



Universidad de Valladolid

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

TRABAJO FIN DE GRADO

LA ANAMORFOSIS EN LA REALIDAD AUMENTADA

Autor

Sergio Crespo Aller

Tutor

Antonio Álvaro Tordesillas

Convocatoria

Julio 2017

RESUMEN

La expresión gráfica es una herramienta fundamental para la expresión arquitectónica. Su evolución histórica, paralela a diferentes estilos artísticos y culturales, sufre ahora de una transformación tecnológica que habilita posibilidades antes inimaginadas. La **realidad aumentada**, que es el campo de estudio en el que se desarrolla este trabajo, es un instrumento que podría variar la forma en la que se entiende la representación actual. De plasmar ideas en planos a poder transformarlas en una capa más de la realidad.

La necesidad de los arquitectos de no rezagarse en cuanto al conocimiento y aplicación de esta herramienta ha motivado la realización de este trabajo, que propone el estudio de las posibilidades de la anamorfosis como técnica para la conversión de objetos en sus propios códigos legibles por aplicaciones de realidad aumentada. Para ello, se desarrolla un estudio sobre el funcionamiento de dicha tecnología y como introducir la variante propuesta.

Palabras clave: *realidad aumentada, marker, software, imagen, experiencia.*

ABSTRACT

The graphic expression is an architectonic expression key tool. Its historic evolution, parallel to different artistic and cultural styles, is suffering a technological transformation which activates unimagined possibilities. The **augmented reality**, which is the field of study of this work, is an instrument which could be able to change the way that actual representation is understood. From depicting ideas into plans, to being able to transform them into another layer of the reality.

The need of the architects for not to lag in terms of knowledge and application of this tool has motivated to the realization of this work, which proposes the study of the possibilities of the anamorphosis as a technique for the transformation of real objects into its own legible codes for augmented reality applications. With this aim, it is developed a study about the mechanism of such technology and how to introduce the proposed idea.

Keywords: *augmented reality, marker, software, image, experience.*

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

1. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 PRESENTACIÓN.....	7
1.1.1 Breve introducción al concepto de RA.....	7
1.1.2 Realidad aumentada hoy.....	8
1.2 CÓDIGOS QR Y <i>MARKERS</i> . FUNCIONAMIENTO.	10
1.3 ESTRUCTURA DEL TRABAJO.....	12
1.3.1 Hipótesis inicial	12
1.3.2 Material empleado.....	13
1.3.3 Elección de la herramienta a utilizar	14
1.3.4 Explicación y definición de los diferentes términos utilizados.....	15
2. CAPÍTULO 2. DESARROLLO DE UNA EXPERIENCIA DE RA.	17
2.1 PRESENTACIÓN DEL <i>SOFTWARE</i>	17
2.2 CREACIÓN DE EXPERIENCIAS DE RA.....	18
2.3 DESARROLLO DEL <i>MARKER</i> ANAMÓRFICO.	22
2.3.1 Creación del archivo <i>.arpattern</i>	22
2.3.2 Obtención de la imagen para el <i>marker</i> anamórfico ...	23
2.3.3 Desarrollo de un proceso generalizado	27
2.4 PARÁMETROS PARA LA VISUALIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA....	29
3. CAPÍTULO 3. PERSPECTIVA FINAL.....	31
3.1 RESULTADOS DEL PROCESO.....	31
3.1.1 Resultados del proceso descrito.....	31
3.1.2 Resultados avanzados	33
3.1.2.1 Pruebas con diferencias cromáticas	34
3.1.2.2 Pruebas con geometrías irregulares	36
3.2 OBSERVACIONES OBTENIDAS.....	38
4. CONCLUSIONES	41
5. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	43

1. CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

1.1 PRESENTACIÓN.

En esta primera parte del trabajo haremos una presentación de lo que es y lo que significa la Realidad Aumentada (RA) en la actualidad; y de la importancia que puede llegar a alcanzar en el entorno de la arquitectura.

1.1.1 Breve introducción al concepto de Realidad aumentada.

Para introducirnos de lleno en el desarrollo de este trabajo, lo primero que debe esclarecerse es el significado del concepto de 'Realidad aumentada', así como resolver las dudas más habituales que pueden surgir con respecto a este. ¿Qué es la realidad aumentada?, ¿Es similar o diferente de la Realidad Virtual (RV)?, ¿Qué interés genera el desarrollo de este concepto?

La realidad aumentada es el concepto que introduce la dimensión virtual en el mundo que nos rodea. Es decir, se trata de la introducción de imágenes y/o modelos, interactivos o no, en nuestra propia realidad, mediante dispositivos tecnológicos como pantallas, gafas, etc. Debemos diferenciarla de la realidad virtual, en tanto que esta última es en sí misma una realidad paralela, que no interfiere con la realidad del usuario, sino que lo 'teletransporta' a otra; mientras que la realidad aumentada introduce el mundo virtual en la realidad del usuario.



Figura 1. Realidad aumentada.



Figura 2. Realidad virtual.

La parte más atractiva de este concepto de realidad aumentada es, precisamente, la inclusión del mundo real como entorno, sin necesidad de abstraernos a un mundo irreal, haciéndonos a nosotros mismos más participes en la experiencia de dicha realidad. Así lo expresó Tim Cook, director ejecutivo de Apple, para una entrevista con *ABC News* en el pasado 2016: "La realidad aumentada abarca más que la realidad virtual, probablemente con diferencia, porque nos da la posibilidad de estar presentes

y de comunicarnos, pero también de que disfrutemos de otras cosas a nivel visual” (Cook, 2016).

Para poder aunar realidad y virtualidad, la realidad aumentada se sirve de dos métodos diferentes: el reconocimiento óptico de imágenes y la geolocalización. Mediante estos dos métodos, las aplicaciones de realidad aumentada nos muestran esta dimensión virtual referida siempre a un objeto o a una imagen (que deberá poseer un código identificable por las aplicaciones), o a unas coordenadas espaciales concretas. Es en este primer método, el reconocimiento óptico de códigos, donde vamos a desarrollar nuestro trabajo.

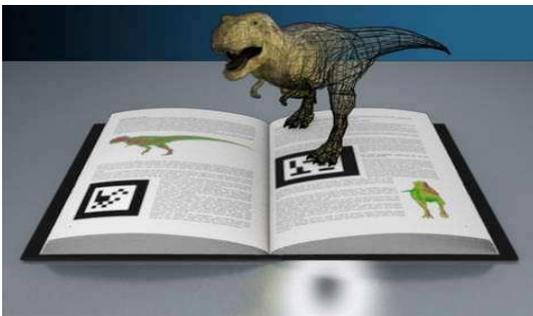


Figura 3. Experiencia de RA por reconocimiento óptico de códigos



Figura 4. Aplicación de RA por geolocalización.

1.1.2 Realidad aumentada hoy.

Según un informe publicado por *Marketsandmarkets.com* (2016), una de las mayores firmas del mundo de análisis de mercados: *“The global augmented reality market is expected to reach USD 117.40 Billion by 2022, at a CAGR of 75.72% between 2016 and 2022”*¹. Esta cifra es superior a la prevista para la realidad virtual, la cual asciende a los *“USD 33.90 Billion”* para las mismas fechas. Esto se debe a que en la actualidad el desarrollo de las aplicaciones basadas en realidad aumentada es algo palpable. Se pueden encontrar numerosos trabajos, investigaciones, artículos y tesis doctorales sobre el tema. Y no solo sobre el funcionamiento de la propia tecnología, sino del impacto que puede causar su inclusión total en ámbitos como la enseñanza, el diseño, la medicina, etc.

¹ “Se prevé que, para 2022, el mercado global de realidad aumentada alcance la cifra de 117.40 billones de dólares americanos, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 75.2% entre el año 2016 y el año 2022”.

Los proyectos con fuertes apuestas en favor del desarrollo de esta tecnología vienen de la mano de las mayores empresas tecnológicas del mercado internacional: *Google*, con su proyecto *Tango*, un proyecto que gira alrededor de una aplicación para determinados dispositivos móviles que nos permite interactuar con ciertos entornos; *Microsoft*, que cuenta con *HoloLens*, un dispositivo ocular que trabaja con Realidad Aumentada para ofrecernos una amplia gama de posibilidades; y *Apple Inc.*, que si bien no ha enseñado nada por el momento, ya ha anunciado su intención de invertir y desarrollar esta tecnología.

Es innegable que todos estos proyectos y tecnologías afectarán también a la arquitectura. En septiembre de 2009, *The Economist* publicó un artículo que concluía con una comparación interesante: *“trying to imagine how Augmented Reality will be used is like trying to forecast the future of the web in 1994”*². De hecho, las posibles aplicaciones actuales ya son considerables. Desde poder introducirla en cualquier proceso de diseño, facilitando la toma de decisiones, hasta en el modo de representar la arquitectura, convirtiéndola en una interacción directa entre el dibujo y la realidad.

Es, en este punto, donde se encuentra el objetivo de nuestro trabajo, que pretende habilitar una herramienta dentro de la Realidad Aumentada que permita el reconocimiento de objetos 3D de una manera sencilla y directa.

² “Intentar imaginar cómo se usará la Realidad aumentada es como tratar de predecir el futuro de la web en 1994”.

1.2 CÓDIGOS QR Y MARKERS. FUNCIONAMIENTO.

Actualmente la Realidad Aumentada está comenzando a ser habitual en elementos de la vida cotidiana, como pueden ser el entretenimiento, la publicidad, la educación... Estas aplicaciones tienen en común el objetivo de acercar un diseño, una idea, a sus destinatarios. Para ello, las aplicaciones de Realidad Aumentada se sirven de diferentes códigos gráficos que almacenan la información necesaria para ser traducida por las aplicaciones de reproducción de experiencias de Realidad Aumentada. Los más habituales son los códigos QR, o *Quick Response code*, y, en menor medida, los *markers*. Si bien existe, como ya se ha indicado anteriormente, la posibilidad de no utilizar dichos códigos, esta requiere de sistemas de geolocalización algo con lo que no contaremos en este trabajo, buscando una alternativa.

Los códigos QR (fig. 3), que son producto de la evolución de los tradicionales códigos de barras, se caracterizan por su estructura, que ha de ser cuadrada y disponer de tres cuadrados negros que permitan al lector identificar la posición del código. Este tipo de códigos se genera automáticamente mediante aplicaciones específicas para ello, y puede contener casi cualquier tipo de información, desde un enlace de descarga hasta experiencias de Realidad Aumentada.

Los *markers* (fig. 4) son, sin embargo, un tipo de código basado en el reconocimiento gráfico de la imagen situada en el interior de un marco negro. Esta imagen ha de ser perfectamente diferenciable y deberá seguir unas directrices que se especificarán más adelante. Estos no son más que una variable existente de los códigos QR, pero cuya imagen puede ser definida por el usuario, y no se genera de manera automática por aplicaciones específicas.



Figura 5. Código QR tipo.

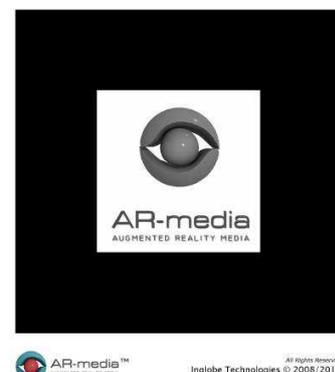


Figura 6. Marker tipo.

Para poder continuar con el desarrollo del trabajo, resulta importante especificar cómo almacena un *marker* la información de la imagen que debe reconocer la aplicación lectora. Son los *markers* el objeto de estudio de esta investigación, pues su reconocimiento gráfico es el que incita la cuestión sobre el reconocimiento de objetos en tres dimensiones. Los *markers* son, en informática, un archivo de texto que recoge información sobre la geometría y el color de una imagen concreta, de manera que permita, a *posteriori*, la comparación de dicha imagen con una real, produciendo entonces el despliegue de la información que contiene.

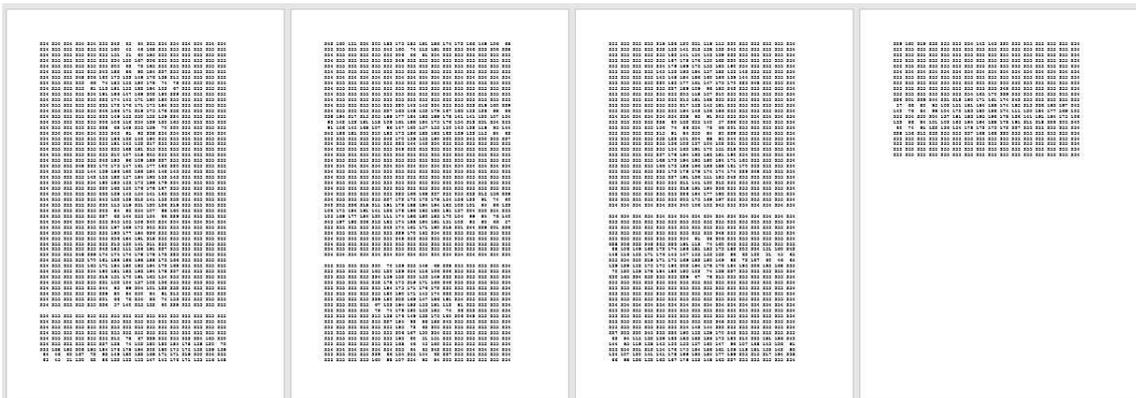


Figura 5. Vista de un *marker* abierto con un editor de texto.

Como se puede observar en la figura 5, el *marker* en sí es la transformación de una imagen a un código numérico, en este caso un código RGB³, que es legible y comparable por la aplicación de lectura con una imagen real.

³ Las siglas RGB (Red, Green and Blue) representan un sistema de códigos numéricos que representan un color resultado de la combinación de los citados colores, rojo, verde y azul, en diferentes intensidades. Estas intensidades se determinan mediante un valor para cada una de ellas, comprendido entre 0 y 255, de menor a mayor intensidad respectivamente.

1.3 ESTRUCTURA DEL TRABAJO.

Antes de profundizar en la investigación que se ha desarrollado para la redacción de este escrito, se presenta aquí la estructura del mismo, donde se podrá encontrar resumida la descripción del proceso, el objetivo e hipótesis, y los diferentes elementos utilizados durante el desarrollo de este trabajo.

1.3.1 Hipótesis y metodología.

La hipótesis principal que plantea el objetivo de este trabajo es la posibilidad de crear experiencias de Realidad Aumentada a partir de objetos reales, eliminando, en cierta manera, cualquier elemento intermedio del proceso. Dicha hipótesis parte de la posibilidad de convertir cualquier objeto tridimensional en una imagen bidimensional de sí mismo, habilitando la opción teórica de convertir el propio objeto en un *marker*⁴. Es decir, se trata de crear una experiencia de RA cuyo funcionamiento esté basado en el reconocimiento óptico de imágenes o códigos, pero no requiera de un código como tal, sino que este sea el propio elemento generador de la experiencia de RA.

Esta hipótesis está basada en el grado actual de desarrollo de la tecnología de RA, que ya apunta a hacerse una realidad común, buscando hacerse un hueco en grandes ámbitos de la vida cotidiana, como puede ser en la educación, el ocio y el trabajo en infinidad de campos laborales, así como en casi cualquier rama de la investigación científica.

Así, este trabajo se enfocará a la creación de una experiencia de RA que excluya intermediarios entre dicha experiencia y el elemento que sirve como base a esta. Para ello, debemos formarnos en el uso de la tecnología de creación de experiencias de RA, para así comprender el proceso utilizado actualmente para tal fin y poder modificarlo una vez entendido.

⁴ A lo largo del trabajo nos referiremos a este *marker* resultado de la transformación descrita como *marker* anamórfico, con el objetivo de diferenciarlo de un *marker* común.

1.3.2 Material empleado.

Una vez aclarado el objetivo de este trabajo, es importante determinar los materiales de los que se dispone para su realización. Estos son de dos tipos: físicos e informáticos (*softwares*).

Como materiales físicos se dispone de:

- Portátil *MSI GL 62 6QF* para la generación de toda la experiencia, incluyendo los modelos 3D y los dibujos 2D necesarios.
- *Smartphone Huawei P8 Lite*, con una cámara trasera de 8 MP, *flash led* y resolución de pantalla HD (720p), para la reproducción de la experiencia de RA.
- Trípode fotográfico con adaptador para *Smartphone* y nivel.
- *iPad pro de 12,9"*, con una resolución de 2.732 por 2.048 píxeles a 264 p/p, y una cámara de 8 MP y chip A9X y coprocesador M9 integrado.

Sobre los *softwares* utilizados, es preciso señalar que estos no son los únicos existentes en el mercado, y es posible la realización de una experiencia de RA mediante cualquier otro. Algo similar ocurre con los programas de modelado 3D y dibujo 2D empleados. Los utilizados son:

- *AutoCAD 2016*, para el dibujo bidimensional necesario.
- *Trimble SketchUp™*, como programa de modelado tridimensional para la experiencia de RA.
- *AR-Media™*, como *software* adicional al anterior, para la concreción de la experiencia de RA y la generación de los códigos o *markers* utilizados.
- *ARPlayer AR-Media™*, aplicación lectora de códigos QR y *markers*, que nos permitirá observar la experiencia de Realidad Aumentada desde un dispositivo móvil.
- *Rhinoceros® 5 3D*, como *software* base para la generalización del proceso anamórfico.
- *Grasshopper®*, herramienta utilizada para la definición matemática y gráfica del proceso anamórfico.

Cabe destacar que el último programa mencionado, *AR-Media™*, no es en sí mismo un *software* completo, sino que se trata de una herramienta *plug-in*, la cual está disponible para otros programas además de *SketchUp™*, como *3ds MAX®*, *Maya®*, *Cinema 4D*, *Vectorworks* y *Scia Engineer*. Esto quiere decir que se trata de un programa que únicamente podremos utilizar a partir de otro programa base de los anteriormente mencionados.

1.3.3 Elección de la herramienta a utilizar.

Si bien es cierto que existen numerosos *softwares* diferentes para la creación de una experiencia de RA, los procesos que siguen son todos similares, con diferencias únicamente en las firmas de cada uno de ellos, por lo que con el aprendizaje obtenido a través de uno de los *softwares* seremos capaces de extrapolar dicho proceso a cualquier otro. Sin embargo, dichas herramientas suelen disponer cada una de su propia aplicación lectora determinada. Por lo que la elección de uno de los dos *softwares* condiciona el otro.

En este punto, cabe destacar las razones por la que se ha elegido el software *AR-Media™*. Dicho programa nos habilita a la concreción de nuestro objetivo, pues dispone de todas las herramientas necesarias tanto para la creación de la experiencia de RA, como para la creación de *markers* personalizados, siempre que se mantengan ciertas condiciones, que se explicarán más adelante.

No obstante, es destacable la existencia de otras investigaciones con objetivos similares, como la tecnología utilizada en el proyecto *HideOut: Mobile projection interaction with Tangible Objects and Surfaces*. Este proyecto de investigación, desarrollado por un compendio de empresas entre los que se encuentran *Disney®*, *Microsoft®* y el *Computational Design Lab, at Carniage Mellon University*, supone también la eliminación del código mediante el uso de tinta invisible al ojo humano, detectada mediante lectores específicos.

Otras aplicaciones, como *Augmented*, permiten el reconocimiento de imágenes sin necesidad de un *marker* como tal. En cambio, para la realización de esto, son necesarias ciertas condiciones restrictivas que entorpecen más el resultado concreto de la transformación de un objeto en su propia imagen, pues requieren que la imagen, con

bordes bien definidos y contrastados y un logo o marca detectable por el propio programa.

1.3.4 Explicación y definición de diferentes términos utilizados.

Durante el desarrollo de este trabajo utilizaremos una serie de términos que ya sea por su característica de voz inglesa o bien por su posible adaptación a las necesidades lingüísticas del contexto, consideramos necesario plasmar aquí su significado

- **Marker:** Denominación que se aplica al marco de color negro que rodea a cualquier código utilizado en las experiencias de RA. Se utiliza tanto para los más usuales códigos QR, como para los códigos formados por imágenes, que serán los más concurridos en este escrito.
- **Anamórfico:** Según la RAE (2017): “Dicho de un sistema óptico: Que utiliza deformaciones o distorsiones de la imagen”. Término que utilizaremos para aludir a la técnica gráfica que emplearemos para realizar la rectificación de los objetos 3D.
- **Software:** Según la RAE (2017): “Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora”. Referido de manera genérica a los distintos programas que nos serán de utilidad durante esta investigación.
- **Plug-in:** Vocablo del inglés empleado para designar una parte de *software* concreto que no forma por sí mismo un programa de ordenador como tal.
- **Hardware:** Según la RAE (2017): “Equipo (o conjunto de aparatos de una computadora)”. Servirá para referirnos de una manera general a los diferentes dispositivos que formarán parte del equipo de desarrollo.
- **Smartphone:** Del inglés, término del inglés identificativo de dispositivos móviles utilizados como ordenadores con la capacidad de conectarse a internet.
- **Experiencia de realidad aumentada:** Expresión que emplearemos a lo largo de toda la redacción de este estudio para reflejar el hecho o situación en la que ocurre que un usuario puede interactuar de alguna manera con la realidad aumentada.

2. CAPÍTULO 2. DESARROLLO DE UNA EXPERIENCIA DE RA.

En este capítulo se tratará de explicar todo lo referente al apartado técnico, que servirá de guía para la creación de cualquier experiencia de RA, y se representarán las técnicas necesarias para la creación de nuestro *marker anamórfico*. Se trata, por tanto, del apartado teórico de nuestro trabajo, que establece los fundamentos teóricos de nuestra hipótesis, haciendo posible *a posteriori* su comprobación y el análisis pertinente de los resultados obtenidos.

2.1 PRESENTACIÓN DEL SOFTWARE.

Como ya se ha indicado anteriormente, el *software* que se utilizará para la investigación será el *plug-in* de *Sketch-Up™*, *AR-Media™*. Dicha aplicación está disponible en la página web de sus productores, www.inglobetechnologies.com, y facilita de una versión gratuita, pero que requiere de una licencia personal para poder activarlo, de manera que es necesario el registro con los datos personales para poder acceder a ella. Esta versión permite un acceso total al programa, con la aceptación de unas condiciones de uso específicas además de la imposición de una marca de agua de la propia compañía. Una vez instalado dicho *software*, para lo cual es necesario contar con *Sketch-Up™* en el equipo a utilizar, se procederá a la inicialización de una aplicación secundaria que viene con dicho programa, el *ARPlugin License Manager* (fig. 7), que nos permitirá acceder con los datos del registro anteriormente mencionado y activar la licencia, en este caso gratuita, para el uso del programa.

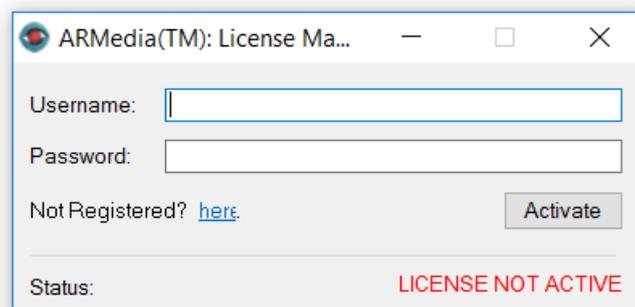


Figura 7. ARMedia License Manager.

2.2 CREACIÓN DE EXPERIENCIAS DE REALIDAD AUMENTADA.

Para establecer la relación entre el objeto que queremos mostrar en la experiencia de realidad aumentada, objeto que debemos diseñar nosotros, y el *marker* que nos remitirá a dicha experiencia debemos seguir unas instrucciones básicas a lo largo del uso del *software* AR-Media™. Estas indicaciones nos permitirán *a posteriori* establecer cualquier relación con nuestro *marker* anamórfico.

Debemos recordar que dicho programa es en sí mismo una herramienta para otros *softwares* de desarrollo 3D, es decir, un *plug-in*, por lo que para acceder a él debemos realizarlo desde el programa que usemos para la modelación. En este caso, usando el *software* Trimble SketchUp, nos encontraremos dos barras de herramientas (fig. 8), las cuales nos darán acceso a todas las opciones de creación que AR-Media™ habilita.

Con la intención de realizar un primer acercamiento al programa, nos ceñiremos a las opciones básicas de vinculación del *marker* al objeto o imagen que queremos mostrar, puesto que el programa cuenta con multitud de variaciones a la hora de generar visualizaciones, incluyendo banda sonora, animaciones y otros, a la experiencia de realidad aumentada. Para ello accedemos a la interfaz principal del programa (fig. 9), desde la cual podremos seleccionar cualquiera de los *markers* predeterminados.



Figura 8. Barra de herramientas AR-Media™.

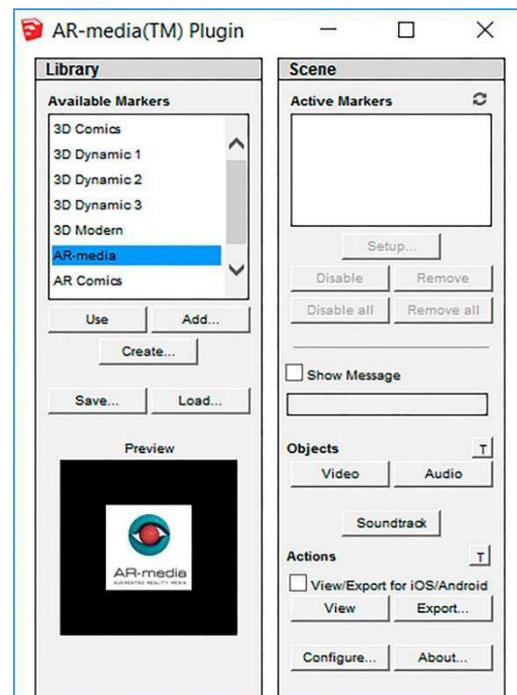


Figura 9. Interfaz principal AR-Media™.

Con el *marker* ya seleccionado (fig. 10) procedemos a configurarlo de la manera que consideremos conveniente según la experiencia de realidad aumentada que queramos generar. Es decir, debemos establecer las preferencias y vincular los objetos a dicho *marker* mediante el menú correspondiente (fig. 11).

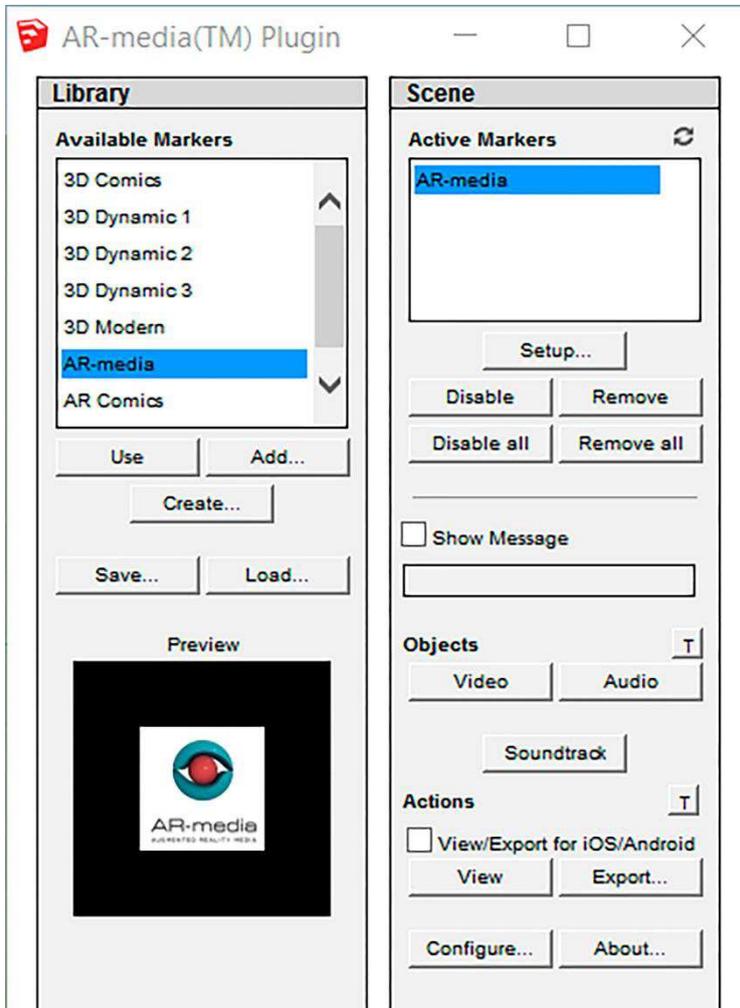


Figura 10. Selección del marker elegido.

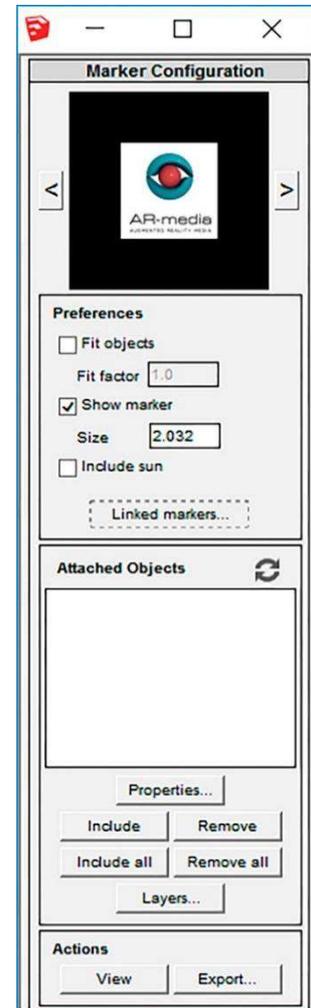


Figura 11. Panel de configuración del marker.

Una vez implementado el *marker* correspondiente, este nos aparecerá en el espacio de trabajo del *software* de dibujo 3D y, simplemente, debemos situar el objeto sobre el *marker* o en la posición en la que deseemos que aparezca al realizar la experiencia de realidad aumentada.

Será esta misma interfaz la que utilizaremos a la hora de vincular nuestro *marker* anamórfico, el cual implementaremos a la lista de *markers* predeterminados media la opción "Add...", de manera que lo añadirá a la lista para su funcionamiento al igual que los demás.

En la pantalla debería aparecer una imagen similar a la de la figura 12, la cual nos muestra la interfaz del software base (*SketchUp*) junto a la de nuestro *plug-in* de *AR-Media™*. Debemos comprobar ahora que el objeto que queremos vincular aparezca en el menú de la configuración del *marker* “*Attached objects*”.

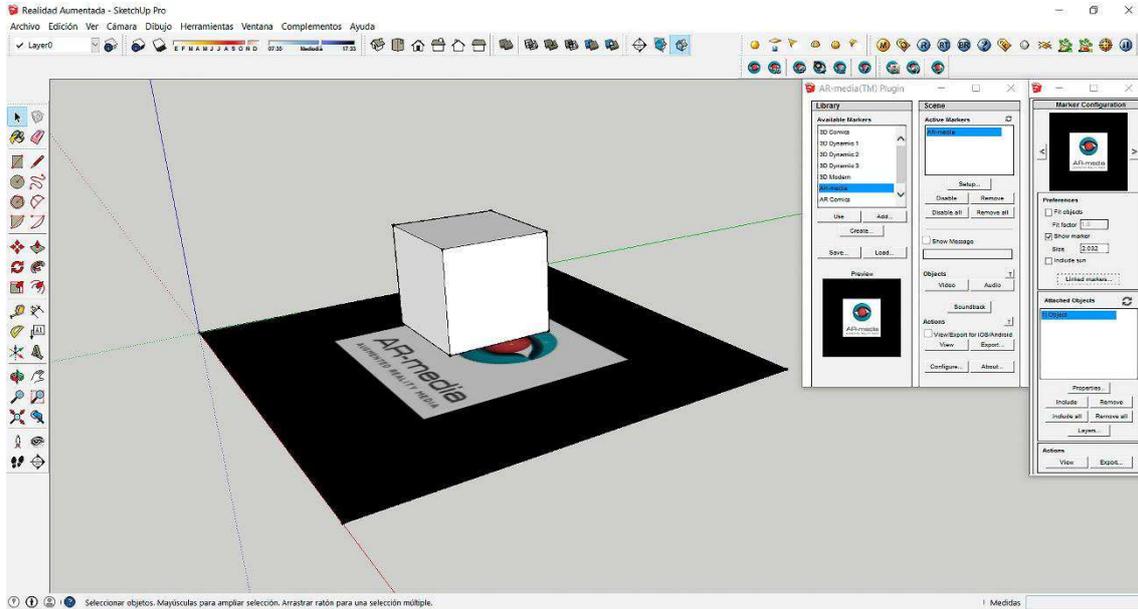


Figura 12. Interfaz de ambos softwares.

Únicamente debemos ahora concretar este proceso en un archivo leíble por el visualizador de experiencias de realidad aumentada, en este caso otro software de la mano de *AR-Media™*, *AR-Media™ Player*, el cual está disponible para diferentes *SO*: *Windows*, *Android*, *IOS* y *Mac*. Volviendo a la interfaz principal de nuestro *plug-in* encontraremos el menú para realizar la exportación de nuestro trabajo (fig. 13) en un archivo *.armedia*.

Al marcar la casilla señalada, puesto que nuestra intención es reproducir dicha experiencia a través de la cámara de un *smartphone*, y presionar el botón de “*Export...*” se nos abrirá una nueva ventana (fig. 14), en la cual podremos firmar el trabajo realizado y otorgarle una pequeña descripción, aparte de vincularlo a una página web con más información.

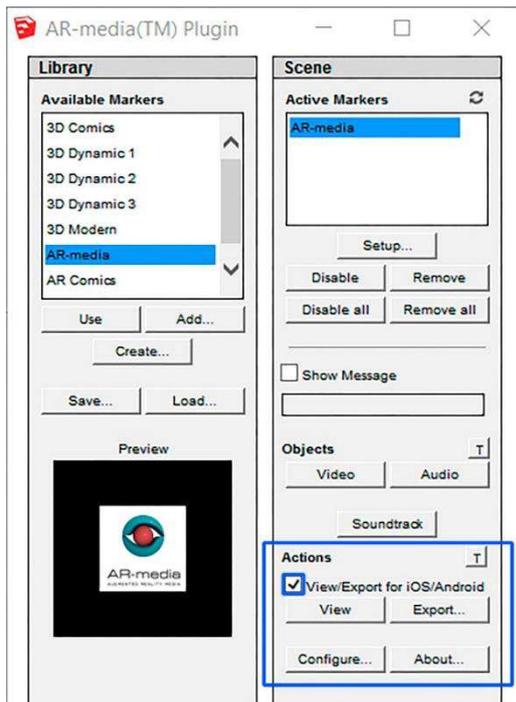


Figura 13. Menú para exportación del archivo.

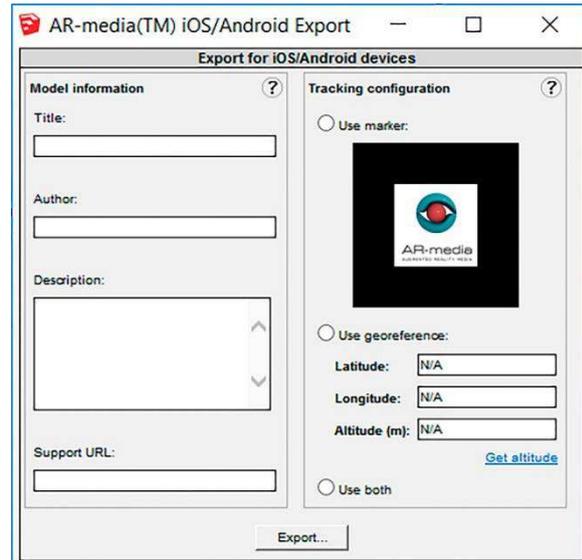


Figura 14. Ventana de exportación.

Habremos creado entonces un archivo cuya visualización mediante el software apropiado nos permitirá observar dicha experiencia de realidad aumentada.

Seguir estas instrucciones nos permitirá vincular cualquier *marker*, sea este de la tipología morfológica que sea, a cualquier objeto que así nosotros queramos.

2.3 DESARROLLO DEL MARKER ANAMÓRFICO.

Para la creación del *marker* anamórfico dividiremos el proceso en dos partes. En una de ellas explicaremos el proceso a completar con el *software AR-Media™*, y la otra determinará todo el proceso geométrico-gráfico realizado para la obtención de la imagen que formará el *marker* anamórfico.

2.3.1 Creación del archivo *.arpattern*.

Comenzaremos por la parte final, la concreción del *marker* en un archivo *.arpattern*, para continuar con la explicación del uso del software anterior, *AR-Media™*.

Este software posee también, como ya hemos mencionado anteriormente, la posibilidad de añadir nuestros propios *markers* personalizados, lo cual nos facilita la realización de este trabajo mediante la posibilidad de crear un *marker* anamórfico de un objeto en 3D, que, en otras palabras, vendría a ser la imagen de dicho objeto 3D proyectada sobre el dispositivo receptor, en este caso un *smartphone*. Dicha imagen deberá cumplir con unos requisitos para poder ser utilizada como *marker*:

- Deberá estar en uno de los siguientes formatos digitales: .jpg, .jpeg, .bmp, .tga, .png, .tif, o .tiff. En todos ellos el modelo de color será RGB.
- El tamaño de dicha imagen utilizada para su transformación en *marker* no podrá exceder 1024x1024 píxeles.
- La imagen deberá ser un cuadrado perfecto y, además, poseerá un borde negro de 5 píxeles de grosor.

Entonces, una vez realizada la imagen, la cual explicaremos en el siguiente punto, y cumplidos dichos requisitos, pasaremos a la generación del archivo *.arpattern* anteriormente indicado. Lo haremos mediante la función del *AR-Media™ Marker Generator* (fig. 15), el cual estará instalado en nuestro ordenador y podremos acceder desde el menú Inicio (en *Windows*) o desde la interfaz principal del *plug-in AR-Media™*.

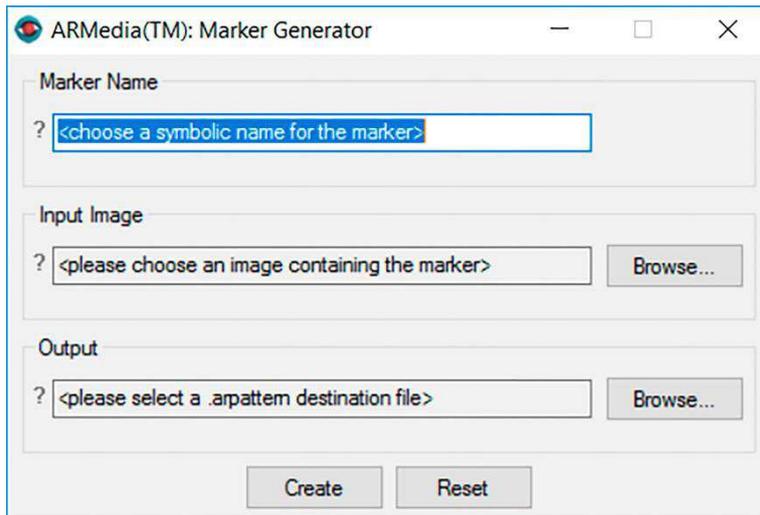


Figura 15. Interfaz AR-Media™ Marker Generator.

Una vez en el menú de dicha función, simplemente debemos completar los tres campos que aparece, con el nombre de nuestro *marker*, la imagen que tenemos creada y la carpeta de destino donde queremos que aparezca el archivo *.arpattern*.

2.3.2 Obtención de la imagen para el *marker* anamórfico.

Una vez explicado todo el proceso a realizar con el *software*, es necesario pasar al desarrollo de los componentes de nuestro *marker* anamórfico básico.

Dado que únicamente pretendemos esclarecer el camino para facilitar la creación de cualquier tipo de *marker*, sea este de la tipología morfológica que sea, desarrollaremos el *marker* anamórfico de un sencillo cubo. Así, demostraremos la posibilidad de transformar un objeto 3D a un lenguaje inteligible por el *software* de lectura de los *markers*, el *AR-Media™ Player*.

Para ello nos apoyaremos en las técnicas que nos ofrece la geometría descriptiva referentes al diseño y cálculo de una imagen bidimensional de nuestro cubo desde un punto de vista que simule el del espectador; recordando que, dicha imagen, debe cumplir con los requisitos específicos impuestos por el *software*. Estos son la necesidad de ser un cuadrado perfecto, y la imposición de un marco negro a la imagen general.

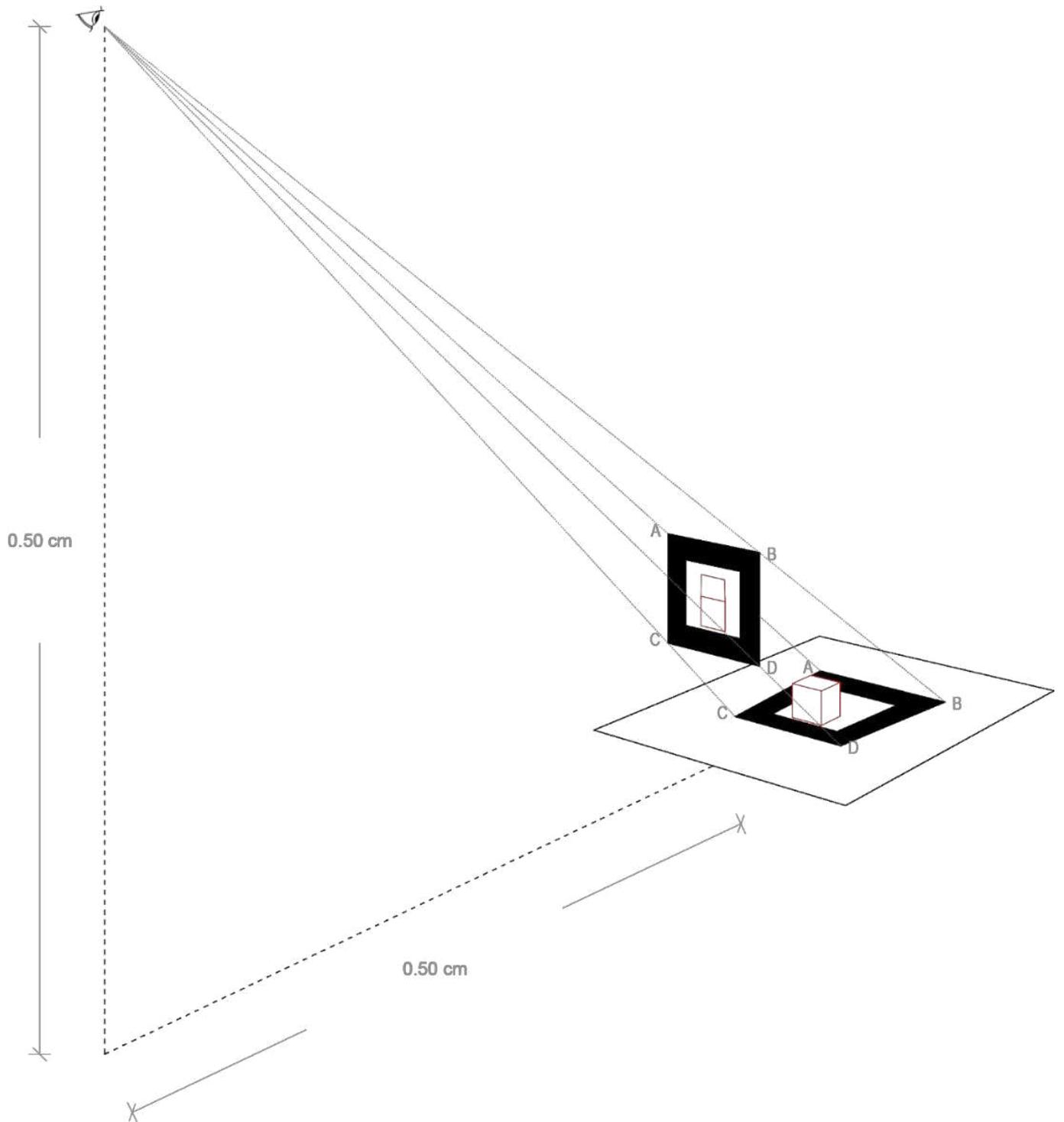


Figura 16. Resumen del proceso gráfico de obtención de la imagen requerida.

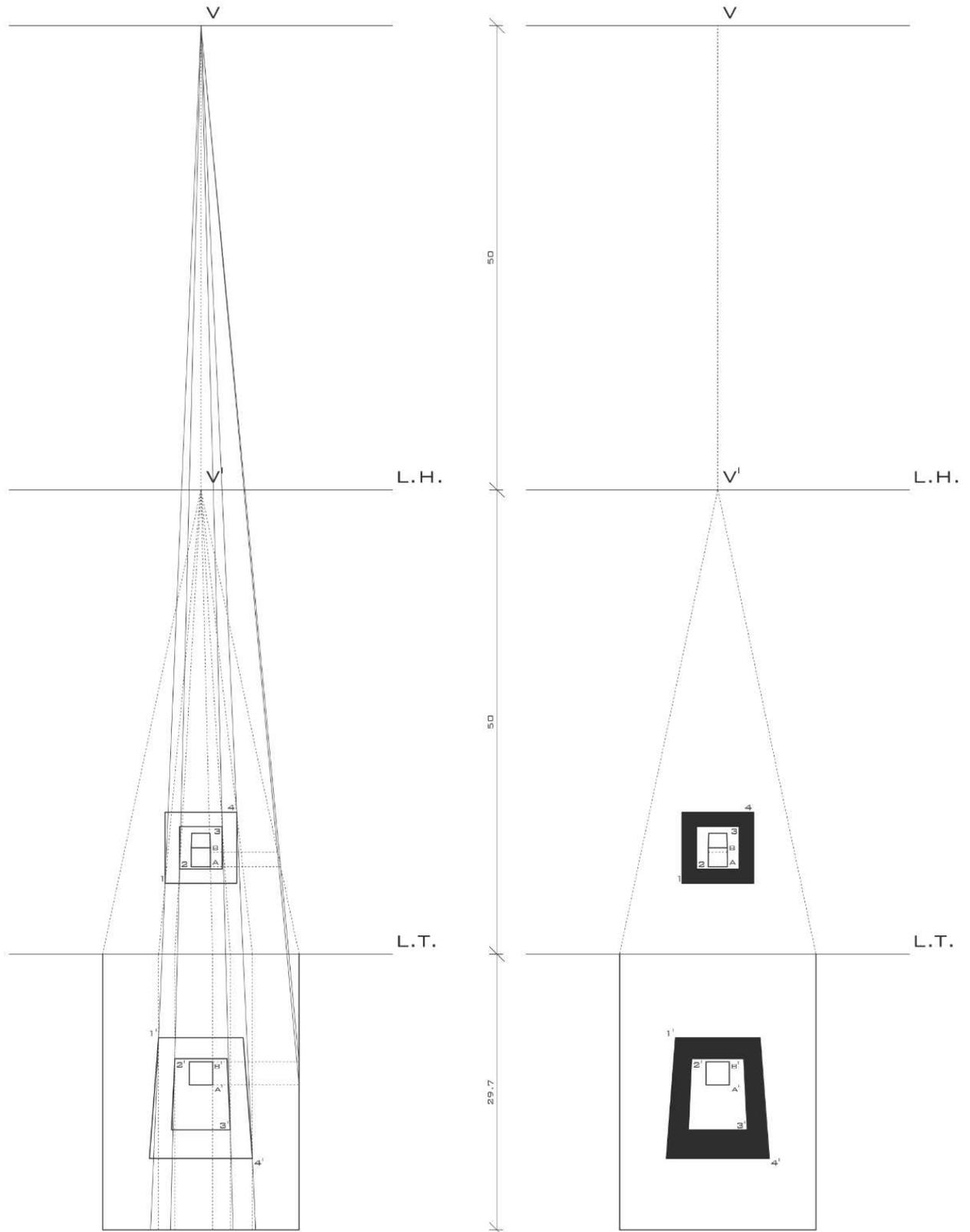


Figura 17. Desarrollo manual y resultado del proceso anamórfico.

Para realizar dicho proceso tomaremos diferentes puntos de referencia, estableciendo así una distancia del observador de 50 cm. y una altura de otros 50 cm. en el plano perpendicular a la mitad del cubo del que queremos realizar la imagen. Posteriormente realizaremos la proyección de dicho cubo sobre el plano horizontal, para obtener su imagen abatida, y sobre esta pasaremos a concretar las diferentes especificaciones solicitadas por el programa para convertir dicha imagen en un *marker* válido. Así, la primera imagen que obtendremos de la proyección de nuestro cubo y las normas para su uso será la mostrada en la figura 18, mientras que la imagen real será la de la figura 19.

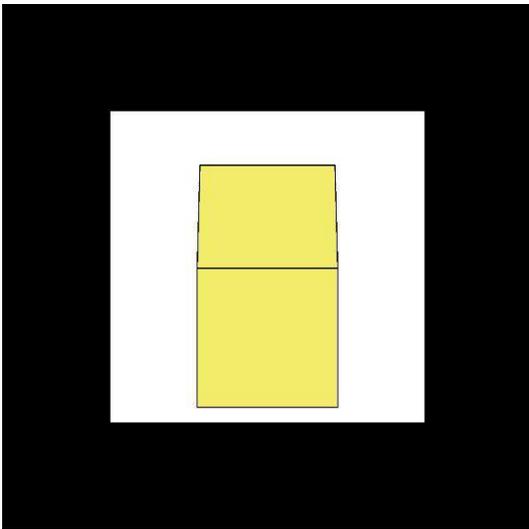


Figura 18. Imagen proyectada de nuestro cubo y su marco.

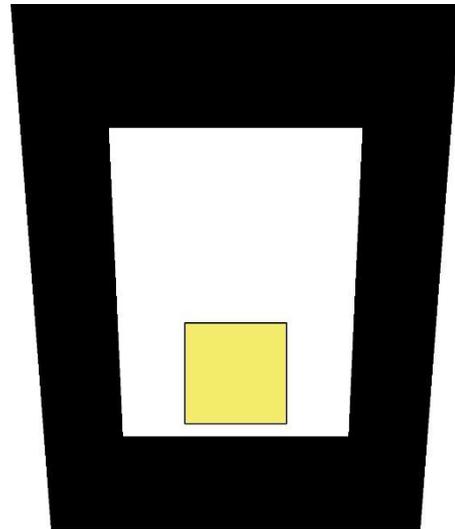


Figura 19. Imagen del cubo real en planta.

Como podemos comprobar fácilmente con estas dos imágenes, el resultado es inverso al proceso habitual de percepción de los objetos, puesto que aquí buscamos la forma perfecta (el cuadrado del *marker* en este caso) en la proyección y no en el objeto en sí mismo.

Finalizado todo este proceso, procedemos a convertir esta imagen en un archivo *.arpattern* e introducir todos los datos en el dispositivo utilizado para la experiencia de realidad aumentada. Habremos concluido entonces con todas las fases de desarrollo de nuestro *marker* y únicamente quedará comprobar el correcto funcionamiento de esta.

2.3.3 Desarrollo de un proceso generalizado.

Tras el estudio manual para la obtención del *marker*, surge la idea de extrapolar el proceso gráfico a un método matemático simplificado que nos permita obtener de forma casi automática la imagen proyectada de cualquier geometría. Para ello, nos serviremos de la programación gráfica que nos facilita el *software Rhinoceros® 3D*, mediante su *plug-in Grasshopper®*, estableciendo así un algoritmo gráfico que resuma el proceso anamórfico realizado anteriormente.

En este caso, la geometría que nos atañe sería la conformada por el marco rectangular necesario para la creación del *marker*, tratando de obtener mediante un proceso matemático cualquier de las proyecciones que dicha geometría puede producir. Debemos situar entonces la definición matemática del punto de vista, de coordenadas (x, y, z) , y vincularlo a dicha geometría, proyectando así la forma resultante (fig. 20).

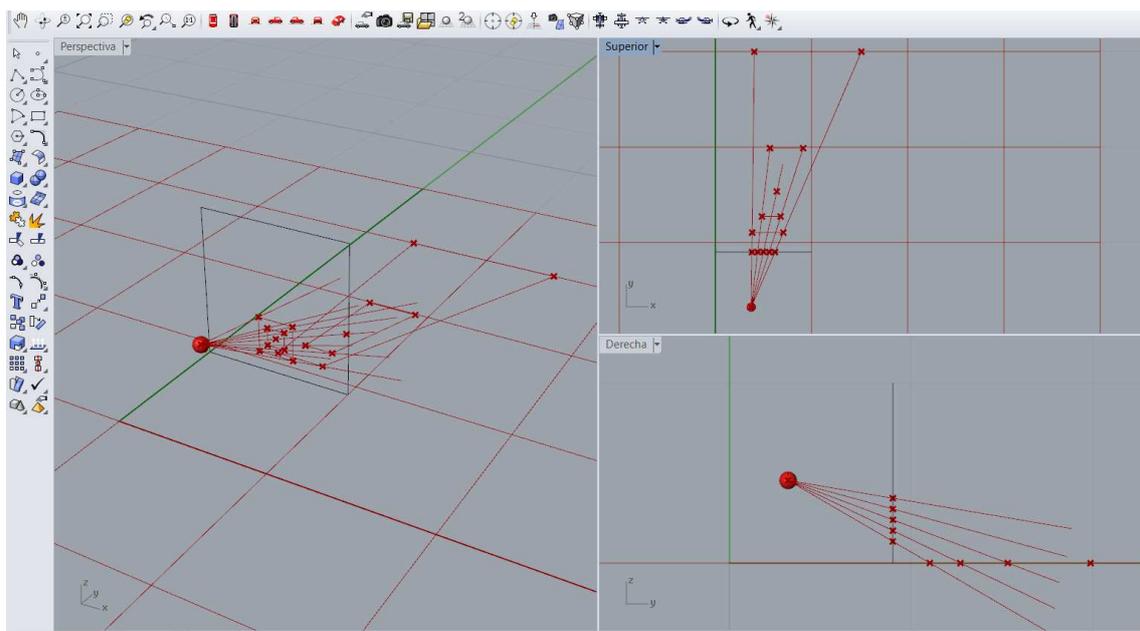


Figura 20. Representación gráfica del punto de vista y las geometrías (original y proyectada).

Este dibujo (fig. 20) es el resultante de aplicar la definición matemática obtenida a través de las herramientas de programación gráfica, que se obtiene a través de *Grasshopper®*, y que tiene la siguiente composición (fig. 21).

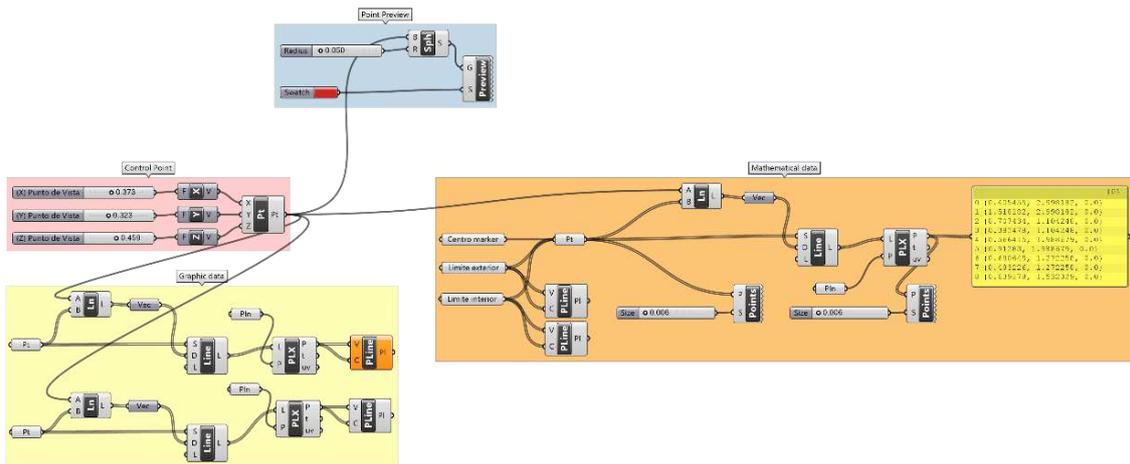


Figura 21. Definición matemática gráfica del proceso anamórfico.

Como se puede observar, mediante la modificación de los parámetros del punto de vista de la fórmula (situados en el comando *Control Point*), podemos obtener la proyección de la geometría necesaria para el *marker* (o cualquier otra). Este proceso, además de producir en el *software* de CAD dicha proyección, nos otorga los datos matemáticos de cada uno de los puntos de la geometría resultante. La eficacia con la que esta definición resuelve la proyección o rectificación de las geometrías, confiere mucha más agilidad a un posible proceso de producción de los diferentes *markers* necesarios para las experiencias de Realidad Aumentada.

2.4 PARÁMETROS PARA LA VISUALIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA.

A la hora de realizar la visualización de la experiencia de Realidad Aumentada, es necesario utilizar una aplicación que nos servirá como lector de *markers* y códigos. El *software* utilizado en este caso es el propio lector de *AR-Media™*, *ARPlayer*. Se trata de una aplicación para dispositivos móviles y *tablets*.

Si bien el uso de esta aplicación es bastante intuitivo, consistiendo en seleccionar el tipo de lector que se quiere utilizar y la experiencia de Realidad Aumentada a reproducir, dispone de ciertos parámetros una vez dentro que conviene explicar y detallar antes, pues su configuración afecta de manera directa a la reproducción de la experiencia.

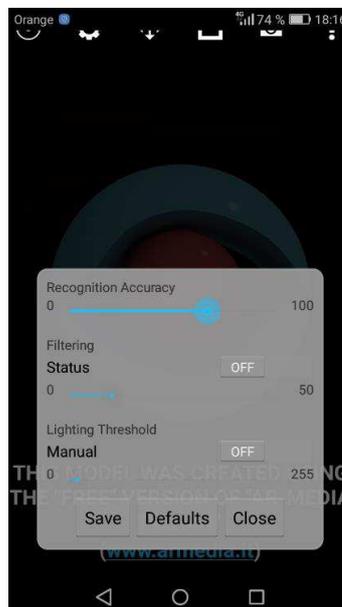


Figura 22. Interfaz de usuario del lector de markers dentro de ARPlayer.

Como podemos observar en la figura 22, aparecen tres parámetros diferentes configurables:

- **Recognition accuracy**, determina la precisión con la que dicho *software* tratará de reconocer el modelo real. Es decir, dependiendo del valor que introduzcamos en este parámetro, el programa tratará de buscar una imagen más o menos parecida a la introducida como *marker*.
- **Filtering**, cuyo valor filtra el nivel de ruido y suavizado de las imágenes.
- **Lighting Threshold**, establece un umbral de posibles variaciones en la iluminación de la imagen.

3. CAPÍTULO 3. PERSPECTIVA FINAL.

3.1 RESULTADOS DEL PROCESO.

3.1.1 Resultado del proceso descrito.

Procedemos ahora a comprobar el correcto funcionamiento de nuestro *marker* anamórfico, y si, en efecto, es posible convertir cualquier objeto en un *marker* en sí mismo. En este caso, se han vinculado a nuestro *marker* anamórfico básico un modelo 3D de dos esculturas *Jorge de Oteiza*, dos *Cajas metafísicas*.

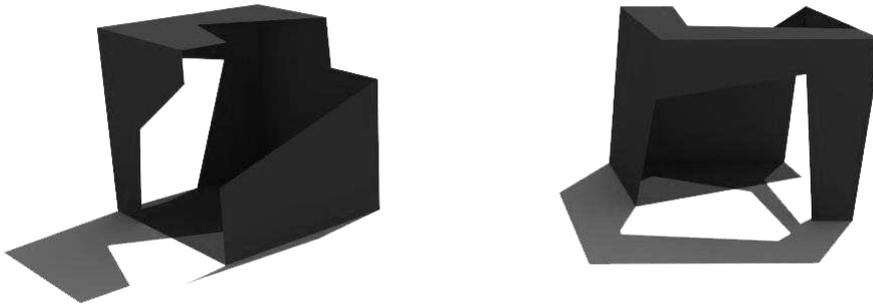


Figura 23. Modelo 3D utilizado para la generación de la experiencia de realidad aumentada.



Figura 24. Vista general de la experiencia de realidad aumentada.

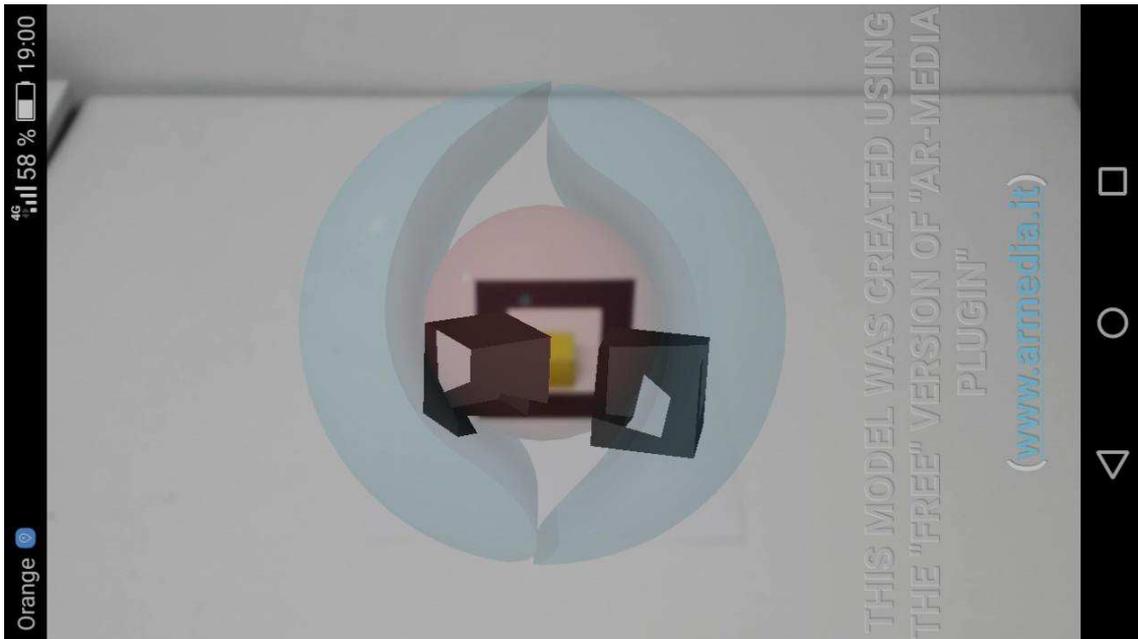


Figura 25. Captura de pantalla desde el dispositivo móvil.

Se puede observar claramente ahora el proceso realizado a lo largo de todos los pasos anteriores, siendo obvia la diferencia entre la forma del objeto físico (Fig. 25) y la percepción del mismo por el dispositivo (Fig. 26).

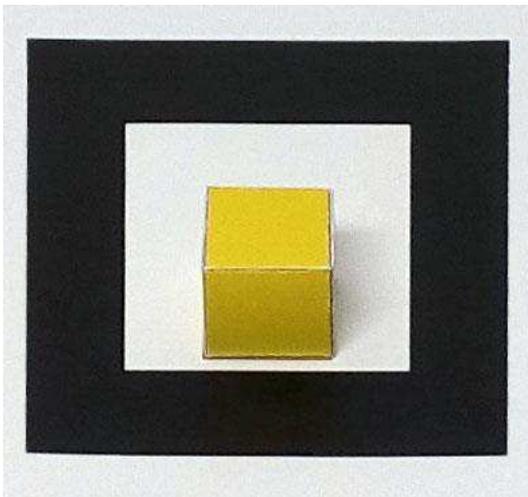


Figura 26. Imagen percibida por el dispositivo.

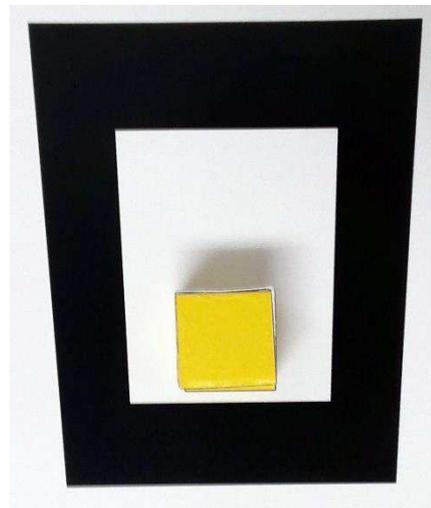


Figura 27. Imagen real en planta del marker.

Cabe destacar que dicha experiencia puede ser manipulada, es decir, cuenta con posibilidad de *zoom*, giro, etc. Las posibilidades de manipulación aumentan en gran medida si se utilizase la aplicación lectora para ordenadores, pero no es lo que nos atañe en este trabajo.

3.1.2 Resultados avanzados.

El resultado antes obtenido es, si bien satisfactorio, insuficiente. Una vez comprobado el resultado positivo de la hipótesis inicial y, por tanto, determinado posible la creación de un código o imagen legible por un programa de Realidad Aumentada a partir de objetos reales, siempre con las consideraciones oportunas, es hora de realizar diferentes pruebas para tratar de medir el alcance de dicha herramienta. Surgen diferentes preguntas con respecto a las posibilidades de reconocimiento del *software*, pues si bien es conocido su funcionamiento, anteriormente explicado, queda abierta la comprobación de sus limitaciones con respecto al reconocimiento de objetos en tres dimensiones.

Es por esto que, para dichas preguntas, surgen las respuestas de la puesta en práctica. Estas cuestiones, principalmente referidas a las características físicas del objeto, buscan comprobar la incidencia de la geometría y el color de los objetos en referencia a la infalibilidad de reconocimiento de las imágenes que constituirán.

Así, se establece ahora una nueva metodología de trabajo, que pretende ser la base para las diferentes pruebas que se llevarán a cabo. Dicha metodología consiste en una serie de normas que serán constantes a la hora de realizar las pruebas:

- Uso del mismo dispositivo a lo largo de la realización de cada prueba.
- Realización de cada prueba bajo unas condiciones de luz similares, tratando de no alterar los resultados obtenidos por la misma.
- Uso de los mismos parámetros de la aplicación de *AR-Media™*, estableciendo los parámetros de la aplicación antes de iniciar cada prueba.

Se establece así que para las dos pruebas se contara con:

- Una habitación sin iluminación natural, bajo cuatro luminarias tipo fluorescente blanco neutro de 2x36 W, para evitar las posibles distorsiones de los diferentes colores debido a diferentes iluminaciones.
- El dispositivo *Smartphone Huawei P8 Lite*.

Con estas directrices generales, y otras impuestas individualmente en cada prueba, se llevarán a cabo dos pruebas que tratarán de comprobar los límites de la praxis de toda la investigación anterior:

3.1.2.1 Prueba de diferencias cromáticas.

La primera comprobación mostrará objetos cuya geometría sea idéntica, pero varíen en cuanto a su carácter cromático. El *marker* utilizado deberá reconocer únicamente el objeto cuyo color coincida con el introducido en el propio *marker*. En este caso, el color original será el amarillo, con un valor en la escala *RGB* de 231, 226 y 23, respectivamente. Se debe establecer entonces el grado de diferencia entre dichos tonos: mismo tono de color, color análogo y color de la tríada del tono original, por lo que los colores utilizados en la comprobación serán: otro tono de amarillo (240, 236, 113), verde (color análogo de valor 143, 181 y 60) y rojo (tono perteneciente a la tríada cromática, de valor 193, 55 y 52).

El parámetro "*Recognition Accuracy*" se ha establecido en un valor entorno al 85%, pues los cálculos para su reconocimiento son demasiado precisos para llevarse a cabo sin un equipo más especializado. Como elementos físicos utilizados para la prueba, se ha dispuesto de 4 cubos morfológicamente idénticos, y cuyos colores ya han sido determinados anteriormente.

Los resultados obtenidos son los siguientes:



Figura 28. Identificación positiva. Mismo color.

- **Prueba con objeto del mismo color.**
La Identificación es positiva por parte del lector de *markers*. El software muestra correctamente la experiencia de Realidad Aumentada vinculada a dicho objeto.



Figura 29. Identificación negativa. Tono rojo.

- **Prueba con objeto de tono rojo.**

La identificación del objeto como *marker* es negativa. El *software* no responde ante dicho objeto con la configuración y parámetros antes definidos. En este caso, reduciendo el parámetro de “*Recognition Accuracy*” a un valor inferior al 40% podemos observar cómo se produce una identificación con errores o intermitencia en la reproducción de la experiencia.



Figura 30. Identificación negativa. Tono verde.

- **Prueba con objeto de tono verde.**

En este caso se ha obtenido un resultado similar al obtenido en la prueba anterior, con la variación en el valor del parámetro, que ya produce una identificación con errores a partir del 50-55%.



Figura 31. Identificación negativa. Tono amarillo similar.

- **Prueba con objeto de tono similar.**

La identificación en este caso es también negativa, con la peculiaridad de que se produce una identificación positiva y estable al reducir el valor de dicho parámetro a valores del 70-75%.

3.2.1.2 Prueba de geometrías irregulares.

La siguiente comprobación determinará si objetos con geometría menos regular son igualmente reconocibles. Para ello, no existirá la necesidad de rectificación del objeto en sí mismo, sino que será posible tomarle una foto desde la posición exacta en la que va a ser observado para la experiencia de Realidad Aumentada, y tratar dicha imagen para convertirla en un *marker*, añadiéndole el correspondiente marco negro rectangular que sí debe ser sometido al proceso anamórfico correspondiente.

El parámetro "*Recognition Accuracy*" se ha establecido en un valor entorno al 75%, pues los cálculos para su reconocimiento son demasiado precisos para llevarse a cabo sin un equipo más especializado. Como elementos físicos utilizados para la prueba, se ha dispuesto un muñeco de plástico.

Para poder determinar la garantía del reconocimiento del objeto utilizado, se ha probado a introducir diferentes elementos en la escena, además del propio muñeco. También se ha tratado de sustituirlo con objetos cuyas características cromáticas sean similares.

Los resultados obtenidos son los siguientes:



Figura 32. Identificación positiva. Objeto original.

- Prueba con el objeto original.

La identificación es positiva por parte del lector de *markers*. El *software* muestra correctamente la experiencia de Realidad Aumentada vinculada a dicho objeto.



Figura 31. Identificación negativa. Añadido de objeto singular.

- **Prueba con añadido de objeto singular.**

La distorsión de la escena percibida no es entendida por el software como el *marker* asignado, por lo que la identificación es negativa. La reducción considerable del parámetro "*Recognition Accuracy*" hasta valores inferiores al 25-30% comienza a producir variedad de resultados debidos a la escasa precisión asignada.



Figura 33. Identificación negativa. Añadido de grupo de objetos.

- **Prueba con añadido de grupo de objetos.**

La identificación es negativa. El resultado en este caso es idéntico al caso anterior.



Figura 34. Identificación negativa. Sustitución por objetos cromáticamente similares.

- **Prueba con sustitución por objetos cromáticamente similares.**

La identificación es negativa. El resultado en este caso es similar a los dos casos anteriores.

3.2 OBSERVACIONES OBTENIDAS.

A lo largo de la realización de todas las pruebas anteriores surgen diferentes observaciones que afectan de una manera directa a la interacción entre el objeto real y su reconocimiento por parte de la aplicación *AR-Media™*. Parece interesante describirlas, tratando de reflejar toda la información posible referente a la posible aplicación de la técnica anteriormente desarrollada, para así garantizar su funcionamiento en caso de su reproducción.

Para empezar, cabe destacar el papel que juega el término "*Recognition Accuracy*", ya mencionado durante el desarrollo de las dos pruebas avanzadas. Dicho factor es el que más parece condicionar la respuesta del *software*. La alteración de este término hacia valores inferiores al 50% puede conllevar el mal funcionamiento de la aplicación, reconociendo objetos que no deberían ser reconocidos. También se ha de destacar que la aplicación de valores demasiado altos en este factor también puede conducir a la disfunción del reconocimiento, pues la imagen introducida y creada por ordenador (el *marker*) está concebida mediante cálculos exactos, mientras que la precisión humana, a parte de los factores ambientales (iluminación, distorsión del color si se usa la escala RGB al aplicarlo a la realidad, etc.), son factores cuyo control requieren de un equipo más adecuado.

Continuando con la posibilidad de interrumpir el reconocimiento de los objetos, se ha observado durante el desarrollo de las pruebas que, si un objeto se superpone en alguna parte del perímetro exterior de la geometría que conforma el marco rectangular del *marker*, este interrumpe el reconocimiento del objeto y, por tanto, no permite la visualización de la experiencia de Realidad Aumentada (fig. 36). Sin embargo, sí es posible el reconocimiento de un objeto parcialmente en superposición sobre el marco rectangular del *marker* (fig. 37), siempre que dicha superposición no alcance el perímetro exterior, puesto que, como ya se ha indicado anteriormente, el marco negro en el *marker* ha de poseer un grosor mínimo de cinco píxeles. Se debe mencionar en este punto, que dicha limitación en píxeles no tiene una comparación directa en centímetros, puesto que trabajamos con un marco totalmente deformado, de manera que la perspectiva del marco será la que indique la medida mínima en centímetros del marco. Dicha medida, por acciones de la transfiguración del propio marco cuadrado al

real, varía en todos sus bordes. Además, hay que tener en cuenta no solo la propia transformación física, sino también la capacidad de definición del dispositivo lector, junto a la distancia con la que se sitúa el mismo, pues esto son factores que alteran también dicha medida a la hora de transformarla en real.



Figura 36. Interrupción del perímetro exterior.



Figura 37. Superposición al marco rectangular. Delimitación teórica del borde real.



Figura 38. Marker con grosor de marco mínimo.

Cabe destacar ahora que, para el reconocimiento del objeto que se ha utilizado en las pruebas, el grosor del *marker* ha podido reducirse hasta valores del 80% manteniendo un reconocimiento estable. Para una distancia de 50 centímetros en horizontal, y equivalente en vertical, implica un marco negro cuyo borde más grueso mide 1,1 centímetros.

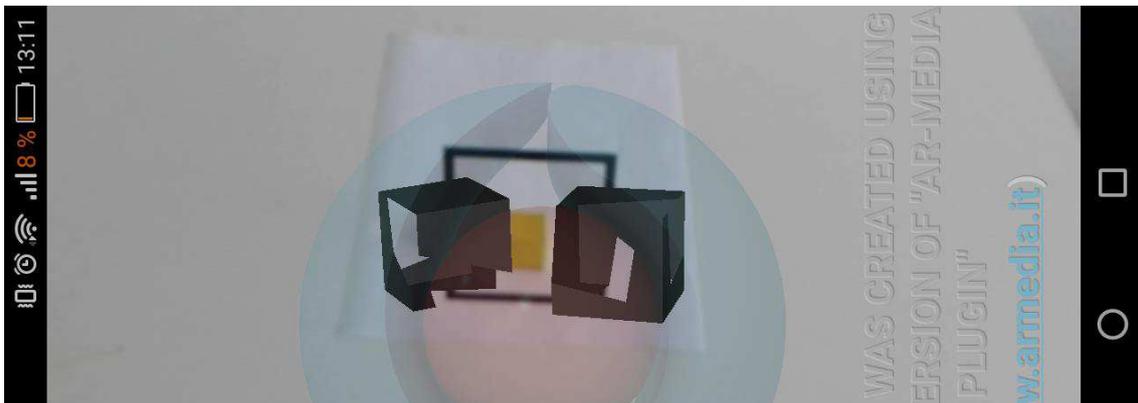


Figura 39. Demostración de la reducción del marco.

Se ha observado también que el reconocimiento de los objetos permanece estable una vez iniciado, aunque se realicen movimientos ligeros en cualquier dirección. Esto se debe a que el *software AR-Media™* cuenta con un factor de predicción del movimiento, lo cual permite al observador desplazarse ligeramente una vez establecida la experiencia de Realidad Aumentada. Esto resulta interesante a la hora de realizar

aplicaciones prácticas de esta investigación, pues permite un grado de comodidad durante la reproducción de la experiencia.

Finalmente, es importante señalar la necesidad de un *hardware* apropiado a la hora de realizar las experiencias de Realidad Aumentada. El funcionamiento de esta tecnología aun consume recursos de una manera importante, lo cual hace que la reproducción de dichas experiencias resulte relativamente compleja para dispositivos cuyas características técnicas no sean las necesarias. Durante la realización de las pruebas, se observa una mayor fluidez al realizarlas con el *iPad Pro*, mientras que el uso del *Smartphone Huawei P8 Lite* presenta ciertos problemas con respecto al procesamiento de las imágenes y de las propias experiencias.

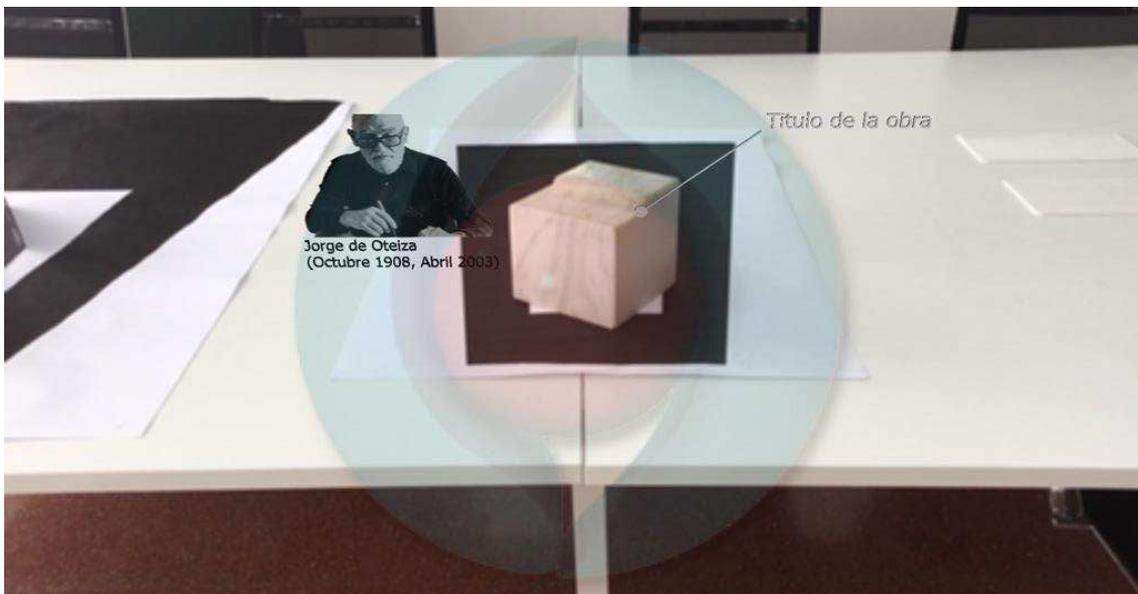


Figura 40. Experiencia de Realidad Aumentada sobre reproducción de escultura de Jorge de Oteiza. En ella podemos ver una fotografía del autor, con información acerca del mismo y de la obra.

4. CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos a lo largo de todas las pruebas y el estudio realizado durante el desarrollo de este mismo trabajo, producen como resultado una conclusión positiva con respecto a la hipótesis inicial. Queda probado que la anamorfosis es una técnica válida a la hora de aplicarse al reconocimiento de escenas mediante tecnologías de realidad aumentada, siendo posible el reconocimiento de objetos reales en el espacio.

Las irregularidades de la geometría o las variaciones de color no suponen un mayor problema en cuanto a la transmutación de los objetos en imágenes bidimensionales, sin embargo, los resultados obtenidos durante las pruebas de reconociendo más avanzadas muestran aún cierta “inestabilidad técnica” a pesar de los resultados positivos.

Existen ciertas limitaciones que aparecen en el desarrollo de la herramienta aportada por este trabajo, como la necesidad actual del mantenimiento del borde negro para la correcta identificación del *marker*, no permitiendo la eliminación total de este elemento. Si bien es cierto, que hay técnicas alternativas que están siendo desarrolladas en paralelo a la redacción de esta investigación, como ya se ha mencionado al inicio del trabajo. Otro de los inconvenientes técnicos es la imposibilidad de reconocimiento de dos o más *markers* diferentes, con experiencias de Realidad Aumentada diferentes, al mismo tiempo. Esta limitación es superable mediante el uso del *software* visualizador para ordenador, con el contratiempo de eliminar la ventaja de los dispositivos móviles.

Como conclusión final, el compendio de resultados obtenido resulta satisfactorio para el ámbito que atañe a la realización de este trabajo: las posibilidades de la anamorfosis en la realidad aumentada. En cambio, las limitaciones antes mencionadas y el prematuro desarrollo de la tecnología y aplicaciones específicas hacen que exista una necesidad constante de seguir investigando en la materia. La colaboración entre diferentes empresas e investigaciones puede dar lugar a grandes avances.

La realidad aumentada es una herramienta cuyo ilimitado potencial está aún en desarrollo y requiere, por tanto, de la aportación de todos los campos que se pueden ver afectados por ella. La arquitectura y el arte no deben esperar a recibir una

herramienta más con la que trabajar, sino que deben ser partícipes de su desarrollo, aportando ideas y adaptaciones necesarias para su inclusión en los procesos de creación, diseño, construcción, etc.

Esta investigación sirve como base de apoyo a muchas otras posibles aplicaciones de lo estudiado; ayudando y proponiendo ideas de inclusión de esta tecnología que actualmente ya son posibles. Cabe destacar que aún debe desarrollarse para ser totalmente accesible, pues durante el desarrollo del trabajo ha quedado retratada la necesidad de utilizar equipos más potentes a la hora de realizar experiencias más elaboradas.

Las pruebas aportadas conducen a la creencia de su posible aplicación, por ejemplo, en museos o exposiciones, permitiendo con facilidad el despliegue de experiencias de realidad aumentada cuyo nivel de implicación con la obra superen la típica audio-guía o folleto informativo. La posibilidad de eliminar el proceso intermedio del código QR, convirtiendo las propias obras de arte en sus propios *markers*, convierte la asociación objeto-información en el fundamento de la interacción entre el objeto y el usuario, creando una experiencia muy intuitiva.

5. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS.

AR-media™ Plugin v2.3 for Trimble™ SketchUp™ INSTALLATION & USER GUIDE. (2013).
1st ed. Inglobe Technologies © 2008/2013.

BBC Mundo. (2016). *Qué es la realidad aumentada, cómo se diferencia de la virtual y por qué Apple apuesta fuertemente a ella - BBC Mundo*. [online] Available at:
<http://www.bbc.com/mundo/noticias-37678017> [Accessed 19 Feb. 2017].

Google. (n.d.). *Tango project from Google*. [online] Available at:
<https://get.google.com/tango/> [Accessed 12 Feb. 2017].

LÓPEZ POMBO, H. (2010). *PROYECTO FIN DE MÁSTER EN SISTEMAS INTELIGENTES*.
Universidad Complutense de Madrid.

Marketsandmarkets.com. (2016). *Augmented Reality Market worth 117.40 Billion USD and Virtual Reality Market worth 33.90 Billion USD by 2022*. [online] Available at:
<http://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/augmented-reality-virtual-reality.asp> [Accessed 19 Feb. 2016].

Microsoft. (n.d.). *Microsoft HoloLens*. [online] Available at:
<https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us> [Accessed 12 Feb. 2017].

PATEL, N. (2016). *Apple is investing in augmented reality, says Tim Cook*. [online] www.theverge.com. Available at:
<http://www.theverge.com/2016/7/26/12290920/apple-augmented-reality-ar-tim-cook> [Accessed 19 Feb. 2017].

Sanchez Riera, A. (2013). *EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE REALIDAD AUMENTADA MÓVIL EN ENTORNOS EDUCATIVOS DEL ÁMBITO DE LA ARQUITECTURA Y LA EDIFICACIÓN*. Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona (EPSEB).

The Economist. (2009). *Reality, improved*. [online] Available at:
<http://www.economist.com/node/14299602> [Accessed 19 Feb. 2017].

Augment. (2017). *Augment: Enterprise Augmented Reality Platform*. [online] Available at: <http://www.augment.com> [Accessed 9 Jun. 2017].

D.D. WILLIS, K., SHIRATORI, T. and MAHLER, M. (n.d.). HideOut: Mobile Projector
Interaction with Tangible Objects and Surfaces. 1st ed. [ebook] Available at:
<http://www.disneyresearch.com/wp-content/uploads/HideOutPaper.pdf>
[Accessed 9 Jun. 2017].

