: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/gui/3d-modern-menu-ui-116144>
- Szczepaniak, A. (24 de January de 2023). *Real or not real? Welcome to Augmented Reality*. Obtenido de LeoRover: <https://www.leorover.tech/post/real-or-not-real-welcome-to-augmented-reality>
- Thorpe, P. (25 de Noviembre de 2022). *BIM in USA*. Obtenido de bimacademy: <https://www.bimacademy.global/insights/digital-technologies/bim-in-usa/>
- Trello. (2021). *Trello siempre hace avanzar*. Recuperado el Noviembre de 2020, de <https://trello.com>
- Unity Documentation. (2021). *Materials*. Obtenido de Unity User Manual 2021.3: <https://docs.unity3d.com/Manual/Materials.html>
- Unity Reflect. (2023). *UNITY REFLECT FOR AUTODESK REVIT*. Obtenido de Unity: <https://unity.com/pages/unity-reflect-revit#:~:text=Unity%20Reflect%20is%20a%20design,size%2C%20or%20geographic%2Dlocation>
- Unity Store. (14 de Marzo de 2023). *Choose the plan that is right for you*. Obtenido de https://store.unity.com/compare-plans?check_logged_in=1
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings- Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 109-127.
- Vuforia Engine Developer Portal. (2022). *Vuforia Engine is Available!* Obtenido de <https://developer.vuforia.com/>
- Wolverton, T. (20 de Septiembre de 2018). *INSIDER*. Obtenido de The CEO of one of the most important startups in video gaming explains why the next big thing hasn't yet replaced the smartphone: <https://www.businessinsider.com/unity-ceo-john-riccitiello-virtual-reality-augmented-reality-headsets-consumer-market-2018-9>
- Yughues. (31 de Marzo de 2015). *Unity Asset Store*. Obtenido de YUghues Free Concrete Materials: <https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/concrete/yughues-free-concrete-materials-12951>



- Yughues. (22 de Octubre de 2021). *Unity Asset Store*. Obtenido de Yughues Free Metal Materials: <https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/metals/yughues-free-metal-materials-12949>
- Zuñiga Gonzalez, D. A., Richards, D., & Bilgin, A. A. (2021). Making it Real: A Study of Augmented Virtuality on Presence and Enhanced Benefits of Study Stress Reduction Sessions. *International Journal fo Human-Computer Studies* , Volume 147.

1 MEMORIA

1.1 OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN

La situación actual en el campo de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC por sus siglas en inglés, Architecture, Engineering & Construction) está marcada, tanto a nivel nacional como a nivel internacional, por una mayor adopción de tecnologías digitales y un mayor enfoque hacia la sostenibilidad y la eficiencia energética. La metodología BIM (Building Information Modelling) permite la adopción de dichas tecnologías y la reducción de los costes y residuos del proceso, optimizando de esta forma el proceso de construcción de proyectos AEC.

La aplicación de software propuesta en este Proyecto de Fin de Máster permite consultar los modelos y los datos incorporados en los softwares BIM de manera intuitiva. Asimismo, esta aplicación permite una al usuario disfrutar de una vista inmersiva mediante el uso de Realidad eXtendida (RX) mezclando el entorno virtual y el real. Esta tecnología aporta una idea más completa de cualquier infraestructura de forma remota y presencial.

La aplicación está desarrollada para dispositivos Android, con el objetivo de conseguir una instalación sencilla en los dispositivos de la mayoría de los ciudadanos y en particular de los miembros del equipo de trabajo EgiCAD. De esta forma, se permite al usuario realizar consultas rápidas, durante el proceso de construcción de la infraestructura y a lo largo de todo el ciclo de vida de las instalaciones.

Debido a tratarse de una aplicación que une dos tecnologías en desarrollo (BIM y RX), la implementación de esta metodología de trabajo requiere una investigación previa sobre diferentes temas: las aplicaciones existentes con usos similares, los softwares disponibles para las aplicaciones, la forma de importación de modelos BIM y métodos de implantación de Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV).

Como resumen, en esta aplicación informática se exploran los modelos de la infraestructura portuaria de Raos 9, nuevo muelle en proceso de construcción en el puerto de Santander. Los objetivos de esta aplicación son los siguientes:

- Visualizar y consultar los modelos 3D y los datos de los modelos BIM de Raos 9.
- Examinar estos modelos de forma remota (RV) y de forma presencial (RA), permitiendo al usuario desplazarse con facilidad a lo largo de toda la instalación portuaria.
- Ocultar o mostrar los diferentes elementos de los modelos virtuales, para permitir una mejor visualización del entorno.
- Poder interactuar con estos modelos seleccionando elementos, tanto en RA como en RV.

1.2 MARCO DE TRABAJO

En este Trabajo de Fin de Máster (TFM) se desarrollan los resultados obtenidos durante una beca de prácticas del Centro de Orientación, Información y Empleo (COIE) de la Universidad de Cantabria en el Grupo de Investigación EgiCAD, perteneciente al Departamento de Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión Gráfica de la Universidad de Cantabria.

Esta beca de prácticas ha tenido una duración de 6 meses, con una dedicación de 3 horas diarias con título “Desarrollo de software para dispositivos de Realidad Aumentada y Realidad Virtual”.

Está previsto que los resultados de este trabajo se difundan en el 32nd INGEGRAF International Conference 2023, en Cádiz, en junio de 2023. El resumen del mismo ya fue presentado y aprobado por el Comité Científico del mismo en febrero del mismo año (ver Apéndice 1)

1.3 INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

Este proyecto está inscrito en el contrato de investigación entre la Universidad de Cantabria y la Autoridad Portuaria de Santander para la Ejecución y Desarrollo del Proyecto de I+D+I “Investigación y transferencia de resultados en la gestión BIM de activos de la Autoridad Portuaria de Santander mediante Sistemas de Realidad Mixta”.

La implementación del proceso BIM se ha llevado a cabo junto la Autoridad Portuaria de Santander para el proyecto de construcción de un nuevo muelle, permitiendo que la tecnología BIM sea parte del proceso constructivo desde la primera etapa del ciclo de vida del proyecto.

Este nuevo muelle del Puerto de Santander, denominado “Raos 9”, es la infraestructura que se ha trabajado. Esta obra tiene como fin añadir 291 metros al muelle de Santander; esta extensión estará formada por 6 cajones de hormigón armado aligerados mediante celdas rectangulares. También contará con una explanada y los servicios de suministros correspondientes, que ganará 10.000 m² al mar.

El Puerto de Santander ha experimentado un crecimiento progresivo, lo cual queda patente en la construcción de numerosos muelles. Entre ellas la del muelle Raos 9 aporta una mayor superficie para la exportación de automóviles de líneas ro-ro transoceánicas, y, debido a su amplio tamaño, permite prestar servicio a buques de gran eslora, superior 200m.

1.4 METODOLOGÍA DE DISEÑO

En este proyecto se combinan tecnologías y metodologías variadas del campo de la construcción.

Por un lado, la aplicación mostrará el modelo BIM de una infraestructura portuaria, por lo que en el siguiente apartado se explica el significado del concepto BIM, su relevancia en el entorno internacional y los diferentes modos de aplicación de esta metodología.

Por otro lado, la aplicación software objeto de este TFM usa Realidad eXtendida (RX) para poder visualizar el modelo BIM, por lo que también se realiza una introducción sobre estas tecnologías y se hace principal hincapié en RA, RV y RM, explicando distintas aplicaciones de estas tecnologías.

1.4.1 Building Information Methodology (BIM)

¿Qué es BIM?

BIM (Building Information Modelling) es una metodología de trabajo colaborativa para el modelado 3D de proyectos de la industria AEC (Architecture, Engineering and Construction). Esta metodología se caracteriza por combinar un modelo digital con una base de datos, es decir, que cada elemento del modelo digital alberga intrínsecamente información sobre su construcción y ciclo de vida. BIM no consiste solo en un cambio de tecnología sino también un cambio en el proceso de concepción, diseño, construcción y explotación de una infraestructura.

Uno de los principales objetivos de la metodología BIM es gestionar los proyectos de forma más eficiente y práctica. Para mejorar la colaboración dentro del equipo se concede acceso

a todos los miembros del equipo al modelo y a la base de datos. De esta forma, los integrantes adquieren un punto de vista más general del proyecto estableciendo una meta común.

Esta tecnología está teniendo un uso significativo en el ámbito de la ingeniería estructural y arquitectura (Revit, OpenBuildings, Archicad, Edificius, etc.). Sin embargo, su uso cada vez está más extendido y cada vez encontramos más programas para su uso en Ingeniería Civil e Industrial como Civil 3D, InfraWorks, Revit Structural, Tekla, OpenRoads, etc. Estos programas de implantación de la metodología BIM permiten una mayor recolección de información y generan informes actualizados para monitorizar el estado del proyecto de forma más intuitiva y automatizada.

Para conseguir una mejor optimización de la gestión, la metodología BIM debe ser implantada a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, desde su diseño hasta su etapa de aprovechamiento, mantenimiento y gestión. La construcción de nuevos proyectos ha disminuido en países industrializados, aplicándose con frecuencia en edificios construidos para facilitar reacondicionamiento y deconstrucciones (Volk, Stengel, & Schultmann, 2014).

Esta metodología tiene también algunos problemas de implementación como la necesidad de habilidades para el uso de softwares BIM, o la confidencialidad de los proyectos que con este modo de trabajo estarían disponibles para todo el equipo. A pesar de esto, la implementación exitosa de esta metodología mejora la relación con el cliente, aumenta los beneficios, disminuye costes y mejora la productividad y la calidad, por lo que está teniendo un gran éxito a nivel internacional.

Expansión internacional

Las bases de la metodología BIM son creadas en 1970, estas bases son los modelos 3D con objetos como cimiento de su funcionamiento. El sector de la construcción tarda en implementar estas tecnologías CAD. BIM comenzó a ser implantado en proyectos de construcción a principios del 2000 (Volk, Stengel, & Schultmann, 2014).

próximos años se espera un aumento de implementación de BIM en proyectos de construcción, puesto que se han tomado medidas nacionales para una implantación más uniforme (Adillah Ismail, Chiozzi, & Drogemuller, 2017).

África es el continente con menor expansión de metodología BIM, Sudáfrica se encuentra en cabeza de esta implantación. Existen iniciativas como “BIMAfrica” con representantes de numerosos países que generarán un mayor crecimiento en el uso de BIM (BIM.Africa, 2022). En Oceanía, el líder en implantación BIM es Australia con guías por estados “Victorian Digital Asset Strategy” y “Digital Enablement for Queensland Infrastructure” (Joske, 2021).

Finalmente, en Europa existen políticas avanzadas en el uso institucional de BIM en proyectos públicos como en Países Bajos, Reino Unido, Dinamarca, Alemania y Francia ((IVE), 2018). Estas políticas a nivel nacional favorecen la implantación de la metodología BIM en numerosos proyectos europeos.

Debido a la amplia implementación de la técnica BIM alrededor del mundo, queda patente la necesidad de crear estándares nacionales para la cooperación entre países en proyectos de construcción. Estos estándares internacionales han sido promulgados por “Building Smart” (building SMART, 2023) y fijan el elemento básico de intercambio en estos proyectos IFC (Industry Foundation Class, ISO 16739).

En cuanto a implementación de BIM en ingeniería Civil también existen proyectos de estándares internacionales LandXML y varios proyectos en desarrollo IFC Alignment, IFC-Bridge, IFC-Road.

En concreto en España, el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) ha creado un organismo nacional es.BIM dedicado a esta metodología (BIMes, 2020). Este organismo tiene como objetivo analizar las distintas posibilidades de implementación en licitaciones públicas, mejorando la competitividad a nivel nacional y consiguiendo una gestión más sostenible de los recursos.

La instauración de la metodología BIM en los proyectos del Estado Español se está realizando de forma gradual. A finales de 2022 se firma un documento “Fundamentos BIM

en la contratación pública” que ayuda a una implantación más homogénea del uso de BIM, indicando como debe implantarse y donde debe desarrollarse. Esta progresiva estandarización de la metodología favorece la aparición de numerosos proyectos de obras públicas en España, en los que se está introduciendo BIM, tales como la cubierta verde de las cocheras de metro de Granada o proyectos de mejora del transporte público de Cataluña (BIMes, 2020).

En concreto en el caso de las infraestructuras portuarias, la implantación de esta metodología viene fijada por la “Guía BIM del portuario de titularidad estatal” de Junio del 2019 (Puertos del Estado, 2019). En esta guía se indica los pasos a seguir en infraestructuras portuarias que utilizan metodología BIM, fijando tanto los documentos técnicos como las fases de ejecución de la obra y posteriormente la explotación de esta.

Dimensiones de BIM

Dependiendo del alcance de la aplicación BIM se diferencian 7 dimensiones, las cuales no son secuenciales. Se puede aplicar BIM6D sin haber aplicado BIM4D previamente.

1D Se conceptualiza el proyecto realizando los estudios preliminares necesarios para su viabilidad. En esta etapa se fija la ubicación del proyecto, se establecen las condiciones iniciales y un plan de ejecución (inesa TECH civil engineering school & consulting, 2023).

2D Se desarrollan los planos y bocetos bidimensionales usados tradicionalmente en el proceso de diseño de proyectos de construcción especificando cargas estructurales. Se define el software utilizado y se estudia el ciclo de vida del proyecto.

Las 2 primeras etapas de implementación serán similares a las de métodos de diseño tradicionales, pero deben enfocarse para facilitar la implantación posterior de la metodología BIM.

3D Se desarrolla el modelo tridimensional del proyecto (gemelo virtual) que incorpora toda la información y propiedades necesarias para los análisis de las siguientes fases.

Este modelo tridimensional comunica información, visual, espacial y funcional. Esta dimensión permite a todos los miembros del equipo tener una mejor comprensión de las intenciones de diseño. Además, aporta coherencia, unión y trazabilidad al proceso de diseño (Puertos del Estado, 2019).

4D La cuarta dimensión BIM añade al modelo una componente temporal, aporta herramientas para optimizar la planificación, la gestión del proyecto y la ejecución del proyecto.

Se programa eficazmente el tiempo, simulando el flujo de ejecución y determinando el tiempo de finalización de las tareas. De esta forma se mejora la comprensión del proceso constructivo y la asignación de recursos y espacios. Esta dimensión permite detectar los conflictos en la realización de la obra y corregirlos antes de que surjan (BIMnD, 2019).

5D La función principal de esta dimensión será el control de los costes, la determinación de los presupuestos y la estimación de costes. Mejorando de esta forma la rentabilidad del proyecto a lo largo de todo su ciclo de vida desde su construcción hasta las actividades de mantenimiento y operación.

Se determinan los costes de contrataciones, los costes de materiales etc. consiguiendo presupuestos más detallados que prevén el impacto de las adiciones y modificaciones en presupuestos.

6D Esta dimensión también es conocida como BIM verde, consiste en realizar un análisis energético y de sostenibilidad. Se busca que el proyecto sea lo más sostenible posible, desde el proceso de construcción hasta las actividades de operación. Se realizan estudios de eficiencia energética, según la posición y orientación del edificio, así como el combustible empleado para calentar o enfriar el proyecto (Reyes, 2017).

7D Se definen las acciones y procesos necesarias para el mantenimiento y funcionamiento de la instalación a lo largo de todo el ciclo de vida de la infraestructura. Incluyen acciones como inspecciones y reparaciones para reducir costes de conservaciones y mejorar las condiciones de uso (BIM, 2016).

Se pueden encontrar discrepancias entre las distintas fuentes consultadas con respecto del número de dimensiones de esta tecnología. La mejora de los softwares BIM disponibles aumenta su capacidad de guardar datos relacionados con los modelos. Algunas fuentes incluyen dimensiones relacionadas con Seguridad y Salud y con Machine Learning para predecir el comportamiento del activo (inesa TECH civil engineering school & consulting, 2023).

El proyecto de este Trabajo de Fin de Master abarca hasta la BIM5D. El modelo BIM ha sido modelado por el equipo de investigación EgiCAD. La aplicación permitirá visualizar estos modelos usando RV y RA, así como acceder a su información asociada a las dimensiones ya explicadas, incluyendo hasta la quinta de éstas, usando RM.

1.4.2 Realidad eXtendida, Realidad Aumentada y Realidad Virtual

La Realidad eXtendida (RX) es un término que se usa para englobar todas las tecnologías que fusionan entornos reales (se percibe de forma tangible) y virtuales (generados por ordenador); es decir RX incluye a todas las tecnologías que permiten reducir la división entre ambos entornos, que coexisten e interactúan entre sí.

Estas tecnologías relacionan el mundo físico con elementos artificiales, pero han experimentado un gran auge durante la pandemia de Covid-19, debido a que establecen un vínculo entre consumidores y empresas. Sectores como el marketing o los medios de comunicación se vieron muy beneficiados durante la cuarentena por este vínculo. Este auge se ve reflejado en su valor de mercado en 2022 de 64.5 Billones US\$ y se espera un crecimiento de 43.5% para el año 2028 (IMARC Group, 2022).

Las tecnologías de RX se pueden clasificar según su grado de digitalización, pero las más desarrolladas son Realidad Aumentada (RA), Realidad Virtual (RV) y Realidad Mixta (RM) que son también implementadas en la aplicación.

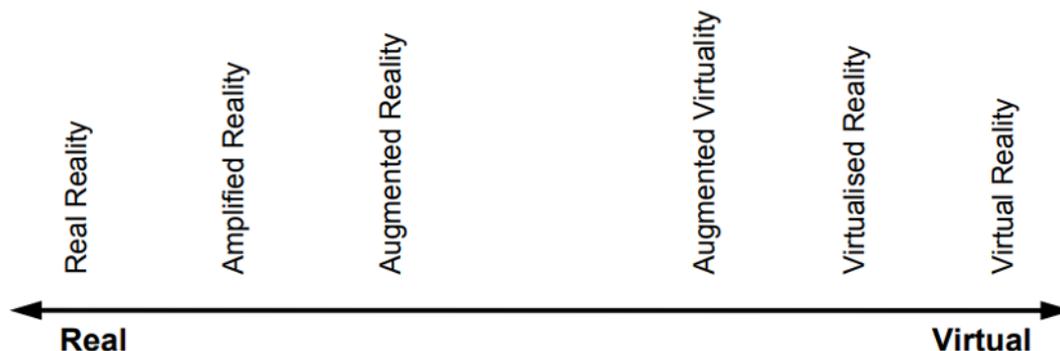


Fig. 2 Grados dentro de la RX. Fuente: (Schnabel, 2009)

En este documento se sigue la clasificación mostrada en (Fig. 2 Grados dentro de la RX. Fuente: (Schnabel, 2009), de menor a mayor digitalización:

1. Realidad amplificada: esta tecnología inmersiva realza las propiedades de un objeto real usando medios computacionales. Un buen ejemplo de realidad amplificada es el "arte informativo". Las obras de arte reales de este movimiento artístico reflejan

información de su entorno (Redström, Skog, & Hallnäs, 2000). En Fig. 3 *Ejemplo de arte informativo que indica la llegada de correos electrónicos. Fuente: (Redström, Skog, & Hallnäs, 2000)* vemos un ejemplo de estas obras de arte, un cuadro que cambia a la llegada de correos electrónicos.

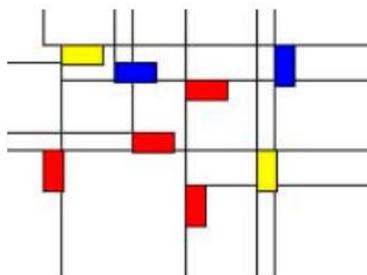


Fig. 3 Ejemplo de arte informativo que indica la llegada de correos electrónicos. Fuente: (Redström, Skog, & Hallnäs, 2000)

2. Realidad aumentada (RA): se superponen elementos virtuales al entorno que le añaden información adicional. La RA permite a los usuarios probar dispositivos antes de comprarlos, por ejemplo, relojes. Trataremos sobre esta tecnología en profundidad en la sección siguiente.

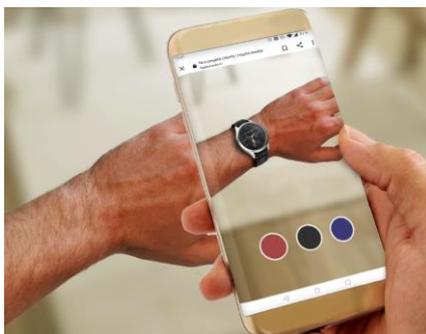


Fig. 4 Prueba de relojes usando RA. Fuente: (Baume & Mercier, 2023)

3. Virtualidad aumentada: el usuario está inmerso en un entorno virtual al que se introducen entidades reales. Existen estudios que han aplicado esta técnica para reducir el estrés durante sesiones de estudio. Se utiliza el entorno virtual (un Agente Inteligente Virtual) para dar apoyo a los estudiantes durante sus sesiones de estudios y la presencia de elementos reales aumenta el grado eficacia del apoyo (Zuñiga Gonzalez, Richards, & Bilgin, 2021).

4. Realidad Virtualizada: esta tecnología permite revivir desde distintos ángulos una situación real previamente grabada. Esta tecnología ha sido utilizada para conseguir telepresencia en aplicaciones médicas.
5. Realidad virtual: el usuario se encuentra sumergido en un entorno completamente simulado por ordenador, sin poder visualizar el entorno real. Este entorno es de apariencia real y el usuario inmerso en él, puede interactuar con los diferentes elementos. Una aplicación de esta tecnología es entrenar a profesionales médicos simulando operaciones u otras intervenciones médicas (Andrews, Silva, Southworth, & Silva, 2019).



Fig. 5 Aplicación de RV en medicina. Fuente: (Andrews, Silva, Southworth, & Silva, 2019)

Las tecnologías implementadas en la aplicación serán RA, Realidad Virtual y RM.

Realidad Aumentada

Por RA se entiende la visualización del entorno real con elementos virtuales añadidos. Estos elementos virtuales varían desde imágenes sintéticas generadas por ordenador, a sonidos, video u otro tipo de datos. Este proyecto se centrará en el uso de modelos 3D como elementos virtuales añadidos.

Esta tecnología se puede aplicar en distintos niveles dependiendo de la forma de unión del mundo real al mundo virtual (Fitzgerald, 2009):

Nivel 0. Se enlaza el mundo real con el mundo virtual a través de hiperenlaces 1D (Códigos de barras) o 2D/QR (Quick Response). Una vez reconocidos estos hiperenlaces como

respuesta se redirige al usuario a una página web o elemento en la nube, no se muestran gráficos.

Nivel 1. Consiste en RA basada en marcadores, el dispositivo procesa la realidad a tiempo real e intenta reconocer marcadores, que pueden ser tanto elementos 2D (imagen o QR) como elementos 3D. Una vez detectados estos marcadores se muestran y renderizan gráficos sobre la realidad a tiempo real.

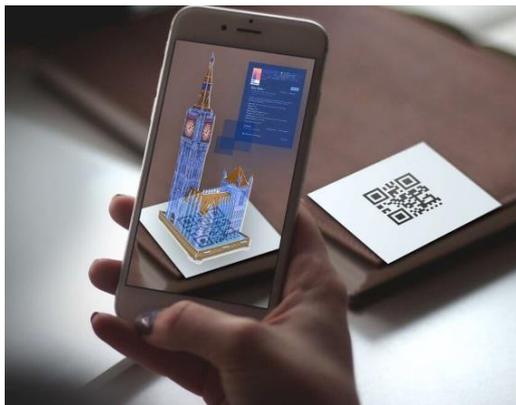


Fig. 6 Ejemplo de RA nivel 1. Fuente: (Szczepaniak, 2023)

Nivel 2. Se implementa RA sin marcadores, para ubicar el entorno virtual respecto del real se utiliza GPS y la brújula del dispositivo utilizado.

Nivel 3. La visión aumentada en este nivel se consigue utilizando dispositivos de uso continuo como los HMD (Head Mounted Displays), para estar de forma continua sumergido en un entorno dual real y virtual.

Para la realización de este proyecto se implementa RA nivel 1, se usan marcadores para ubicar los elementos virtuales en el entorno real.

Realidad Mixta

La Realidad Mixta (RM) es una variación de la RA que permite al usuario interactuar con el entorno tanto real como virtual. La RM combina técnicas de visión por computador y el reconocimiento de objetos. El usuario puede acceder a información del mundo real de forma intuitiva teniendo una experiencia más realista. Es uno de los campos más innovadores y activos tanto con motivación científica como de explotación industrial y civil.

La Realidad eXtendida tiene aplicaciones principalmente en medicina, videojuegos, ingeniería y fabricación, comercio y educación.

Sus aplicaciones en medicina varían desde la visualización de la anatomía del paciente, previamente escaneada, a compartir diagnósticos con los pacientes, así como también formación de futuros médicos (Andrews, Silva, Southworth, & Silva, 2019). Usando Realidad eXtendida se ha conseguido disminuir los efectos del Parkinson, investigación realizada por profesionales del CSIC (Consejo Superior de Investigación Científica) (Iberdrola, 2018).

En fabricación e industria, la RX se utiliza principalmente para formar a los trabajadores en tareas de mantenimiento, ensamblaje y seguridad en el trabajo. El rápido cambio que ha experimentado la Industria de Fabricación, de producción en masa, a fabricación de productos altamente customizados, ha obligado al personal a adaptarse velozmente a esas nuevas formas de producción. Agilizar la formación de estos trabajadores es fundamental para que puedan realizar correctamente sus tareas. Formar a los trabajadores usando Realidad eXtendida permite ahorrar costes, mejorar las condiciones de seguridad y, además, aportar a los trabajadores formación más detallada y específica para la labor que se va a realizar (Doolani, y otros, 2020).

En educación las aplicaciones de Realidad eXtendida permiten un aprendizaje inmersivo y seguro. Su aplicación en estudios superiores consigue una mejor comprensión de asignaturas que requieren de visión espacial. La utilización de estas tecnologías consigue mayor motivación y participación de los estudiantes en las materias (Fonseca, Martí, Redondo, Navarro, & Sánchez, 2013).

En el caso de comercio, las aplicaciones son también muy diversas. Estas tecnologías permiten al usuario probar elementos antes de comprarlos mejorando la experiencia del usuario y reduciendo devoluciones.

En este proyecto nos centraremos en su aplicación en el ámbito de arquitectura, ingeniería y construcción, que desarrollaremos en el apartado de “Estudios y Análisis Previos”.

1.4.3 Dispositivos de Realidad eXtendida

Para poder implementar tecnología de Realidad eXtendida en los ámbitos anteriores, se requieren dispositivos que sean capaces de mezclar entornos reales y entornos virtuales.

Estos dispositivos ya existían desde 1990, cuando se creó el primer dispositivo de Realidad eXtendida en forma de gafas. Estos dispositivos han continuado su desarrollo a lo largo de los años 2000, desarrollando Sony Corporation aplicaciones de software usando RX para móviles y gráficos por ordenador. (Alizadehsalehi, Hadavi, & Chuenhuei Huang, 2020). En la actualidad, existen numerosos tipos de dispositivos que implementen Realidad eXtendida, pero se pueden ordenar en dos grandes clasificaciones, por un lado, tenemos HMD (Head Mounted Display) y por otro lado tenemos HHD (Hand Held Display).

HMD (Head Mounted Display)

Los dispositivos HMD están diseñados específicamente para aplicaciones de RV, aumentada o mixta. Estos dispositivos permiten un mayor rango de acciones y aportan una mayor interacción con el entorno virtual, usando de comandos de voz o gestos. Suelen tener aspecto de gafas o cascos que se fijan con una cinta alrededor de la cabeza. Los HMD se diferencian según su uso en RV, RA o RM, ya que cada uno requiere de especificaciones técnicas diferentes.

Los dispositivos HMD para RV no permiten ver el entorno real, por lo que son dispositivos similares a gafas opacas que muestran al usuario inmerso en el entorno virtual. Para permitir al usuario desplazarse dentro de este entorno se usan dispositivos adicionales en forma de joysticks o mandos. Algunos de los HMD para RV más recientes en el mercado son el HTC Vive Cosmos y el Oculus Rift.



Fig. 7 HTC Vive Cosmos (HMD de RV). Fuente: Amazon.

Por otro lado, los dispositivos para RA permiten ver el entorno real y superpuesto, el entorno virtual. Esto otorga a los dispositivos de RA un reducido tamaño, debido a que se prioriza la visualización del entorno real. Un ejemplo reciente de esta tecnología es Google Glass Enterprise Edition 2 (2020), que, ha dejado de desarrollarse en el presente año 2023.



Fig. 8 Google Glass Enterprise Edition 2 (HMD de RA). Fuente: Amazon.

Sin embargo, el desarrollo de los dispositivos HMD de RA se ha visto ralentizado debido al auge de los dispositivos de RM. Estos dispositivos no solo permiten ver el entorno real y el virtual, sino que posibilitan interactuar con ambos. A diferencia de los dispositivos de RA, los de RM tiene un mayor tamaño. Estas dimensiones se deben a volumen de sensores que debe albergar estos dispositivos. Los cascos de RM más conocidos del mercado son Microsoft HoloLens 2.



Fig. 9 HoloLens 2. Fuente: Amazon.

El auge de estos dispositivos en los últimos años queda patente en la tabla (Fig. 10 *Tabla de HMD en los últimos años. Fuente: (Alizadehsalehi, Hadavi, & Chuenhuei Huang, 2020).* En ella se muestran los dispositivos HMD diseñados en los últimos años, clasificados según la tecnología de Realidad eXtendida que desarrollan y el fabricante. El horizonte tecnológico para hardware XR está cambiando rápidamente y evoluciona mayor realismo y una mejor experiencia de usuario.

Type	Company	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020-2023*	
Standalone	MR	Microsoft		HoloLens DK1			HoloLens DK3	HoloLens 2		
		Magic Leap		The Beast		WD3	Magic Leap One			
		DAQRI					DAQRI	DAQRI Smart Glasses		
		ODG					ODG R7	ODG R9		
		Nreal								Nreal
		Facebook						Oculus Go	Oculus Quest	
	VR	Lenovo						Lenovo Mirage Solo		
		HTC						HTC Vive Focus	HTC Vive Cosmos	
		Google	Google Glass				Google Glass Enterprise Edition			
	AR	Apple							Apple AR Headset	

Fig. 10 Tabla de HMD en los últimos años. Fuente: (Alizadehsalehi, Hadavi, & Chuenhuei Huang, 2020)

HHD (Hand Held Display)

Estos dispositivos son diseñados para otros propósitos, pero posibilitan el uso de aplicaciones de Realidad eXtendida. Los dispositivos Hand Held Display son denominados de esta forma, ya que requieren ser sostenidos manualmente. Los principales ejemplos de estas herramientas son dispositivos móviles y tabletas Fig. 11 *Dispositivos Samsung S20. Fuente: Elaboración propia..*



Fig. 11 Dispositivos Samsung S20. Fuente: Elaboración propia.

En los últimos años ha habido grandes mejoras en los dispositivos móviles, entre ellas cabe destacar mejores cámaras, incorporación de giroscopio y brújulas. Todas estas mejoras permiten implementar aplicaciones de RV, RA y RM. La interacción del usuario con el entorno virtual consiste en interacciones a través de la pantalla o a través de comandos de voz.

Comparación entre HMD y HHD

Analizando 258 estudios sobre RM entre 2013-2018 según los dispositivos de Realidad eXtendida utilizados, se observa un mayor uso de los HMD sobre HHD (de Belén, Nguyen, Filonik, Del Favero, & Bednarz, 2019).

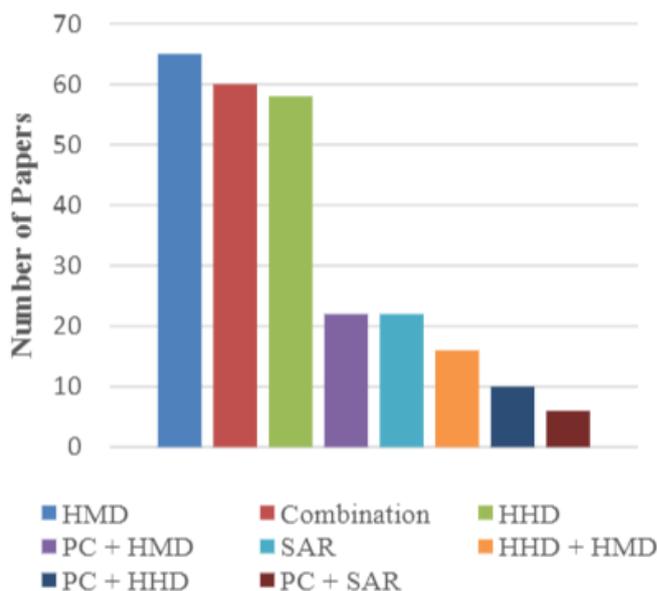


Fig. 12 Dispositivos utilizados en aplicaciones de RM. Fuente: (de Belén, Nguyen, Filonik, Del Favero, & Bednarz, 2019)

El principal problema de los HMD es la gran inversión inicial necesaria. Estos dispositivos cuentan con una tecnología en desarrollo que eleva el precio de estos dispositivos entre 800€y 4000€. A su vez, los HMD reducen el campo de visión del usuario debido a su tamaño. No obstante, permiten una mejor interacción con el entorno real y virtual, así como permiten el uso de ambas manos.

A pesar de ello, esta aplicación es implementada para dispositivos HHD. Poder descargar la aplicación en los dispositivos móviles de todos los miembros del equipo permite una mayor visualización de los modelos BIM, sin necesidad de adquirir varios HMD para los miembros de la plantilla. Esta aplicación puede ser instalada en cualquier dispositivo Android, como puede hacerse con cualquier otra aplicación.

2 PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO

En este apartado, se desarrolla la distribución temporal, de fondos y de recursos de este proyecto.

2.1 PLANIFICACIÓN

La realización de este proyecto ha durado 6 meses, ya que ha transcurrido paralelamente a la beca de formación del COIE explicada al principio de este documento. Para poder cumplir los objetivos establecidos y lograr una buena coordinación entre tutor y alumna, se ha realizado una planificación detallada de las actividades realizadas.

La gestión de este proyecto ha sido realizada usando el Método Kanban. Este método es una metodología de trabajo que surge a finales de los años 40 y que continúa hasta nuestros días. Se utiliza principalmente en procesos de fabricación y desarrollo de software.

Esta metodología de trabajo se basa en el uso de tarjetas que se posicionan en 3 columnas “Por hacer”, “En proceso” y “Hecho”. Las tarjetas se mueven entre columnas cuando se comienza y acaba una acción, permitiendo, de una forma intuitiva y visual, supervisar y gestionar las tareas entre los miembros de un proyecto (Kanbanize, 2020).

En la actualidad, en muchas de las empresas que implementan esta tecnología y las tarjetas físicas son sustituidas por tarjetas digitales que se desplazan entre columnas en una plataforma común y accesible a todos los miembros del equipo.

2.1.1 Trello

En el caso de este proyecto, se ha implementado la metodología Kanban utilizando Trello como herramienta de gestión de proyectos (Trello, 2021). Trello es un software que trabaja con “tableros”, es decir, interfaces accesibles por todos los miembros del equipo. En estas interfaces están presentes las tarjeta digitales y las columnas del método Kanban. Trello es una plataforma digital, por consiguiente las tarjetas Kanban cuentan con características añadidas como plazos, fechas límites, checklists y responsables, permitiendo consultar parámetros de productividad.

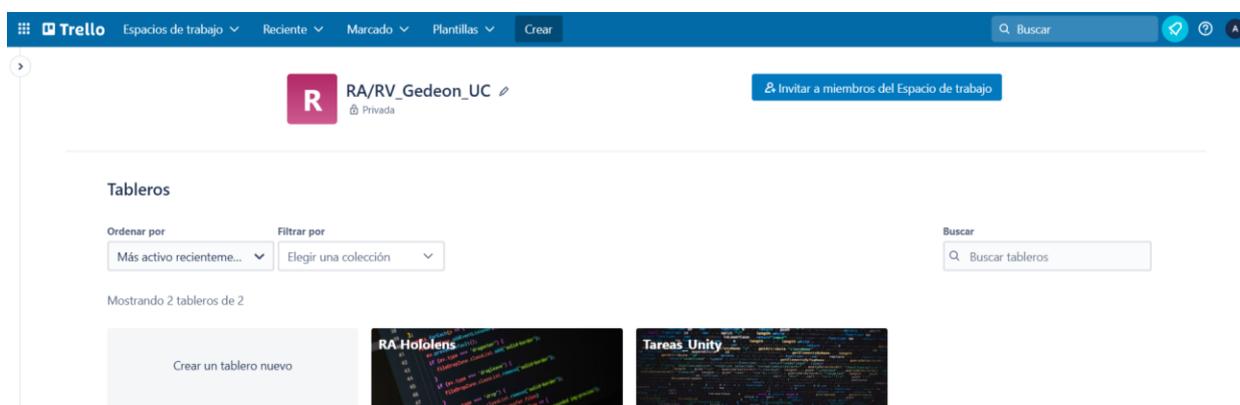


Fig. 13 Ejemplo de tableros de Trello. Fuente: Elaboración propia.

Para la realización de este Trabajo de Fin de Máster, el tablero que se ha utilizado se muestra en Fig. 14 *Tablero de Trello empleado*. Fuente: *Elaboración propia Trello.es*. En este tablero se han añadido 2 columnas extras a las tradiciones del método Kanban. La primera columna “Gafas (to do)”, indica los pasos necesarios para la implantación esta aplicación para las HoloLens 2.

La segunda columna añadida, indica el enlace a seguir para acceder al OneDrive compartido entre profesor y alumna. En el OneDrive se guardan las copias de seguridad (copia del proyecto de Unity), las versiones del código de Unity y los modelos BIM importados para la aplicación.

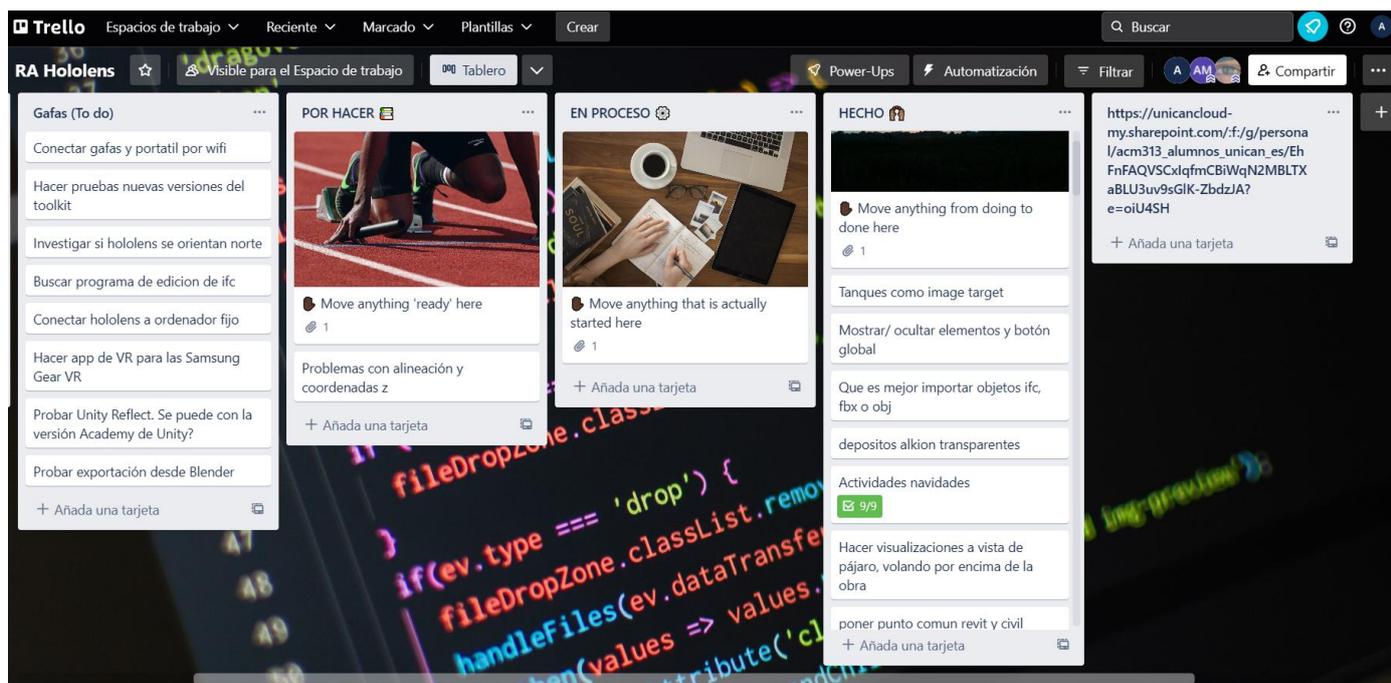


Fig. 14 Tablero de Trello empleado. Fuente: Elaboración propia Trello.es

El flujo de trabajo es el siguiente, cuando se produce una reunión entre alumna y profesor en la que se comentan posibles mejoras o cambios, se añaden las tarjetas con los cambios en la columna “Por hacer”. Cuando una tarea es comenzada, esta es seleccionada y movida a la columna de “En proceso”.

Una vez se comienza una tarea, su implementación es dividida en forma de checklist según se van cumpliendo los objetivos. De esta forma, se puede seguir con facilidad la evolución de esta idea. Las modificaciones a la aplicación no son indicadas como “Hechas” hasta que se han comprobado tanto en el editor Unity, como en la aplicación compilada en un dispositivo móvil.

2.1.2 Plan de trabajo

Este proyecto ha sido desarrollado durante 6 meses (1 agosto-31 enero), en este tiempo se ha trabajado en unos bloques de trabajo divididos a su vez en tareas, indicadas en Fig. 15 *Bloques de trabajo y tareas realizadas. Fuente: Elaboración propia.* La duración de estos bloques de trabajo a lo largo de estos 6 meses vienen indicadas en la Fig. 16 *Diagrama de Gantt del proyecto. Fuente: Elaboración propia.*

Durante la realización de ese proyecto ha sido necesario hacer 3 entregas:

- E.1 Reunión con el grupo, se llevó a cabo una pequeña demo de la aplicación que contaba con los modelos importados y parte de las opciones de RV.
- E.2 Presentación al cliente, se realizó una demo al cliente con todas las opciones implementadas de RV.
- E.3 RV, RA y RM, entrega de la aplicación finalizada con todos los requisitos del cliente, junto con un manual escrito que explique el funcionamiento de la aplicación.

Fase	1 Investigación previa
Duración	4 semanas
Tareas	T.1.1 Intentar instalar aplicación en las Hololens 2 T.1.2 Diferentes formas de importación de IFC T.1.3 Importar modelos con Tridify T.1.4 Instalar última versión de Unity
Fase	2 Procesado de los modelos
Duración	5 semanas
Tareas	T.2.1 Asignar texturas a los elementos T.2.2 Añadir el mar T.2.3 Opción filtrar entre disciplinas
Fase	3 Cargar la aplicación en PC y en Hololens
Duración	2 semanas
Entregables	E.1 Reunión con el grupo de investigación se muestra el estado actual de la aplicación
Tareas	T.3.1 Exportar aplicación a PC T.3.2 Exportar aplicación a Hololens 2
Fase	4 Añadir menú de VR
Duración	1 semana
Tareas	T.4.1 Añadir "Menú de perspectivas y disciplinas" T.4.2 Añadir "Menú de perspectivas del muelle"
Fase	5 Implementación de opciones de RM
Duración	2 semanas
Tareas	T.5.1 Opción "nombres" T.5.2 Opción "información"
Fase	6 Reimportación de los modelos desde Revit
Duración	4 semanas
Entregables	E.2 Presentación a los cliente de la opción Realidad Virtual
Tareas	T.6.1 Pasar los modelos al origen T.6.2 Pasarlos a Revit T.6.3 Separar modelos y datos (en tablas) T.6.4 Enlazar elementos y datos asociados en Unity T.6.5 Añadir desplazamiento pan, zoom y órbita (con sliders para regular) T.6.6 Añadir al modelo los Tanques Alkion
Fase	7 Implementar RA
Duración	6 semanas
Tareas	T.7.1 Investigación sobre software de Realidad Aumentada T.7.2 Realidad Aumentada usando QR T.7.3 Realidad Aumentada usando Tanques Alkion T.7.4 Añadir textura transparente al modelo
Fase	8 Retoques finales
Duración	3 semanas
Entregables	E.3 .apk con RA, RV y RM al cliente y manual del funcionamiento
Tareas	T.8.1 Comprobar las dimensiones de los modelos T.8.2 Cambiar el tamaño del Image Target T.8.3 Añadir flechas para mover el modelo

Fig. 15 Bloques de trabajo y tareas realizadas. Fuente: Elaboración propia.

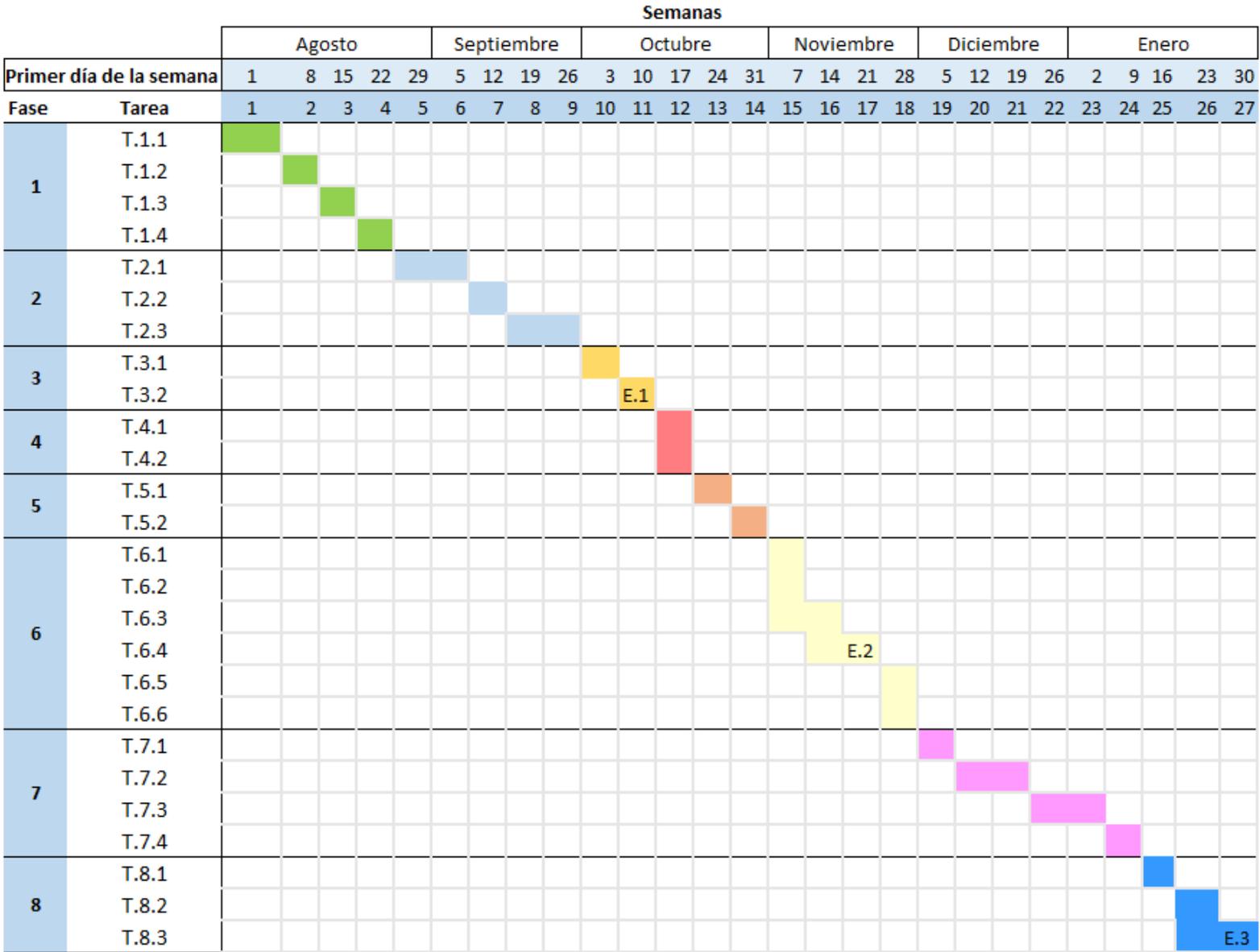


Fig. 16 Diagrama de Gantt del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

2.2 PRESUPUESTO

El presupuesto de este proyecto queda dividido en 3 partidas de costes asociados: personal, software y equipos.

2.2.1 Costes asociados a personal

Los costes asociados al personal se limitan a el coste del ingeniero que realiza el proyecto. Si se parte del convenio seguido por la Universidad de Cantabria para el sueldo pagado para un ingeniero junior para una jornada completa es 23000,00 €/año. Averiguamos su equivalente mensual (dividiendo por 14 pagas) y horario 1642.85 €/mes.

Para poder calcular los costes asociados al personal debemos determinar los €/hora se cobran y calcular las horas totales dedicadas a este proyecto. Estas horas totales las dividimos entre horas dentro del horarios del contrato de prácticas y las horas extra invertidas para la finalización del proyecto.

Tabla 1 Coste del personal

Costes de personal	
Ingeniero industrial	10,26 €/hora
Horas totales	500 Horas
Horas prácticas	360 Horas
Horas extras	140 Horas
Total	5130 €

2.2.2 Costes asociados al software

En cuanto a costes de software, los softwares que se han empleado en la realización de este proyecto son Unity Pro, por 2040 \$/año (1903,43 €/año) (Unity Store, 2023) y Microsoft 365, por 69€/año (Microsoft 365, 2023). En este caso se asumirá el gasto de Unity, debido a querer asimilar el presupuesto a uno fuera de un contrato de prácticas. Unity ha sido usado para el desarrollo de la aplicación y Microsoft 365 para redactar las entregas, informes y manuales entregados al usuario.

Estos costes son pasados a euros y prorrateados por meses. Por otro lado, se calcula el número de horas empleadas en cada uno de los softwares. Unity ha sido utilizado 2/3 del tiempo de desarrollo del proyecto y Microsoft 365 un mes.

Tabla 2 Costes de software

Costes de software				
Software	Precio/año	Precio/mes	Meses	Coste
Licencia de Unity	1903,43 €	158,62 €	4	634,48 €
Licencia de Microsoft 365	69 €	5,75 €	1	5,75 €
Total (€)				640,23

2.2.3 Costes asociados a equipos

En este caso el equipo que ha sido utilizado es una Tablet Samsung Tab S6, utilizada que ha sido usada 1/3 de las horas dedicadas a este proyecto.

Para calcular el posible desgaste o uso de la Tablet se calcula su amortización, es decir, distribuir el coste de la Tablet a lo largo de su vida útil y se multiplica por sus horas de utilización.

La Tablet fue adquirida en 2019 por un costo de 800€. El coste actual de la Tablet es de 300€. Las Tablet Samsung tienen una vida útil de 5 años, suponiendo una utilización diaria de 2 hora, su vida útil en horas es de 2400horas.

Esta es la fórmula usada para calcular la amortización:

$$Amortización = \frac{\text{costo equipo} - \text{valor residual}}{\text{vida útil equipo}} = \frac{850 - 300}{2400} = 0,23 \frac{\text{€}}{\text{hora}}$$

Para calcular el coste de la amortización se debe multiplicar este valor por la hora de utilización de la tableta durante este proyecto.

Costes de equipo		
Equipo	Amortización	Horas
Tablet Samsung Tab S6	0,23 €/h	166,67 €
	Coste amortización (€)	38,19 €

2.2.4 Costes totales

El coste total de este proyecto se calcula sumando los costes desarrollados anteriormente.

Costes totales	
Costes personal	5130,00 €
Costes de software	640,23 €
Costes de equipo	38,19 €
Total (€)	5808,42 €

El coste final de este proyecto es cinco mil ochocientos ocho euros con cuarenta y dos céntimos.

3 ESPECIFICACIÓN

3.1 ESTUDIOS Y ANÁLISIS PREVIOS

El proyecto que vamos a realizar se encuentra inscrito dentro del sector de AEC (Architecture, Engineering & Construction). Este sector necesita de técnicas que faciliten la intercomunicación entre los distintos integrantes del proyecto, debido al proceso de transición que está experimentando desde el método tradicional hacia una mayor automatización.

Una de estas herramientas es BIM, pero, en ocasiones no alcanza todo su potencial debido a la diferencia de información accesible desde dispositivos fijos de oficina y a pie de obra. Poder visualizar los modelos BIM usando Realidad eXtendida permite un mejor intercambio de información entre los diferentes integrantes del proceso de construcción. El uso de RX posibilita al usuario estar inmerso en el espacio y apreciar los pequeños detalles de los modelos desde distintas perspectivas de forma interactiva.

La aplicación habitual de Realidad eXtendida en AEC sitúa los modelos 3D del diseño de obra superpuestos sobre el espacio real usando dispositivo móviles y herramientas de software. Esta visualización de los modelos puede ocurrir a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto; desde la planificación y diseño del proyecto permitiendo diseñar elementos más creativos o realizar pruebas para reducir el impacto visual en el paisaje (Schnabel, 2009). Finalmente, durante su explotación permitiendo visualizar de forma sencilla los datos de sus sistemas de gestión y mantenimiento. La RX también permite usar modelos de edificios preexistentes en realidad eXtendida para extraer información útil, tales como las labores de preservación necesarias.

Un buen ejemplo de esta metodología es CityViewAR (Billinghurst, y otros, 2023), una aplicación de la Universidad de Canterbury que permite ver superpuestos a los edificios de la ciudad destruidos durante el terremoto de 2011, variaciones de esta aplicación son utilizadas en Australia por lo sectores de la construcción de obra civil.

El uso de RM en AEC aumenta la productividad y el desempeño en todas las etapas del proceso de construcción, además ha tenido un rápido crecimiento e implementación ganando aceptación como una herramienta valiosa para mejorar el diseño y el proceso de construcción. La RM se ha aplicado en proyectos como “Smart Vidente” (Schall, Zollmann, & Reitmayr, 2013). Esta investigación propone enriquecer el entorno físico real visualizando instalaciones enterradas como cables y tuberías para acelerar las tareas de identificación y modificación con una interfaz más intuitiva. Se considerará una investigación de RM porque permite realizar anotaciones dentro del modelo. Esta aplicación se consigue mediante un sistema altamente preciso para posición y orientación en RA, el Software “Poma3D” (OH&B Digital Solutions GmbH, 2023). Poma3D toma coordenadas de GNSS (Global Navigation Satellite System) y medidas inerciales para ubicar correctamente ambos entornos.

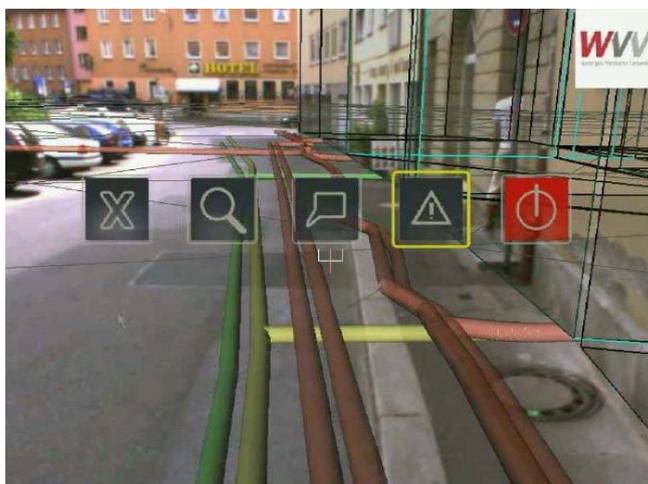


Fig. 17 Implementación de RM en AEC SmartVidente Fuente: (Schall, Zollmann, & Reitmayr, 2013)

Este sistema será implementado para un dispositivo Tablet que debe complementarse con otros sistemas móviles: antena GPS, cámara y sistemas de medida como un láser y una unidad de medida inercial. La necesidad de elementos adicionales hace del dispositivo utilizado voluminoso e incómodo de utilizar.

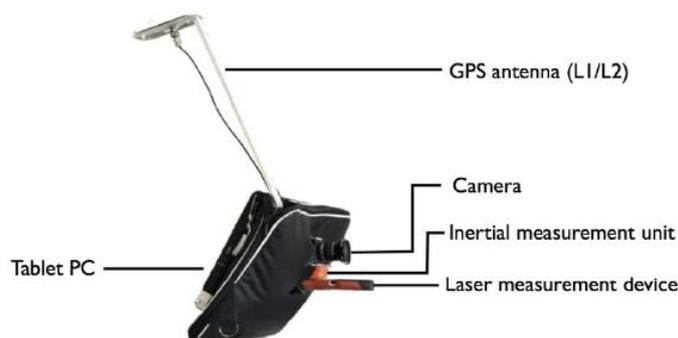


Fig. 18 Dispositivos necesacion para SmartVidente. Fuente: (Schall, Zollmann, & Reitmayr, 2013)

La implementación de modelos BIM en RM es menos común, pero se encuentran dos proyectos: HD4AR (Real-time and Automated Monitoring and Control, 2023) y “Software architecture for mobile mixed reality and 4D BIM interaction” (Hakkarainen, Woodward, & Rainio, 2009).

Hybrid 4-Dimensional Augmented Reality (HD4AR) es un sistema de RA para proyectos AEC, funcional desde dispositivos móviles como teléfonos y tabletas, desarrollado en la Universidad de Illinois (USA) y comercializada por PAR Works. El usuario realizará una foto de un elemento constructivo determinado y superpuesto a la imagen real se muestran modelos 3D; si son seleccionados, su información asociada se mostrará en forma de tabla.

La investigación “Software architecture for mobile mixed reality and 4D BIM interaction” desarrolla un sistema en estado de prototipo que permite comparar los modelos BIM del proyecto de construcción con la obra a tiempo real, añade datos visuales de BIM 3D y 4D a tiempo real. Esta aplicación es programada para utilizarse en una computadora móvil Sony Vaio UX, junto con un GPS externo conectado mediante BlueTooth, para visualización de modelos BIM muy complejos, y requiere un portátil de altas prestaciones.

A diferencia de los proyectos anteriores, la aplicación objeto de este Trabajo de Fin de Máster usa RA, RV y RM en un entorno portuario. Esta aplicación puede utilizarse en cualquier dispositivo Android sin necesidad de elementos adicionales, facilitando su implementación en obra. Además, permite usar RM a tiempo real en la obra sin necesidad de parar para realizar fotos para ver superpuestos ambos modelos.

3.2 REQUISITOS DEL USUARIO

Durante el comienzo de este proyecto se realizó una reunión con los clientes (la Autoridad Portuaria de Santander). El objetivo de esta reunión es averiguar las necesidades de información y consulta de los usuarios. De esta forma se ha podido determinar los requisitos necesarios para la aplicación.

Esta aplicación para dispositivos Android debe permitir al usuario visualizar los modelos BIM de la infraestructura portuaria de Raos 9, usando RV, RA y RM. En todas estas opciones de visualización, el usuario debe poder posicionarse en cualquier localización en el modelo de Raos 9 y visualizar información de las bases de datos del modelo BIM (principalmente PSets (del inglés Property Sets, conjunto de propiedades) como Clasificación, Disciplina, Subdisciplina, Nombre del elemento, Material, Volumen, Longitud, etc.).

Contar con una opción de RV es un requisito clave para poder explorar los modelos BIM de manera independiente y remota, sin importar el estado de la obra o su entorno. El usuario debe ser capaz de visualizar los modelos de Raos 9 con comodidad. Es decir, debe poder desplazarse en el modelo y mostrar u ocultar, a voluntad, los elementos que pertenecen a cada una de las disciplinas (dragados, estructura, drenaje, abastecimiento, alumbrado, etc.)

Se incluye de forma adicional la posibilidad de añadir herramientas que permitan posicionarse en puntos estratégicos de la obra y/o una simulación de vuelo aéreo de 360º alrededor de la obra para verla en su conjunto.

Para la etapa de construcción, contar con la opción de RA es otro requisito clave, para asegurarse de que las infraestructuras construidas se ajustan a los modelos diseñados. La RA es un requisito de gran importancia para ayudar en las tareas de control y mantenimiento de las instalaciones permitiendo identificar los diferentes elementos de la instalación. La RA debe poder utilizarse de forma intuitiva y cómoda, sin errores en la superposición de los dos entornos.

En el caso de RM (implementada dentro de la opción de RA), el usuario debe ser capaz de interactuar con el entorno virtual a través de la interfaz del usuario, principalmente, seleccionando elementos para conocer sus nombres o sus datos.

Como resumen, se necesita una aplicación para dispositivos Android que permita visualizar unos modelos virtuales y sus datos virtuales, tanto sin interacción con el entorno concreto de la obra (RV), como junto el mundo real (RA).

4 DISEÑO DE IMPLEMENTACIÓN

A lo largo de este bloque se desarrolla el proceso y los pasos de realización de este proyecto. Se especifican la tecnología y los softwares usados, así como los pasos necesarios para la importación de los modelos BIM.

4.1 ANÁLISIS DEL HORIZONTE TECNOLÓGICO

En este apartado se justifica el software empleado para la realización del programa. Se realiza una investigación acerca del motor óptimo que se va a utilizar para programar la aplicación de Realidad eXtendida y el lenguaje de programación utilizado.

4.1.1 Unity

Para el desarrollo de esta aplicación se ha empleado una plataforma comercial de videojuegos llamada Unity, con multitud de aplicaciones en la industria del cine, automóviles, arquitectura o ingeniería.



Fig. 19 Logo de Unity. Fuente: Unity.com

Se ha escogido Unity como motor de desarrollo, ya que es una de las plataformas líderes en simulación para RM por su facilidad para representar elementos tridimensionales. Por otro lado, este motor de desarrollo también permite modelar aplicaciones para una amplia variedad de dispositivos de Realidad eXtendida como Android, Windows Hololens, Daydream, o, Oculus Rift.

La relevancia de Unity en Realidad eXtendida queda reflejada en los libros como “Modelado completo de RV y Realidad Aumentada con Unity” (Glover & Linowes, 2019) y en numerosos

artículos científicos que lo avalan como la plataforma más intuitiva para la implantación de la Realidad eXtendida (Cosmina, 2018). Su relevancia también queda patente en aplicaciones de RA de gran éxito como “Pokemon GO” modeladas con este programa (Wolverton, 2018).

Este amplio uso de Unity ha configurado una gran comunidad de creadores que comparten sus programas, modelos 3D, texturas y animaciones reduciendo el tiempo de modelado considerablemente. Estos elementos (gratuitos o comerciales) son compartidos junto con elementos creados por Unity Technologies a través de la librería de Unity “Asset Store”.

En concreto para este proyecto, se ha escogido Unity ya que facilita una Licencia de Estudiante que ha permitido utilizarlo de forma gratuita. Unity es un software intuitivo, fácil de utilizar y con el que disponemos de un alto grado de familiarización debido a proyectos previos.

Por otro lado, otra ventaja de Unity es el lenguaje de programación empleado C#. C# es un lenguaje de programación evolucionado de C y C++ (lenguajes con mucha eficiencia de código) que engloba facilidades de programación de otros códigos sin perder la potencia de C (¿Qué es C# y para que sirve?, 2022). Para editar este código se utiliza Microsoft Visual Studio.

4.1.2 Microsoft Visual Studio

Microsoft Visual Studio es una plataforma de lanzamiento creativa que permite principalmente editar y compilar código destinado a realizar aplicaciones. El uso de esta plataforma facilita en gran medida la creación de código puesto que, incluye herramientas de completado de código y diseñadores gráficos, que permiten trabajar de forma más rápida y eficiente con el código (Microsoft Visual Studio, 2023).

Es un entorno de desarrollo que puede emplearse tanto en Windows como macOS y permite programar en una variedad de lenguajes de programación: C++, C#, Visual Basic,

.NET, F#, Java, Python, Ruby y PHP. En nuestro caso se ha empleado la versión Visual Studio Professional 2022 17.4.4 para la edición y compilación del código.

4.2 FLUJO DE TRABAJO

En este apartado se explica el proceso seguido para obtener los modelos BIM con los que visualizaremos e interactuaremos en la aplicación. En Fig. 20 *Flujo de trabajo*. Fuente: *Elaboración propia* se representa el esquema funcional de la aplicación. De izquierda a derecha, se enumeran algunas de las fases necesarias para el desarrollo de la aplicación:

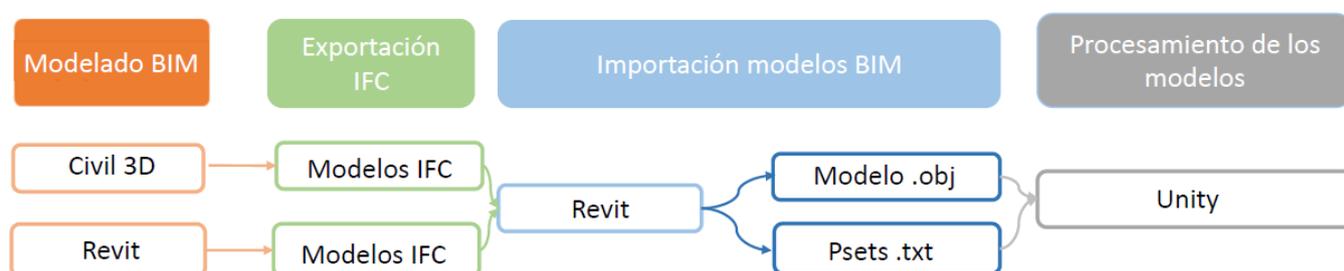


Fig. 20 Flujo de trabajo. Fuente: *Elaboración propia*

4.2.1 Modelado BIM

El proceso de modelado del entorno 3D no constituye parte de este TFM, pero es un elemento base indispensable para el desarrollo de este. Debido a su relevancia se realizará una breve introducción sobre el proceso de modelado, la metodología seguida y los softwares utilizados.

Al realizarse un proyecto de infraestructuras portuarias, el proceso de modelado e implantación BIM viene guiado por “Guía BIM del sistema portuario de titularidad estatal”, de junio 2019 de Puertos del Estado.

La Guía BIM no determina un software fijo ni limita el número de softwares para realizar el modelado, siempre que cumplan los requisitos necesarios para el entorno BIM. Estos softwares deben generar modelos tridimensionales con elementos diferenciados y permitir la exportación de .ifc, sin pérdida de los sets de propiedades requeridos por el cliente.

En este proyecto los modelos han sido modelados en Civil3D y Autodesk Revit. Autodesk Civil 3D es un software de diseño que permite hacer infraestructuras civiles y trabajar con un entorno basado en modelos (AutoDesk Civil 3D, 2023). Por otro lado, Autodesk Revit es un software de Autodesk que permite a equipos de arquitectura, ingeniería y construcción crear edificios e infraestructuras con facilidad con formas, estructuras y sistemas paramétricos de gran precisión (Revit, 2023). Ambos softwares son muy empleados en Building Information Modeling.



Fig. 21 Logos de Civil 3D y Revit Fuentes: Autodesk

Para el modelado de la infraestructura portuaria ha sido necesario dividir el entorno en modelos más pequeños, según sus usos y sus requerimientos de modelado. Esta división permite trabajar con modelos menos pesados, que generan menos tiempos de carga y permiten un flujo de trabajo más fluido. Los diferentes modelos son llamados disciplinas.

Los elementos relacionados con alumbrado, fontanería y estructuras son modelados en Autodesk Revit debido a las opciones aportadas por el software. Estos modelos serán divididos en 4 modelos distintos Estructura, Alumbrado, Abastecimiento y Tanques y Murete.

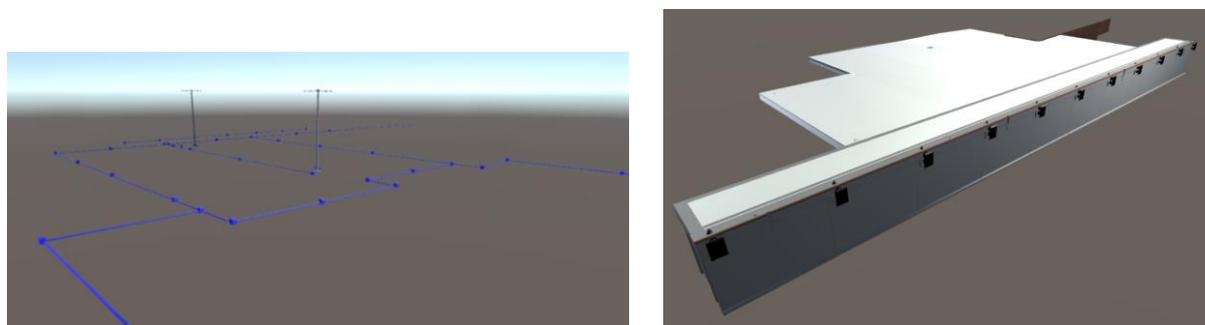


Fig. 22 Alumbrado(izda.) y estructuras (drcha.) Fuente: Elaboración propia

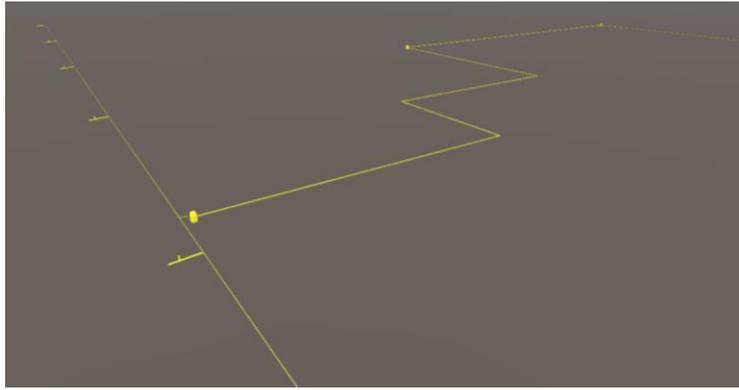


Fig. 23 Abastecimiento. Fuente: Elaboración propia.

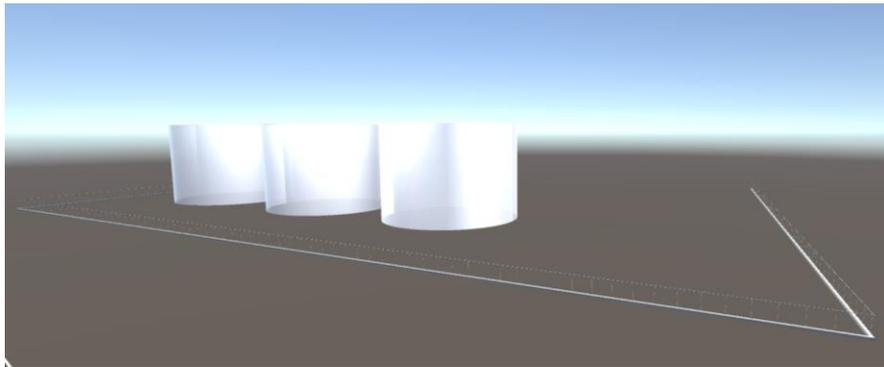


Fig. 24 Taques y murete. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, los elementos relacionados con superficies de terrenos son modelados usando Autodesk Revit y son divididos en Columnas de grava, Taludes, Dragados y Drenaje.

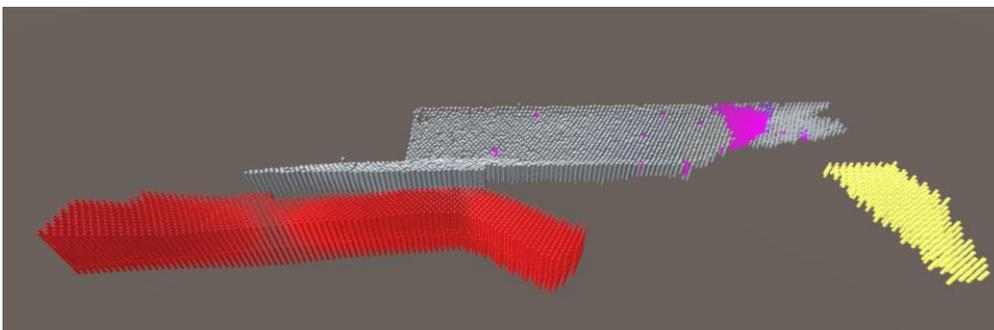


Fig. 25 Columnas de grava. Fuente: Elaboración propia.

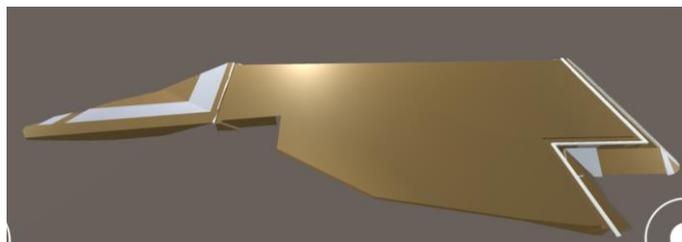
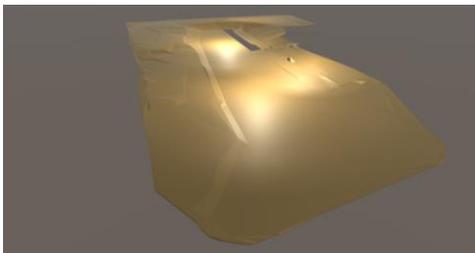


Fig. 26 Dragados (izda.) Taludes (drcha.). Fuente: Elaboración propia

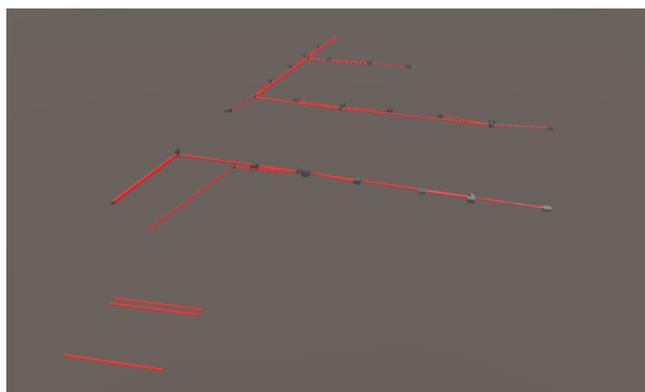


Fig. 27 Drenaje. Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla tenemos un recopilatorio de la división de los modelos y del software empleado para su modelado.

Tabla 3 Softwares de modelado de cada uno de los archivos

Modelos	Software de modelado
Columnas	Civil
Taludes	Civil
Dragados	Civil
Alumbrado	Revit
Abastecimiento	Revit
Estructura	Revit
Drenaje	Civil
Tanques y murete	Revit

Los softwares BIM permiten modelar en 3D los componentes de una instalación y asignarles información sobre su construcción y su ciclo de vida, desde el anteproyecto hasta la ejecución y mantenimiento. Los datos asociados a los elementos de este modelo vienen especificados por la autoridad portuaria en la “Guía BIM” de Puertos de Estado, con el objetivo de unir todos los proyectos BIM para facilitar la revisión y control de futuros proyectos.

Los datos asociados se denominan set de propiedades o PSets. Los PSets asociados a todos los elementos de los modelos BIM vienen agrupados según la fase del ciclo de vida del

proyecto y deben ser visibles durante todo el proyecto. Los Psets asociados a los elementos de nuestro proyecto son los siguientes:

SET DE PROPIEDADES PUERTOS DEL ESTADO		
Identificación del parámetro	Tipo	Valor posible
01_PdE_Identificación		
01_01_PdE_Proyecto	texto	Código de proyecto.
01_02_PdE_Localizador	texto	Código de localización del elemento (zona).
01_03_PdE_Estado	texto	Existente, Proyecto Básico, Proyecto Constructivo, Obra.
01_04_PdE_Clasificación	texto	Código Clasificación de elemento (Puertos, guBIMClass, etc.).
01_05_PdE_Tipología	texto	Código de tipología de modelo según Guía BIM.
01_06_PdE_Disciplina	texto	Código de disciplina según Guía BIM.
01_07_PdE_Subdisciplina	texto	Código de subdisciplina según Guía BIM.
01_08_PdE_Material	texto	Código material del elemento.
02_PdE_Cantidades		
02_01_PdE_Unidad	ud.	Valor.
02_02_PdE_Longitud	m	Valor.
02_03_PdE_Espesor	m	Valor.
02_04_PdE_Area	m ²	Valor.
02_05_PdE_Volumen	m ³	Valor.
03_PdE_Proyecto		
03_01_PdE_Fase Obra	texto	Código de la fase de obra a la que hace referencia el elemento.
03_02_PdE_Planos	url*	URL a la ubicación en el CDE de los planos.
03_03_PdE_PPTP	url*	URL a la ubicación en el CDE de los PPTP.
03_04_01_PdE_Ud Medición 01	texto	Código de la unidad de obra I a la que hace referencia el elemento.
03_04_02_PdE_Ud Medición 02	texto	Código de la unidad de obra II a la que hace referencia el elemento (si la hubiese).
03_04_03_PdE_Ud Medición 03	texto	Código de la unidad de obra III a la que hace referencia el elemento (si la hubiese).
04_PdE_Obra		
04_01_PdE_Controles de Calidad	url*	URL a la ubicación en el CDE de los controles de calidad.
04_02_PdE_Fotografías	url*	URL a la ubicación en el CDE de las fotografías.
04_03_PdE_Seguridad y Salud	url*	URL a la ubicación en el CDE de la información de Seguridad y Salud.
04_04_PdE_Informes de Aprobación	url*	URL a la ubicación en el CDE de los Informes de Aprobación.
04_05_PdE_Certificaciones	url*	URL a la ubicación en el CDE de las certificaciones.
04_06_PdE_Planos As Built	url*	URL a la ubicación en el CDE de los planos As Built.
04_07_PdE_MedioAmbiente	url*	URL a la ubicación en el CDE de documentación.
05_PdE_EOM		
05_01_01_PdE_Cod Mantenimiento	texto	Código del inventario de mantenimiento.
05_01_02_PdE_Aux Mantenimiento	url*	URL a la ubicación en el CDE de la información de mantenimiento.
05_02_01_PdE_Cod Explotación	texto	Código del inventario de explotación.
05_02_02_PdE_Aux Explotación	url*	URL a la ubicación en el CDE de la información de explotación.
05_03_01_PdE_Cod Contable	texto	Código de inventario contable.
05_03_02_PdE_AuxContable	url*	URL a la ubicación en el CDE de la información contable.

Fig. 28 Tabla de Clasificación de los PSets. Fuente: Guía BIM de puertos del estado

Estas serán las bases generales bajo las que modelaremos las geometrías 3D usando la metodología BIM.

4.2.2 Exportación a IFC

El formato de intercambio neutro a nivel internacional para productos BIM es el formato IFC (Industry Foundation Classes). Este formato permite intercambiar los modelos sin perder ni distorsionar los datos o informaciones, evitando los problemas de interoperabilidad entre los softwares de modelado.

El formato IFC está normalizado por buildingSMART International, y puede ser utilizado en más de 140 plataformas de software. BuildingSMART International es una organización que trabaja en favorecer la colaboración y el flujo de trabajo digital en todas las fases de vida del proyecto (building SMART, 2023).



Fig. 29 Formato IFC. Fuente: Building SMART International

Este formato permite generar modelos, tener información geoposicionada, extraer fácilmente documentación y visualizar los modelos desde software gratuitos y de pago. El interés de este formato reside principalmente, en lo que se respecta al modelado de proyectos BIM, en la generación de modelos unidos a los sets de propiedades.

Según la guía BIM (Puertos del Estado, 2019), este formato puede ser complementado con otros documentos gratuitos o privados. En el entregable final BIM se aportan los modelos en formato IFC y los documentos dwg y rvt formatos propios de Civil 3D y Revit. La exportación de los modelos desde los softwares es sencilla, los escogidos disponen de una opción de exportación directa a IFC. Se parte de estos documentos para importar los modelos en la aplicación y poder visualizarlos.

4.2.3 Importación de los modelos BIM

Las tecnologías de Realidad eXtendida están en proceso de desarrollo y cuentan con algunas limitaciones. Entre estas limitaciones se encuentra la complejidad de flujo de trabajo entre los softwares de BIM y XR. Para incorporar los modelos en formato .ifc en la aplicación encontramos algunos problemas, ya que Unity, motor de videojuegos, no procesa este formato. Para poder importar los modelos en Unity y procesarlos, se ha buscado 2 rutas alternativas que se comparan a continuación. Por un lado, se busca una extensión preexistente que permita importar los IFC directamente a Unity, como por ejemplo Tridify. Por otro lado, se determina un camino que, aunque más complejo, resulta más eficiente de importar los modelos desde IFC.

Extensión preexistente

Se ha trabajado con los softwares de gestión de datos BIM más conocidos del mercado. A continuación, se enuncia cada uno de los distintos softwares, así como las razones por las que se usa Tridify (Autodesk App Store, 2023). Los requisitos que se establecen para escoger el software son, importar correctamente la geometría y los datos en Unity y la asequibilidad.

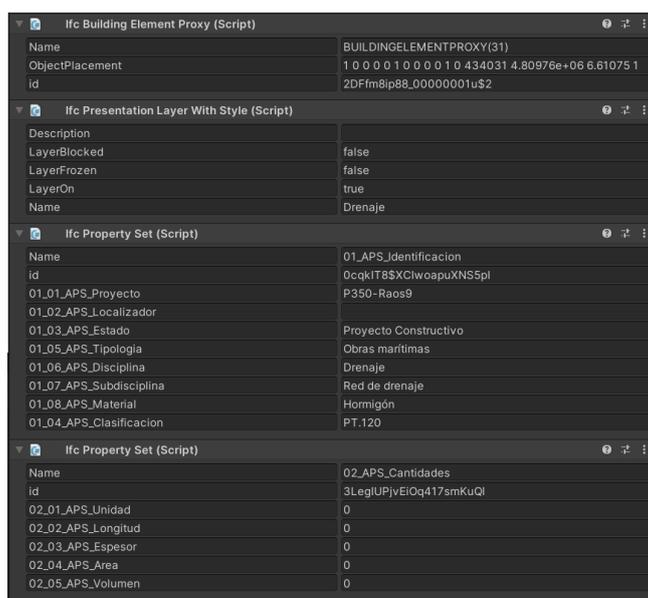
3D Repo, es una plataforma online que gestiona los datos BIM para mejorar la comunicación dentro del equipo accediendo a los datos y a los modelos BIM a tiempo real a través de su navegador. Es un software potente para visualizar y modificar modelos. Sin embargo, no da opción de exportar los modelos y PSets en un formato comprensible para Unity (3D Repo , 2022).

Pixyz es un software que trabaja en colaboración con Unity y permite visualizar los datos 3D maximizando el desempeño de la visualización (pixyz, 2023). Este software consta de 4 productos, Pixyz Review (permite optimizar y ver CAD/BIM); Pixyz Studio (trabaja con pesados archivos de CAD en Unity); Pixyz Plugin (importa CAD y mallas dentro de Unity) y Unity Industrial Collection (permite importar datos de CAD a tiempo real). Esta aplicación no permite importar PSets; además, no se han podido realizar pruebas porque este software no aporta una versión de prueba y requiere una inversión inicial muy alta 1150\$/año.

Spin 3D es un software que permite convertir archivos CAD de forma rápida y sencilla. Debido a la compleja geometría de los archivos IFC, Spin 3D no permite trabajar con ellos excepto “Estructura” que se utiliza como prueba y es convertido a formato .obj. Este archivo importado en Unity consta de un solo elemento sin PSets, incumple lo establecido en Guía BIM de Puertos del Estado, que indica que se debe poder acceder los elementos y sus datos por separado (NCH Software, 2023). Se repite el proceso con los softwares Aspose y CADEXchanger, pero a pesar de poder interactuar con los elementos por separado se pierden PSets.

Finalmente se escoge Tridify como la extensión óptima para nuestro caso, puesto que permite importar tanto geometría y datos; y, además cuenta con una prueba gratis el primer año de uso. Tridify es un servicio de publicación de BIM que combina, comparte y permite visualizar modelos IFC. Estos modelos deben publicarse en su página web. Consta también de un visor 3D que puede compartirse con los demás miembros del equipo de trabajo y permite visualizar los modelos.

Tridify aporta también un plugin (extensión) desde la “Asset Store” que se añade al proyecto de Unity y permite conectarse a la cuenta de Tridify y descargar los modelos subidos a la web en Unity. Los PSets quedan reflejados en Unity adjuntos a los elementos en forma de documentos de código (scripts, archivos de código C#) (Autodesk App Store, 2023).



Ifc Building Element Proxy (Script)	
Name	BUILDINGELEMENTPROXY(31)
ObjectPlacement	1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 434031 4.80976e+06 6.61075 1
id	2DFm8ip88_00000001u\$2

Ifc Presentation Layer With Style (Script)	
Description	
LayerBlocked	false
LayerFrozen	false
LayerOn	true
Name	Drenaje

Ifc Property Set (Script)	
Name	01_APS_Identificacion
id	0cqiIT8\$XCiwoapuXNS5pl
01_01_APS_Proyecto	P350-Raoc9
01_02_APS_Localizador	
01_03_APS_Estado	Proyecto Constructivo
01_05_APS_Tipologia	Obras marítimas
01_06_APS_Disciplina	Drenaje
01_07_APS_Subdisciplina	Red de drenaje
01_08_APS_Material	Hormigón
01_04_APS_Clasificacion	PT.120

Ifc Property Set (Script)	
Name	02_APS_Cantidades
id	3LegIUPjVEiOq417smKuQl
02_01_APS_Unidad	0
02_02_APS_Longitud	0
02_03_APS_Espesor	0
02_04_APS_Area	0
02_05_APS_Volumen	0

Fig. 30 Ejemplo de scripts con datos importado con Tridify. Fuente: Elaboración propia

El principal problema de esta forma de importación son los errores en la visualización y el ensamblado de los distintos elementos. Los errores que se presentan son consecuencia del modelado de los elementos en coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator), las cuales representan un sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica a secante de un meridiano, expresadas en metros sobre el nivel del mar (Ruben, 2022). Por ejemplo, las coordenadas UTM de Santander son 434924 y 4812825.1, lo que las convierte en un valor muy significativo.

Debido al uso de coordenadas UTM el modelo está modelado a gran distancia del origen de coordenadas del IFC. Tridify al importar elementos lejos del origen de coordenadas importa los modelos deformados como vemos en Fig. 31 *Columnas importadas con Tridify (izda) Columnas importadas correctamente (drcha)*. Fuente: *Elaboración propia* y Fig. 32 *Red de drenaje importada Tridify (izda). Red drenaje correctamente importada (drcha.)* Fuente: *Creación propia*.

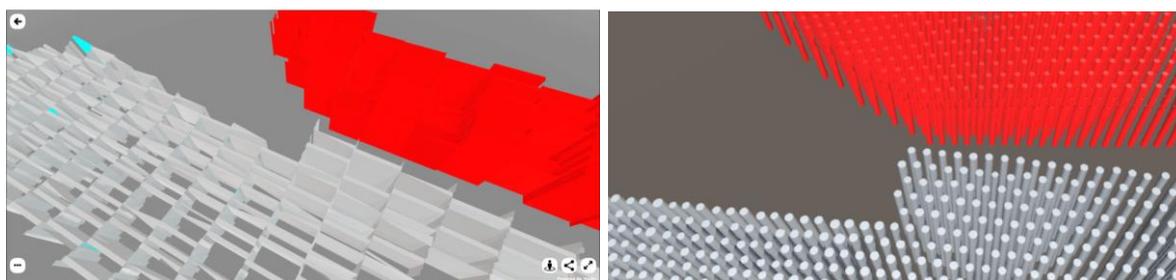


Fig. 31 *Columnas importadas con Tridify (izda) Columnas importadas correctamente (drcha)*. Fuente: *Elaboración propia*

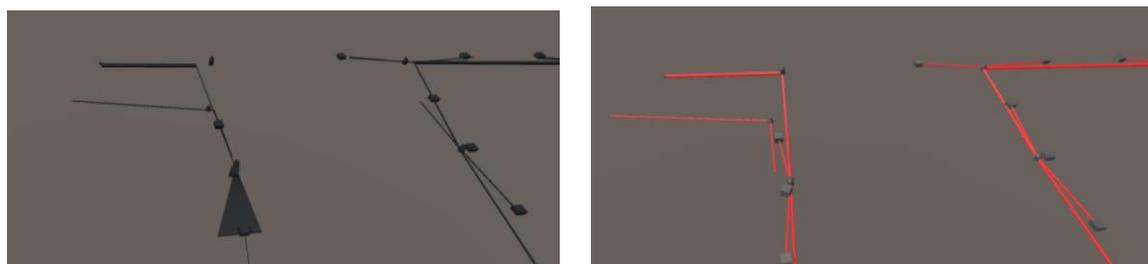


Fig. 32 *Red de drenaje importada Tridify (izda). Red drenaje correctamente importada (drcha.)* Fuente: *Creación propia*

Para solucionar este problema, hemos desplazado todos los modelos de Revit y Civil a un punto de origen cuyas coordenadas son (43400, 4810000). Después, se ha importado los modelos y se sigue encontrando algunos errores, especialmente en el ensamblaje de los diferentes elementos. Otro error grave que encontramos es el cambio de las coordenadas

de los elementos respecto del punto de referencia, lo que resulta inconveniente para alinear correctamente los modelos.

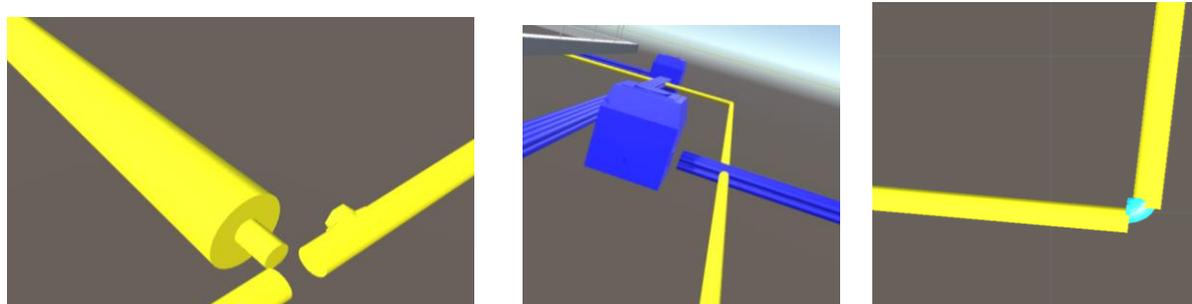


Fig. 33 Errores de ensamblado importando Tridify. Fuente: elaboración propia

Junto al problema de importación de geometría vemos que Tridify no nos deja añadir a los componentes MeshColliders. Los Colliders son elementos de Unity que definen la forma de un objeto para colisiones físicas. Los MeshCollider son Colliders con forma de malla que permiten detectar la forma física de los elementos de forma precisa.

Sin Colliders no es posible interactuar con los diferentes modelos por lo que no se podría implementar RM a los modelos, uno de los requisitos de esta aplicación.

La geometría además de estar deformada y no correctamente ensamblada tendrá su origen de coordenadas desplazado respecto del objeto físico, lo que produce que los Colliders insertados no estén alineados con la geometría. En la imagen Fig. 34 *Variación entre elemento físico, origen de coordenadas y BoxCollider*. Fuente: elaboración propia vemos el elemento seleccionado resaltado de color rojo, el origen de coordenadas indicado con una flecha y resaltado en verde el Collider. Esto se repite para todos los elementos.

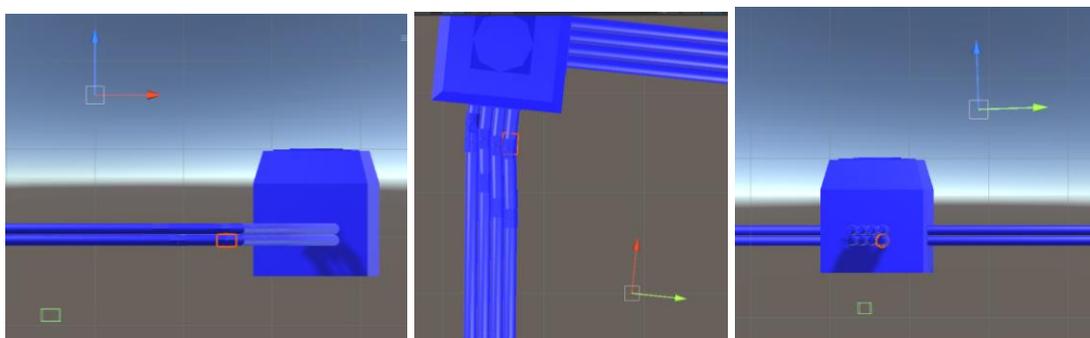


Fig. 34 Variación entre elemento físico, origen de coordenadas y BoxCollider. Fuente: elaboración propia

La última aplicación que se considera para importar los modelos es Unity Reflect, es un software propio de Unity que permite revisar los proyectos cargados en Revit mostrando los modelos de forma inmersiva (AR/VR) a tiempo real, conectando a todos los miembros del equipo de trabajo (Unity Reflect, 2023).

Esta aplicación es de gran utilidad para visualizar los modelos a tiempo real y realizar cambios rápidos desde Revit, BIM 360, Navisworks, SketchUp y Rhino, pero, no es una alternativa cómoda para obtener una aplicación permanente. Unity Reflect no permite un postprocesado de los distintos elementos ni acceder a los PSets. Haciendo pruebas sobre nuestros modelos con este software, se trabaja a muy baja velocidad dificultando la experiencia inmersiva. De este modo, se pierden tanto detalles de la geometría como los datos asociados.

Por todas estas razones se ha buscado una ruta alternativa, aunque más laboriosa para introducir los modelos correctamente en Unity.

Importación de modelos BIM a Unity

Debido a todos los problemas de los softwares anteriores hemos desarrollado un método de importación de los modelos 3D más efectivo. Los modelos son importados desde los softwares en los que se han modelado Civil o Revit. Este método de importación a Unity variará dependiendo del software de modelado.

En el método de exportación de los modelos de Revit se exporta la geometría en formato .obj y se crea una tabla de planificación que es posteriormente exportada como archivo .txt en la que se muestran los PSets.

En el caso de la geometría, el formato .obj es el formato estándar para los programas de edición de imágenes y objetos 3D desarrollado por Wavefront Technologies, permite almacenar coordenadas, archivos y mapas de texturas. Unity importa este archivo de forma directa. Exportar la geometría en formato .obj es inmediato mediante una de las opciones de exportación de Revit, que permite escoger el nivel de detalle de exportación. Para este proyecto se escoge calidad de exportación "Media", debido a que las diferencias en la

geometría no son perceptibles a simple vista y se consigue reducir el espacio ocupado por los modelos.

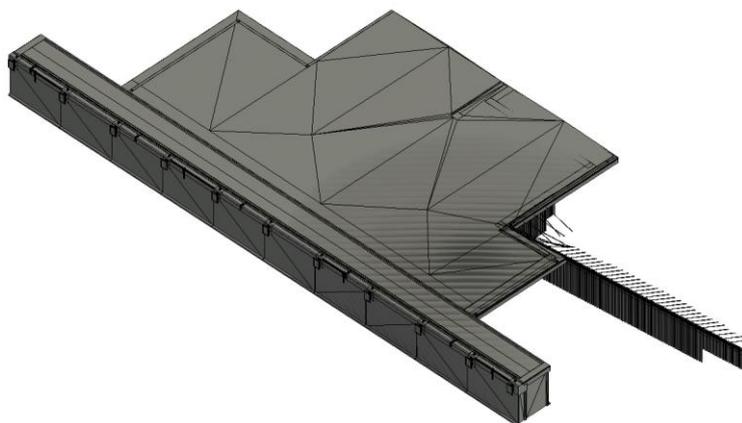


Fig. 35 Modelo Estructuras en Revit. Fuente: Elaboración propia

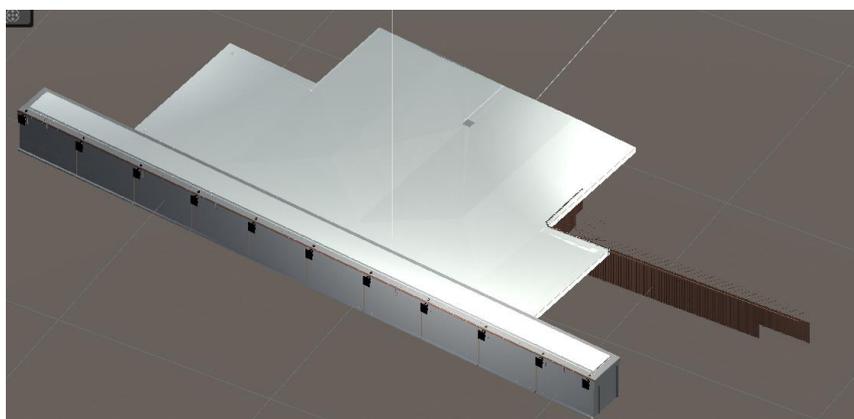


Fig. 36 Modelo Estructuras en Unity. Fuente: Elaboración propia

En el caso de la exportación de los PSets, se debe crear una Tabla de Planificación de Revit, representación en forma de tabla de la información extraída de las propiedades de los elementos del proyecto. La Tabla de Planificación que creamos enumera cada uno de los elementos en los modelos juntos a tu código de identificación y sus datos asociados en formato .ifc.

En el caso de los modelos exportados desde Civil será necesario realizar unos pasos adicionales. Este programa no permite exportar los modelos a formato .obj de forma directa, por ello se pasan los modelos a Revit y desde Revit a formato .obj como en el caso anterior. El formato en común entre ambos softwares de Autodesk es el formato .ifc que permite exportar tanto la geometría como los datos asociados.

Civil exporta correctamente los modelos en formato .ifc lo comprobamos usando BIMvision (un programa de visor de modelos de IFC sin necesidad de licencias comerciales). Sin embargo, cuando se importan estos modelos en Revit la geometría se ve deformada debido la distancia de los modelos respecto del eje de coordenadas, se produce un efecto similar al producido con Tridify.

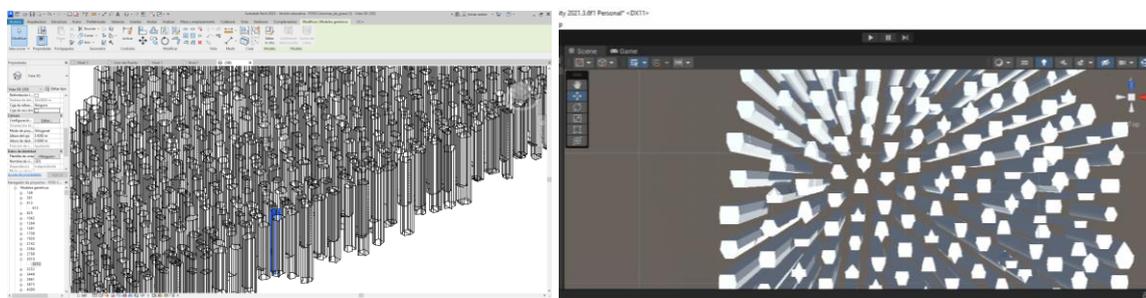


Fig. 39 Columnas importadas lejos del origen de coordenadas. Fuente: Elaboración propia

Por ello antes de exportar los modelos desde Civil a IFC es necesario desplazar los modelos a un punto común, este punto le denominamos el punto de origen y tiene las coordenadas (43400, 4810000). Realizando este paso previo podemos importar los modelos a Revit sin deformaciones significativas en la geometría ni cambios significativos en los datos.

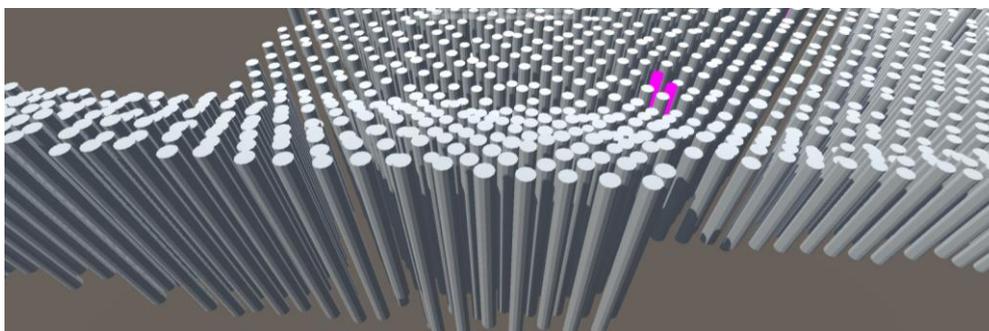


Fig. 40 Columnas importadas cerca del origen. Fuente: Elaboración propia

Este método de importación es verificado comparando el volumen del modelo de Civil y el volumen final importado en Revit. En la *Tabla 4 Comparación de los volúmenes en Civil o Revit* se compara el volumen de varios elementos Columna (aquellos que más problemas han generado con su geometría), se aprecia que el volumen varía ligeramente, pero la pérdida de volumen se considerará despreciable.

Tabla 4 Comparación de los volúmenes en Civil o Revit

Volumen Civil	Volumen Revit
5.73	5.725553
5.74	5.741261
5.76	5.764823
5.78	5.78053
5.8	5.804092
5.82	5.8198
5.84	5.835508
5.86	5.85907
5.95	5.953318
5.98	5.97688
5.02	5.018694
5.04	5.042256

Con los modelos importados en Revit se siguen los pasos indicados con anterioridad hasta conseguir la geometría en un archivo .obj y los PSets en un archivo .txt. Ambos archivos se importan en el entorno de Unity y la aplicación podrá acceder a ellos y visualizarlos.

4.2.4 Procesamiento de los modelos y sus datos

Una vez correctamente importados todos los modelos, se deben procesar para poderlos mostrar de la forma más realista posible en el entorno virtual.

El primer paso que realizaremos será añadir focos de luz al modelo para poder visualizar el modelo. Unity permite modificar la posición y orientación de los focos de luz, su rango y la intensidad de cada uno de los focos.

La extensión del entorno virtual es muy grande, por lo tanto, se prioriza que toda la superficie de los modelos esté iluminada mínimamente para poder visualizarlo correctamente y que los elementos de mayor detalle (como “Estructuras”,

“Abastecimiento” y “Drenaje”) tengan mayor iluminación para poder apreciarlos con comodidad. Se introducen un total de 8 focos de luz. Para conseguir esta iluminación mínima se utilizan focos con mucho rango y poca intensidad posicionados lejos del modelo. Para conseguir mayor iluminación para los detalles se añaden focos de luz extra con menos rango y más intensidad.

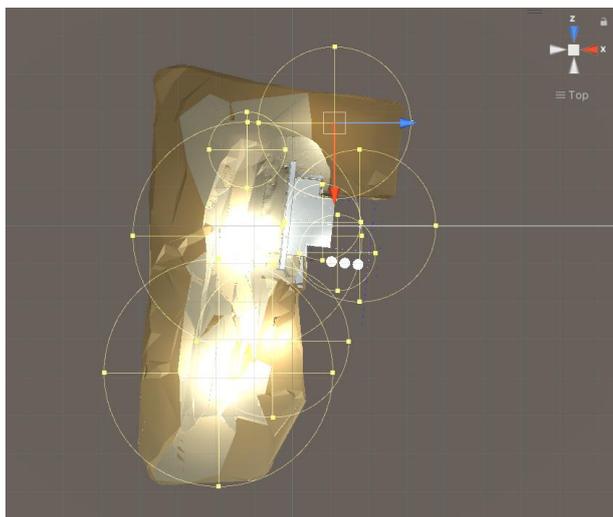


Fig. 41 Puntos de luz añadidos en Unity. Fuente: Elaboración propia

Debido a estar modelando una infraestructura portuaria se debe añadir un modelo que represente el mar para conseguir un mayor realismo en el entorno virtual. Esta superficie es modelada en Civil e importada como hemos mencionado anteriormente.

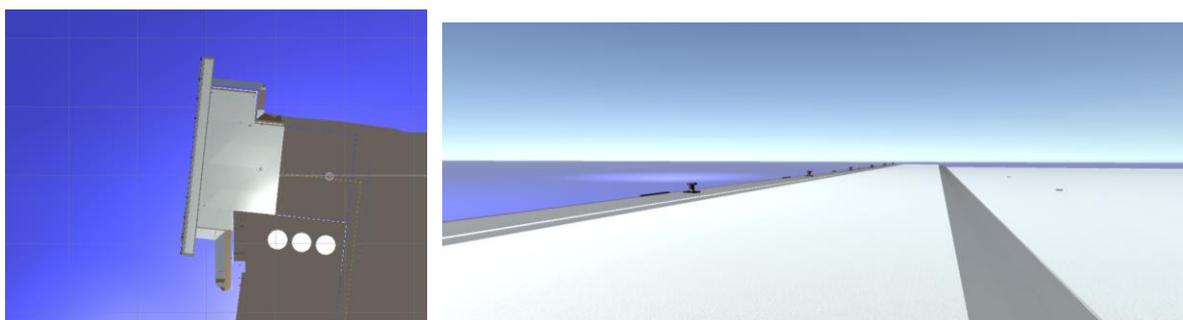


Fig. 42 Superficie que simula el mar. Fuente: Elaboración propia

Para conseguir una apariencia y textura de agua, hacemos uso de una librería de Unity obtenida de la “Asset Store”. “Fast Buoyancy” (rápida flotabilidad) es una librería gratuita de Unity programada por Nathan Gauër que aporta elementos básicos relacionados con animaciones acuáticas como texturas acuosas o elementos que flotan (Gauër, 2017). En

nuestro caso utilizaremos el material aportado de textura marina y se lo asignamos a nuestra superficie. Este material no solo le aporta un aspecto más realista, sino que hace ondulaciones asimilando olas durante el tiempo de ejecución del modelo.

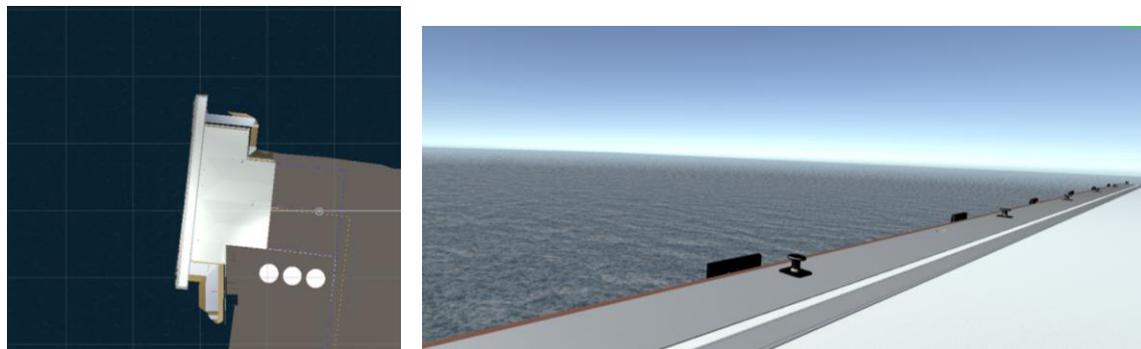


Fig. 43 Superficie realista de mar. Fuente: Elaboración propia

Para dar un mayor realismo al modelo virtual se añade también textura realista al cielo. Se consigue esta textura utilizando la opción SkyBox en la cámara virtual, extensión asignada por defecto a las cámaras de Unity. Escogiendo la opción SkyBox en el apartado Clear Flags se permite al usuario ver el cielo con un aspecto similar al real en lugar del fondo negro que le corresponde a Unity.



Fig. 44 Entorno virtual sin SkyBox (izda.) Entorno Virtual con SkyBox (drcha.)

Por último, y la parte más importante del procesamiento de modelos será asignar materiales a todos los elementos importados en el modelo. Partimos de un modelo uniformemente blanco, ya que este pierde sus colores al ser exportado a .obj. Los materiales en Unity se usan para definir las apariencias de los elementos de la escena (Unity Documentation, 2021). Para aportar mayor realismo a los modelos, los materiales de Unity son asignados acordes al material real del que este fabricado cada elemento.

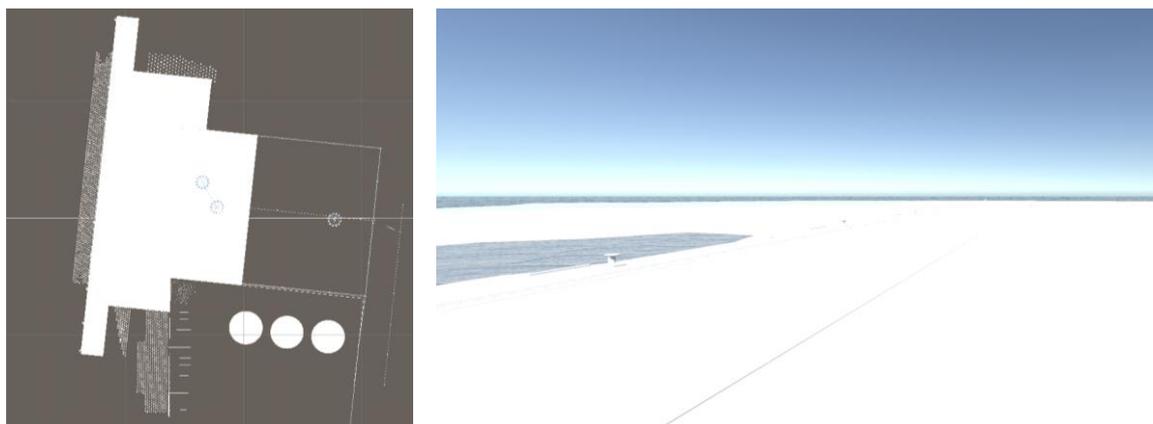


Fig. 45 Modelo sin materiales asignados. Fuente: Elaboración propia

Los materiales reales de los elementos vienen indicados en los PSets guardados en los documentos .txt exportados. Estos documentos son leídos una única vez al comienzo de la ejecución de la aplicación para evitar ralentizar el tiempo de procesamiento de la aplicación. Los PSets, tanto de materiales como volumen, área etc., son almacenados en un diccionario en el que se identifica a cada elemento por su código BIM, es decir se enlaza mediante código las propiedades BIM. Posteriormente, se realiza una iteración por todos los elementos mostrados a los que se les asigna el material que corresponde de acuerdo con lo indicado en este diccionario.

Los materiales asignados han sido escogidos por similitud a los materiales reales, algunos son sencillos (materiales colores sólidos) y algunos otros son más complejos con texturas y relieves. En el caso de los materiales sencillos como son “Rojo”, “Rojo Transparente”, “Azul” etc. son elementos de creación propia.



Fig. 46 Ejemplos de materiales sencillos de creación propia. Fuente: Elaboración propia

En el caso de materiales con texturas y relieves más complicados como son “Hormigón”, “Metal”, “Asfalto” etc. se han utilizado librerías procedentes de la “Asset Store de Unity”.

Las librerías usadas son: “Asphalt Material” (GameDev, 2019), “Yughues Free Metal Materials” (Yughues, Unity Asset Store, 2021) y “Yughues Free Concrete Materials” (Yughues, Unity Asset Store, 2015).

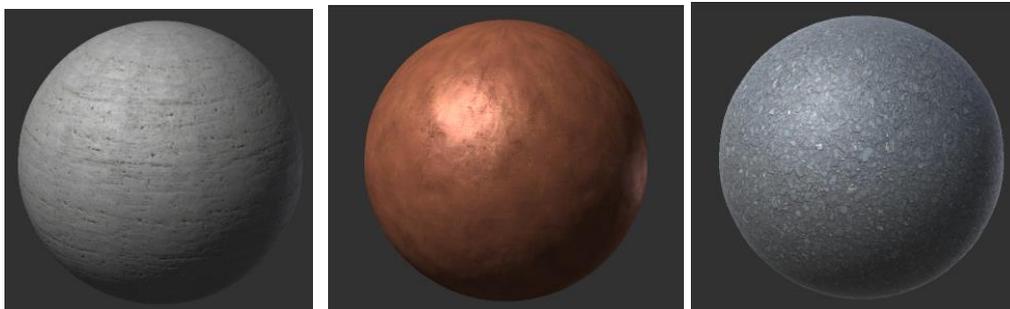


Fig. 47 Ejemplo de materiales de librerías de Asset Store. Fuente: Elaboración Propia

De esta forma se pasa del modelo en color uniformemente blanco, a un modelo con colores en el que se pueden distinguir los diferentes elementos. El modelo tiene una apariencia similar a la real, lo que permite una experiencia más inmersiva en RV y una mayor similitud al entorno real en RA.

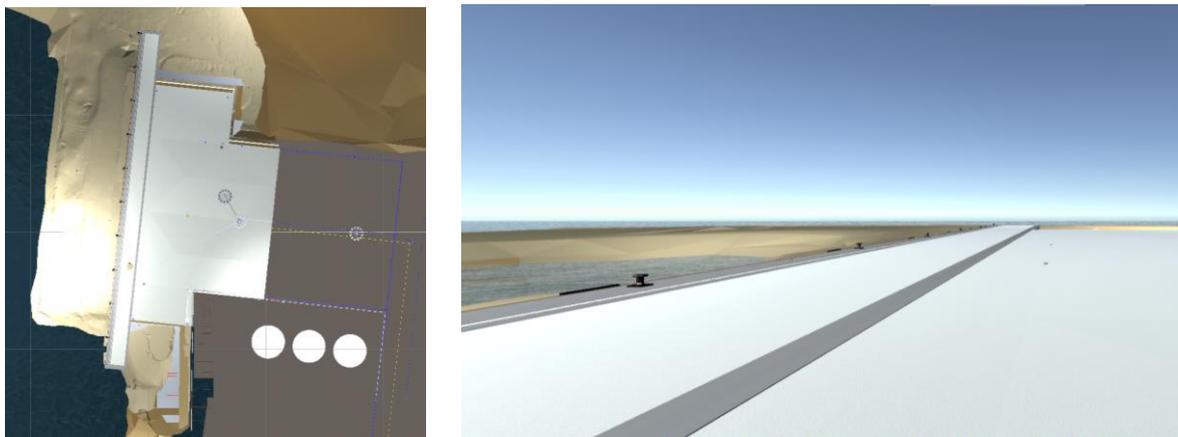


Fig. 48 Modelo con materiales asignados. Fuente: Elaboración propia

4.2.5 Desarrollo de RV

En este apartado realizaremos una breve introducción a los pasos necesarios para implementar de RV para esta aplicación.

En primer lugar, es de gran importancia contar con una interfaz fluida y moderna que permita al usuario interactuar con la aplicación. Para ello se ha utilizado un paquete de la Asset Store “3D Modern Menu UI” (SlimUI, 2022). Este paquete nos aporta de forma gratuita un menú intuitivo y animaciones que dan fluidez. Este paquete es usado para el “Menú inicial” de la aplicación, modificando los nombres de los botones y sus funciones asociadas. Asimismo, este mismo menú sirve como plantilla para el “Menú de opciones”. Este paquete de la Asset Store establece estilo y la gama cromática de la interfaz de usuario de esta aplicación.

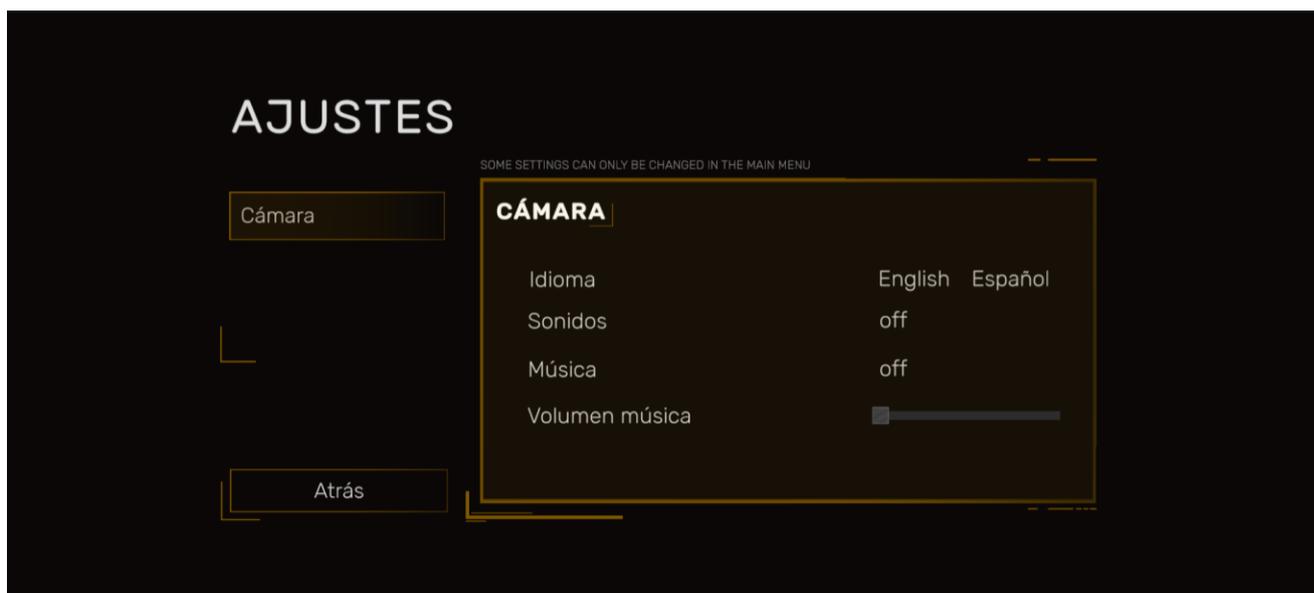


Fig. 49 Ejemplo de la interfaz de usuario de la aplicación. Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar, para interactuar con la aplicación hace falta poder desplazarnos por el modelo 3D. Los joystick empleados provienen de un paquete de Unity Asset Store llamado “UJystick” (Lovatto Studio, 2019). Este paquete aporta los gráficos y usando programación asociamos estos gráficos para que modifiquen la posición de la cámara y su orientación.

El resto de las aplicaciones propias de RV funcionan con botones. En Unity, a los botones se les asigna su funcionamiento asociando a su Interfaz gráfica de Unity unas líneas de código.

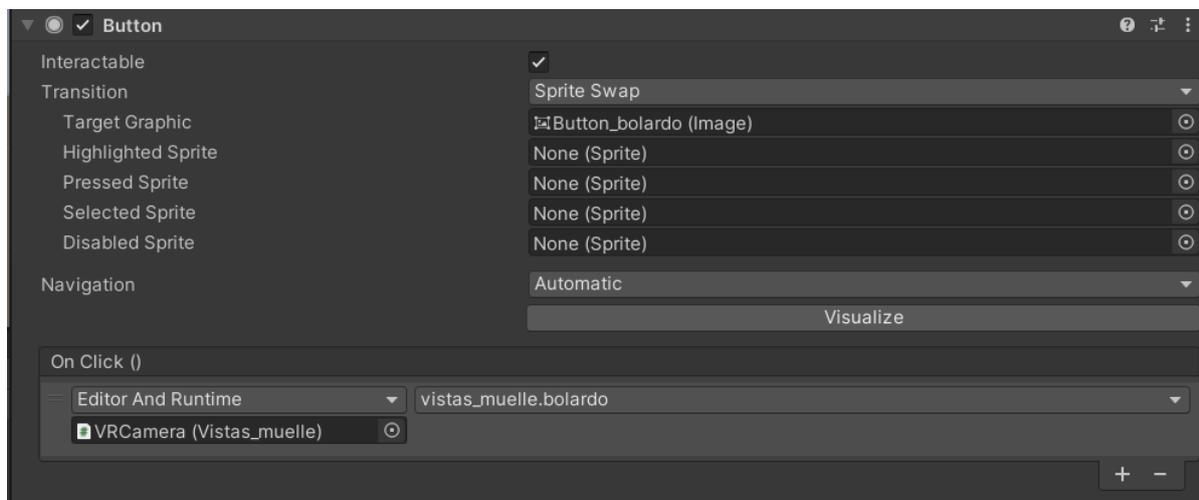


Fig. 50 Captura de interfaz gráfica de un botón de Unity. Fuente: Elaboración propia.

Cuando se selecciona el botón, se ejecutan las líneas de código asociadas. Para los botones del “Menú de perspectivas por disciplinas” y “Menú de perspectivas del muelle” (mostrados en la Fig. 77 Menús de perspectivas en RV. Fuente: Elaboración propia se utiliza un código similar al que se muestra en Fig. 51 Código asociado a botón Bolardo. Fuente: Elaboración propia. Este código solo es ejecutado en la opción de RV, por lo tanto, comienza identificando opción de visualización, continúa trasladando la cámara y modificando su orientación.

```

public void bolardo()
{
    if (PlayerPrefs.GetString("SceneMode") == "VR") Modo de visualización
    {
        transform.position = new Vector3(-20.4f, 19.2f, 12.7f); Traslado de la cámara
        Quaternion myRotation = Quaternion.identity;
        myRotation.eulerAngles = new Vector3(16.966f, -9.168f, 0); Rotación de la cámara
        transform.rotation = myRotation;
    }
}

```

Fig. 51 Código asociado a botón Bolardo. Fuente: Elaboración propia.

Estas líneas de código son un ejemplo de las que definen el funcionamiento de la aplicación. Ante la complejidad y extensión de las mismas, se decide no profundizar en su desarrollo.

4.2.6 Desarrollo RA

Una de las especificaciones de esta aplicación es que se pueda implementar RA. El objetivo es añadir visión por computador a la aplicación, que permite interactuar con los espacios del mundo real reconociendo imágenes y objetos. La visión por computador es un campo de la inteligencia artificial que programa ordenadores para interpretar y comprender el mundo visual.

Debido al auge de la RA, existen numerosas extensiones para implementar RA desde Unity, entre ellas destacan ARKit, ARCore, ARFoundation y Vuforia. A continuación se desarrolla cada una de ellas.

ARKit es un conjunto de herramientas creado por Apple para ayudar a desarrolladores a crear aplicaciones de RA para dispositivos iOS (Apple Developer, 2017). Estas herramientas son de gran utilidad para proyectos que usan software y hardware de Apple. Esta extensión es descartada para este proyecto debido a que la aplicación está diseñada para dispositivos Android.



Fig. 52 Logo de ARKit. Fuente: <https://developer.apple.com/augmented-reality/>

ARCore es el conjunto de herramientas creado por Google que, al igual que en el caso anterior, permite crear aplicaciones de RA, pero en este caso estas herramientas posibilitan construir aplicaciones tanto en dispositivos Android como en iOS (Google Developer, 2018). Es de gran utilidad cuando se desarrollan aplicaciones que usan servicios aportados por Google.



Fig. 53 Logo de ARCore. Fuente: <https://developers.google.com/ar?hl=es-419>

Ambos conjuntos de herramientas son implementadas simultáneamente a través de ARFoundation. ARFoundation es un paquete que permite construir aplicaciones de RA en Unity a través de ARKit y ARCore pudiendo usar ambas extensiones en un mismo proyecto (About AR Foundation, 2021).

Por último, Vuforia es un kit de desarrollo de software para RA que puede ser usado para Android, iOS, Plataforma Universal de Windows (UWP) y Editor de Unity (Vuforia Engine Developer Portal, 2022). Vuforia permite usar las extensiones ARKit y ARCore cuando el Hardware es compatible, las aplicaciones modeladas con Vuforia tienen las competencias de las extensiones anteriores añadidas a las competencias propias de Vuforia.

Esta aplicación ha sido desarrollada usando Vuforia debido a la amplia variedad de dispositivos para los que desarrolla. La aplicación de este proyecto está programada para dispositivos Android, pero existen proyectos futuros para implementarla en las gafas de RA Hololens 2 (un dispositivos de UWP). En cuanto Unity Editor, su uso para simular y hacer pruebas preliminares desde el ordenados es fundamental para conseguir una programación más eficaz y fluida.



Fig. 54 Logo de Vuforia. Fuente: <https://developer.vuforia.com/>

Vuforia

En este proyecto se implementa RA, la aplicación permite al usuario interactuar con el entorno real enriquecido por el entorno virtual. Es decir, el usuario puede ver las infraestructuras portuarias reales (o su construcción) a través de la cámara del dispositivo, y, superpuestas a ellas las infraestructuras virtuales, permitiendo identificar los elementos del modelo y acceder a sus datos asociados de forma intuitiva.



Fig. 55 Ejemplo de aplicación de RA (entorno virtual sobre el entorno real). Fuente: Elaboración Propia.

Para interactuar cómodamente con ambos entornos a la vez, los modelos deben estar superpuestos. Vuforia soluciona este problema desarrollando diferentes elementos que denomina “Targets” (blancos/objetivos) que sirven como punto de referencia en el mundo real para el correcto despliegue del mundo virtual, estos elementos se encuentran presentes en ambos mundos.

Estos Targets son subidos a una base de datos, y, durante la ejecución de la aplicación, Vuforia realiza una comparación entre la imagen vista por la cámara del dispositivo y su base de datos. Cuando encuentra una coincidencia entre ambos, muestra el entorno virtual y permite al usuario desplazarse inmerso en él. Vuforia también debe realizar un seguimiento a tiempo real, aunque el Target desaparezca de la vista de la cámara, para que el entorno virtual mantenga su posición respecto del real.

En el caso concreto de este proyecto, el Target se comporta como origen de coordenadas para alinear ambos entornos y permite al usuario desplazarse en el entorno real y desplazarse de la misma forma en el entorno digital.

Vuforia es conocido principalmente por sus softwares de seguimiento de imágenes y modelos target, pero también cuenta con una gran variedad de targets incluyendo modelos escaneados 3D. En este apartado se desarrolla los distintos tipos de target existentes:

- **“Image target”**. El elemento de referencia entre el mundo real y el virtual consiste en una imagen muy detallada. Esta imagen pueden encontrarse en una superficie plana, dispuesta en forma de caja (Multi Target) o enrollada alrededor de elementos cilíndricos y cónicos (Cylinder Target).

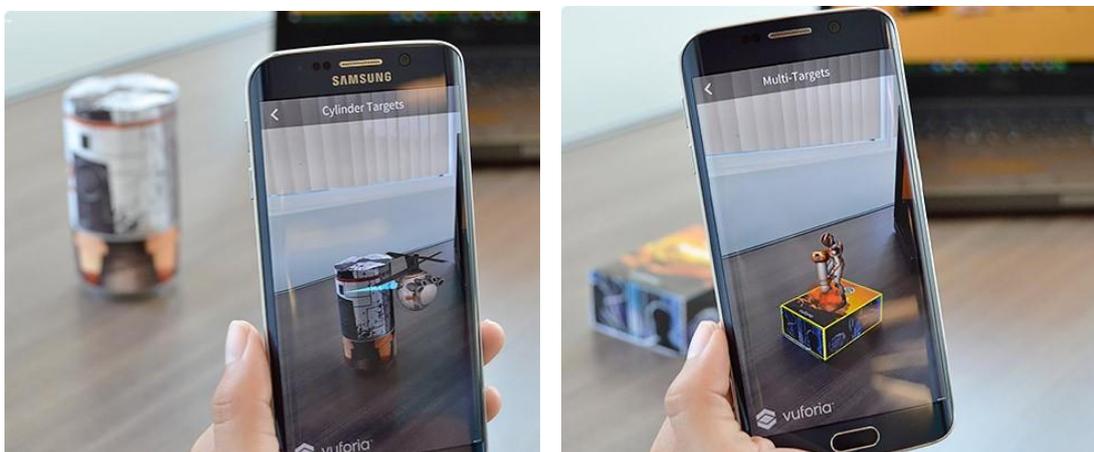


Fig. 56 Ejemplo de Cylinder Target (izda.) Ejemplo de Multi Target (drcha.). Fuente: <https://developer.vuforia.com/>

- **“Model Targets”**. El elemento reconocido por el software será un elemento 3D. Este puede ser cargado a la base de datos de Vuforia como un modelo CAD que permite reconociendo más rápidos (Model Target) o puede ser escaneado usando aplicaciones como Polycam para objetos más pequeños (Object Target).

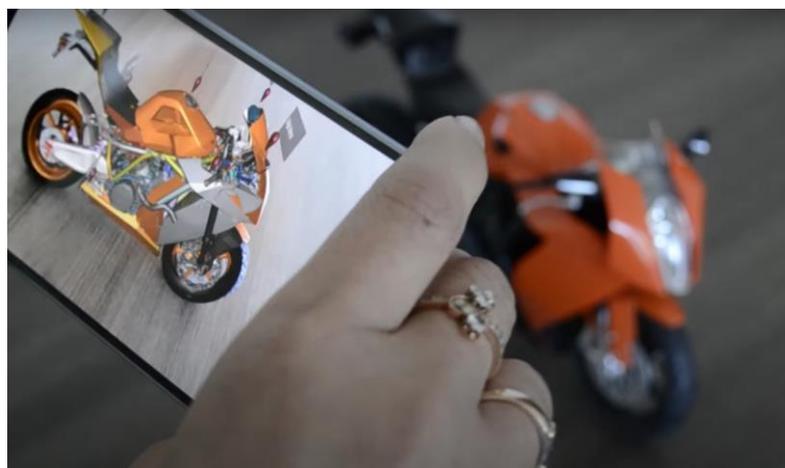


Fig. 57 Ejemplo de Model Target. Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=6W7_ZssUTDQ&ab_channel=Vuforia%2CaPTCTechnology

- **“Area Targets”**. El elemento de referencia que se utiliza es un entorno, es decir, un espacio interior previamente escaneado en 3D. Para el uso de “Area Target”

debemos utilizar un entorno invariable y con elementos distintivos que ayuden al posicionamiento interno.



Fig. 58 Ejemplo de un Area Target. Fuente:

https://www.youtube.com/watch?v=ZY46CWn_4f4&ab_channel=Vuforia%2CaPTCTechnology

En este proyecto, el funcionamiento de la opción de RA depende directamente de la elección del target adecuado y su posicionamiento. La infraestructura portuaria se encuentra en un entorno permanentemente cambiante al encontrarse en proceso de construcción, por ello, se debe descartar el uso de “area targets”. Por un lado, “area targets” necesitan puntos claves invariantes en el entorno y por otro, no funcionan correctamente en entornos exteriores, ya que no son capaz de reconocer el area target con elevados cambios en la iluminación.

Se deben descartar también los “Model targets” por la gran extensión que abarca nuestro proyecto y la constante variación del entorno. Dentro del espacio de obra no existe ningún elemento invariable que se pueda usar como geometría de referencia.

Finalmente, se decide utilizar como elemento de anclaje un Image Target debido a su versatilidad y sencillez. Los Images Targets deben ser imágenes muy detalladas y con buen contraste para su correcto funcionamiento. Estas características se consiguen elaborando el Image Target con un QR y los logos de las entidades que intervienen en el proyecto. Para comprobar la validez de este Image Target, Vuforia realiza un análisis de calidad al subirlo a su base de datos.



Fig. 59 Image Target empleado. Fuente: Elaboración propia

Para facilitar su fijación al entorno de la obra, se decide que sea un elemento 2D fijado en una posición y altura establecidas en un murete existente en la obra, por lo que se descartan los “Cylinder Target” y “Multi Target”. Este target es retirado cuando no esté en uso la aplicación para evitar su deterioro en el desarrollo de las actividades de construcción.



Fig. 60 Instalación del Image Target en la obra. Fuente: Elaboración propia

4.2.7 Dispositivo móvil empleados

La aplicación resultante de este Proyecto de Fin de Master es desarrollada para dispositivos móviles en vez de HMD (más específicos para RX).

En un principio, se ha intentado aplicar esta aplicación para HMD Hololens 2, pero se encontraron problemas cargando la aplicación de Unity a las Hololens 2. Por otro lado, el entorno que se visualiza se encuentra al aire libre y los sensores de este dispositivo no funcionan correctamente. Este dispositivo es de gran tamaño y limita el campo de visión del usuario, aunque permite una interacción más intuitiva y fluida.

Usar RX desde un dispositivo móvil permite instalar dicha aplicación en un mayor rango de dispositivos. La aplicación también tendrá una mayor capacidad de adaptación futura, independientemente de cómo evolucionen HMD. Esto se debe a que los cambios en el hardware de los dispositivos móviles serán menos significativos. Se han escogido dispositivos con sistema operativo Android debido, a ser los que disponemos en el Departamento.

Para comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación, esta debe ser compilada y probada en dispositivos móviles Android. En concreto se ha utilizado una Tablet Samsung Galaxy S6, propiedad del Grupo de Investigación EgiCAD. Este dispositivo consta de una pantalla 10,4" y 2000 píxeles de resolución máxima, un procesador Quad Core 2,3 GHz y una cámara 8MP, con sistema operativo de Android 12.



Fig. 61 Dispositivo Samsung Galaxy Tab S6. Fuente: Elaboración propia.

Este dispositivo ha sido usado para el desarrollo de la aplicación y para realizar pruebas tanto en RA, Mixta y Virtual (Ver capítulo 4.5 PRUEBAS). Esta tableta también ha sido utilizada para realizar demostraciones a los clientes de la Autoridad Portuaria de Santander.

Por otro lado, la aplicación también ha sido probada en dispositivos Android particulares, asegurándonos su correcto funcionamiento para distintos tamaños de pantalla táctil. La aplicación funciona en todos los dispositivos móviles que consten de una cámara, brújula y giroscopio.

4.2.8 Compilar la aplicación y carga al dispositivo Android

Cuando el programador termina de elaborar el código, se debe guardar el script que esté redactando. Una vez el script este guardado, Microsoft Visual Studio compila el código. Los errores de ejecución y los comentarios indicados en el código son mostrados por la ventana “Consola” de Unity (Fig. 62 *Ventana “Consola” de la interfaz de Unity. Fuente: Elaboración propia.*).

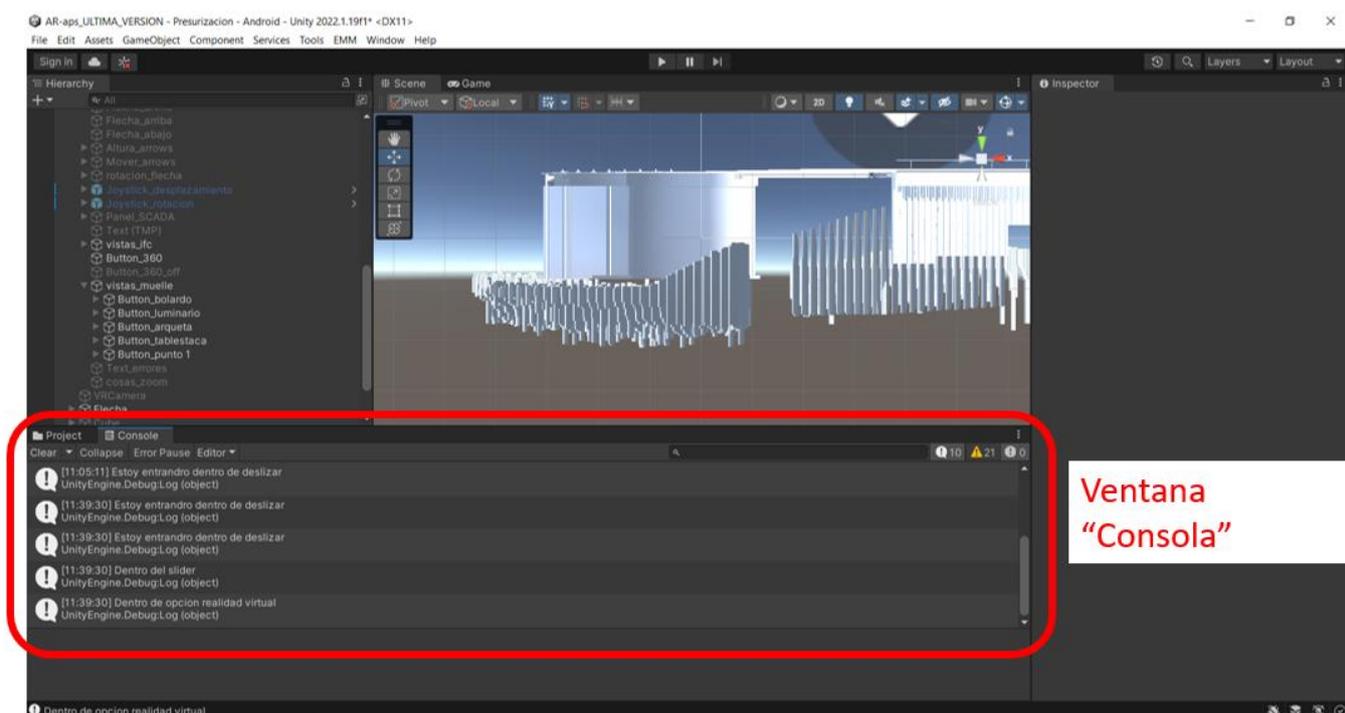


Fig. 62 Ventana “Consola” de la interfaz de Unity. Fuente: Elaboración propia.

La aplicación compilada correctamente es construida en un formato .apk, para poder ser instalada en cualquier dispositivo Android. Esta .apk puede ser transferida a los dispositivos de forma física conectándolos por cable al ordenador, o descargándose desde la nube. No es posible compartirla por mensajería instantánea, debido a ser una aplicación que requiere mucho almacenamiento 199.737KB (peso similar al de las aplicaciones descargadas en la Play Store). Este archivo .apk, una vez descargado, instala la aplicación que se ejecuta, lista para ser utilizada.

4.3 CODIGO FUENTE DEL PRODUCTO

El código fuente de producto es el conjunto de instrucciones escritas en C# que crea la aplicación informática y describen cómo el programa debe funcionar.

La realización de este Trabajo de Fin de Master, está inscrita en un contrato entre la Autoridad Portuaria del Puerto de Santander y el departamento de la Universidad de Cantabria de Ingeniería Geográfica y Técnicas de Representación Gráfica. Durante la realización de este contacto se firmó un documento de confidencialidad que no permite compartir “El proyecto en Unity de escenas de Menús y de Raos 9 del Puerto de Santander, incluyendo la estructura de carpetas, los scripts y código de programación y los objetos modelos en 3D (en IFC u otros formatos)”.

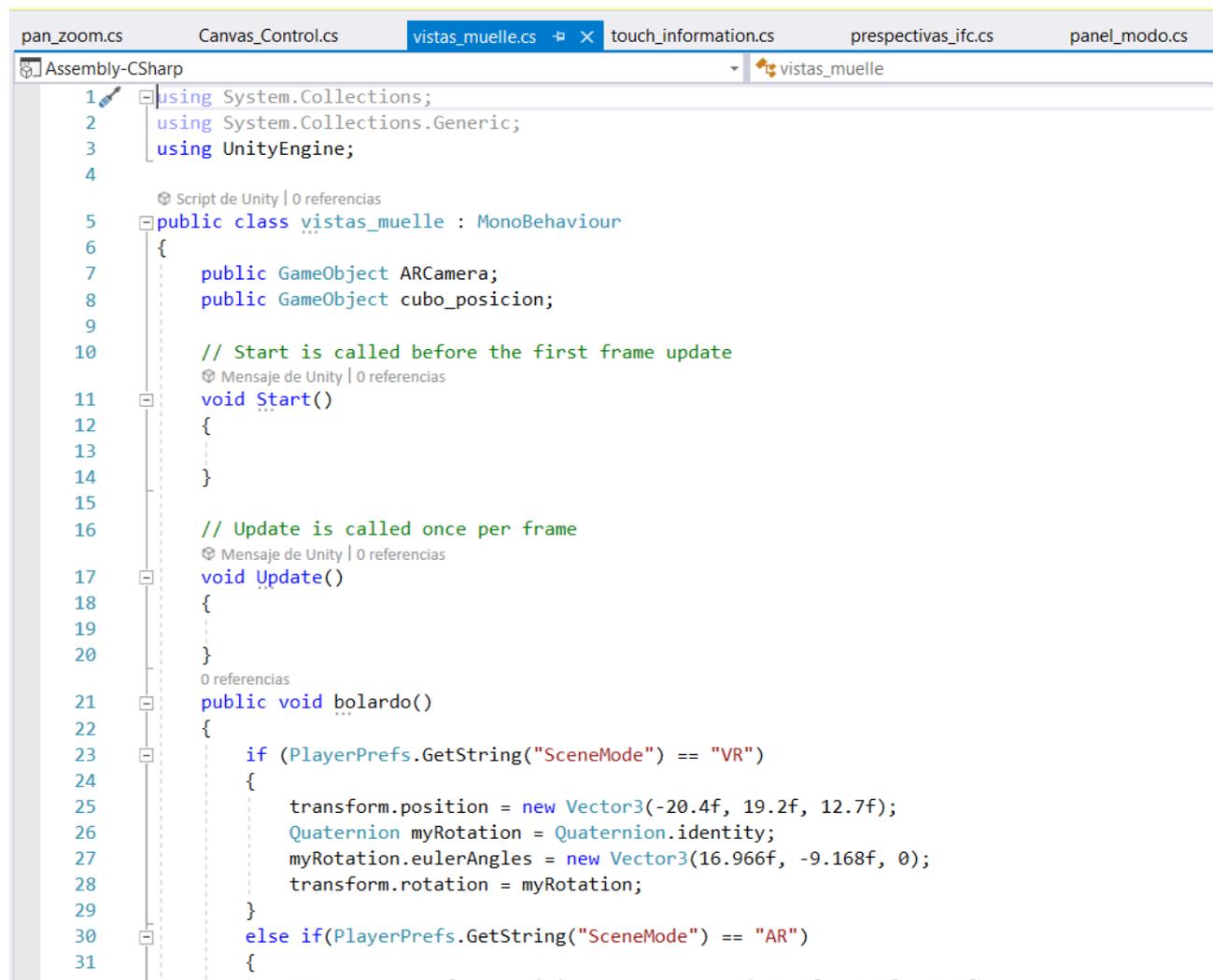
Este documento de confidencialidad incluye las 8340 líneas de código escritas recogidas en 18 documentos de código, denominados scripts. Estas líneas determinan el funcionamiento de la aplicación, es decir, como el programa debe funcionar y las acciones debe realizar. Por lo tanto, no es posible compartir el código fuente de este producto, pero en este apartado se realiza una breve descripción de la estructura de cada uno de los documentos del código.

Como se ha comentado en el apartado de “ANÁLISIS DEL HORIZONTE TECNOLÓGICO” se ha usado el software Microsoft Visual Studio que define la estructura de los scripts. Todos los scripts constan de una estructura similar, al comienzo declaran las librerías que se usarán para el código. A continuación, se define una clase pública del mismo nombre que el script.

En el interior de esta clase pública se definen los elementos y variables a usar en el código y las funciones que definen el comportamiento de la aplicación. Las funciones y variables pueden ser: públicas (accesibles desde cualquiera de los otros documentos de código), privadas (no pueden ser accedidas desde otros documentos de código), estáticas (su valor es fijo para cualquier punto de ejecución del programa), etc.

Cuando se crea un script desde Microsoft Visual Studio consta por defecto de 2 funciones, “Start” y “Update”. “Start” es una función que se ejecuta al ser ejecutado el script y

“Update” es ejecutada una vez por frame (cada vez que se renderiza la imagen de la pantalla).



```
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4
5 public class vistas_muelle : MonoBehaviour
6 {
7     public GameObject ARCamera;
8     public GameObject cubo_posicion;
9
10    // Start is called before the first frame update
11    void Start()
12    {
13    }
14
15    // Update is called once per frame
16    void Update()
17    {
18    }
19
20    public void bolardo()
21    {
22        if (PlayerPrefs.GetString("SceneMode") == "VR")
23        {
24            transform.position = new Vector3(-20.4f, 19.2f, 12.7f);
25            Quaternion myRotation = Quaternion.identity;
26            myRotation.eulerAngles = new Vector3(16.966f, -9.168f, 0);
27            transform.rotation = myRotation;
28        }
29        else if (PlayerPrefs.GetString("SceneMode") == "AR")
30        {
31        }
```

Fig. 63 Ejemplo de script. Fuente: Elaboración propia.

Con estas herramientas, se ha construido el código fuente de la aplicación, logrando cumplir los requisitos especificados por el cliente partiendo de los modelos BIM.

4.4 MANUALES

El trabajo desarrollado en este proyecto consiste en la programación de una aplicación para dispositivos móviles Android que permite visualizar e interactuar con los modelos BIM de las infraestructuras portuarias de Raos 9. En este apartado se describe el funcionamiento de la aplicación, desarrollando cada una de sus propiedades.

Dividiremos el manual en RV (RV) y Realidad Aumentada (RA). Estas son las opciones de visualización que posibilitan la visualización de los modelos. Comenzando por una breve descripción del comienzo de uso de la aplicación.

La aplicación, una vez instalada en el dispositivo móvil Android, se muestra con un icono de la Autoridad Portuaria de Santander. Para abrir esta aplicación se debe seleccionar el icono, como se realizaría con cualquier otra aplicación del dispositivo.

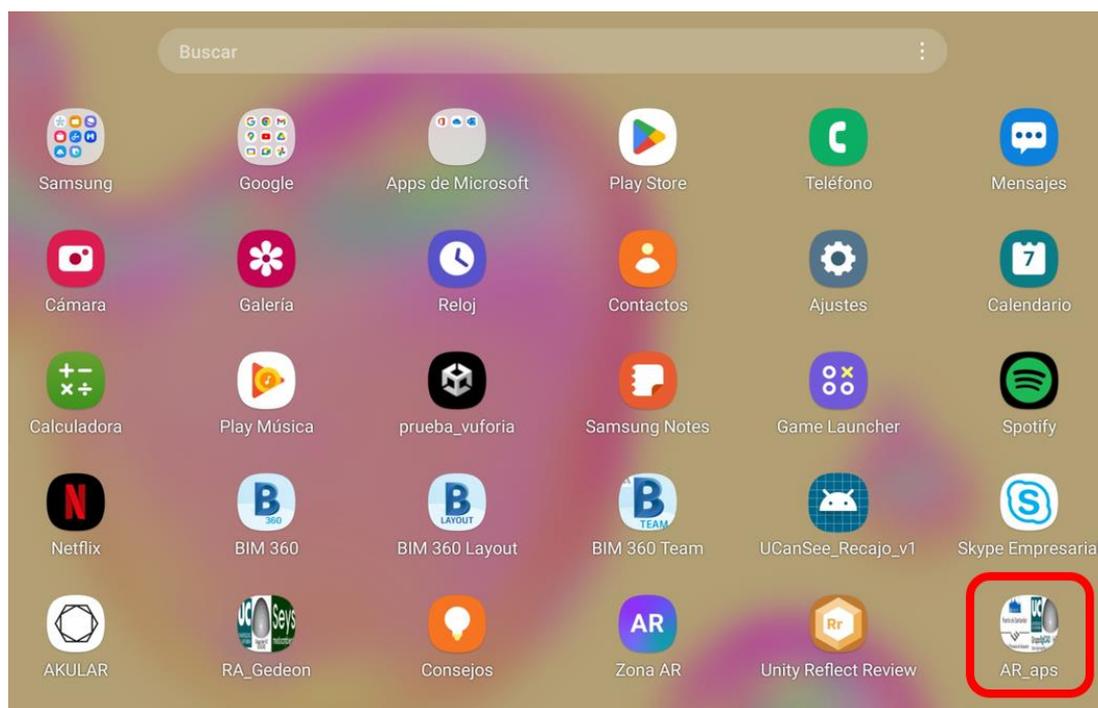


Fig. 64 Icono de la aplicación

Para que el uso de la aplicación sea más cómodo se emplea de forma apaisada (Landscape view). Al entrar en la aplicación aparece una pantalla de carga en la que se indican las entidades que intervienen en este proyecto.



Fig. 65 Pantalla de carga de la aplicación

4.4.1 Menú inicial

En la pantalla inicial de la aplicación podemos ver un menú inicial que permite escoger entre “Entrar” (opciones de visualización), “Ajustes” (ajustes de la aplicación), “Obra” (escoger espacio a investigar) y “Salir” (salir de la aplicación). Para acceder a cada una de estas opciones se deben seleccionar en la pantalla, provocando el despliegue de distintos menús.

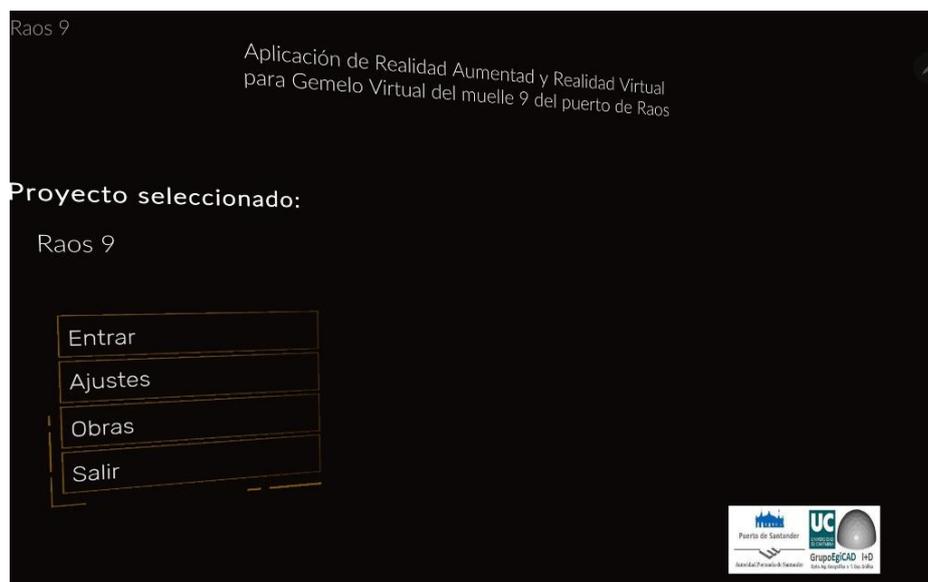


Fig. 66 Pantalla inicial. Fuente: Elaboración propia

Ajustes

La opción ajustes despliega el menú ajustes, en este se pueden activar y desactivar los sonidos y la música de fondo de la aplicación, y modificar el volumen de estos sonidos. También se dispone de una opción que posibilita cambiar el idioma de la aplicación entre inglés y español, esta opción se conserva entre ejecuciones.

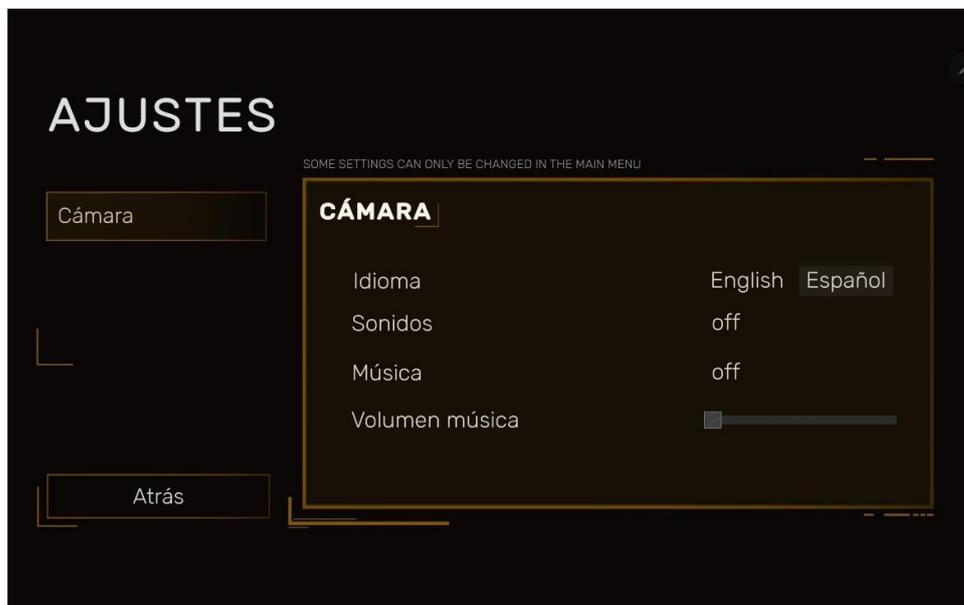


Fig. 67 Menú de ajustes. Fuente: elaboración propia

Obras

Esta opción de la aplicación despliega el “Menú Obras”, en este aparece una imagen representativa de las distintas obras que se puedan seleccionar. Seleccionándolas en la pantalla cambia el texto de la parte inferior de “Proyecto seleccionado” indicando la obra seleccionada. En el caso de la aplicación objeto de este Trabajo de Fin de Grado, solo se dispone de la infraestructura portuaria de Raos 9, pero existe la posibilidad de poder implementar nuevos modelos BIM para visualizar.



Fig. 68 Menú obras. Fuente: Elaboración propia

Salir

La opción salir despliega el menú salir, que lanza en pantalla la pregunta “¿Confirma que desea salir?”. Permitirá cerrar la aplicación seleccionando el botón “Sí”.

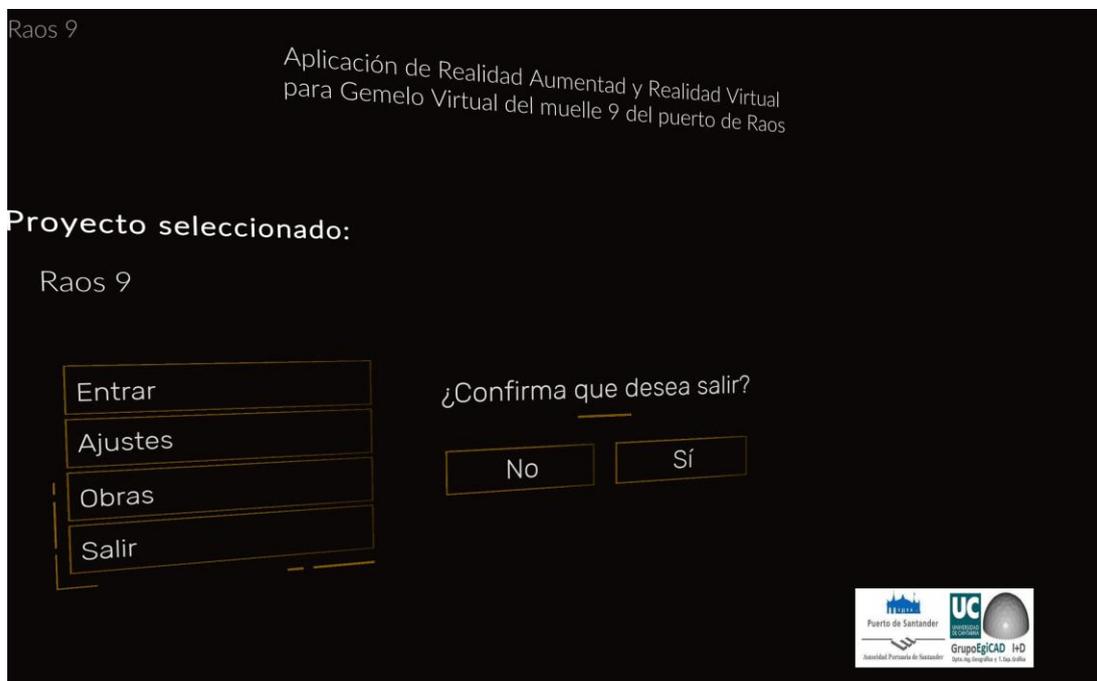


Fig. 69 Menú salir. Fuente: Elaboración propia

Entrar

Seleccionando “Entrar” se despliegan 3 opciones de visualización: RV, Realidad Aumentada e Imagen Alkion.

Como se ha explicado anteriormente, las tecnologías de RV facilitan al usuario visualizar un entorno completamente simulado sin poder visualizar el entorno real. Seleccionando esta opción podemos visualizar e interactuar con los modelos BIM de las infraestructuras portuarias Raos9.

Por otro lado, en la opción Realidad Aumentada e Imagen Alkion la aplicación activa la cámara del dispositivo móvil permitiendo ver el modelo virtual superpuesto al entorno real. La diferencia entre ambas opciones es la técnica de superposición usada para cada una de las opciones.

En el caso de Realidad Aumentada se usa tecnologías de RA de nivel 1 con un marcador de una imagen para alinear el modelo virtual y el real, usamos un marcador 2D (en este caso un QR). Aunque esta opción es más precisa y eficaz, no resulta óptima para el entorno de la obra porque experimenta un cambio constante. El punto fijo en el que debemos fijar el QR puede no está accesible o estar bloqueado por elementos de la obra, provocando que el entorno real y virtual no se alineen correctamente.

En el caso de Imagen Alkion se usa tecnologías de RA de nivel 1 con marcador de modelo tridimensional, los tanques Alkion. Alkion es una empresa multinacional de almacenamiento a granel en tanques. Sus instalaciones en el puerto de Santander, 3 tanques blancos de gran tamaño, se encuentran colindantes al nuevo muelle Raos9 (Fig. 100 *Image Target de los tanques Alkion. Fuente: Elaboración propia.*). Se ha fijado como marcador una imagen de estos tanques que permitirá alinear el modelo 3D sin necesitar un QR adicional. Esta opción es de gran utilidad en el entorno de la obra, debido a que desde cualquier punto de la construcción de la infraestructura se podrán ver los tanques Alkion, aportando una referencia constante entre ambos entornos y dando estabilidad al ambiente cambiante de la obra.

Cada una de estas opciones de visualización son desarrolladas posteriormente. Estas modalidades de la aplicación tienen características propias, pero otras muchas son comunes.

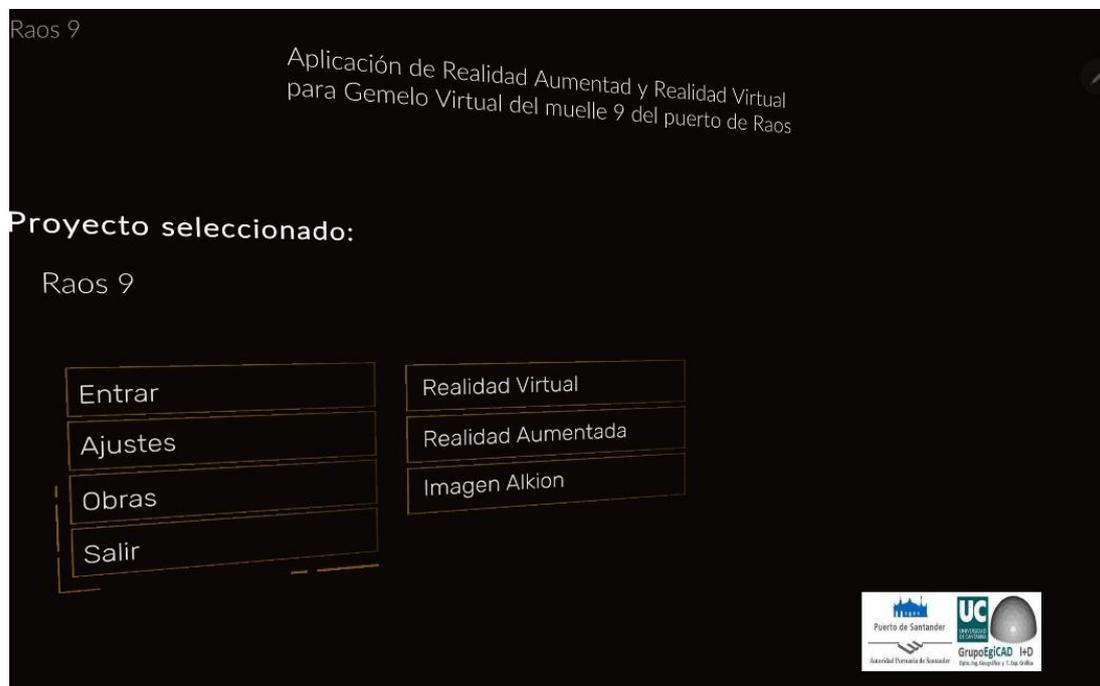


Fig. 70 Opciones menú entrar. Fuente: Elaboración Propia

Después de seleccionar estas opciones aparece una pantalla en la que se indica que se están cargando los modelos.

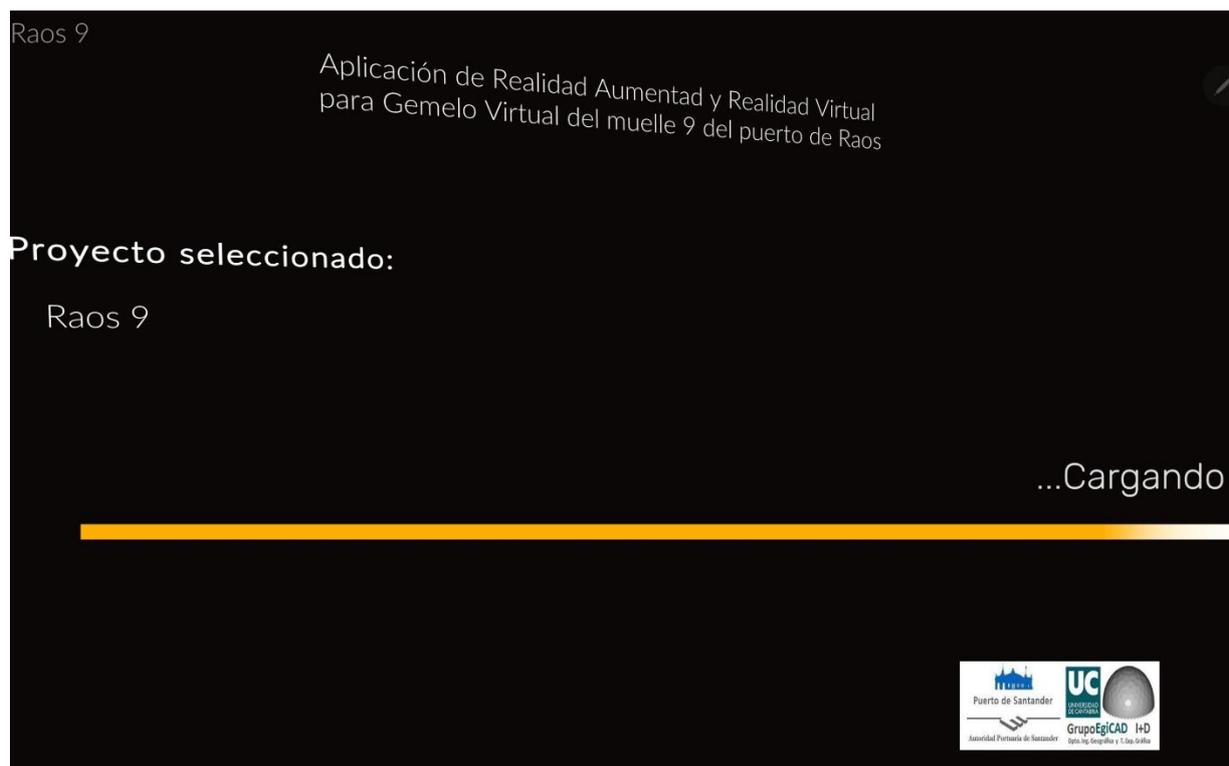


Fig. 71 Pantalla de carga del modelo. Fuente: Elaboración propia

Interfaz de usuario común para las opciones de visualización

Para poder seguir las explicaciones de este manual se explica la interfaz de usuario común para todas las opciones de visualización.



Fig. 72 Interfaz de usuario común para todas las visualizaciones. Fuente: Elaboración propia.

Cuando se escoge cualquiera de las opciones de visualización aparecen los siguientes botones:

- “Botón menú” traslada al usuario al menú inicial.
- “Botón salir”, pregunta al usuario si quiere abandonar la aplicación desplegando el menú Salir.



Fig. 73 Menú salida. Fuente: Elaboración propia.

“Botón Menú” despliega un menú opciones en el lado derecho de la pantalla que presenta opciones dependiendo del modo de visualización utilizado.



Fig. 74 Menú opciones. Fuente: Elaboración propia.

Este menú de opciones cuenta con varias pestañas, que se pueden explorar seleccionando los botones de pestañas a la izquierda del menú. Leyendo el título, es posible determinar en qué pestaña del menú nos encontramos.

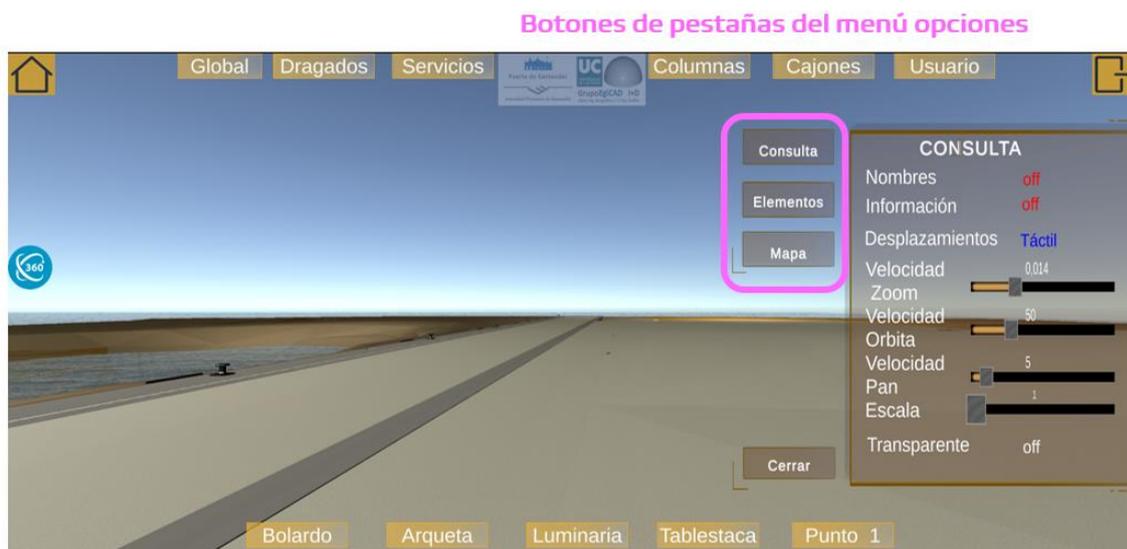


Fig. 75 Botones de pestañas del menú opciones. Fuente: Elaboración propia.

Si se desea cerrar el menú, se selecciona el botón "Cerrar" ubicado en la parte inferior izquierda del mismo.



Fig. 76 Botón cerrar de Menú Opciones. Fuente: Elaboración propia.

Las opciones de este menú quedan clasificadas en pestañas según sus aplicaciones. En la pestaña "Consulta" se muestran opciones que permiten acceder a los PSets de los elementos y modificar la experiencia de visualización del usuario Fig. 76 Botón cerrar de Menú Opciones. Fuente: Elaboración propia. En la pestaña "Elementos" se pueden seleccionar las distintas disciplinas a visualizar (Fig. 105 Pestaña elementos. Fuente: Elaboración propia.) y la pestaña "Mapa" permite desplazarse por los modelos en RV (Fig. 87 Pestaña mapa. Fuente: Elaboración propia.). Todas estas pestañas son desarrolladas en futuros apartados.

En este “Menú de opciones” aparecen botones como “Nombre” y “Desplazamientos” (Fig. 76 *Botón cerrar de Menú Opciones. Fuente: Elaboración propia.*) que se seleccionan tocando la palabra de distinto color del menú. Por otro lado, el menú dispone deslizaderas como “Velocidad Zoom” y “Velocidad Orbita” (Fig. 76 *Botón cerrar de Menú Opciones. Fuente: Elaboración propia.*). Para cambiar el valor de esta deslizadera se selecciona el tirador de color gris y se desplaza hacia la izquierda o la derecha, el valor seleccionado por la deslizadera aparece escrito en la parte superior.

4.4.2 Realidad virtual

El objetivo principal de implementar la opción de RV en esta aplicación es poder explorar el entorno de Raos 9 (exclusivamente el entorno virtual) inmerso en él. Las posibilidades que se disponen con esta opción permiten desplazarse por el entorno de distintas formas y posibilitan filtrar las capas y elementos visualizadas.

La interfaz de usuario propia de RV consta de una serie de botones agrupados en menús. Existen 2 menús: uno en la parte superior de la pantalla “Menú de perspectivas por disciplinas” que permite ver el muelle y sus disciplinas desde las perspectivas óptimas. El otro menú, en la parte inferior de la pantalla se denomina “Menú de perspectivas del muelle” y contiene botones que trasladan al usuario a ubicaciones accesibles dentro de la obra.



Fig. 77 Menús de perspectivas en RV. Fuente: Elaboración propia

Menú de perspectivas con disciplinas

Los botones situados en la parte superior de la pantalla son el acceso al modelo 3D desde distintas perspectivas, permitiendo filtrar entre sus disciplinas. Cuando el usuario selecciona cualquiera de estos botones la cámara cambia de posición y se ocultan/muestran disciplinas.

Cada uno de los botones aporta un punto de vista que permite visualizar cada disciplina con facilidad. En el caso de disciplinas como “Dragados”, “Servicios” y “Columnas” posicionados por debajo de nivel del suelo (de la disciplina “Estructuras”), este suelo se mostrará de color transparente. También será de gran utilidad, cuando se quiera saber la posición relativa de estas disciplinas respecto “Estructuras”.

“Global”: muestra todas las disciplinas incluido el mar y permite tener un punto de vista completo del modelo 3D.

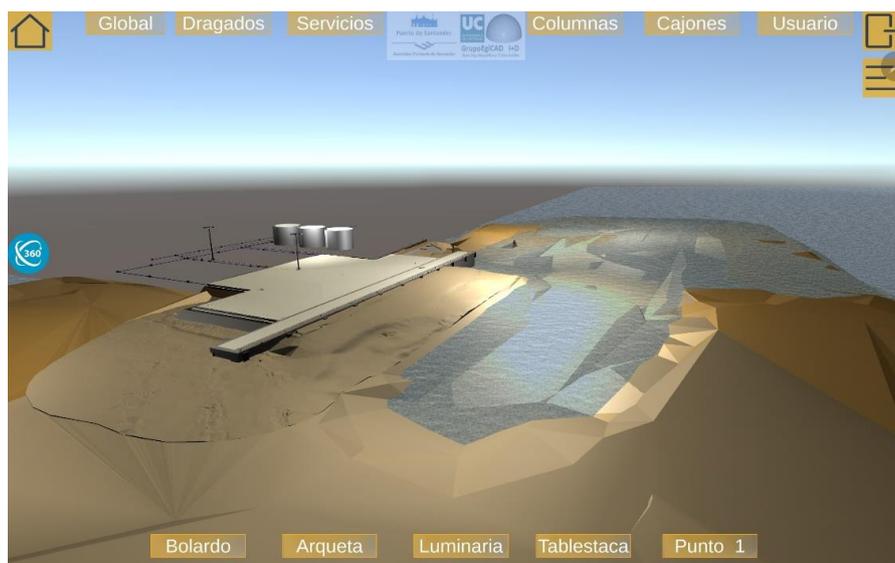


Fig. 78 Vista Global. Fuente: Elaboración propia.

“Dragados”: elimina el resto de las disciplinas y permite ver el relieve inicial y final del fondo marino.



Fig. 79 Vista dragados. Fuente: Elaboración propia.

“Servicios”: Se pueden apreciar las disciplinas de “Drenaje”, “Alumbrado” y “Abastecimiento”, y la disciplina de “Estructuras” es mostrada con una textura translúcida para poder usarla de referencia.

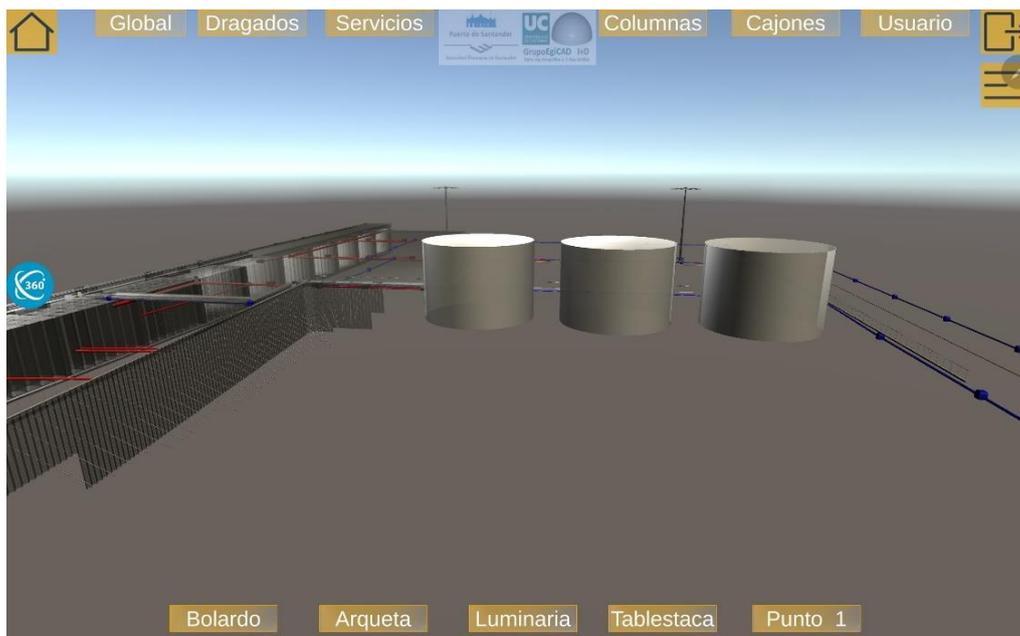


Fig. 80 Vista servicios. Fuente: Elaboración propia.

“Columnas”: se muestran las disciplinas de “Columnas” y “Estructuras” aparecen translúcidas como referencia, permitiendo ver la distribución de las columnas por debajo de esta.

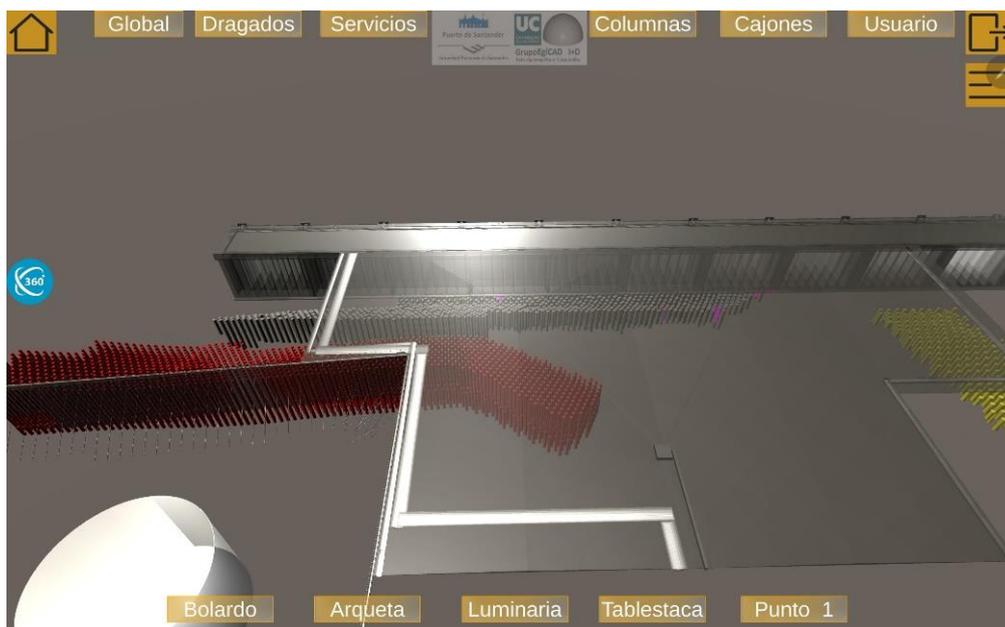


Fig. 81 Vista columnas. Fuente: Elaboración propia.

“Cajones”: la cámara se aproxima a los cajones de la disciplina de “Estructuras”, a los que se les proporciona una textura transparente para apreciar su geometría interior.



Fig. 82 Vistas cajones. Fuente: Elaboración propia.

El último es el botón “Usuario”, que puede ser programado para un punto de especial utilidad indicado por el cliente.

Menú de perspectivas de muelle

Si en lugar de explorar libremente el espacio, se quiere enfocar en ubicaciones específicas dentro del modelo, se han incluido una serie de botones en la parte inferior de la pantalla. Cada uno de los botones representa un punto de vista. Presionando sobre los botones el usuario es desplazado a puntos clave dentro del modelo del puerto.

Estos puntos de vista corresponden con ubicaciones concretas y específicas que el usuario puede visitar en la zona de construcción del muelle. Distinguimos 4 puntos de vista “Bolardo”, “Arqueta”, “Luminaria” y “Tablestaca”, nombrados según elementos de la infraestructura portuaria visibles desde estas perspectivas. Por último, hay un último botón llamado “Punto 1” que incorpora una posición indicada por el cliente.

“Bolardo”: un bolardo es un elemento de amarre utilizado en puertos y muelles para asegurar que los barcos permanecen en su lugar sin alejarse de la orilla. Este botón posiciona al usuario en la cajonera del muelle visualizando bolardos y defensas (elemento del puerto que evita que los barcos choquen con el muelle).



Fig. 83 Vista “Bolardo”. Fuente: Elaboración propia.

“Arqueta”: una arqueta es una estructura subterránea utilizada en sistemas de alcantarillado y de distribución de agua, generalmente tienen forma de caja o pozo. Este botón desplaza al usuario hacia el punto donde el nuevo muelle empalma con la zona ya construida. Desde esta posición se aprecian arquetas de la disciplina de “Alumbrado” y de “Drenaje” y parte de la canalización de “Abastecimientos”.

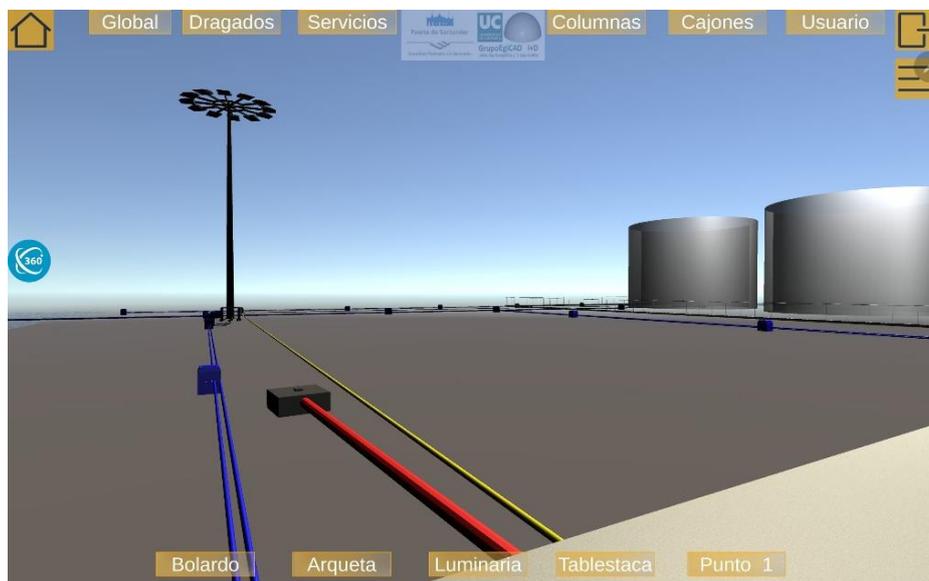


Fig. 84 Vista arqueta. Fuente: Elaboración propia.

“Luminaria”: una luminaria es un dispositivo eléctrico que se utiliza para iluminar espacios exteriores. En el modelo con el que trabajamos se dispone de dos luminarias que sustituyen a las existentes anteriormente en la zona. Esta vista nos dará un primer plano de la luminaria situada más al este.

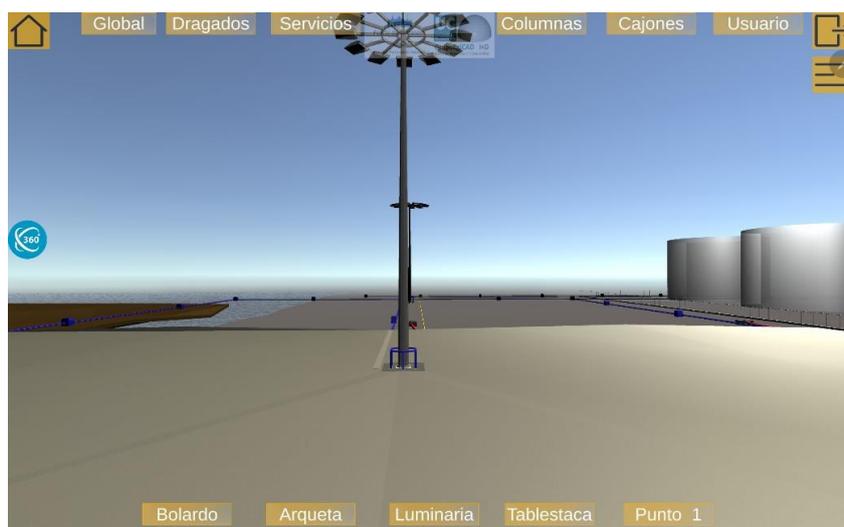


Fig. 85 Vista luminaria. Fuente: Elaboración propia.

“Tablestacas”: una tablestaca es un tipo de estructura prefabricada utilizada en la construcción de muros de contención y estructuras de soporte de tierras. Se trata de planchas de acero que se introducen en el suelo para formar una pared de contención y que quedan unidas mediante soldaduras o pernos.

En el modelo 3D con el que trabajamos hay un muro de contención fabricado con tablestacas y reforzados por anclajes. Esta vista nos permitirá ver este muro de tablestacas.

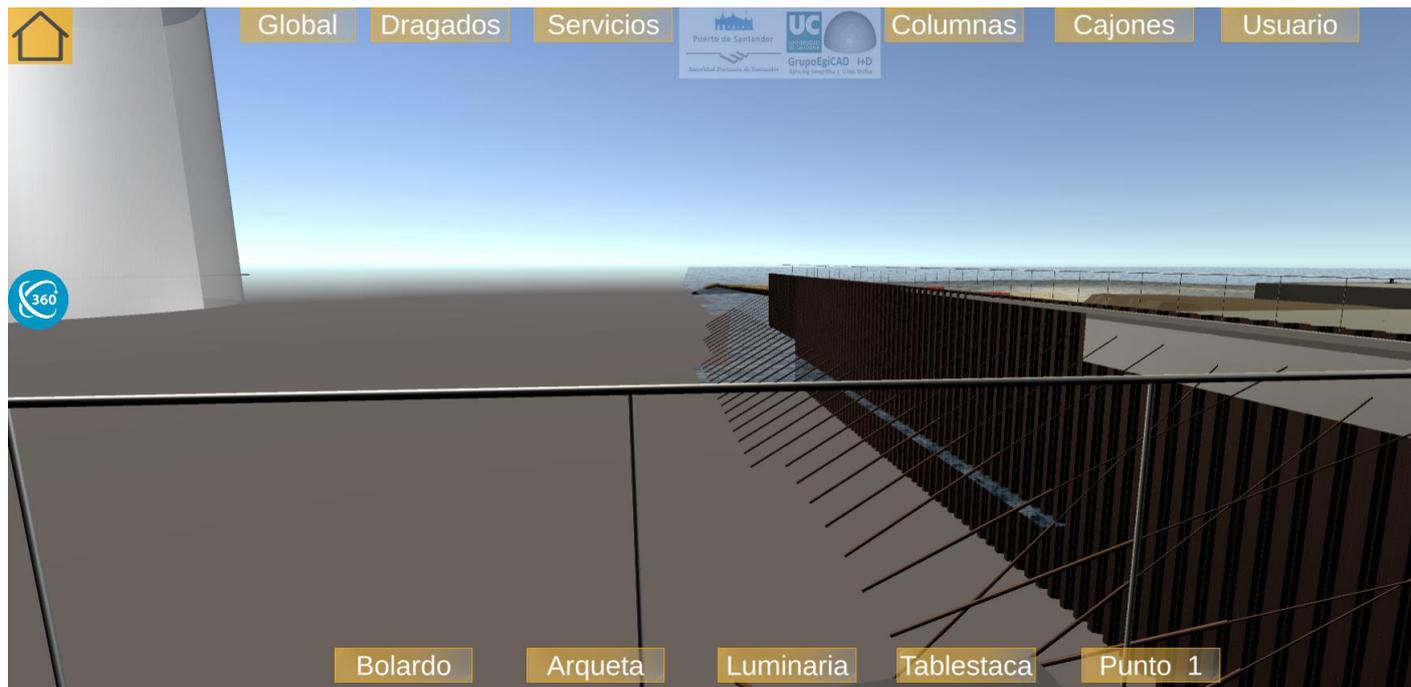


Fig. 86 Vista del muro de tablestacas. Fuente: Elaboración propia

En caso de no estar familiarizado con los nombres de los puntos de vista de estas perspectivas, se ha habilitado la pestaña “Mapa” del “Menú opciones”. En esta pestaña cada una de las ubicaciones viene marcada con un punto naranja. El cliente puede desplazarse a la ubicación deseada seleccionando los distintos puntos. La localización en la que se encuentra el usuario quedará resaltada en verde.

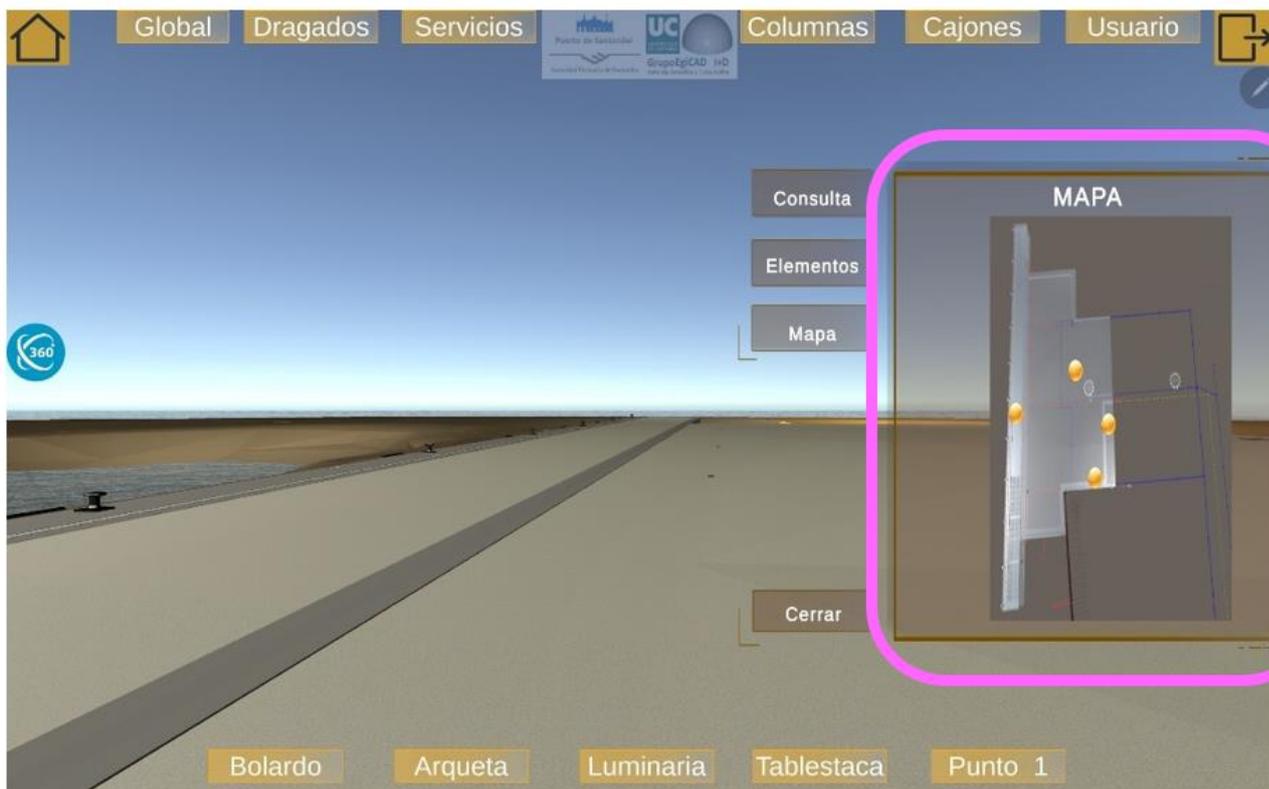


Fig. 87 Pestaña mapa. Fuente: Elaboración propia.

Opción transparente

Para visualizar más cómodamente el entorno, hemos desarrollado el botón “Transparente” de la pestaña “Consulta” del “Menú de opciones”. Seleccionando esta opción del menú se cambiarán las texturas del modelo. Este se volverá transparente, dejando apreciar el interior de los distintos elementos constructivos.

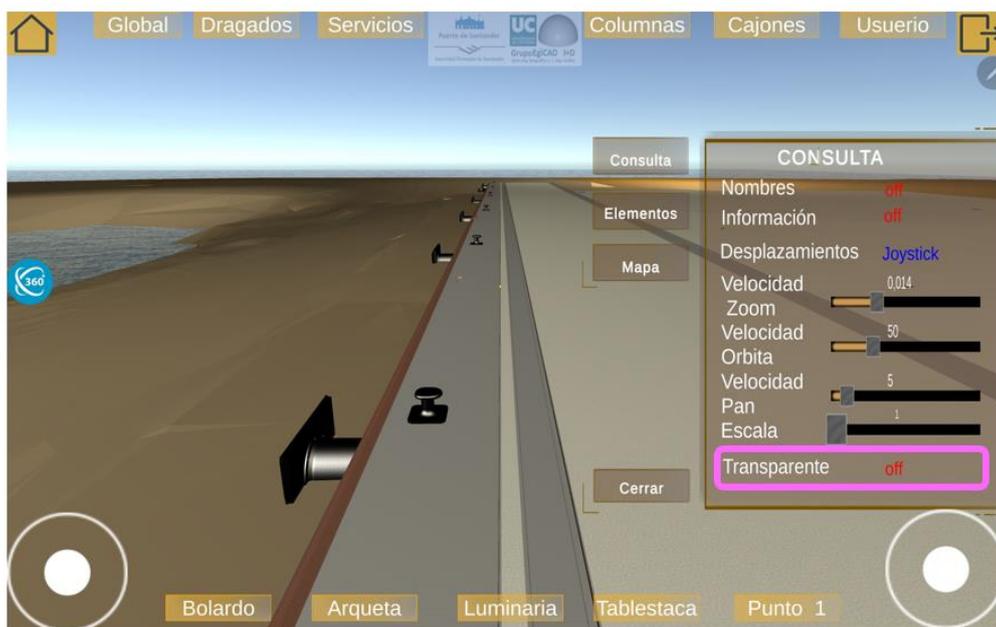


Fig. 88 Opción transparente. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 89 Opción transparente activada. Fuente: Elaboración propia.

Visualización 360°

Para dar una vista más completa del modelo 3D, se incluye la opción de 360°. Esta opción se activa seleccionando el botón azul situado a la derecha de la pantalla.

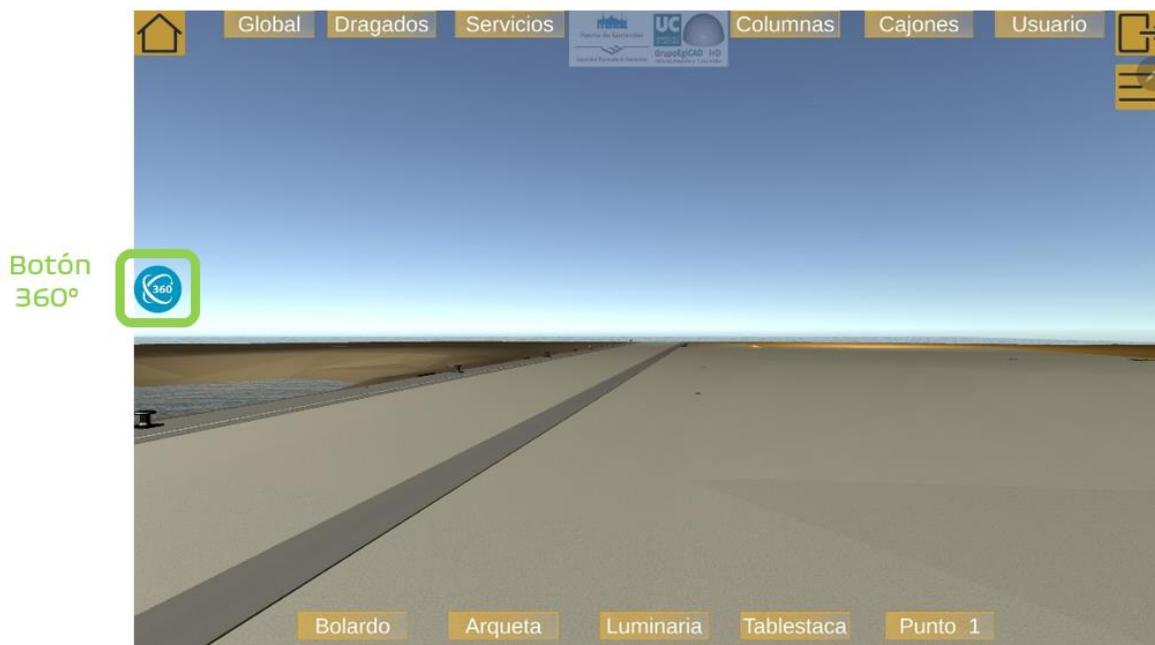


Fig. 90 Opción de visualización 360°. Fuente: Elaboración propia.

La cámara realiza un vuelo de 360° alrededor del modelo 3D, es decir, creando así una vista dinámica y envolvente del modelo. La cámara se mueve alrededor del modelo ofreciendo al cliente una vista completa del modelo desde todos los ángulos.

Durante este vuelo la cámara cambia su punto de vista acercándose y alejándose del modelo 3D para resaltar detalles específicos. También se acelera y desacelera para enfatizar características del modelo. A continuación, Fig. 91 Capturas de la vista 360°. Fuente: Elaboración propia. Se ven capturas del recorrido seguido por la cámara en la vista 360°.

Para salir de esta opción, el botón 360° es sustituido por un botón con una cruz roja que permite volver a la posición inicial.

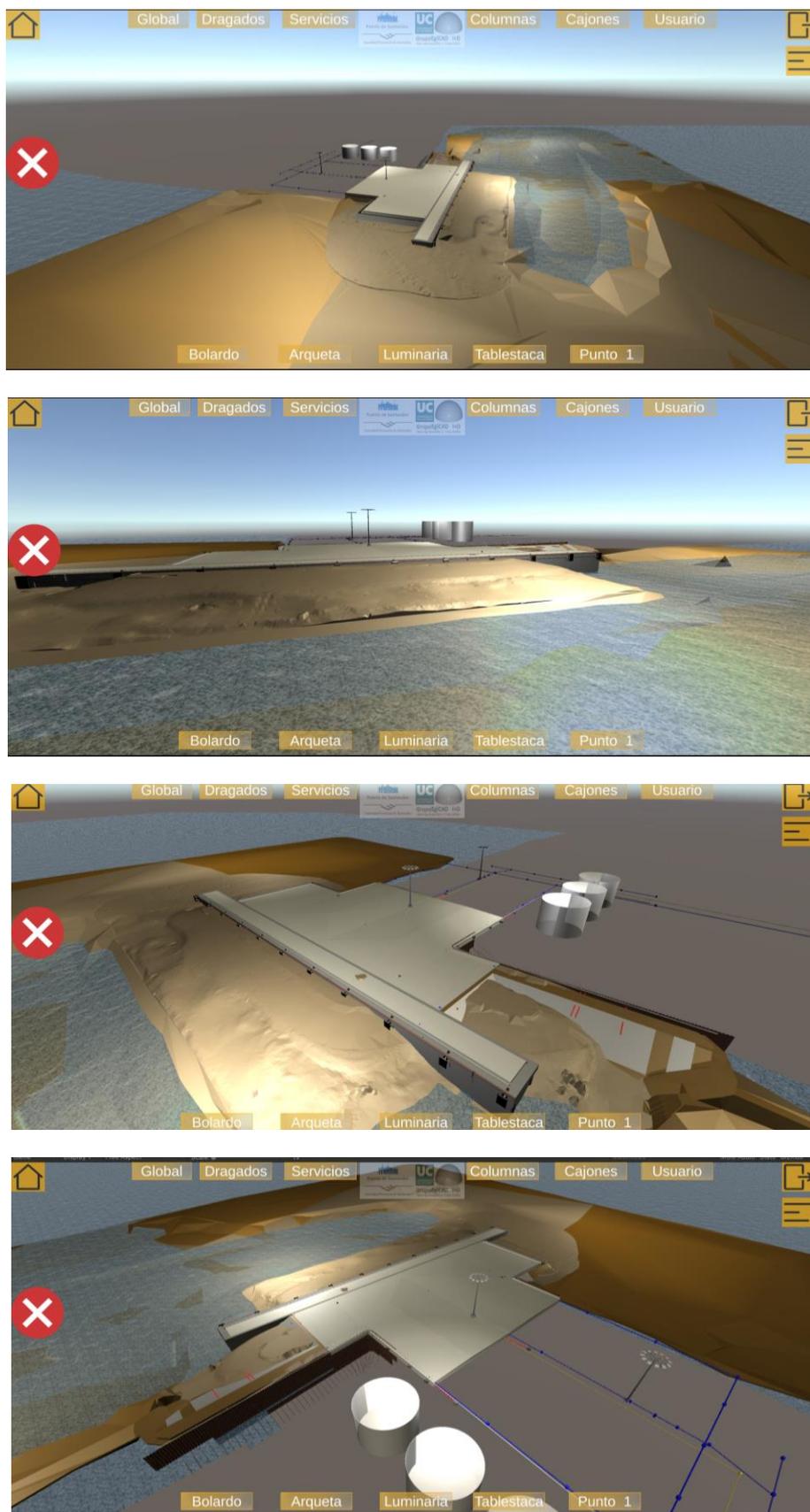


Fig. 91 Capturas de la vista 360°. Fuente: Elaboración propia.

Desplazamiento inmerso en el modelo 3D

Para que el usuario puede explorar el entorno inmerso en él, hemos implementado dos opciones distintas de control de desplazamientos, forma Táctil o usando Joysticks. Estas opciones pueden seleccionarse en la pestaña “Consulta” del “Menú de Opciones” en el botón “Desplazamientos”. Aparece en pantalla indicado con letras azules la opción con la que estamos trabajando (Táctil/Joystick).



Fig. 92 Opción de “Desplazamiento”. Fuente: Elaboración propia.

“TÁCTIL”: Con esta opción el cliente podrá desplazarse por el entorno virtual simplemente tocando la pantalla, tal y como se interactúa con gran cantidad de aplicaciones móviles actuales. Hay 3 comandos para desplazarse por el entorno virtual: zoom, órbita y desplazamiento.

EL COMANDO ZOOM avanza y retrocede la cámara. El gesto asociado a este comando consiste en posicionar dos dedos (normalmente el pulgar y el índice) y pellizcar o estirar los dedos. Para realizar un zoom in, es decir desplazar la cámara hacia delante, se separan los dedos sobre la pantalla y un zoom out que aleje la cámara se realiza juntando estos dedos

Fig. 93 Gesto para el comando zoom. Fuente: Elaboración propia..

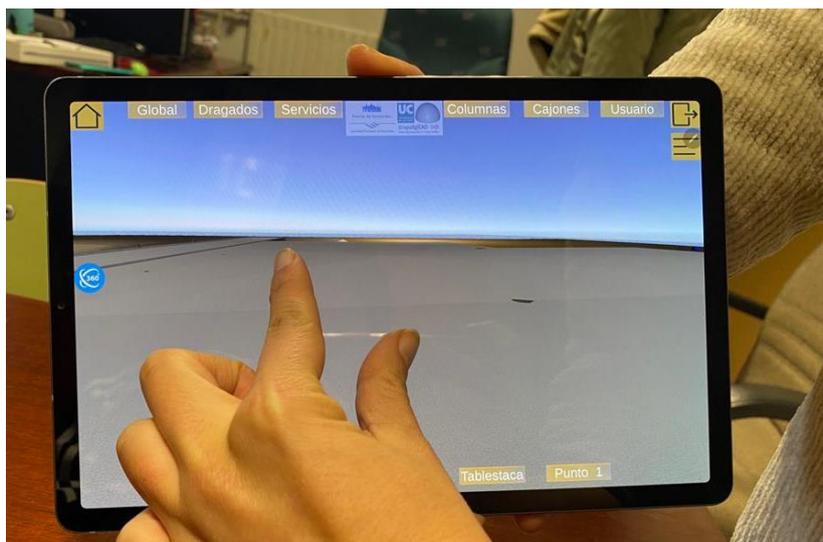


Fig. 93 Gesto para el comando zoom. Fuente: Elaboración propia.

EL COMANDO DESPLAZAR mueve la cámara hacia la derecha o la izquierda. Esto se logra deslizando dos dedos sobre la pantalla en la dirección deseada, el modelo visto en pantalla se desliza en la misma dirección.

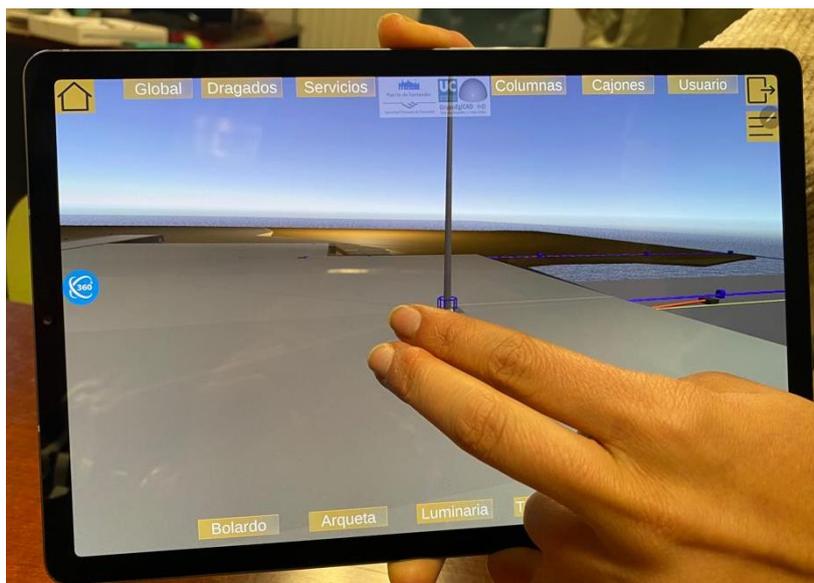


Fig. 94 Opción deslizar. Fuente: Elaboración propia.

EL COMANDO ÓRBITA es la acción de rotar la cámara tanto a la izquierda y a la derecha como hacia arriba o abajo. Se consigue deslizando un solo dedo por la pantalla del dispositivo. El modelo mostrado en pantalla se desplaza en la misma dirección que el movimiento del dedo en pantalla.

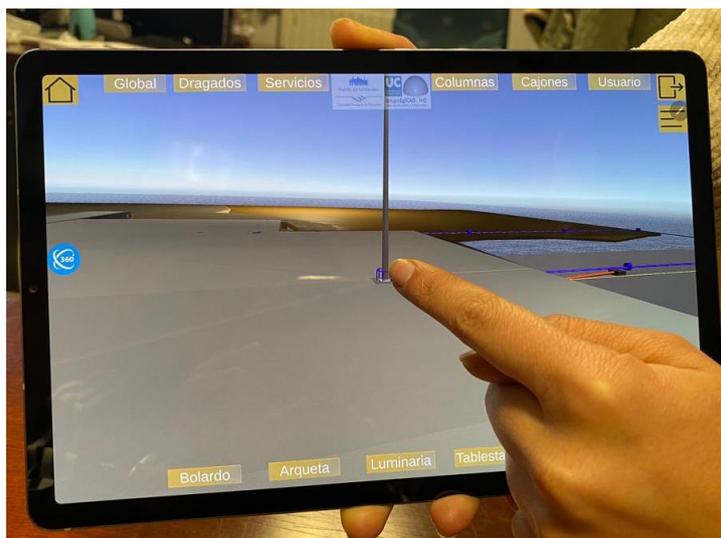


Fig. 95 Opción orbita. Fuente: Elaboración propia.

Para dar mayor control al usuario sobre la velocidad de los comandos y conseguir una interacción más fluida con la aplicación se han creado unas deslizaderas (“Velocidad Zoom”, “Velocidad Orbita” y “Velocidad Pan”) localizadas en la pestaña “Consulta” del “Menú de Opciones”. De esta forma conseguimos una experiencia de usuario más personalizada y adaptada a las necesidades individuales.

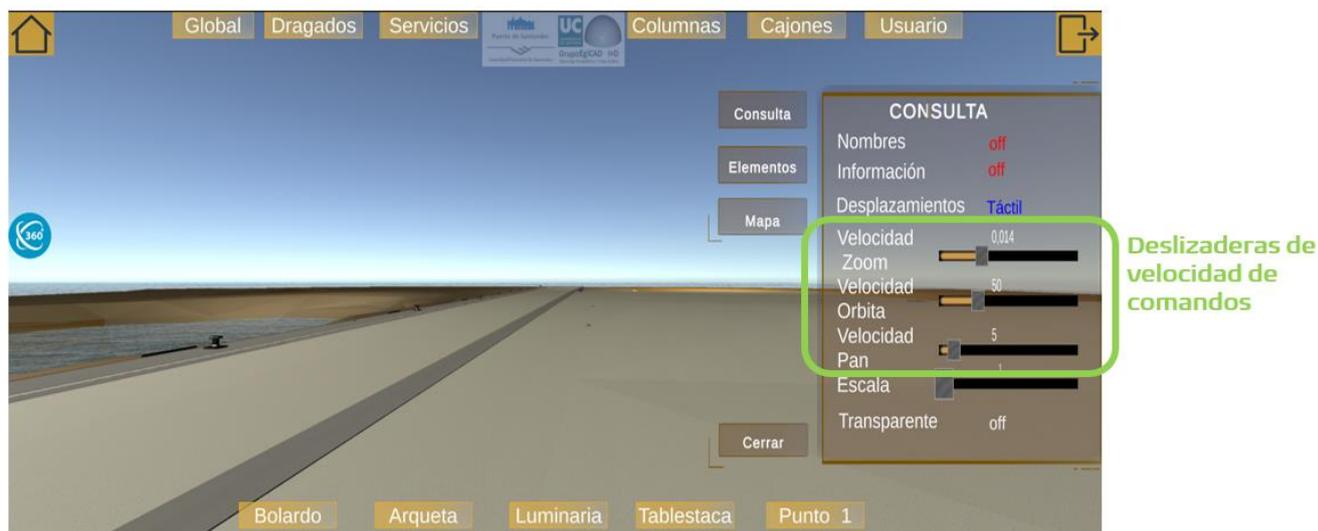


Fig. 96 Deslizaderas de velocidad de comandos. Fuentes: Elaboración propia.

Estas deslizaderas ajustan la velocidad de giro, desplazamiento y zoom. Si el tirador está en la posición extrema derecha la velocidad de giro, desplazamiento y zoom será máxima, cuando el tirador esté en el extremo izquierdo la velocidad de estos comandos será mínima.

“**JOYSTICKS**”: la segunda opción de desplazamiento añade unos Joystick (círculos blancos) en la parte inferior de la pantalla. El desplazamiento y giro con joysticks es una técnica muy común en videojuegos de acción, carreras y simulación. En esta técnica se usan dos joysticks: el joystick situado a la izquierda permite el desplazamiento de la cámara y el joystick de la derecha gira la cámara.



Fig. 97 Desplazamiento por Joysticks. Fuente: Elaboración propia.

Los joysticks usados para esta aplicación son virtuales, y ofrecen un control simple moviendo la cámara a una velocidad constante en la dirección en la que se está moviendo el Joystick. Si se quiere avanzar en el muelle se deberá empujar el joystick izquierdo hacia arriba, si se quiere mirar hacia el lado derecho se deberá mover el joystick derecho en esa dirección. La velocidad con la que los joysticks desplazan y giran la cámara también puede ser regulada por las deslizaderas mencionadas anteriormente.

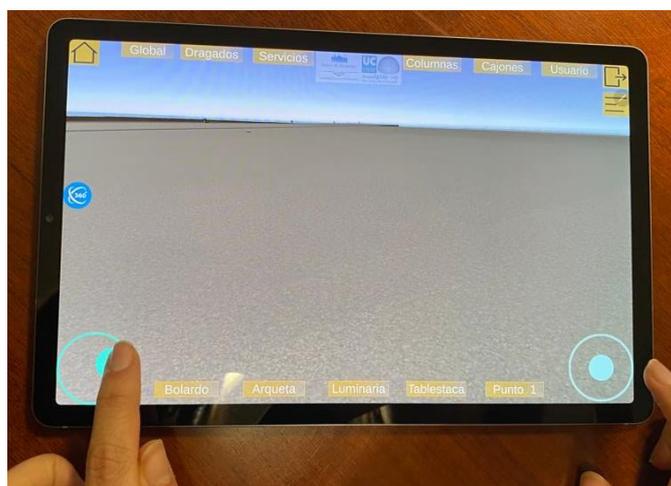


Fig. 98 Desplazamiento mediante Joysticks. Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 Realidad Aumentada e Imagen Alkion

En ambas opciones, Realidad Aumentada e Imagen Alkion, se permite ver el modelo virtual superpuesto al modelo real. Al seleccionar estas opciones se activa la cámara del dispositivo y en la pantalla aparece la imagen de la cámara a tiempo real y superpuesto a ella el modelo virtual. Para poder apreciar la superposición de los elementos virtuales con los reales, por defecto el modelo virtual tiene textura transparente.

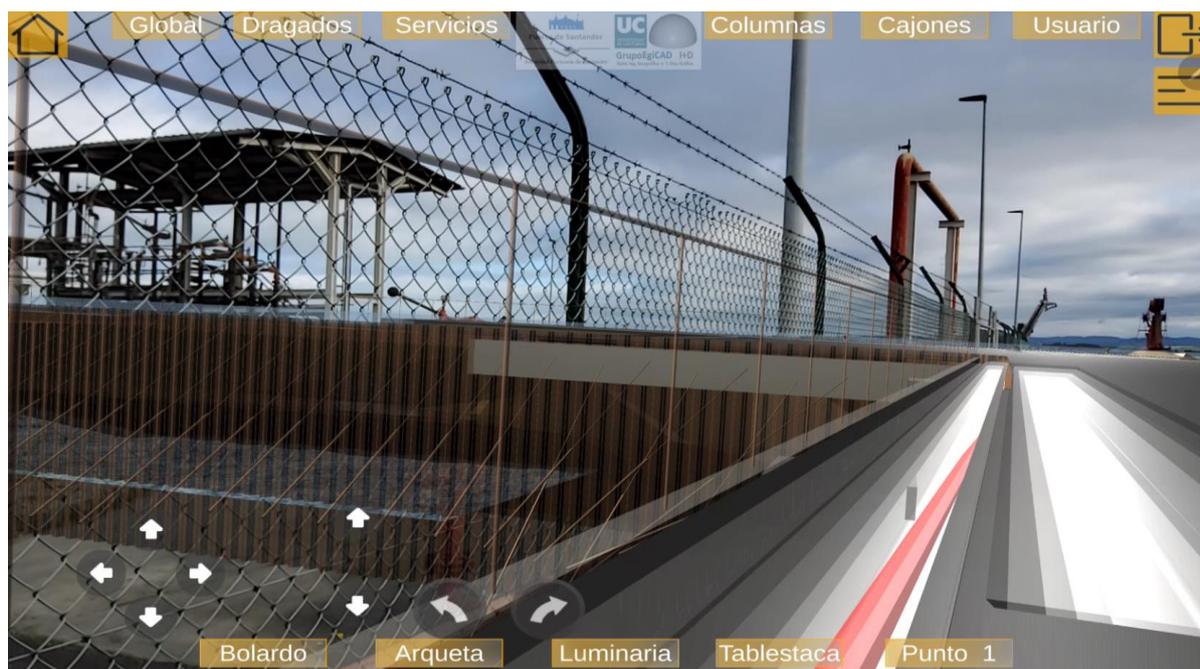


Fig. 99 Muelle superpuesto al entorno real. Fuente: Elaboración propia.

En la opción Realidad Aumentada, para poder posicionar correctamente el entorno real y el virtual se ha usado la imagen Fig. 59 *Image Target empleado*. Fuente: *Elaboración propia*, que debe ser posicionada en un punto de la obra siempre fijo y sirve como punto de origen entre el entorno real y el virtual. Cuando la cámara del dispositivo detecta este elemento despliega el modelo virtual alineado con el modelo real.

En la opción de Imagen Alkion, posiciona el entorno real y el virtual a partir de una imagen de los tanques de Alkion Fig. 100 *Image Target de los tanques Alkion*. Fuente: *Elaboración propia*. La detección de esta imagen por la cámara es más difícil que en el caso del QR, y depende de la posición de los tanques Alkion respecto de la valla y la luz ambiental. Sin embargo, da una opción más versátil y cómoda a los cambios que puede experimentar el entorno de la obra.



Fig. 100 Image Target de los tanques Alkion. Fuente: Elaboración propia.

Enfocando a estos tanques desde una posición cercana a la que se hizo en la foto (Fig. 101 *Tanques de Alkion superpuestos al entorno real.* Fuente: *Elaboración propia.*) se despliega el modelo virtual y queda alineado, para poder seguir explorando el espacio virtual.

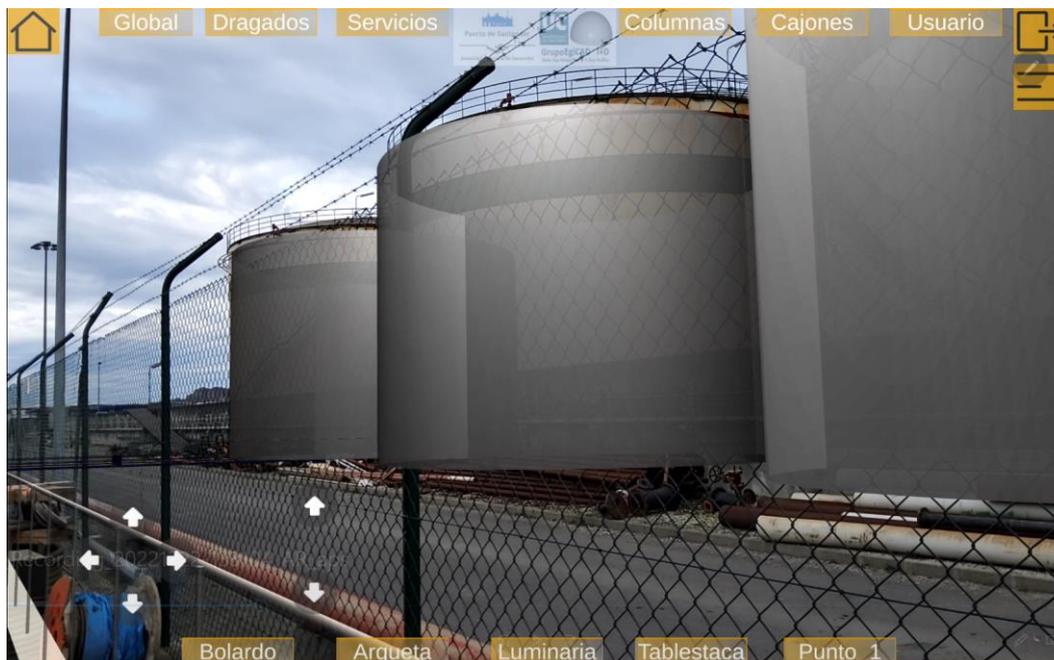


Fig. 101 Tanques de Alkion superpuestos al entorno real. Fuente: Elaboración propia.

Una vez desplegado el modelo virtual sobre el modelo real el usuario puede desplazarse en el mundo real y en el entorno virtual, es decir, puede andar en el modelo real y la cámara se

desplaza síncronamente por el entorno virtual, manteniendo la superposición de ambos entornos.

Para el correcto funcionamiento de la aplicación, se debe utilizar un dispositivo con giroscopio. El giroscopio de los dispositivos móviles es un sensor que mide la orientación del dispositivo en el espacio, viene implementado en todos los dispositivos móviles desde 2010. El giroscopio mide los cambios en la velocidad angular del dispositivo cuando el dispositivo móvil se mueve, permite al dispositivo determinar la orientación a tiempo real. Este elemento posibilita medir los giros realizados por el usuario y modificar la posición de la cámara dentro del modelo virtual.

La posición de usuario dentro del entorno se ve ligada a su posición real respecto del Image Target o punto de referencia. En la interfaz de usuario desaparece el “Menú de perspectivas de muelle”, por el contrario, el “Menú de perspectivas por disciplinas” sigue activo y permite al usuario filtrar la visualización de los distintos modelos. No se cambiará la posición de la cámara respecto del modelo.



Fig. 102 Interfaz de usuario de RA y Imagen Alkion. Fuente: Elaboración propia.

En esta interfaz de usuario aparecen unas flechas en la parte inferior izquierda de la pantalla (Fig. 102 *Interfaz de usuario de RA y Imagen Alkion. Fuente: Elaboración propia.*) que permiten al usuario desplazar el modelo virtual respecto del mundo real. Estas flechas son implementadas para las ocasiones en las que no es posible conseguir la posición exacta para la correcta alineación del modelo virtual, debido a obstáculos de la obra o la luz no es la adecuada para detectar la imagen de los tanques Alkion. En estos casos en los que las alternativas de RA y “Imagen Alkion” no funcionan, se despliega el modelo virtual usando RA desalineado (Fig. 103 *Desalineación entre los modelos de los tanques Alkion (cilindros grises) y “tanques Alkion” reales (depósitos una línea verde).* Fuente: *Elaboración propia.*) y el usuario desplaza el modelo con estas flechas y se alinea de forma manual con el entorno real (Fig. 104 *Alineación manual de los “Tanques Alkion”.* Fuente: *Elaboración propia.*)

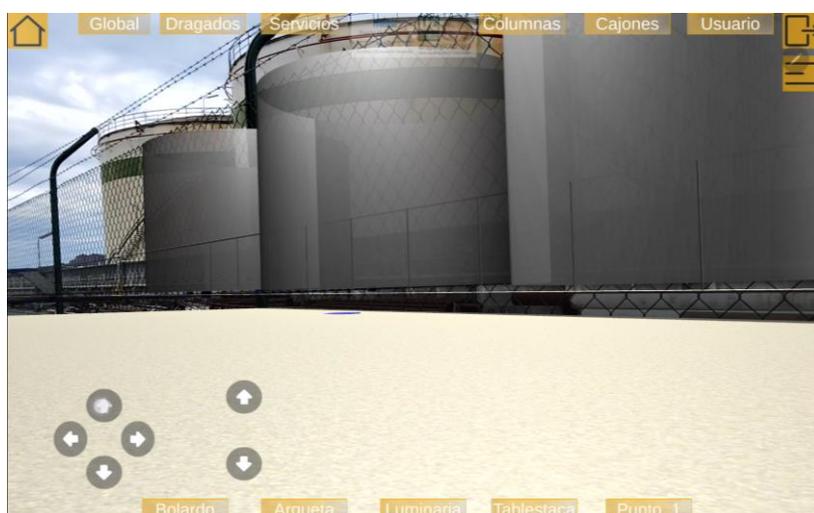


Fig. 103 Desalineación entre los modelos de los tanques Alkion (cilindros grises) y “tanques Alkion” reales (depósitos una línea verde). Fuente: *Elaboración propia.*

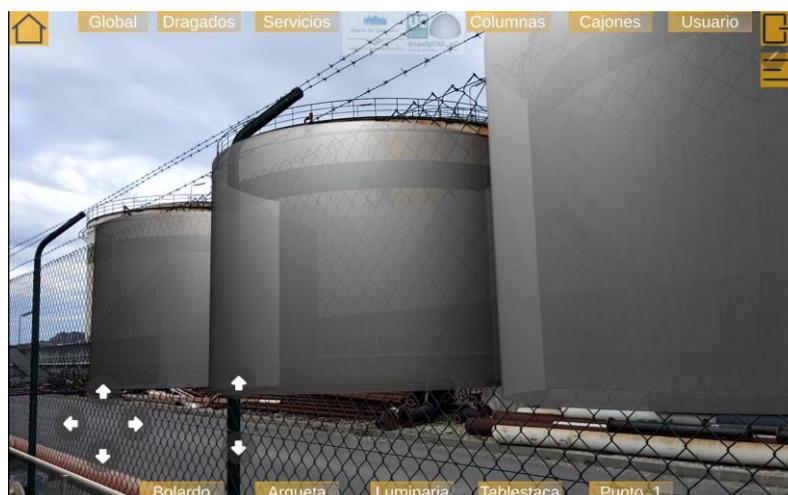


Fig. 104 Alineación manual de los “Tanques Alkion”. Fuente: *Elaboración propia.*

4.4.4 Opciones comunes entre RA, Realidad Virtual e “Imagen Alkion”.

A pesar de las diferentes interfaces entre las diferentes formas de visualización, existen 3 opciones comunes entre todas ellas: “Opción Nombres”, “Opción Información” y “Elementos”. Estas opciones posibilitan al usuario filtrar entre los diferentes elementos de los modelos y acceder a la información asociada a los mismos, lo que es un requisito de esta aplicación. De esta manera, se facilita el acceso a pie de obra de los modelos BIM.

“Elementos”

Uno de los requisitos especificados en la “Guía BIM” de Puertos del Estado para los modelos BIM es que contengan elementos distintos y diferenciales (Puertos del Estado, 2019). Para poder visualizar por separado los distintos elementos y disciplinas hemos creado en el “Menú de Opciones” una pestaña llamada “Elementos” donde se puede seleccionar los elementos que se quieren visualizar.

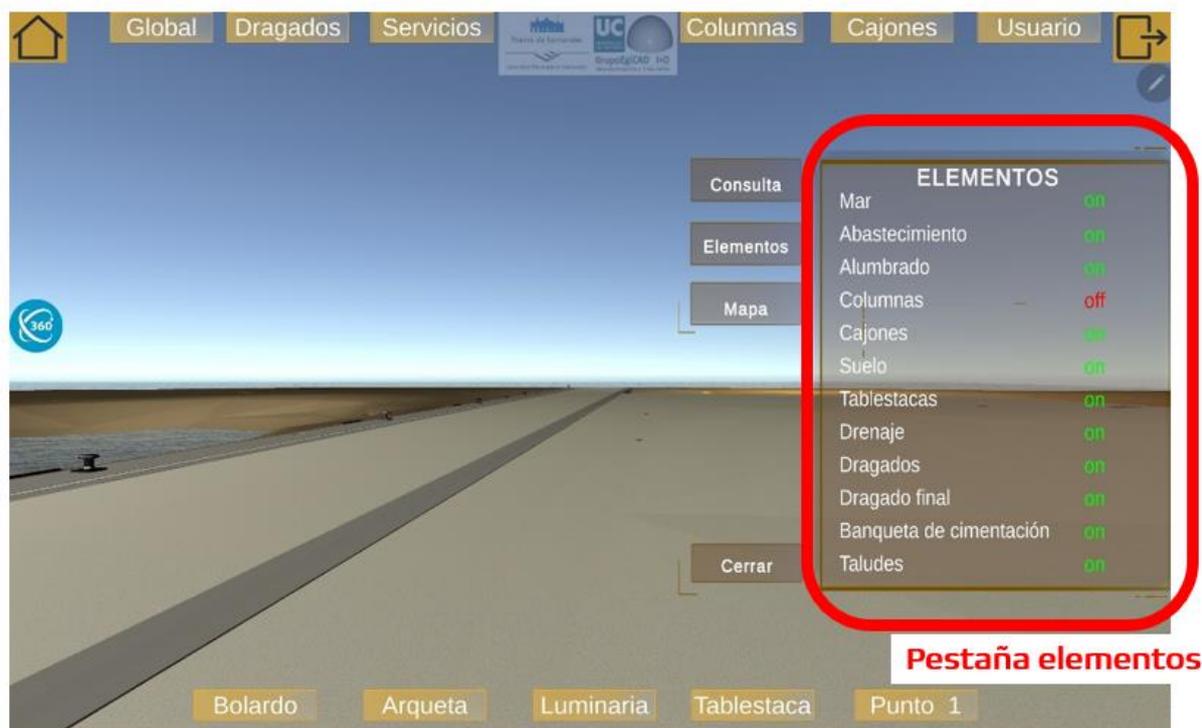


Fig. 105 Pestaña elementos. Fuente: Elaboración propia.

En esta pestaña aparecen enumeradas cada una de las disciplinas, excepto “Dragados” y “Estructuras” que se encuentran subdivididas. Al lado de esta enumeración encontramos

unos botones “on” / “off”. En caso de que el botón junto al nombre de las disciplinas esté en color rojo y muestre la etiqueta "off", la disciplina correspondiente no será visible en la aplicación. Por otro lado, si el botón está en color verde y muestra la etiqueta "on", la disciplina estará visible en la aplicación. Para ocultar o mostrar los elementos de los modelos basta con pulsar el botón “on” / “off”.



Fig. 106 Modelo 3D con todos los elementos activados. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 107 Misma perspectiva anterior con disciplinas ocultas. Fuente: Elaboración propia.

Se dividen las disciplinas de “Dragados” y “Estructuras”, sus modelos son los de mayor complejidad geométrica y por lo tanto ralentizan el funcionamiento de la aplicación. De

esta forma la aplicación puede ejecutarse sin los “Dragados” originales y mejorar el rendimiento inicial de la aplicación. En caso de que el usuario quiera visualizar estos elementos puede hacerlo seleccionando el botón “on” / “off” de la pestaña “Elementos”. En este caso “Dragados” se subdividido en “Dragados”, “Dragado final” y “Banqueta de cimentación” y “Estructuras” queda dividido en “Suelos”, “Cajones” y “Tablestacas”.

Opción nombres

Esta opción permite averiguar el nombre y la subdisciplina de los elementos del modelo con facilidad. Esta opción (“Nombres”) viene implementada en la pestaña “Consulta” del “Menú de Opciones” (Fig. 108 *Opción “Nombres”*. Fuente: *Elaboración Propia*). Esto es de gran utilidad tanto en la etapa de construcción, como en la de explotación de la infraestructura portuaria.

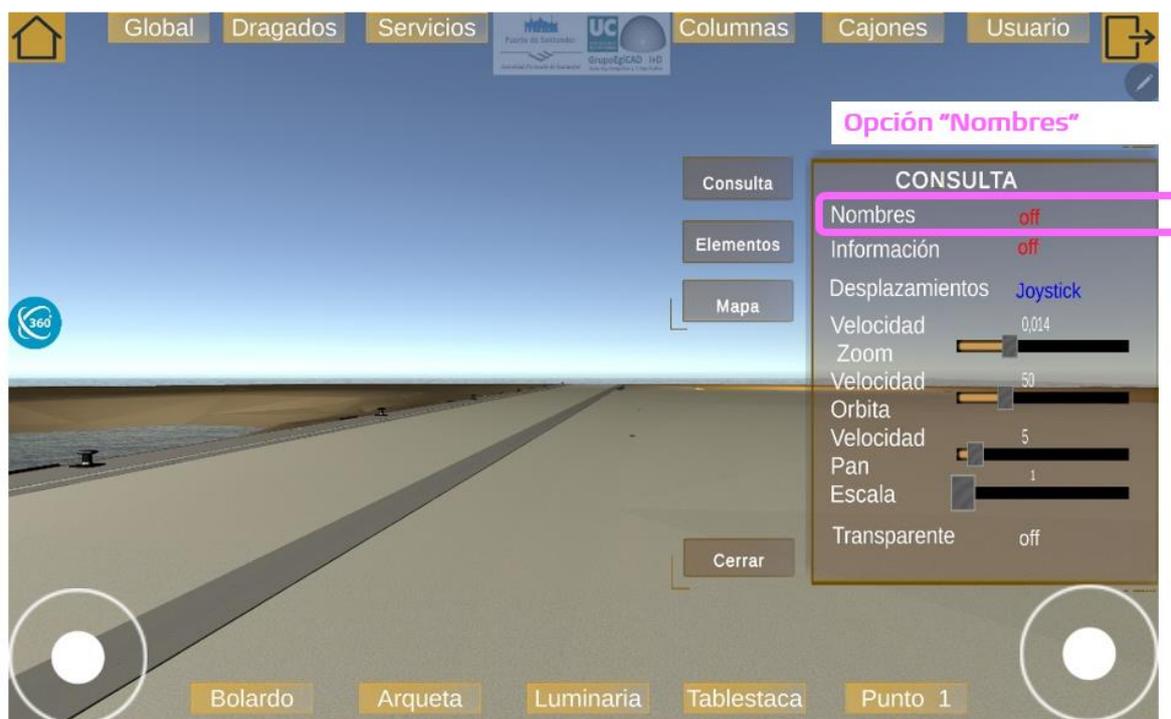


Fig. 108 Opción “Nombres”. Fuente: *Elaboración Propia*.

En la etapa de construcción, permite identificar elementos que no coinciden con los modelos BIM iniciales, es decir, se averigua su identificador para una posterior corrección en los modelos o en entorno real. En la etapa de operación de la infraestructura, resulta útil

para identificar los elementos que requieren reparación o revisión, ya sea para reemplazarlos o para llevar un registro de averías con el fin de prevenir futuras incidencias.

Una vez activada la opción “Nombres” aparece en el centro de la pantalla un target, “Panel Nombres” y un “Panel de Modo”. El “Panel de Nombres” es un recuadro en la parte inferior de la pantalla que indica al cliente como interactuar con esta opción, al comienzo indica “Seleccione con el target un objeto para saber su nombre” y una vez seleccionado un elemento muestra su disciplina y su nombre. El “Panel de Modo” es un recuadro que aparece la parte superior derecha de la pantalla e indica la opción seleccionada con un botón para apagar de esta opción.

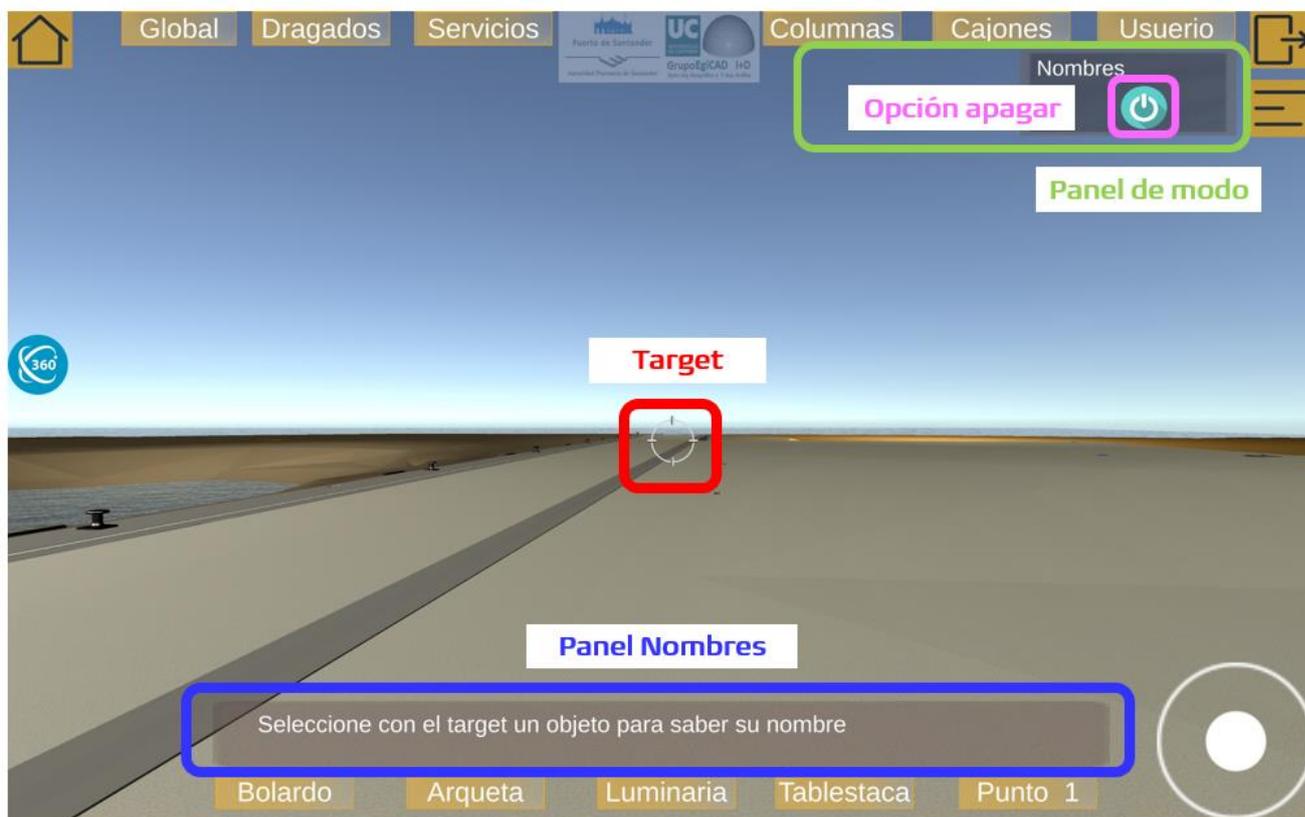


Fig. 109 Atributos de la opción Nombres. Fuente: Elaboración propia.

Al girar la cámara hacia diferentes elementos, el usuario puede seleccionarlos usando el target y los elementos seleccionados quedan resaltados en magenta.

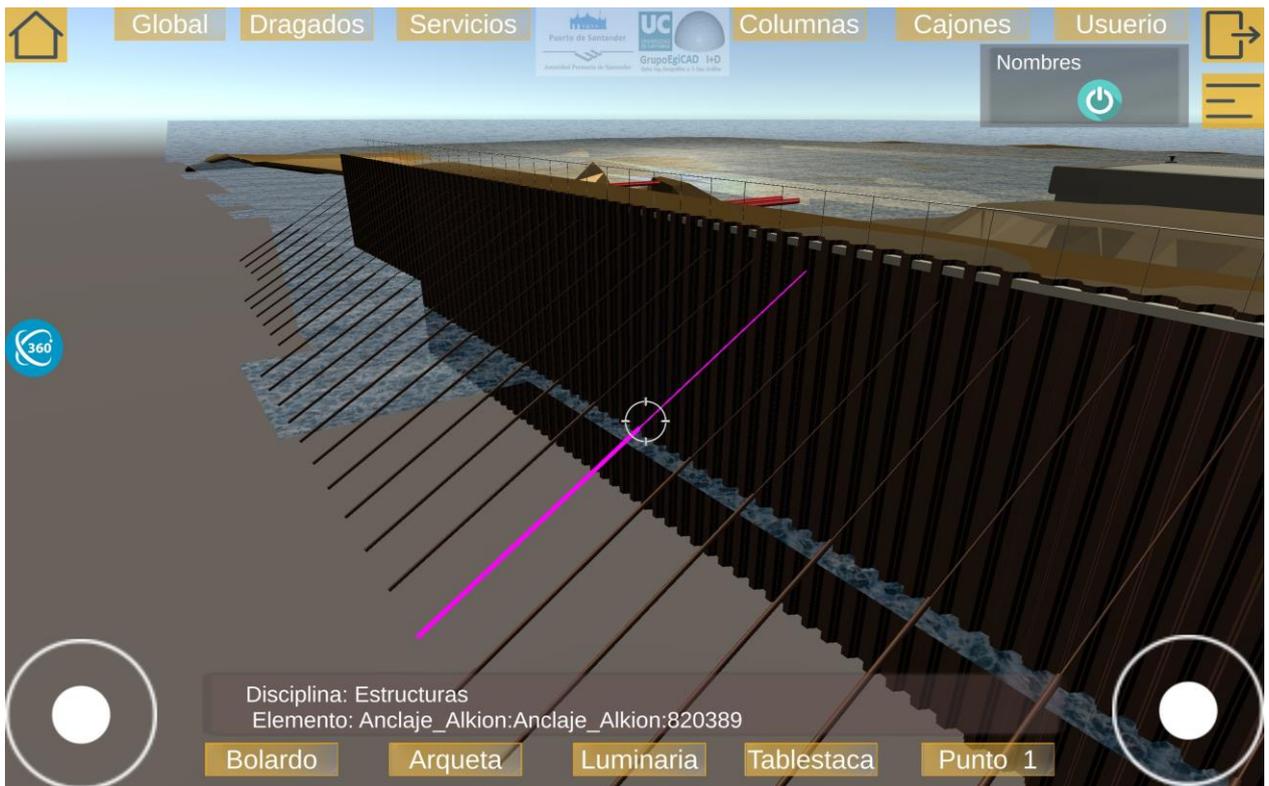
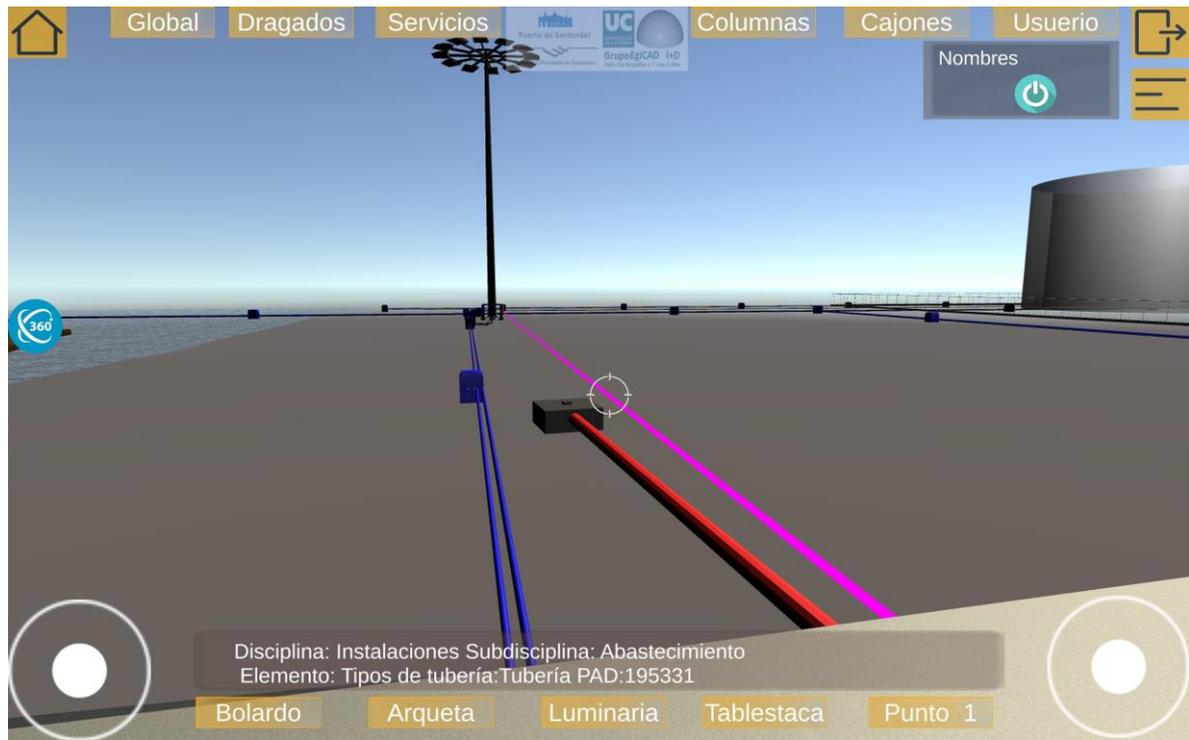


Fig. 110 Ejemplos de "Opción Nombres". Fuente: Elaboración Propia.

Opción "Información"

La opción “Información” que muestra los PSets de cada uno de los elementos. Está opción se identifica bajo el nombre “Información” de la pestaña “Consulta” del “Menú de Opciones” (Fig. 111 *Opción Información. Fuente: Elaboración Propia.*).



Fig. 111 Opción Información. Fuente: Elaboración Propia.

Cuando es seleccionada se despliega un menú denominado “Menú elementos” a la parte derecha de la pantalla. Con la opción “Información” activada, se podrán seleccionar tocando en la pantalla los elementos de los que se quiere saber los datos, que quedarán resaltados en magenta. El nombre del elemento seleccionado viene identificado en la parte superior del menú. Al igual que en la opción anterior aparece un “Menú Modo” en la parte superior derecha de la pantalla en que se indica la opción utilizada y un botón con la opción de salir.

El “Menú Elementos” cuenta con unos botones en el lado izquierdo del menú para desplegar las distintas pestañas de información. Este menú cuenta con tantas pestañas como grupos de Psets establecidos por la “Guía BIM” de Puertos del Estado, añadiéndose un par de

pestañas extra (Puertos del Estado, 2019). Esta opción de información permite consultar los PSets a pie de obra.

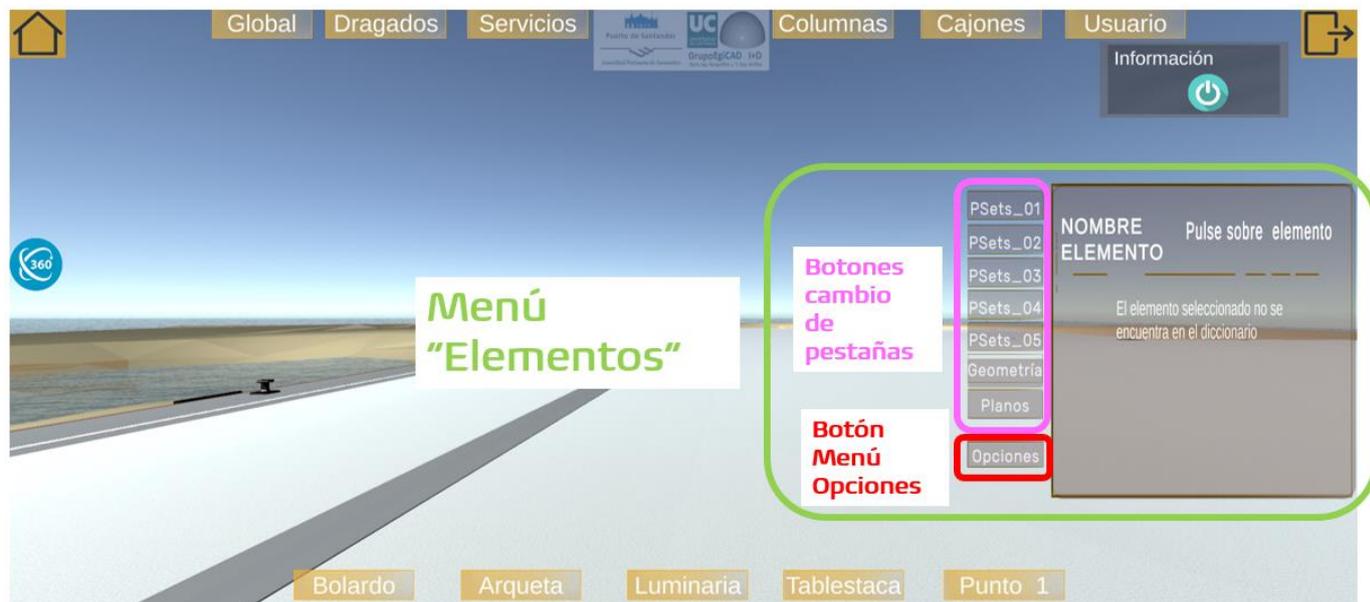


Fig. 112 Menú Elementos. Fuente: Elaboración propia.

En cada pestaña se identifican los PSets contenidos en este grupo y junto a ellos el valor asignado en el modelo BIM. Estos datos varían desde dimensiones y materiales, hasta la fase obra en la que se construyen. En esta aplicación, algunos PSets están vacíos, ya que los modelos BIM todavía están en proceso de elaboración y no se han agregado todos los PSets. Cuando se finalicen los modelos BIM se reimportarán en la aplicación y podrá acceder a todos los PSets. A continuación desarrollamos las distintas pestañas de Psets:

- **PSETS_01** muestra los PSets del grupo 01_PdE_Identificación. Es la única pestaña con todos los Psets asignados.



Fig. 113 Pestaña PSets_01 de “Menú elementos”. Fuente: Elaboración propia.

- **PSets_02** indica los PSets del grupo 02_PdE_Cantidades.

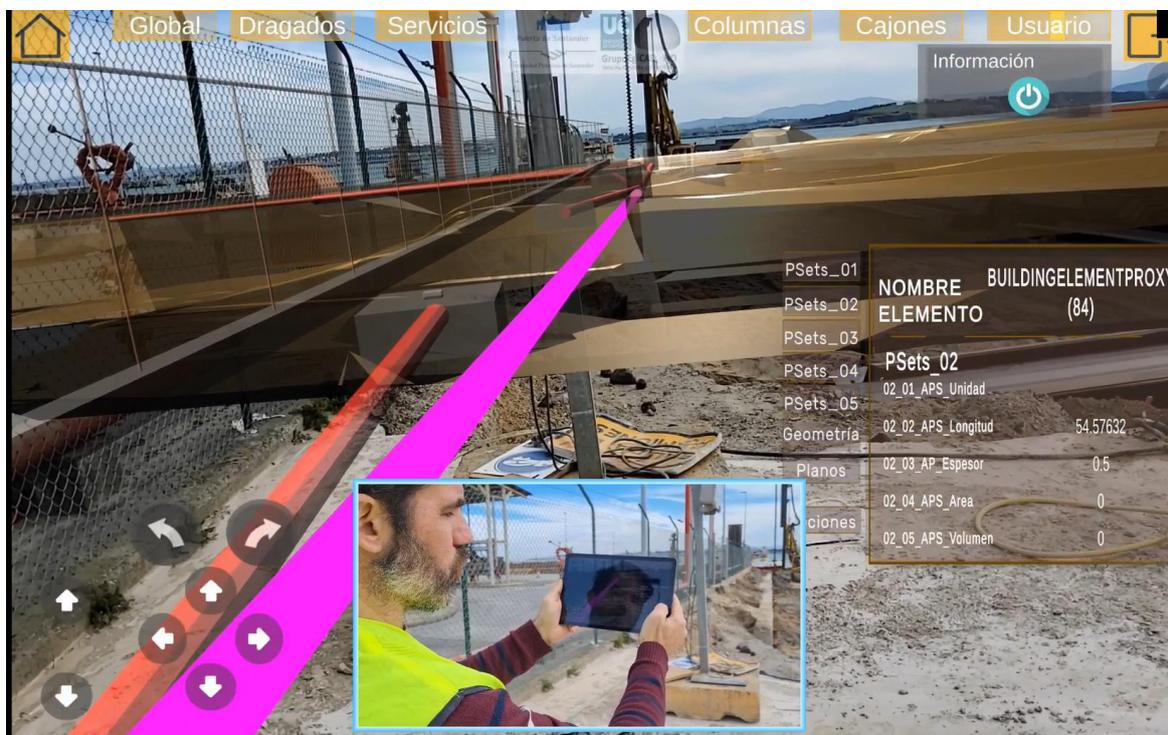


Fig. 114 Pestaña PSets_02 de “Menú elementos”. Fuente: Elaboración propia.

- **PSets_03** permite visualizar los datos asociados del grupo 03_PdE_Proyecto.



Fig. 115 Pestaña PSets_03 de “Menú elementos”. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de este grupo se encuentra una opción llamada "03_02_APS_Planos", a la cual se le ha asignado una URL (Uniform Resource Locator). Esta URL proporciona acceso al plano correspondiente a los elementos en los archivos compartidos en este caso un “SharePoint”. Para poder acceder a estos archivos compartidos dispositivo debe estar conectado a una red WiFi o a datos móviles. La existencia de una carpeta compartida a la que tienen acceso todos los usuarios es un requisito especificado por la “Guía BIM” de Puertos del Estado (Puertos del Estado, 2019). Para acceder a estos planos, el usuario debe seleccionar la URL e introducir su nombre de usuario y contraseña para acceder a la carpeta compartida.

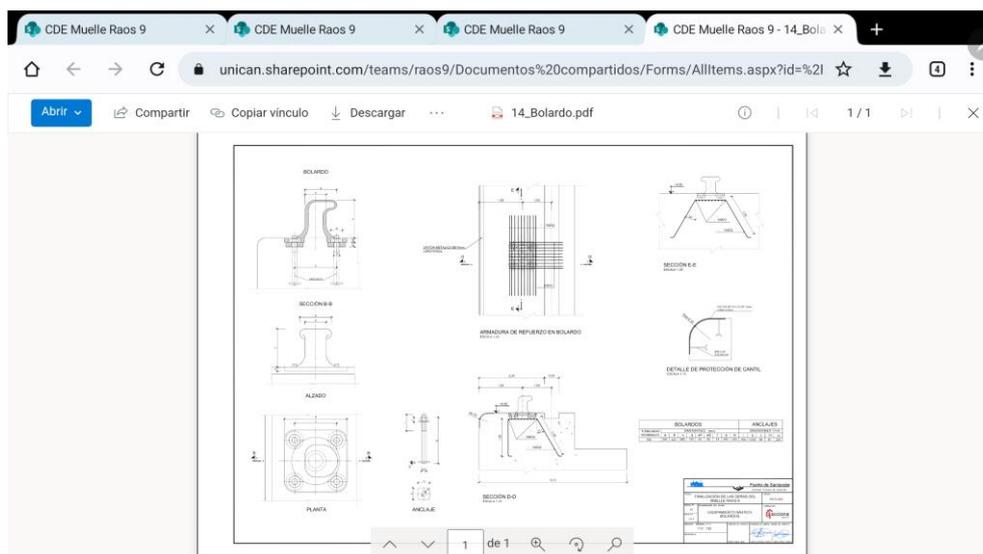


Fig. 116 Ejemplo de plano accesible con URL. Fuente: Elaboración propia.

- PSets_04** los datos asociados al grupo del modelo BIM de 04_PdE_Obra, estos todavia no han sido asociados a los modelos BIM.

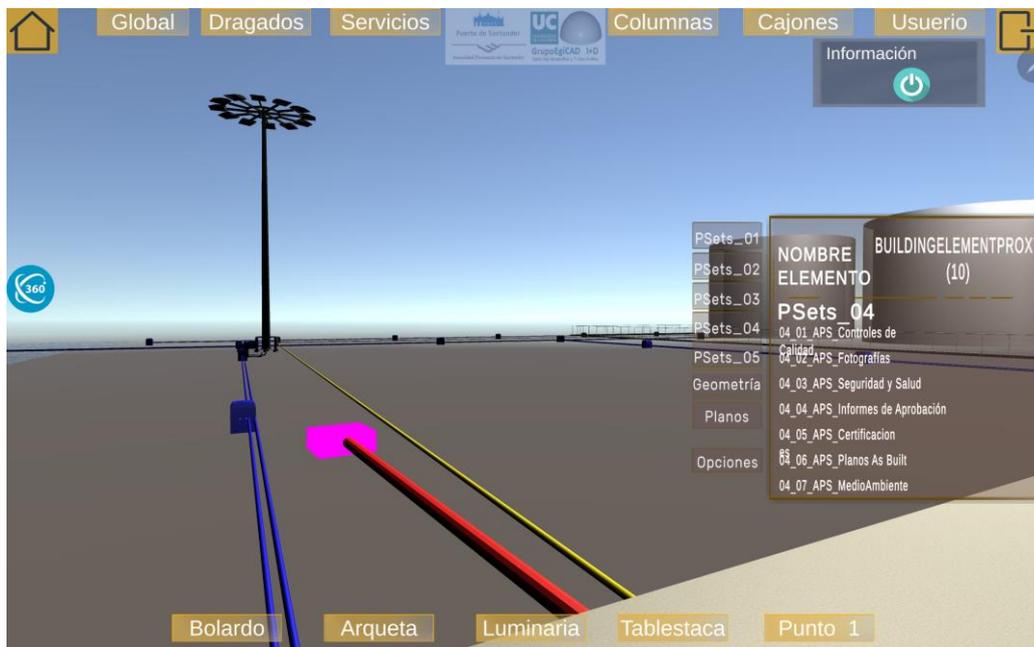


Fig. 117 Pestaña PSets_04 de “Menú elementos”. Fuente: Elaboración propia.

- PSets_05** muestra los PSets asociados al grupo 05_PdE_EOM, ocurre lo mismo que en el caso anterior, estos datos no aparecen al no estar asociados al modelo BIM.

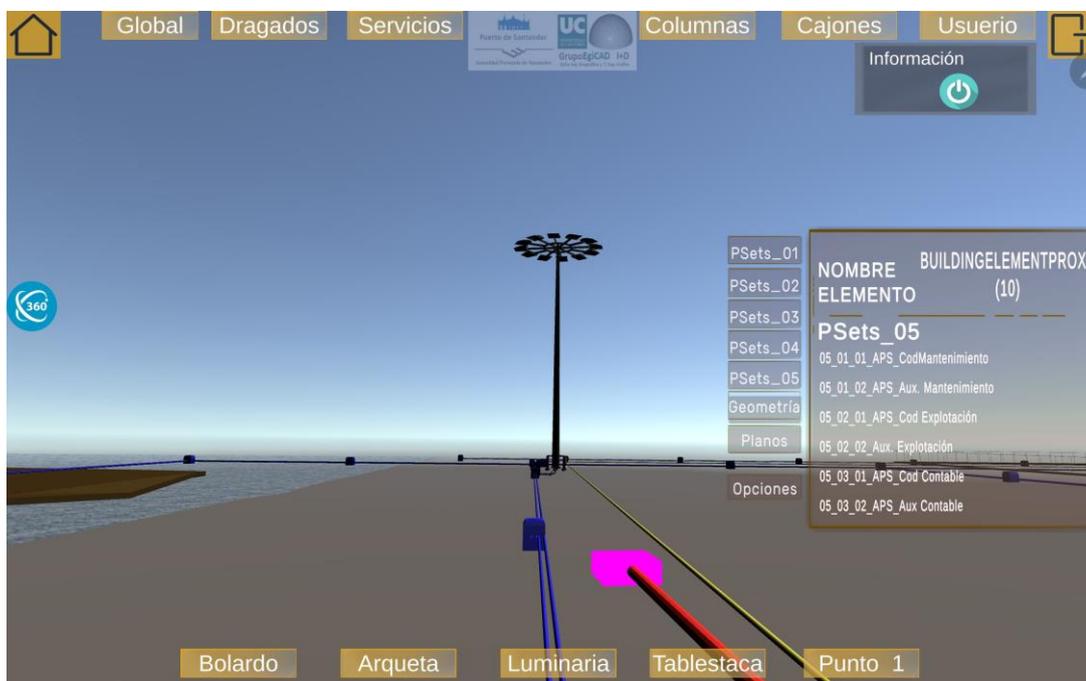


Fig. 118 Pestaña PSets_05 de “Menú elementos”. Fuente: Elaboración propia.

- **Planos**, en esta pestaña aparece otra URL constante para todos los elementos, que lleva a los planos generales de esta infraestructura portuaria.



Fig. 119 Pestaña planos de "Menú elementos". Fuente: Elaboración propia

Todas estas opciones pueden ser utilizadas también en la opción de visualización de "Realidad Aumentada" y "Imagen Alkion".



Fig. 120 Opción "Elementos" RA. Fuente: Elaboración Propia.

4.5 PRUEBAS

En todo proceso de desarrollo de aplicaciones de software es fundamental realizar pruebas para garantizar que funcione correctamente y cumpla con los requisitos de usuario. Realizar pruebas nos permite identificar errores o fallos en la aplicación, mejorar la experiencia del usuario, garantizar la compatibilidad con diferentes dispositivos y evaluar su rendimiento.

La implementación de la RV ha sido comprobada de forma diaria en el Editor de Unity (desde ordenador) y en diferentes dispositivos Android. Adicionalmente, las distintas opciones implementadas han sido revisadas por el tutor y la alumna en diferentes dispositivos. Como estas pruebas son una ocurrencia diaria, no existen registros de los ensayos realizados.

Sin embargo, la implementación de la RA debe ser ensayada en el entorno de obra. El entorno de la obra (ubicado en el interior del puerto de Santander) ha requerido el desplazamiento del tutor y la alumna en numerosas ocasiones. Para poder entrar en el entorno portuario, el cliente ha otorgado un permiso de visita para el equipo. Por medidas de seguridad, el tutor y la alumna deben ser acompañados durante estas pruebas por un miembro de la Autoridad Portuaria de Santander. Para llevar un registro del estado de la aplicación estas visitas son registradas y justificadas con un informe posterior.

Realizar pruebas permite hacer un proceso iterativo de desarrollo, para asegurarnos de que la aplicación cumple los requisitos especificados. A continuación, se realiza un breve resumen de las visitas realizadas a la obra del puerto de Raos 9 clasificadas por fechas.

4.5.1 Visita 01-12-2022

Esta primera visita permite visualizar por primera vez el entorno de la obra y es fundamental para comenzar la implementación de RA. El objetivo de esta visita es determinar el punto en el que se fijará el Image Target. Se elige una valla posicionada sobre el murete de Alkion, ambos presentes en los modelos BIM. Este lugar es escogido, a consecuencia de su invariabilidad en la obra y a su ubicación en el límite de la misma, lo que garantiza que no será modificado. El Image Target se fija en un punto de la valla tangente al último tanque de Alkion. En dicho punto se alinean un poste de la valla y un soporte de hormigón de la tubería interior. En el momento de la visita no había ningún elemento que dificultase el acceso a dicho punto, que queda marcado con una brida para posteriores visitas.

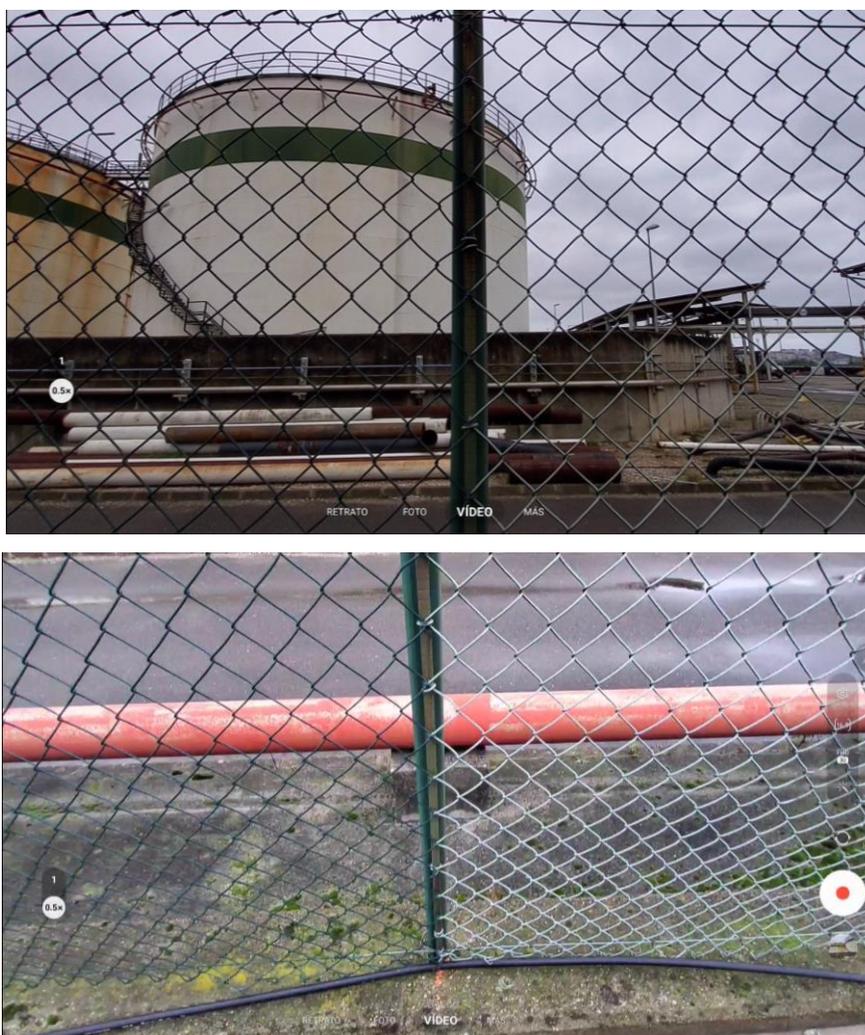


Fig. 121 Punto de posicionamiento del Image Target: posición respecto de tanque Alkion (arriba), posición respecto del apoyo de hormigón (abajo). Fuente: Elaboración propia.

Para poder determinar el punto de referencia en el modelo virtual, se debe mandar las coordenadas GPS de ese punto. Estas coordenadas GPS son pasadas a coordenadas UTM e introducidas en el modelo como coordenadas del Image Target.



Fig. 122 Vista de la valla de Alkion (invariante en la obra). Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Visita 16-12-2022

En esta prueba se realizan las primeras superposiciones del modelo real y el modelo virtual. Se comprueba que la posición del Image Target es correcta, pero encontramos problemas con su orientación. Los elementos aparecen desplazados 180° . Como se observa en Fig. 123 *Tanques girados 180° respecto de su ubicación. Fuente: Elaboración propia.* los tanques virtuales no se encuentran superpuestos a los reales.

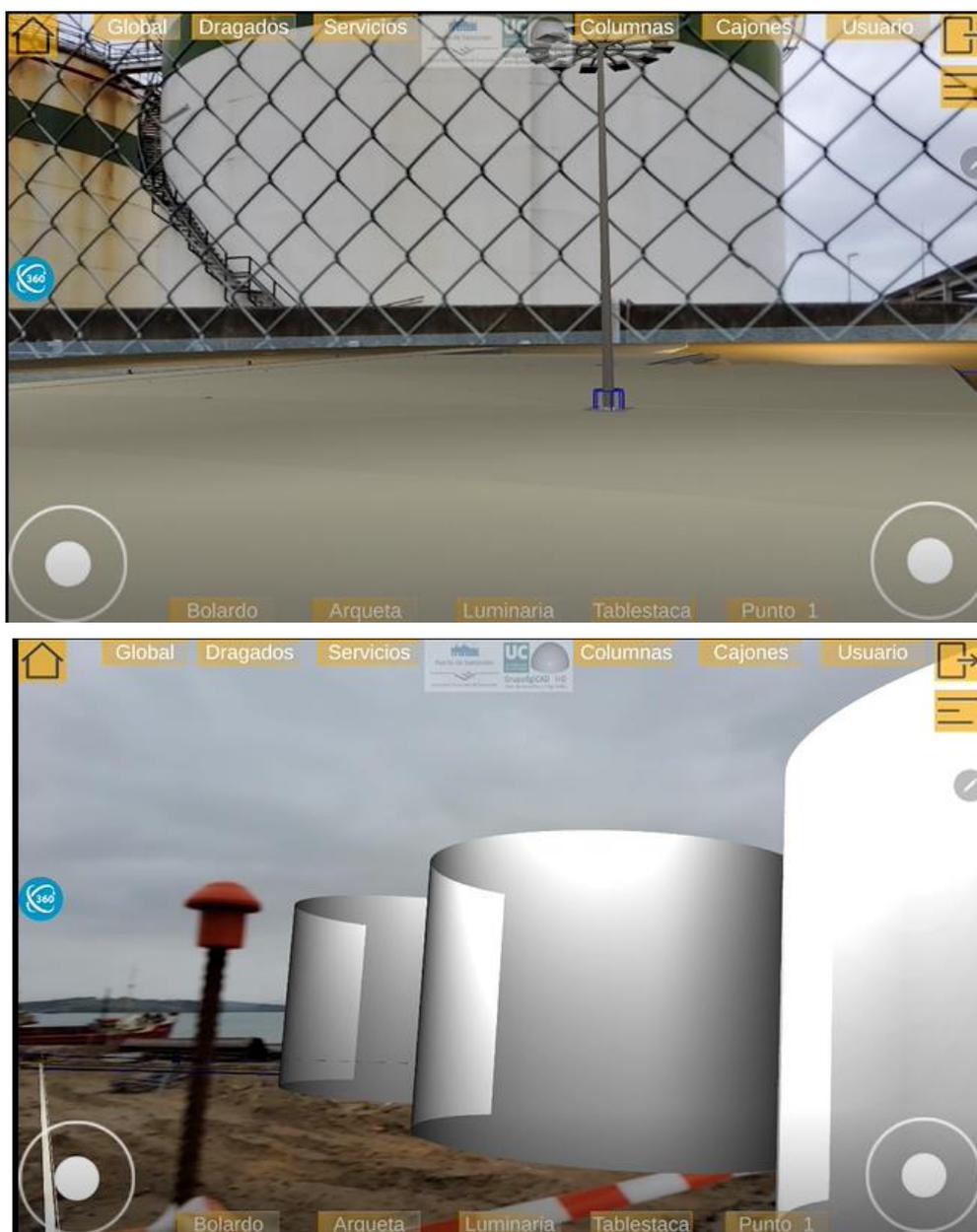


Fig. 123 Tanques girados 180° respecto de su ubicación. Fuente: Elaboración propia.

Para poder continuar con las pruebas, realizamos un reposicionamiento manual del Image Target, es decir, no lo posicionamos en el murete Alkion sino girado 180°. De esta forma se consigue una alineación algo mejor entre los modelos.



Fig. 124 Reposicionamiento manual del Image Target. Fuente: Elaboración propia.

Esta recolocación manual permite detectar un problema en la escala del modelo. El modelo virtual es más pequeño que el modelo real. En Fig. 125 *Diferencia de escala modelo virtual y real (esquina)*. Fuente: *Elaboración propia*. se aprecia este problema. La referencia roja marca la esquina del mundo virtual, que debe de estar superpuesta a la esquina del mundo real (marcada con la referencia verde). En la imagen podemos ver como la referencia roja se visualiza mucho más próxima al usuario que la real.

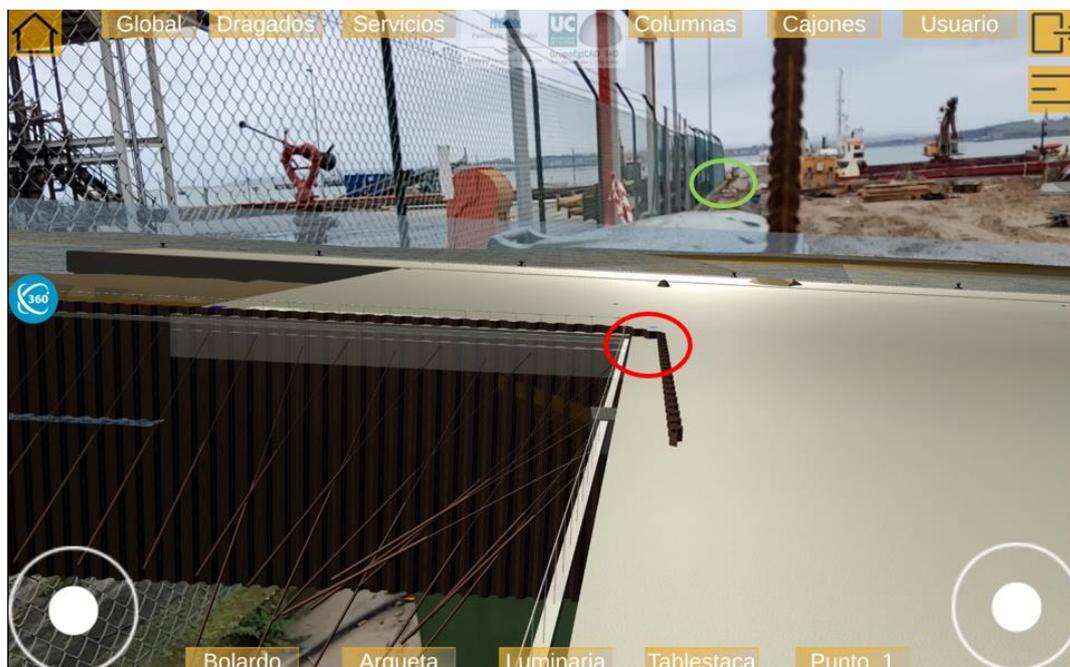


Fig. 125 Diferencia de escala modelo virtual y real (esquina). Fuente: Elaboración propia.

Este problema de escala también es apreciable en la Fig. 126 *Diferencia de escala entre modelo virtual y modelo real (luminaria)*. Fuente: *Elaboración propia.*, ambas luminarias deben estar alineadas. En el caso de la farola resaltada en rojo, se encuentra mal orientada debido a la modificación manual del image target. Sin embargo, esta luminaria se encuentra visiblemente más próxima a la cámara que la resaltada en verde.

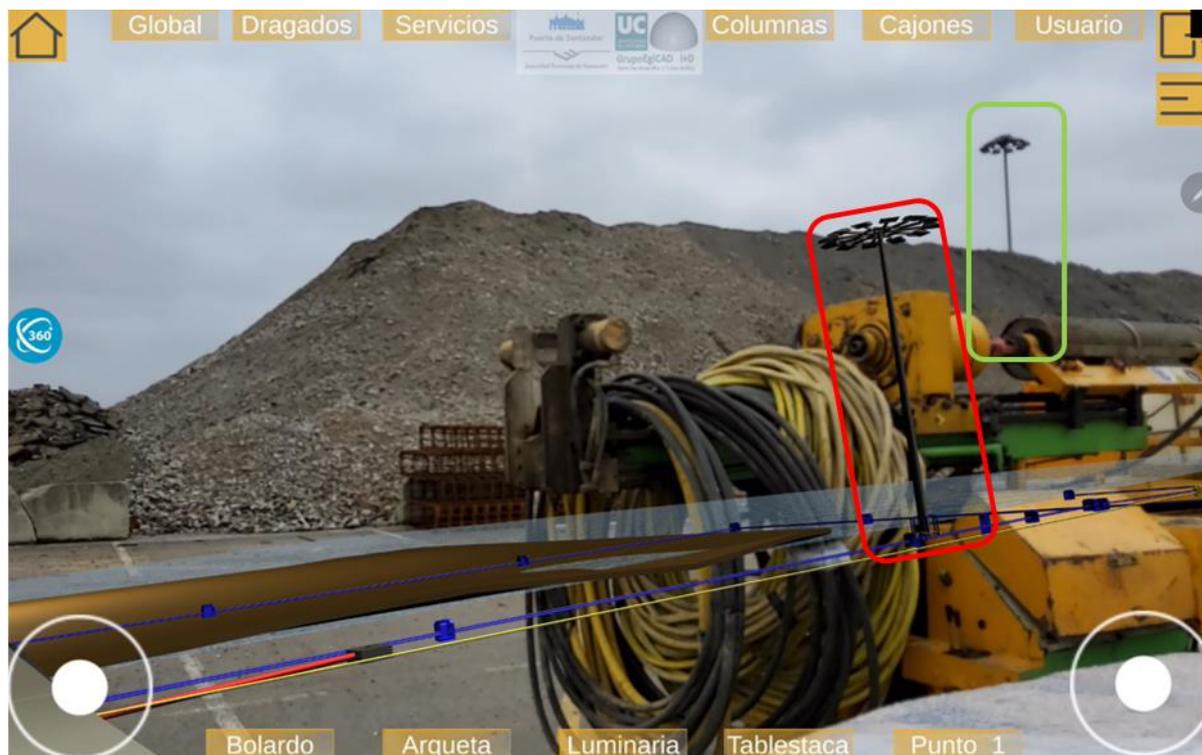


Fig. 126 *Diferencia de escala entre modelo virtual y modelo real (luminaria)*. Fuente: *Elaboración propia.*

Una preocupación al seleccionar software de RA es la posibilidad de que el software pierda frecuentemente el punto de referencia. Cuando Vuforia pierde el punto de referencia, el modelo virtual desaparece, y se debe volver al Image Target para volver a poder visualizar el entorno virtual. Esto no es óptimo, porque se pierde la fluidez de la experiencia inmersiva. En este ensayo se comprueba de que el usuario puede girar completamente sobre sí mismo y andar por el espacio sin perder el punto de referencia entre los modelos.

Por otro lado, se realiza una prueba para comprobar si el modelo sufre deriva de superposición. La deriva de superposición es una discrepancia dinámica entre el modelo virtual y el modelo físico. Este problema es común en sistemas de Realidad eXtendida por

errores en el seguimiento de la posición del dispositivo y la falta de precisión en los algoritmos de calibración.

Para comprobar si este problema está presente en la aplicación, posicionamos el dispositivo móvil en un trípode estático y comprobamos si el modelo virtual se desplaza con respecto del real. Se determina que la aplicación no presenta deriva de superposición, a pesar de las vibraciones propias de las actividades de construcción (hinca de pilotes prefabricados) y de las vibraciones simuladas durante el ensayo (golpecitos en el trípode para forzar movimientos leves).

4.5.3 Visita 22-12-2022

En esta visita se comprueban las mejoras realizadas desde la visita anterior. En este caso el image target está fijado en su posición definitiva (Fig. 60 *Instalación del Image Target en la obra. Fuente: Elaboración propia*) y permite alinear el modelo virtual y el modelo real. Continúa la discrepancia en la escala de los modelos, el modelo virtual es más pequeño que el modelo real Fig. 127 *Diferencia de tamaño entre tanques reales y virtuales. Fuente: Elaboración propia.*

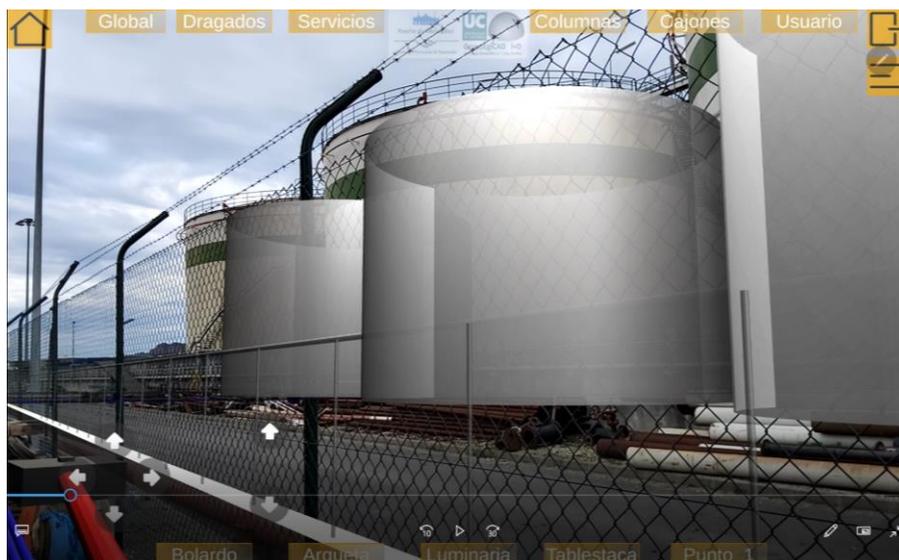


Fig. 127 Diferencia de tamaño entre tanques reales y virtuales. Fuente: Elaboración propia.

Para solucionar este problema, se ha implementado un slider en el “menú opciones” pestaña “Consulta” que permite cambiar la escala de modelo.



Fig. 128 Opción “Escala” pestaña “Consulta”. Fuente: Elaboración propia.

Tras alguna pruebas comprobamos que la escala del modelo debera ser 1.11. Cambiando manualmente la escala a 1.11 se alinean mejor los modelos. Al reescalar en vivo, se cambia el punto de vista del modelo, puesto que el origen de escalado no es el punto de vista del observador.

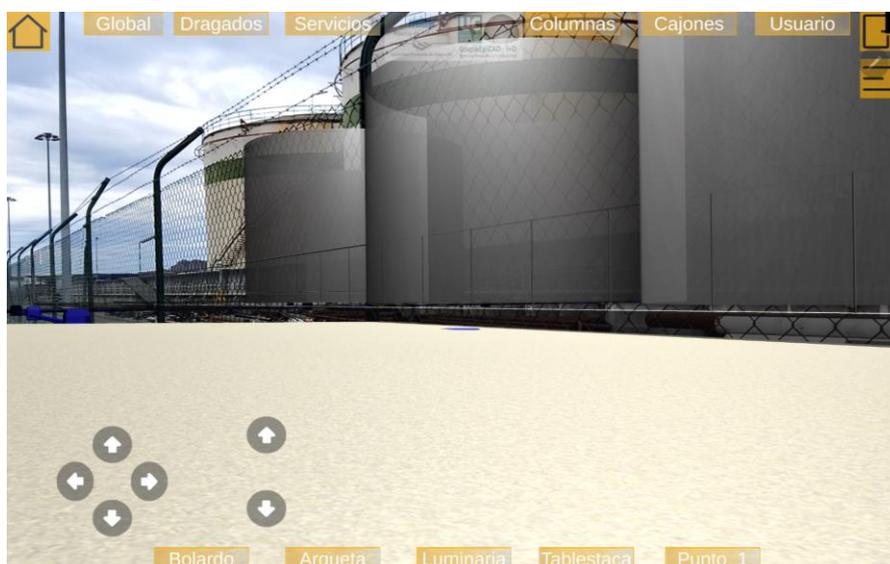


Fig. 129 Modelo reescalado sin colocar. Fuente: Elaboración propia.

Para comprobar si la escala es correcta se deben alinear los modelos de forma manual usando los botones situados en la parte inferior izquierda de la pantalla. A estos botones se deben añadir otros dos que permiten el giro del modelo (Fig. 102 Interfaz de usuario de RA y Imagen Alkion. Fuente: Elaboración propia.).

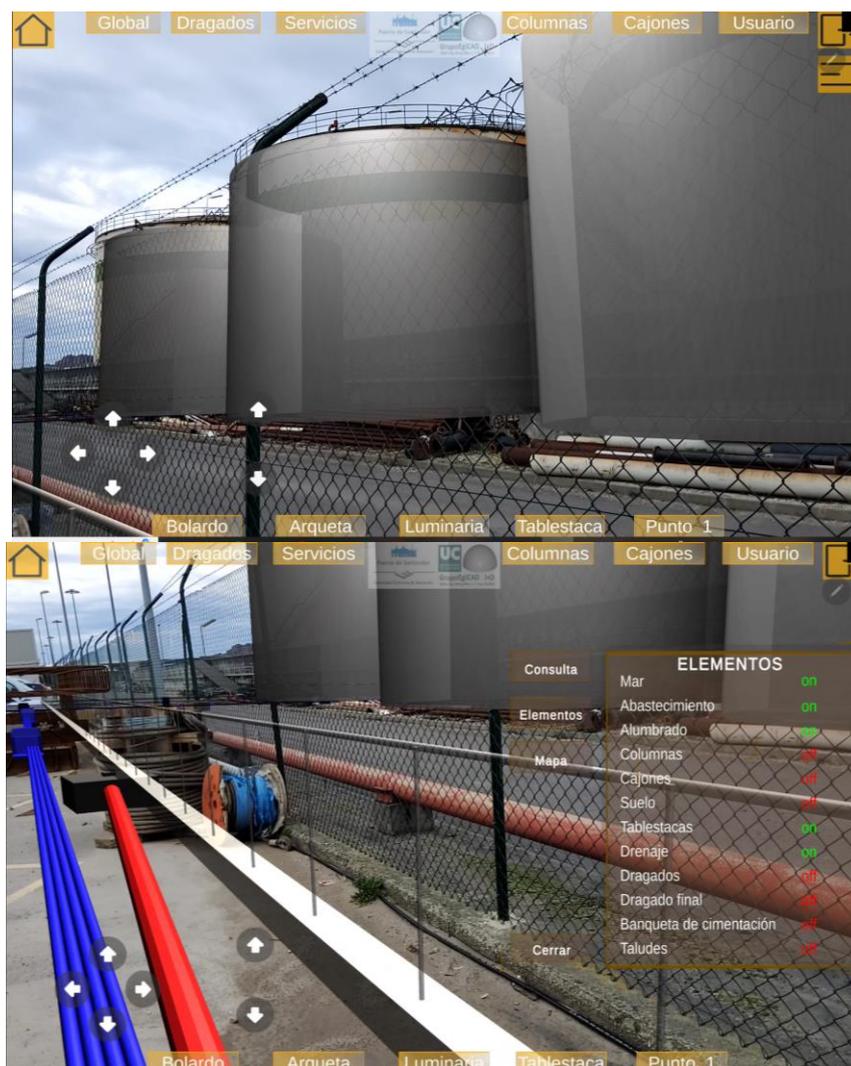


Fig. 130 Modelo reescalado y colocado. Fuente: Elaboración propia.

Para asegurarnos el correcto dimensionamiento del modelo medimos la distancia entre el punto escogido para el Image Target y la farola Oeste en el mundo real y en el mundo virtual. Esta distancia debe ser medida tanto en Unity, como en Civil 3D, como en la ubicación real (usando las coordenadas de GPS), para comprobar que los tamaños de dichos entornos de trabajo coinciden.

Encontramos problemas a la hora de comprobar la alineación de los modelos, debido a que el modelo virtual es opaco y no permite visualizar los elementos reales ubicados detrás de los elementos. Este problema es especialmente notable en los tanques Alkion debido a su gran tamaño, como puede ver en Fig. 131 Tanques opacos. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 131 Tanques opacos. Fuente: Elaboración propia.

Se solucionado fijando el modelo 3D en la opción de RA como un modelo transparente. Asimismo, se implementa una opción en la pestaña “Consulta” que permite cambiar el renderizado del modelo de forma manual (Fig. 88 Opción transparente. Fuente: Elaboración propia.).



Fig. 132 Tanques transparente. Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 133 *Cambiar la altura de la valla.* Fuente: *Elaboración Propia.* vemos cómo la valla real (marcada en verde) es de mayor altura que la valla virtual (marcada de naranja). Para conseguir una mayor sensación de inserción se modifica la altura de este elemento de 1.5m a 2m.

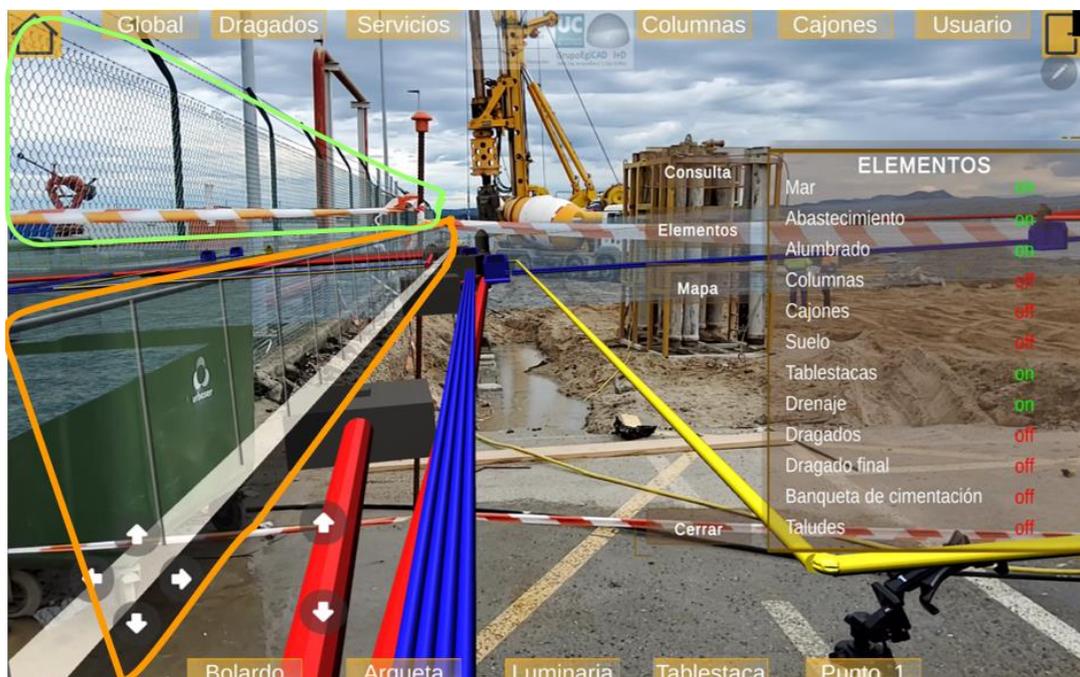


Fig. 133 *Cambiar la altura de la valla.* Fuente: *Elaboración Propia.*

Por último, creamos la opción de identificar como Image Target una imagen de los tanques de Alkion. A pesar de la dificultad de este método, se consigue un reconocimiento de este Image Target en dos ejecuciones sucesivas; a pesar de poder visualizar el modelo virtual, este no está correctamente alineado. El modelo virtual es estable, apenas experimenta variaciones y se mantiene detectado de manera constante, incluso después de haber hecho un giro de 360º con el dispositivo mostrando el modelo virtual.

En esta visita también se trae el HMD Hololens 2. Se realiza para un breve estudio para determinar si sería posible implementar la aplicación para este dispositivo. Es decir, se mira las capacidades de las gafas de detectar el entorno de la obra, en especial los tanques de Alkion.

El diseño de las Hololens 2 ha sido realizado específicamente para entorno interiores. Algunos sensores de los que dispone, como el sensor infrarrojo, se ven afectados

negativamente por la diversidad lumínica que se experimenta en entorno exteriores. Durante esta visita, la intensidad lumínica fue muy alta, y el sensor de infrarrojos de las gafas no permitió detectar elemento a más de 2-3 metros de distancia.

En cuanto a los tanques Alkion, clave para posicionar los futuros modelos, debido a la existencia de una valla de alambre, las gafas detectaron dicha valla como un elemento sólido y no identificaron ninguna geometría al otro lado de ésta.

4.5.4 Visita 13-01-2023

Durante esta visita, queda patente la necesidad de una opción para recolocar el modelo virtual de forma manual. Debido al entorno constantemente cambiante de la obra, se han posicionado delante del punto en el que se debe fijar el Image Target, unos contenedores que imposibilitan el acceso. Por lo tanto, tuvimos que colocarlo en otro punto cercano. Los modelos virtuales y los reales han debido ser colocados a mano y son difíciles de visualizar sobre estos contenedores.



Fig. 134 Tanques superpuestos a contenedores que bloquean el acceso. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 135 La vista virtual de los modelos bloqueadas por el contenedor. Fuente: Elaboración Propia.

Durante la realización de esta prueba se observa que la orientación del modelo es sensible a la inclinación del Image Target. El Image Target es fijado a la valla desde sus dos esquinas superiores, esto le fuerza a no quedar perfectamente vertical, por lo que el modelo virtual queda inclinado.

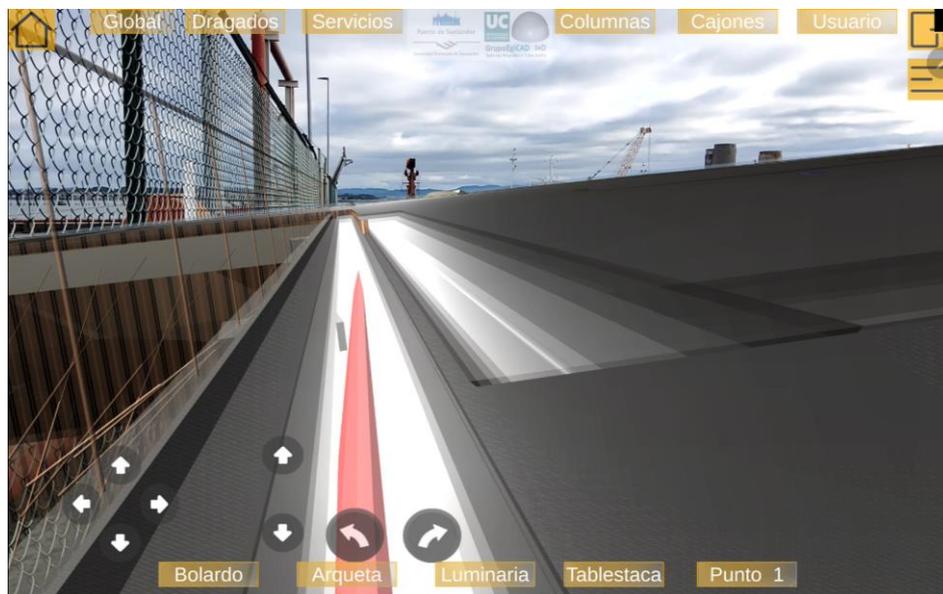


Fig. 136 Modelo inclinado por problemas del Image Target. Fuente: Elaboración Propia

Este problema se intenta corregir con código en la app, pero Vuforia no permite modificar la posición del modelo respecto del Image Target. Implementamos una solución más sencilla, fijando el Image Target a la valla por las 4 esquinas manteniéndolo esta forma en vertical.



Fig. 137 Image target correctamente fijado. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 138 Modelo correctamente orientado, con una correcta colocación Image Target. Fuente: Elaboración Propia

Aunque la escala del modelo es mejorada, el modelo virtual sigue quedando un poco más pequeño que el entorno real. Esto se aprecia especialmente en la ubicación de las tablestacas (Fig. 138 *Modelo correctamente orientado, con una correcta colocación Image Target. Fuente: Elaboración Propia*).

Se intenta solucionar este problema comparando el tamaño del Image Target virtual (introducido en Unity) y el real (impreso en papel y colocado en la obra). Se concluye que el problema se soluciona asegurándose que los márgenes en las imágenes coinciden en ambos escenarios. Aunque la app cuenta con herramientas para calibrar y modificar divergencias de tamaño, es preferible no tener que hacer dicha calibración manual y que el tamaño se adapte automáticamente al predeterminado.

En cuanto a la opción de uso de los tanques Alkion como referencia, debido a la ubicación del contenedor no se puede apreciar los tanques completos por lo que no se puede implementar esta opción.

Se realiza una última visita a la obra que es comentada en el apartado de conclusiones.

5 CONCLUSIONES

Durante este proyecto se ha realizado una aplicación de software para el Puerto de Santander. Esta aplicación a través de las diferentes opciones de visualización implementadas permite al usuario investigar el muelle Raos 9, familiarizándose de esta forma con la autoridad portuaria.

Usando esta aplicación de software el usuario puede interactuar con el modelo digital (RV) consultando información de los modelos BIM. Esta permite filtrar entre los diferentes elementos del entorno y desplazarse inmerso en la instalación.

Esta aplicación de software permite a todo el equipo tener una idea general de la dirección a la que se dirige la obra. En la etapa de explotación de la infraestructura, esta aplicación simplificará las labores de mantenimiento.

Durante el desarrollo de este proyecto, se han tomado los modelos BIM de muelle de Raos9, se han importado en Unity, se han analizados y se han procesados. Esta importación de los modelos es posible debido al análisis previo de distintas herramientas existentes y a las pruebas realizadas. La importación se ha concluido, desarrollándose un procedimiento que aporta el mejor resultado.

Estos modelos y las opciones que aporta la aplicación de software han sido realizados utilizando Unity mediante el desarrollo de código en C# desde Visual Studio.

Finalmente, se ha testeado la aplicación sobre el terreno, revelando carencias del programa, que han sido corregidas y solucionadas a lo largo de las diferentes pruebas. En la visita final realizada el 31 de enero del 2023, se comprueba un alineamiento correcto entre el entorno virtual y el real. Asimismo, se constata que las opciones implementadas (como filtrar elementos o consultar datos) funcionan correctamente. Puede considerarse exitosa ya que la aplicación cumple con los objetivos establecidos.

5.1 TRABAJOS FUTUROS

El principal problema que hemos debido enfrentar durante la implantación de esta aplicación es el entorno variante de la obra. Este entorno no permite acceder al punto exacto predeterminado de la aplicación.

Para evitar tener que alinear los modelos de forma manual se proponen para futuros trabajos 2 posibilidades:

- Determinar la posición del usuario tomando las coordenadas GPS del dispositivo móvil en tiempo real. Esta opción limitada por la precisión del GPS del dispositivo del orden de 5m.
- Permitir introducir las coordenadas UTM al usuario manualmente, medidas con un dispositivo más preciso que el GPS del móvil.

Por otro lado, esta aplicación es una base a la que se pueden añadir opciones para mejorar la interacción con los usuarios. También, es de interés probar el funcionamiento de esta aplicación para HMD, para poder disponer de una mayor variedad de dispositivos en los que poder visualizar los modelos 3D.

6 Bibliografía

- (IVE), I. V. (17 de Mayo de 2018). *Benefits of BIM and its level of adoption in European countries*. (BIMplement news) Recuperado el 26 de Mayo de 2021, de <https://www.bimplement-project.eu/benefits-of-bim-and-its-level-of-adoption-in-european-countries/>
- ¿Qué es C# y para que sirve? (05 de 07 de 2022). Obtenido de Solucion TIC, BE Software: <https://bsw.es/que-es-c/>
- 3D Repo . (2022). Obtenido de Collaborate for a better built environment.: <https://3drepo.com/>
- About AR Foundation. (2021). Obtenido de <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@4.1/manual/index.html>
- Adillah Ismail, N., Chiozzi, M., & Drogemuller, R. (2017). An overview of BIM uptake in Asian developing countries. *AIP Conference Proceedings*. Brisbane: American INstitute of Physics.
- Alizadehsalehi, S., Hadavi, A., & Chuenhuei Huang, J. (2020). From BIM to extended reality in AEC industry. *Automation in Construction*, Volume 116.
- Andrews, C., Silva, J., Southworth, M., & Silva, J. (2019). Extended Reality in Medical Practice. *Current Treatment Option in Cardiovascular Medicine*.
- Apple Developer. (2017). *Dive into the world of augmented reality*. Obtenido de ARKit: <https://developer.apple.com/augmented-reality/>
- Autodesk App Store. (20 de Marzo de 2023). *The easiest BIM Communication Service for all stakeholders*. Obtenido de TRIDIFY: <https://apps.autodesk.com/de/Publisher/PublisherHomepage?ID=ZQ8PQN75GY7D>
- AutoDesk Civil 3D. (2023). *Civil 3D*. Obtenido de Completo software de diseño y documentación detallados para infraestructuras civiles: <https://www.autodesk.es/products/civil-3d/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Baume & Mercier. (2023). Obtenido de <https://www.baume-et-mercier.com/en/watches/womens-watches.html>
- Billinghurst, M., Lee, G., Mill, J., Lindeman, R., Clark, A., Piumsomboon, T., . . . Fukuden, S. (2023). *CityViewAR*. Obtenido de Human Interface Technology Lab New Zealand, University of Canterbury: <https://www.hitlabnz.org/index.php/project/cityviewar/>
- BIM, C. (2016). *Acerca de BIM*. Recuperado el 10 de Abril de 2021, de <http://www.certificatebim.com/acerca-de-bim/>

-
- BIM.Africa*. (2022). Obtenido de Building InfBIM is an innovative process and technology that is transforming the way buildings and city infrastructure are designed.: <https://bimafrika.org/>
- BIMes. (2020). *Qué es BIM*. Recuperado el 6 de 04 de 2021, de <https://cbim.mitma.es/>
- BIMnD, b. n. (2019). *Las 7 Dimensiones BIM*. Recuperado el 8 de Abril de 2021, de <https://www.bimnd.es/7dimensionesbim/>
- building SMART. (20 de Febrero de 2023). *What we do*. Obtenido de building SMART international: <https://www.buildingsmart.org/about/what-we-do/>
- Cosmina, C. (2018). A Glance Into Virtual Reality Development Using Unity. *Informatica Economica*.
- de Belén, R., Nguyen, H., Filonik, D., Del Favero, D., & Bednarz, T. (2019). A systematic review of the current state of collaborative mixed reality technologies 2103-2018. *AIMS Electronics and Electrical Engineering* 3 (2), 181-223.
- Doolani, S., Wessels, C., Kanal, V., Sevastopoulos, C., Jaiswal, A., Nambiappan, H., & Makedon, F. (2020). A Review of Extended Reality (XR) Technologies for Manufacturing Training. *Selected Paper fro the PETRA Conference Series*. PETRA.
- El BIM en Latinoamérica*. (2018). Obtenido de EDITECA: <https://editeca.com/bim-en-latinoamerica/>
- Fitzgerald, L. (8 de september de 2009). *The Augmented Reality Hype Cycle*. (SPRXMobile) Recuperado el 29 de Mayo de 2021, de <https://huguesrey.wordpress.com/2009/09/08/the-augmented-reality-hype-cycle-sprxmobile-mobile-service-architects/>
- Fonseca, D., Martí, N., Redondo, E., Navarro, I., & Sánchez , A. (2013). Relationship between student profile, tool use, participation, and performance with the use of Augmented Reality technology for visualized architecture models. En *Computers in human behaviour* (págs. 434-454). Elsevier.
- GameDev, V. (1 de Marzo de 2019). *Unity Asset Store*. Obtenido de Asphalt materials: <https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/roads/asphalt-materials-141036>
- Gauër, N. (31 de May de 2017). *Fast Buoyancy*. Obtenido de Unity Asset Store: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/physics/fast-buoyancy-61079>
- Glover, J., & Linowes, J. (2019). *Complete Virtual Reality and Augmented Reality Development with Unity*. Packt>.
- Google Developer. (2018). *ARCore*. Obtenido de Construye el futuro: <https://developers.google.com/ar?hl=es-419>
-

- Hakkarainen, M., Woodward, C., & Rainio, K. (2009). Software architecture for mobile mixed reality and 4D BIM interactions. *26th International Conference on IT in Construction/Managing Construction for Tomorrow* (págs. 517-524). Istanbul, Turkey: Balkema.
- Iberdrola. (2018). *¿Que es la realidad virtual?* Recuperado el 1 de Junio de 2021, de <https://www.iberdrola.com/innovacion/realidad-virtual>
- IMARC Group. (2022). *Extended Reality (XR) Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2023-2028*. IMARC Impactful Insights.
- inesa TECH civil engineering school & consulting. (10 de Marzo de 2023). *Las múltiples dimensiones del BIM*. Recuperado el 08 de 04 de 2021, de <https://www.inesa-tech.com/>
- Joske, W. (16 de Abril de 2021). *BIM in Australia*. Obtenido de bimacademy: <https://www.bimacademy.global/insights/digital-technologies/bim-in-australia/>
- Kanbanize. (2020). *Qué es Kanban: Definición Características y Ventajas*. Recuperado el 5 de Junio de 2021, de <https://kanbanize.com/es/recursos-de-kanban/primeros-pasos/que-es-kanban>
- Lovatto Studio. (8 de Abril de 2019). *UJoystick*. Obtenido de Unity Asset Store: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/input-management/ujoystick-49186>
- Microsoft 365. (14 de Marzo de 2023). *Todo lo que necesites para obtener mejores resultados en menos tiempo*. Obtenido de <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/buy/compare-all-microsoft-365-products-b>
- Microsoft Visual Studio*. (2023). Obtenido de Así es como se crea software: <https://visualstudio.microsoft.com/es/>
- National Institute of Building Sciences. (5 de Marzo de 2022). *U.S. National Building Information Management (BIM) Program*. Obtenido de <https://www.nibs.org/usbimprogram>
- NCH Software*. (10 de Febrero de 2023). Obtenido de Spin 3D File Converter Software: <https://www.nchsoftware.com/3dconverter/index.html>
- OHB Digital Solutions GmbH. (10 de Marzo de 2023). *Pomar 3D*. Obtenido de <https://www.ohb-digital.at/en/research/pomar3d>
- pixyz*. (8 de Marzo de 2023). Obtenido de GET YOUR 3D DATA READY FOR NEW EXPERIENCES: <https://www.pixyz-software.com/>
- Puertos del Estado, M. (2019). *Guía BIM del Sistema de Portuario de Titularidad Estatal*.
-

-
- Real-time and Automated Monitoring and Control. (Marzo de 2023). *Marker-Less Mobile Augmented Reality for Context Aware Applications*. Obtenido de HD4AR: <https://raamac.cce.illinois.edu/hd4ar>
- Redström, J., Skog, T., & Hallnäs, L. (2000). Informative art: using amplified artworks as information displays. En *DARE'00 Proceedings of DARE 2000 on Designing augmented reality environments* (págs. 103-114).
- Revit, A. (27 de Febrero de 2023). *Revit*. Obtenido de Software BIM para diseñadores, constructores y emprendedores: <https://www.autodesk.es/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Reyes, R. (27 de Febrero de 2017). *¿Ya conocer la 7D de BIM?* (Team) Recuperado el 6 de Abril de 2021, de <https://www.teamnet.com.mx/blog/bim-7d>
- Ruben. (28 de 10 de 2022). *Certicalia*. Obtenido de Coordinadas UTM: todo lo que necesitas saber: <https://www.certicalia.com/blog/que-son-las-coordenadas-utm>
- Schall, G., Zollmann, S., & Reitmayr, G. (2013). Smart Vidente: advances in mobiles augmented reality for interactive visualization of underground infrastructure. *Personal and Ubiquitous Computing*, 1533-1549.
- Schnabel, M. A. (2009). Framing Mixed Realities. En M. A. Schnabel, & X. Wang, *Mixed Reality in Architecture, Design and Construction* (págs. 3-11). Springer Science+ Business Media B.V.
- Scribani, J. (16 de Enero de 2019). *What is Extended Reality (XR)?* Obtenido de Technology : <https://www.visualcapitalist.com/extended-reality-xr/>
- SlimUI. (13 de Diciembre de 2022). *3D Modern Menu UI*. Obtenido de Unity Asset Store: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/gui/3d-modern-menu-ui-116144>
- Szczepaniak, A. (24 de January de 2023). *Real or not real? Welcome to Augmented Reality*. Obtenido de LeoRover: <https://www.leorover.tech/post/real-or-not-real-welcome-to-augmented-reality>
- Thorpe, P. (25 de Noviembre de 2022). *BIM in USA*. Obtenido de bimacademy: <https://www.bimacademy.global/insights/digital-technologies/bim-in-usa/>
- Trello. (2021). *Trello siempre hace avanzar*. Recuperado el Noviembre de 2020, de <https://trello.com>
- Unity Documentation. (2021). *Materials*. Obtenido de Unity User Manual 2021.3: <https://docs.unity3d.com/Manual/Materials.html>
- Unity Reflect. (2023). *UNITY REFLECT FOR AUTODESK REVIT*. Obtenido de Unity: <https://unity.com/pages/unity-reflect->
-



Realidad Extendida en ámbitos portuarios a partir de modelos BIM

Carrera-Monterde, A.¹, Gomez-Jauregui, V.^{2,*}, Manchado C.², Otero C.²

¹School of Industrial and Telecommunications Engineering, Universidad de Cantabria, Avda. Los Castros 46, 39005 Santander, Spain

²EgiCAD Research Group, School of Civil Engineering, Universidad de Cantabria, Avda. Los Castros 44, 39005 Santander, Spain

* valen.gomez.jauregui@unican.es

Clasificación del tema: Ingeniería Gráfica Aplicada: Realidad aumentada, virtual y mixta.

Palabras clave: Realidad Extendida; Realidad Aumentada; Realidad Virtual; Aplicación móvil; BIM; Gemelo digital.

Resumen

Esta comunicación versa sobre el desarrollo de una metodología de trabajo innovadora en el ámbito del BIM (Building Information Modelling) apoyada en tecnologías novedosas como la Realidad Virtual (RV). Realidad Mixta (RM) y Realidad Aumentada (RA). Para ello, se ha empleado una aplicación para tabletas y dispositivos de RV y RA que permite explorar e interactuar con varios modelos BIM de infraestructuras civiles. En este artículo se expone el ejemplo de un nuevo muelle de carga, promovido por una entidad de la administración española.

En los últimos años el campo de Realidad eXtendida (RX), que engloba RV, RA y (RM), ha tenido un gran desarrollo. La RA consiste en visualizar el entorno del usuario enriquecido mediante elementos generados por ordenador, como modelos virtuales, sonidos, videos, etc. Esta tecnología se aplica en una gran variedad de áreas, como ingeniería, arqueología, arquitectura, arte, marketing, aplicaciones médicas, etc [1]. En los proyectos de ingeniería civil, la RA tiene varias ventajas, entre ellas: i) Mejora de la planificación, pues permite a los ingenieros visualizar los diseños en su entorno real antes de la construcción, lo que ayuda a identificar problemas potenciales y a tomar decisiones informadas; ii) capacitación y formación, porque facilita la formación de los trabajadores en términos de seguridad, manejo de maquinaria y técnicas de construcción; iii) mejora de la comunicación, permitiendo a los diferentes miembros del equipo de proyecto compartir una visión común del proyecto y colaborar de manera más eficaz y iv) mayor eficiencia, pues ayuda a reducir los tiempos de construcción y los costos al identificar y resolver problemas de manera temprana [2].

En cuanto al BIM, esta metodología de trabajo colaborativa permite la creación y gestión de proyectos, que centraliza toda la información en un modelo de información digital en el que participan todos los agentes intervinientes en el proyecto [3]. Los softwares BIM permiten modelar en 3D los componentes de una instalación y asignarles información sobre su construcción y su ciclo de vida. Esta tecnología está teniendo un uso significativo en ámbito de ingeniería estructural y arquitectura (Revit, OpenBuildings, Archicad, Edificius, etc.), pero empieza a haber cada vez más programas para uso en Ingeniería Civil e Industrial como Civil 3D, InfraWorks, Revit Structural, Tekla, OpenRoads, etc. Para unificar el formato de estos modelos se ha establecido como elemento básico intercambiable en proyectos de edificación el formato IFC (Industry Foundation Class, ISO 16739), auspiciado por Building Smart (www.buildingsmart.org). Además, un gran número

gobiernos de diferentes países están instando a que los proyectos de ingeniería y arquitectura se conciban empleando el BIM [4]

Para hacerlo posible, hemos generado un gemelo digital de una infraestructura portuaria a partir del modelo BIM, con todos sus conjuntos de propiedades (Psets). El usuario podrá deambular por el modelo inmerso en él tanto en RV como en RA. En el primer caso, la cámara se puede mover para explorar el espacio usando varias opciones: i) dos joystick (para girar y para desplazarse); ii) gestos táctiles (pinchar para zoom, dos dedos para desplazarse y uno para orbitar); y iii) el giroscopio del dispositivo móvil (para rotar) y un joystick para desplazarse. En el segundo caso, en RA in situ, el usuario podrá desplazarse caminando y girando el dispositivo libremente por la propia obra in situ.

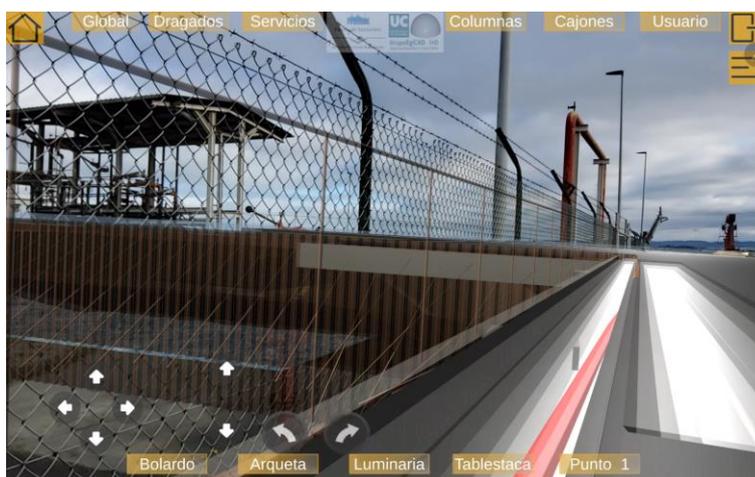


Figura 1: Realidad Aumentada con superposición de instalaciones y obra civil in situ.

El objetivo principal de esta aplicación es monitorizar el estado en vivo de la propia infraestructura y sus instalaciones, prevvisualizando in situ (RA) o en remoto (RV) el estado de la obra presente o futuro. En todos los objetos BIM hay una serie de conjuntos de propiedades, que son los que recomienda la guía BIM de Puertos del Estado [5], que se pueden consultar fácilmente (Figura 2). La aplicación mostrará esta información en un menú intuitivo en la en un panel lateral, una vez seleccionado por el usuario cada elemento de la obra. Dicha información incluye también características geométricas, mediciones o cuantías y enlaces al CDE (Entorno Común de Datos) para ampliar información mediante la documentación de proyecto (planos, pliego de prescripciones técnicas, presupuestos, etc.)



Figura 2: Menú de información en Realidad Virtual. Ejemplo de selección de un bolardo.

Referencias

- [1] Carrera-Monterde A., Gomez-Jauregui V., Manchado C., Otero C. Monitoring Industrial Plants from BIM Models with Extended Reality. In *Advances in Design Engineering II. INGEGRAF 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Cavas Martínez F., Peris-Fajarnes G., Morer Camo P., Lengua Lengua I., Defez García B., Eds.; Springer, Cham. 2022 Print ISBN: 978-3-030-92425-6. Online ISBN: 978-3-030-92426-3. DOI: 10.1007/978-3-030-92426-3_2.
- [2] Abboud, Rana. 2014. "Architecture in an Age of Augmented Reality: Opportunities and Obstacles for Mobile AR in Design, Construction and Post-Completion". Available Online: <http://www.codessi.net/sites/codessi/files/IWDS2013%20AR%20PAPER%20-%20R%20ABBOUD%20-%20MARCH.pdf> (Accessed on 15 January 2023)
- [3] International, Building SMART Spain. Available Online: <https://www.buildingsmart.es/> (Accessed on 10 January 2023)
- [4] Comisión BIM del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Qué es BIM. Online: <https://cbim.mitma.es/> (accessed on 23 January 2022)
- [5] Puertos del Estado. *Guía BIM de Puertos del Estado*. 2019.