



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

AGRADECIMIENTOS

Aprovecho esta especial ocasión para agradecer a todas las personas que me han ayudado y apoyado en la elaboración de este proyecto.

Agradecer la ayuda continua y la dirección de este trabajo a mi tutor Manuel Contero, además, de darme la oportunidad de desarrollar este trabajo el cual he aprendido muchísimo.

Gracias también a mi cotutor Ferran Naya, con su información complementaria que me ha ayudado a completar el proyecto con elementos de muy buena calidad.

Quiero también dar las gracias al profesor Julián Conesa, que con su conocimiento en la programación me ha ayudado infinitamente, que, sin su ayuda, este proyecto no se podría haber llevado a cabo de una manera tan satisfactoria.

Por último y no menos importante, dar las gracias al apoyo constante de mi familia y, asimismo, nunca puedo olvidarme de mis compañeros en este momento.

RESUMEN

El presente Trabajo Final de Máster se va a centrar en el diseño de un sistema de interacción de usuario avanzada para la creación de componentes mecánicos en un entorno de realidad virtual. Actualmente, la realidad virtual está bastante desarrollada en los ámbitos de los videojuegos y del diseño gráfico artístico, pero aún no se ha desarrollado demasiado en aplicaciones de CAD mecánico, porque no contemplan la creación de geometría, solo se utilizan como aplicaciones de visualización de objetos tridimensionales. Y lo que tratamos en este proyecto es el diseño de los menús interactivos de una aplicación de modelado de objetos en sistemas de Realidad Virtual que facilite el modelado en entornos industriales y fabricación de producto. Por esta misma razón, el objetivo del presente proyecto es la creación de una interfaz de menú de herramientas intuitiva y fácil de usar para cualquier persona y de manera que quién interactúa tenga una experiencia de usuario satisfactoria.

Es el momento de aprovechar y desarrollar los entornos de realidad virtual porque será un elemento muy importante en sectores como la medicina, ya que podría formar a médicos o apoyar su labor mediante la utilización de la RV para simular casos reales, o directamente, visualizar los casos reales y poder diagnosticar previamente antes de actuar. Lo mismo pasa con la electrónica o la mecánica, de esta forma, se puede aprender de forma práctica mucho más rápido y de forma más efectiva.

Por lo tanto, en cuanto al ámbito industrial, este modo de trabajo no se puede quedar atrás. Por eso se va a realizar un sistema de RV con el objetivo de maximizar la eficiencia y satisfacción del usuario cuando realiza los modelados en CAD 3D en entornos virtuales. En el presente trabajo se recopilará información de aplicaciones comerciales en entornos virtuales, se tomará información sobre artículos científicos sobre el modelado de entornos RV, se analizarán las distintas interfaces identificadas para la realización de este trabajo y se tratará de crear varias interfaces distintas mediante la información obtenida para hacer el uso de esta aplicación de una manera sencilla. Para el desarrollo de esto, se empleará el uso de la aplicación MS Maquette, y con ella se tratará de proponer varios interfaces como se ha comentado anteriormente. Se realizará una evaluación de las distintas interfaces mediante la colaboración de alumnos o compañeros de la especialidad de Diseño y Fabricación de Producto para la selección de la mejor interfaz, para ello se deberá elegir un conjunto de piezas mecánicas que se deberán estudiar experimentalmente y también se deberán realizar actividades para evaluar las distintas propuestas.

Palabras clave: RV, MS Maquette, eficiencia, CAD 3D, industrial, usuario, interfaz, intuitiva.

ABSTRACT

This Master's Final Project will focus on the design of an advanced user interaction system for the creation of mechanical components in a Virtual Reality environment. Currently, Virtual Reality is quite developed for video game environments and artistic graphic design, but it has not yet been developed too much in mechanical CAD applications, because they do not contemplate the creation of geometry, they are only used as 3D object display applications. And what we are dealing with in this project is the design of the interactive menus of an object modeling application in Virtual Reality systems that facilitates the modeling in industrial environments and product manufacturing. For this same reason, the objective of this project is the creation of an intuitive and easy-to-use tool menu interface for anyone, so that whoever interacts has a satisfactory user experience.

It is time to take advantage and develop Virtual Reality environments because it will be a very important element in sectors such as medicine, since it could train doctors or support their work by using RV to simulate real cases, or directly, visualize the real cases and be able to diagnose previously before taking action. The same goes for electronics or mechanics, in this way, you can learn in a practical way much faster and more effectively.

Therefore, regarding the industrial field, this way of working cannot be left behind. For this reason, a RV system will be carried out with the aim of maximizing efficiency and user satisfaction when performing 3D CAD modeling in virtual environments. In this project, information from commercial applications in virtual environments will be collected, information on scientific articles on the modeling of RV environments will be taken, the different interfaces identified for carrying out this project will be analyzed, and an attempt will be made to create several different interfaces using the information obtained to make the use of this application in a simple way. For the development of this, the use of MS Maquette application will be used, and with it we will try to propose several interfaces as mentioned above. An evaluation of the different interfaces will be carried out through the collaboration of students or colleagues from the specialty of Product Design and Manufacture for the selection of the best interface, for which a set of mechanical parts must be chosen that must be experimentally studied and they should carry out activities to evaluate the different proposals.

Key words: RV, MS Maquette, efficiency, 3D CAD, industrial, user, interface, intuitive.

RESUM

El present Treball Final de Màster es va a centrar en el disseny d'un sistema d'interacció d'usuari avançada per a la creació de components mecànics en un entorn de realitat virtual. Actualment, la realitat virtual està prou desenrotllada en els àmbits dels videojocs i del disseny gràfic artístic, però encara no s'ha desenrotllat massa en aplicacions de CAD mecànic, perquè no contempen la creació de geometria, només s'utilitzen com a aplicacions de visualització d'objectes tridimensionals. I el que tractem en este projecte és el disseny dels menús interactius d'una aplicació de modelatge d'objectes en sistemes de Realitat Virtual que facilite el modelatge en entorns industrials i fabricació de producte. Per esta mateixa raó, l'objectiu del present projecte és la creació d'una interfície de menú de ferramentes intuïtiva i fàcil d'usar per a qualsevol persona i de manera que qui interactua tinga una experiència d'usuari satisfactòria.

És el moment d'aprofitar i desenvolupar els entorns de realitat virtual perquè serà un element molt important en sectors com la medicina, ja que podria formar a metges o donar suport a la seua labor mitjançant la utilització de la RV per a simular casos reals, o directament, visualitzar els casos reals i poder diagnosticar prèviament abans d'actuar. El mateix passa amb l'electrònica o la mecànica, d'aquesta forma, es pot aprendre de manera pràctica molt més ràpid i de forma més efectiva.

Per tant, quant a l'àmbit industrial, aquesta manera de treball no es pot quedar arrere. Per això es realitzarà un sistema de RV amb l'objectiu de maximitzar l'eficiència i satisfacció de l'usuari quan realitza els modelatges en CAD 3D en entorns virtuals. En el present treball es recopilarà informació d'aplicacions comercials en entorns virtuals, es prendrà informació sobre articles científics sobre el modelatge d'entorns RV, s'analitzaran les diferents interfícies identificades per a la realització d'aquest treball i es tractarà de crear diverses interfícies diferents mitjançant la informació obtinguda per a fer l'ús d'aquesta aplicació d'una manera senzilla. Per al desenvolupament d'això, s'emprarà l'ús de l'aplicació MS Maquette, i amb ella es tractarà de proposar diverses interfícies com s'ha comentat anteriorment. Es realitzarà una avaluació de les diferents interfícies mitjançant la col·laboració d'alumnes o companys de l'especialitat de Disseny i Fabricació de Producte per a la selecció de la millor interfície, per a això s'haurà de triar un conjunt de peces mecàniques que s'hauran d'estudiar experimentalment i també s'hauran de realitzar activitats per a avaluar les diferents propostes.

Paraules clau: RV, MS Maquette, eficiència, CAD 3D, industrial, usuari, interfície, intuïtiva.

Índice

Memoria.....	1
1. Introducción	3
1.1. Objetivos.....	3
1.2. Alcance	4
1.3. Actividades realizadas para alcanzar los objetivos propuestos	4
2. La tecnología de Realidad Virtual.....	5
2.1. Presentación del concepto	5
2.2. Evolución histórica de la Realidad Virtual	9
2.3. Las aplicaciones de la RV en la actualidad.....	17
3. Aplicaciones de la RV en los procesos de diseño / modelado en ingeniería.....	19
3.1. Revisión de software comercial disponible para modelado en entornos RV	19
3.2. Revisión de trabajos publicados en revistas científicas	56
4. Materiales y medios	67
4.1. Periféricos utilizados para la realización del trabajo.....	67
4.2. Herramienta utilizada para crear las interfaces de forma estática	70
4.3. Descripción de la aplicación de modelado utilizada	72
5. Propuesta de diseño de interfaz 3D para una aplicación de modelado 3D	75
5.1. Descripción de las herramientas propuestas para el diseño de interfaces	75
5.2. Evaluación.....	81
6. Conclusiones.....	91
Bibliografía.....	93
Presupuesto.....	97
1. Introducción	99
1.1. Coste de la mano de obra.....	99
1.2. Coste de los equipos y de las aplicaciones	102
1.3. Presupuesto total	103

Índice de figuras

Figura 1. Google Daydream (izquierda) y Samsung Gear (derecha).	6
Figura 2. Playstation RV.	6
Figura 3. Gafas FOVE.	7
Figura 4. Gafas de Realidad Aumentada Hololens.	9
Figura 5. Estereoscopio.	9
Figura 6. Blue Box o Link Trainer.	10
Figura 7. Gafas GAF Viewmaster.	10
Figura 8. Primer concepto RV, el Sensorama.	11
Figura 9. Gafas Headsight.	11
Figura 10. Gafas HMD.	12
Figura 11. Steve Mann con las Eye Tap.	12
Figura 12. Super Cockpit.	13
Figura 13. Jaron Lanier con las RB2.	13
Figura 14. Máquina recreativa SubRoc-3D.	14
Figura 15. Las gafas VIVED de la NASA.	14
Figura 16. Las Sega RV.	15
Figura 17. Cascos Virtual Boy.	15
Figura 18. CAVE Automatic Virtual Environment.	16
Figura 19. Oculus Rift.	16
Figura 20. Paleta de herramientas de Blocks.	20
Figura 21. Cubo original y cubo modificado.	21
Figura 22. Paleta de herramientas de FlyingShapes.	22
Figura 23. Herramienta de tipo cinta.	23
Figura 24. Herramienta de tipo cinta 2.	23
Figura 25. Herramienta de trazado de curvas.	24
Figura 26. Curvas en modo avanzado.	24
Figura 27. Herramienta de creación de superficies.	25
Figura 28. Superficie con Gizmo.	25
Figura 29. Herramienta de medición.	26
Figura 30. Herramienta materiales sin transición y con transición con continuidad.	26
Figura 31. Herramientas de Kanova.	27
Figura 32. Personaje creado en Kanova.	28
Figura 33. Herramientas de Masterpiece 1.	29
Figura 34. Herramientas de Masterpiece 2.	29
Figura 35. Manipulación de elementos en Merper RV.	30
Figura 36. Panel de dibujo de RVCAT.	32
Figura 37. Panel de formas geométricas en RVCAT.	32
Figura 38. Panel de coordenadas de RVCAT.	33
Figura 39. Posición de puntos en el espacio en RVCAT.	33
Figura 40. Ajustes de RVCAT.	34
Figura 41. Menú de herramientas de SketchUp RV.	35
Figura 42. Herramienta "Settings" de SketchUp RV.	35
Figura 43. Offset en SketchUp RV.	37
Figura 44. Menú de modelado de Gravity Sketch.	39

Figura 45. Icono de "Trazos".	39
Figura 46. Menú de "Línea".	40
Figura 47. Menú de "Revolución".	41
Figura 48. Menú de "Superficies curvas".	42
Figura 49. Menú "Tipo de curva" de las superficies curvas.	42
Figura 50. Menú "Volumen".	43
Figura 51. Ajustes de Gravity Sketch.	43
Figura 52. Menú "Primitivos".	44
Figura 53. Más ajustes de Gravity Sketch.	45
Figura 54. Pizarra de herramientas.	46
Figura 55. Pizarra de selección de colores.	48
Figura 56. Pizarra de pinceles.	48
Figura 57. Pizarra de herramientas en el modo avanzado.	49
Figura 58. Menú principal ShapeLab.	51
Figura 59. Menú de pintura de ShapeLab.	52
Figura 60. Menú de configuración de ShapeLab.	53
Figura 61. Menú "Voxel" de Kodon.	54
Figura 62. Menú "Poligonal" de Kodon.	56
Figura 63. Ejemplo de mecanizado de un agujero ciego para aplicaciones CAD y RV.	57
Figura 64. Ejemplo de modelos creados con sistemas CAD y RV.	58
Figura 65. Imprecisiones dibujando en RV.	61
Figura 66. Ejemplos de elementos realizadas con curvas Spline de Hermite.	63
Figura 67. Interfaces tradicionales e interfaces radiales.	65
Figura 68. Resultados de preferencias de aplicaciones entre modelos CAD y CAD RV [29].	66
Figura 69. Gafas RV Lenovo Explorer.	67
Figura 70. Controles del mando Lenovo Explorer.	68
Figura 71. Menú Windows en entornos RV.	69
Figura 72. Herramientas de Microsoft Maquette.	71
Figura 73. Herramientas de Assets en M. Maquette.	71
Figura 74. Menú de herramientas de Virtual Modeling.	73
Figura 75. Diseño de la interfaz 1 a mano.	76
Figura 76. Diseño interfaz 1 con Microsoft Maquette.	78
Figura 77. Parte superior menú de herramientas de la interfaz 2 en Microsoft Maquette.	79
Figura 78. Interfaz 2 diseñada en Microsoft Maquette.	79
Figura 79. Parte inferior menú de herramientas de la interfaz 2 en Microsoft Maquette.	80
Figura 80. Paleta de herramientas de la interfaz 3 en Microsoft Maquette.	81
Figura 81. Representación en gráfico de barras de los resultados SUS según los usuarios para cada interfaz.	86
Figura 82. Representación en gráfico de barras de los resultados promedios SUS de cada interfaz según el criterio de los usuarios.	86
Figura 83. Representación en gráfico de barras de las respuestas de los usuarios a los cuestionarios comparativos de las preguntas 1 a la 14.	87

Índice de tablas

Tabla 1. Resultados SUS de las interfaces cinturón, planetaria y panel con sus respectivas valoraciones en letras.....	84
Tabla 2. Valoración en letras según el resultado obtenido en la evaluación SUS.....	85
Tabla 3. Salario bruto por figura del profesor.....	100
Tabla 4. Retribución del profesorado dependiendo del número de trienios, quinquenios y sexenios.	100
Tabla 5. Metodología del cálculo del coste de mano de obra.	101
Tabla 6. Coste total de la mano de obra.	102
Tabla 7. Coste y amortización de los equipos y aplicaciones.....	102
Tabla 8. Presupuesto total del trabajo.....	103

Parte I

Memoria

1. Introducción

1.1. Objetivos

La tecnología de Realidad Virtual (RV), al igual que el resto del sector de las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) está desarrollándose de forma exponencial. La aparición de dispositivos de visualización (*head mounted displays*, HMD) de bajo coste (desde 350 €) está facilitando el acceso a esta tecnología, que hasta hace pocos años sólo estaba al alcance de grandes corporaciones y centros de investigación. Según IDC Research España que estiman que la inversión de la RV se multiplicará hasta por 21 en los siguientes 4 años [1].

En el contexto del proceso de diseño de nuevos productos empieza a ser común la posibilidad de visualizar los modelos realizados en las aplicaciones CAD comerciales a través de los cascos de visualización HMD. Aplicaciones como Siemens NX, Dassault Systems 3DEXperience y Autodesk VRED entre otras, admite ya esta posibilidad. Únicamente la aplicación Autodesk Alias de modelado de superficies, ha desarrollado un módulo específico que permite crear geometría desde dentro del propio entorno de RV. Sin embargo, no existen aplicaciones que permitan la creación de la geometría típica del ámbito de la ingeniería mecánica donde predominan los objetos de tipo prismático y las superficies cilíndricas o esféricas.

Para contribuir al avance en el desarrollo de aplicaciones enfocadas a la creación de geometría propia del ámbito de la ingeniería mecánica desde dentro del propio entorno de RV, este trabajo fin de máster buscará la identificación de aquellos tipos de interfaces 3D que resulten más atractivos de utilizar para el usuario y que vayan más allá de la reproducción del paradigma icono y clic de ratón de los interfaces de usuarios en entornos de escritorio (Mac o Windows) tradicionales.

Para cumplir este objetivo general, habrá que alcanzar una serie de objetivos específicos como:

- Conocer la tipología de interfaces implementadas en las aplicaciones comerciales que permiten la definición de geometría dentro de un entorno virtual.
- Conocer la estructura de interfaces desarrolladas en aplicaciones experimentales descritas en revistas científicas.
- Aprender a manejar una herramienta de prototipado de interfaces 3D que se ejecuta dentro de un entorno de RV como Microsoft Maquette.
- Conocer las técnicas de evaluación de la usabilidad que se emplean en la industria

Como banco de pruebas para poder realizar parte de estas tareas se contará con el sistema *Virtual Modeling*, que es una aplicación experimental de modelado en un entorno RV desarrollada por la Universidad Politécnica de Valencia y la Universidad Politécnica de Cartagena. Para contribuir a la mejora de la usabilidad de este sistema, se pretenden crear 3 interfaces distintas que contenga las herramientas de modelado con las que actualmente cuenta esta aplicación, y utilizando técnicas de evaluación de la usabilidad, identificar cuál de los diseños propuestos es más adecuado para modelar en entornos RV enfocados a ingeniería mecánica.

1.2. Alcance

El trabajo va a profundizar en la definición de una interfaz intuitiva en una aplicación de RV que sea capaz de modelar elementos en tres dimensiones, y que sea fácil de utilizar para cualquier usuario. Por lo tanto, queda fuera del alcance del TFM el desarrollo de la propia aplicación de modelado, que como se ha comentado anteriormente se trata de la aplicación *Virtual Modeling*, que es una aplicación experimental de modelado en un entorno RV desarrollada por la Universidad Politécnica de Valencia y la Universidad Politécnica de Cartagena [2].

El trabajo se centrará en el diseño de tres interfaces distintas que contienen las mismas herramientas para el modelado que actualmente implementa la aplicación *Virtual Modeling*, y estas serán evaluadas por distintos usuarios para que, mediante unos cuestionarios de usabilidad y comparación entre interfaces puedan valorar qué interfaz les ha parecido más adecuada para modelar en entornos VR.

1.3. Actividades realizadas para alcanzar los objetivos propuestos

Se deberán estudiar exhaustivamente las aplicaciones comerciales que permite la definición de todo tipo de geometría desde dentro de un entorno RV. Incluso se pueden estudiar aplicaciones que no son directamente para usos industriales, pero que tengan algún tipo de herramienta interesante que pueda resultar inspiradora en el presente proyecto. También se revisarán artículos científicos sobre el modelado en entornos VR para recopilar ideas interesantes.

Una vez recopilada la información necesaria, se propondrán al menos tres sistemas de interfaz diferentes y se evaluarán estas interfaces por parte de distintos usuarios. La creación de estas interfaces se realizará mediante la utilización de un software que proporcionará el aspecto estético y otro que completará la programación y se encargará de que realmente la aplicación funcione. El primer software es *Microsoft Maquette*, que crea entornos estáticos, mientras que el segundo software es *Virtual Modeling*, como ya se ha mencionado. Posteriormente, utilizando procedimientos estándar de evaluación de interfaces se valorará mediante un conjunto de usuarios, cuál es el diseño más satisfactorio

2. La tecnología de Realidad Virtual

2.1. Presentación del concepto

Básicamente, el concepto de la realidad virtual se resume como un conjunto de escenas generadas mediante un entorno digital con una aplicación informática. La persona portadora de las gafas de RV se adentra en un entorno virtual, gracias, a que, estas gafas poseen unas lentes que amplían del ángulo de visión del usuario, creando una sensación de inmersión en una escena “real”.

Existen algunos modelos más sofisticados que incluyen incluso unos guantes acompañados de sensores, aunque, normalmente se utilizan unos mandos con control de movimiento, e incluso algunas tienen unas cámaras o sensores de posicionamiento que permiten interactuar mejor con el entorno virtual.

La idea de la realidad virtual va más allá de contemplar unas pantallas con los ojos. Con este concepto, se consigue una situación tan realista, que el cuerpo reacciona de manera instintiva ante los estímulos del entorno virtual [3]. De manera, que consigue que las personas reaccionen evitando obstáculos como si de la vida real se tratase.

2.1.1. ¿Cómo funciona la Realidad Virtual?

Un aspecto muy importante es el campo de visión que te permite el dispositivo, cuanto más amplio sea este, mayor será la sensación que tendrá el usuario de inmersión. Hay un par de tipos de campos de visión para que conforme la visión humana conjuntamente: está la monocular, que está entendida como la que se ve por un ojo, y está la binocular, esta última es la conformada por dos campos monoculares. Esto conforma un área de entre 200° y 220°, es el grado en el que la realidad virtual trata de recrear por los modelos más avanzados [4].

En cuanto a la percepción de profundidad, esta trabaja en el cerebro mediante tres construcciones mentales. Primero, es saber el tamaño de los objetos y la distancia a la que están con respecto a nuestra posición, la segunda es la velocidad en la que se mueven dichos objetos según a la distancia en la que se encuentran. Un ejemplo es cómo cuando viajas en el coche, parece que los árboles que se encuentran en el horizonte no se mueven prácticamente, mientras que cuando un coche va en dirección contraria por la misma carretera la cual vamos nosotros pasará a una mayor velocidad (en cuanto a nuestra percepción). Además, con nuestra separación media de nuestros ojos a unos 64mm, las imágenes que se van creando individualmente en cada ojo combinan en la creación de la sensación de magnitud en una sola imagen.

Todo lo comentado anteriormente debe tomarse en cuenta a la hora de elaborar unas gafas RV, esto debe realizarse de tal forma que evite el mareo o el malestar calibrando los parámetros tratando de dar una sensación de inmersión total.

Las gafas tienen unas proyecciones que se plasman en una pantalla LCD o incluso hay veces que hay una pantalla para cada ojo, éstas están conectadas mediante un cable HDMI al ordenador o consola que reproduce estas imágenes. Hay otros dispositivos que se usan con el teléfono móvil (son reproductor y pantalla a la vez), cómo son los cascos *Google Daydream* o *Samsung Gear* (Figura 1). En todos estos casos, se nos permite la posibilidad de adaptar la distancia o visión para regularla a nuestros ojos, su separación correspondiente y la forma de nuestra cabeza.



Figura 1. *Google Daydream* (izquierda) y *Samsung Gear* (derecha).

Una característica también importante es la resolución de la imagen, debe existir un mínimo de unos 60fps (fotogramas por segundo) ya que, si no se cumple esto, el usuario podría presenciar fácilmente dolores de cabeza y mareos. Los *Oculus Rift* tienen una media de unos 90fps, pero otros dispositivos como los *Playstation RV* (Figura 2) de Sony permiten alcanzar hasta unos 120fps.



Figura 2. *Playstation RV*.

Otra característica que se puede sumar a la última es el sistema de seguimiento de cabeza, es la manera en cómo el sistema responde a nuestros movimientos y cuánto se suele abrir el campo de visión y cómo va cambiando la imagen visible. Es una tecnología llamada *6DoF* (*6 degrees of freedom* o 6 grados de libertad) basada en los tres ejes coordenado X, Y y Z dónde miden los movimientos de la cabeza delante y atrás, lado a lado y las rotaciones que se forman.

Actualmente, una característica que debe mejorarse es el seguimiento de nuestra visión, esto podría ser mejorable proporcionando más realismo y comodidad con el seguimiento solamente de nuestros ojos, evitando la necesidad de tener que mover la cabeza. Es la intención que tienen las gafas *FOVE* (Figura 2), que poseen un sensor infrarrojo que detecta el movimiento de nuestros ojos y lo plasma en la misma pantalla.

Más allá de las herramientas de visión, unos complementos que hacen la inmersión todavía más realista es tener unos buenos auriculares, si poseen sonidos 3D o binaural incluso mejor. Esto es importante, porque sobre todo en los videojuegos están hechos de tal forma que el efecto del sonido es importante, por lo que suelen crear sonidos donde puedes escuchar elementos frontalmente, lateralmente e incluso por detrás.



Figura 3. Gafas FOVE.

2.1.2. Comparación de cascos de Realidad Virtual

En este apartado vamos a ver los distintos tipos de cascos de RV que hay actualmente. Existen dos tipos de categorías distintas de estos dispositivos [5]:

- **Standalone**, que son cascos independientes. Son dispositivos que tienen todos los componentes necesarios integrados en los cascos para proporcionar experiencias de realidad virtual. Estos tipos de dispositivos incluyen:
 - **Oculus Mobile SDK**, desarrollado por *Oculus Rift*, para sus propios auriculares independientes y *Samsung Gear RV*.
 - **Google Daydream**, es una plataforma de realidad virtual integrada en el sistema operativo Android de Google desde la versión 7.1.
- **Tethered**, son auriculares que actúan como un dispositivo de visualización de otro dispositivo, como un ordenador o una consola de videojuegos, para proporcionar una experiencia de realidad virtual. Las principales plataformas de este tipo incluyen:
 - **SteamRV**, que es parte del servicio de Steam de Valve. La plataforma utiliza el software de desarrollo OpenRV SDK para admitir la utilización de auriculares de distintos fabricantes, incluidos HTC, fabricantes de auriculares Windows Mixed Reality y Valve.
 - **Oculus PC SDK**, para los Oculus Rift y los Oculus Rift S.
 - **Windows Mixed Reality**, desarrollado por Microsoft Corporation para PC con Windows 10.

- **Playstation RV**, desarrollado por Sony Computer Entertainment para su uso con la consola de videojuegos doméstica PlayStation 4.
- **Open Source Virtual Reality**, que es la realidad virtual de código abierto (también conocido como “OSRV”).

También hay otras categorías como auriculares para teléfonos móviles, donde combinan el *smartphone* con unos cascos. También existen soluciones híbridas como los Oculus Quest que con la próxima función de Oculus Link que permite que el dispositivo independiente también sirva como un auricular conectado.

También existen dispositivos que pueden ser utilizados por solo un ojo o por los dos ojos, están los HMD monoculares y lo binoculares. En los monoculares, solo se reproducen imágenes sobre un solo ojo (como las *Google Glass*), mientras en los binoculares las imágenes son reproducidas sobre ambos ojos conformando una imagen estereoscópica.

2.1.3. Características importantes en los cascos de realidad virtual

Las características más importantes de los dispositivos de realidad virtual [6] van a tratarse en este apartado, destacamos:

- **La resolución de pantalla.** Se encarga de la definición de imagen recibe el usuario, una resolución típica es la de 1080x1200.
- **El campo de visión.** Es la amplitud que tiene el campo visual percibido por el usuario, cuanto más amplia sea, la sensación de inmersión es mejor.
- **La latencia de seguimiento.** El tiempo transcurrido entre el instante que el usuario hace un movimiento y el tiempo en el que la imagen se reajusta a este movimiento.
- **Refresco de pantalla.** Son el número de imágenes que se muestran por cada segundo transcurrido. Ya se ha comentado en algún otro apartado, pero un valor a partir de 60Hz es un buen ratio, aunque hay algunos como las PlayStation RV que alcanzan hasta los 120Hz.
- **Seguimiento de orientación.** El dispositivo es capaz de detectar hacia qué dirección se orienta la cabeza del usuario gracias a unos sensores integrados.
- **Seguimiento de posición.** Es un sensor que es externo a los cascos, percibe donde está situado el usuario y cualquier tipo de movimiento que se produce en esa posición.
- **Seguimiento ocular.** Se captan los movimientos de los ojos de los usuarios mediante unos sensores infrarrojos que están integrados dentro de los cascos.
- **Visión estereoscópica.** Es el sistema utilizado para poder visualizar el entorno de forma tridimensional, se hace mediante una técnica que muestran imágenes ligeramente distintas para cada ojo del usuario.
- **Efecto rejilla.** Es un efecto visual que suelen tener algunos dispositivos poco avanzados de RV, sucede cuando las líneas separadoras entre píxeles se vuelven visibles en la imagen que se proyecta, el efecto se asemeja a cuando una persona mira a través de una cortina antimosquitos.

2.1.4. Diferencia entre la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada

Mientras que, en la realidad virtual los entornos que se recrean son totalmente generados por un ordenador, consola o smartphone, la realidad aumentada es una situación mixta entre un escenario ficticio con un entorno real. El escenario real es captado por medio de una cámara con el que podremos ver elementos virtuales presentes en este entorno real, como si se tratara de un holograma [7]. Las gafas de realidad aumentada más conocidas en la actualidad son las *Hololens* (Figura 4).



Figura 4. Gafas de Realidad Aumentada Hololens.

2.2. Evolución histórica de la Realidad Virtual

Hoy en día, el concepto de la RV es muy célebre y está muy extendido tecnológicamente, donde más se conoce es en el sector de los videojuegos. Como en prácticamente toda la tecnología, la RV incrementa exponencialmente y van surgiendo alternativas más apasionantes, y es posible crear de la nada un mundo refinado con los límites de tu imaginación [8].

La primera aproximación a la llamada Realidad Virtual fue en el año 1836 con la creación del Estereoscopio por Charles Wheatstone, era un instrumento el cual nos proporcionaba una sensación de profundidad en una imagen partiendo de dos imágenes prácticamente iguales. Si observamos por cada ojo independientemente, finalmente se combinarían las dos imágenes formando una imagen estereoscópica solamente. De esta manera, se realizaron los primeros patrones de diseño para los primeros visores RV (Figura 5).



Figura 5. Estereoscopio.

En el año 1929 apareció la *Blue Box*, la idea era recrear unas condiciones de vuelo semejantes a la realidad para que los militares de EE. UU. pudieran entrenar virtualmente. Por lo tanto, Edwin A. Link elaboró *Link Trainer*, que también se conoce como la *Blue Box*, que permitía la posibilidad de simular incluso condiciones meteorológicas y podía moverse siguiendo la orden del piloto. Figura 6.



Figura 6. *Blue Box* o *Link Trainer*.

Entre los años 1935 y 1939 aparecieron otras gafas llamadas *GAF Viewmaster* (Figura 7) creadas por William Gruber, que con la combinación de un par de imágenes muy similares por medio de un estereoscopio rojo elaboraba una sensación al espectador de sumergirse en un mundo paralelo. Mucha gente de la actualidad es posible que haya visto algunas de estas gafas, sobre todo en la infancia, unos años más tarde se pusieron de moda y forman parte del recuerdo común de visitas a lugares específicos turísticos y con un nombre consolidado.



Figura 7. Gafas *GAF Viewmaster*.

Principalmente, la idea de la realidad virtual surgió como una reflexión de la ciencia ficción, hasta que llegó un día dónde un grupo de ingeniosos científicos, inventores y futuristas entablaron una serie de ideas que permitían testear algunos modelos que podrían ser factibles. Se comenta, que el primer elemento 3D creado fue el *Sensorama* (Figura 8) que se creó en el año 1956. Cómo era de esperar, el primer modelo tenía una forma muy rudimentaria, pero ya tenía conceptos innovadores

como un generador que era capaz de liberar olores, poseía también un asiento vibratorio que actuaba sincronamente con una pantalla, también tenía un sonido estéreo e imágenes en tres dimensiones. Con este artilugio se realizaron unas cortas películas, tales como *A Date with Sabrina* o *I'm a Coca Cola Bottle*.



Figura 8. Primer concepto RV, el Sensorama.

Pocos años después, en el año 1961, surgieron las gafas llamadas *Headsight* (Figura 9), las cuales tenían una escueta pantalla con cascos que tenían un sistema de seguimiento con un elemento magnético, con un CCTV (Circuito Cerrado de Televisión). Principalmente, se creó con intenciones militares y tenía un acceso muy restringido, los poseedores de este artilugio eran los ingenieros de la Philco Corporation, que se encargaban de simular a distancia algunas situaciones que podrían resultar peligrosas de realizar en la vida real.

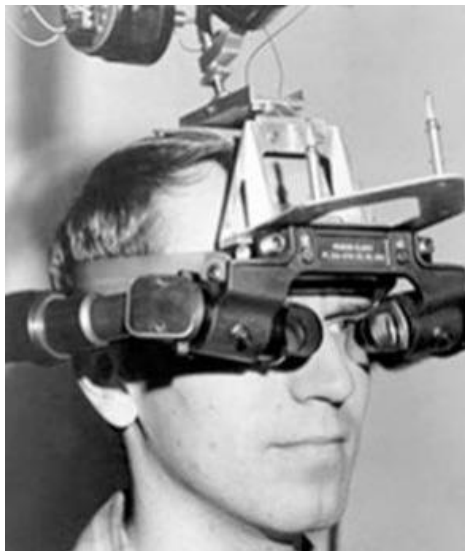


Figura 9. Gafas Headsight.

Luego, en 1968 en el MIT Lincoln Laboratory (Instituto de tecnología de Massachusetts) hizo las gafas de una forma más compleja, porque cambió la cámara por un ordenador y añadió partes más pesadas que debían estar sujetas por un brazo mecánico en el aire. Se le llamó “*Sword of Damocles*” o *HMD: Head Mounted Display*. Figura 10.



Figura 10. Gafas HMD.

En el año 1980, Steve Mann inventó el *Eye Tap* (Figura 11), era un ordenador que estaba amarrado a una mochila y se conectaba a unos cascos que contenían una visera y una cámara. Se utilizó para reproducir imágenes mediante la llamada RA (Realidad Aumentada), de esta manera propulsó el desarrollo de siguientes modelos.



Figura 11. Steve Mann con las Eye Tap.

También sobre principios de los años 80, Thomas Furness creó un simulador de vuelo llamado *Super Cockpit*, este proyecto era capaz de hacer controlar a un piloto un avión tan solo por el uso de sus propios gestos, palabras o incluso sus movimientos oculares. La cabina que poseía de entrenamiento también era capaz de proyectar mapas en tres dimensiones, imágenes infrarrojas y de radar, también datos aeronáuticos en un espacio 3D y en tiempo real. Figura 12.



Figura 12. *Super Cockpit*.

En el año 1984, *Reality Build for Two* o *RB2*, formó parte del sistema que fue el primero en ser partícipe comercialmente. Su precio inicialmente rondaba entre los \$50.000 y \$100.000, por lo que era alcanzable para tan solo una minoría. La compañía de Jaron Lanier fue la creadora de esta tecnología, su funcionamiento se ceñía a permitir tocar y rotar objetos virtualmente por medio de un accesorio que eran unos guantes enchufados al *Eye-Phone*, por lo que formaban unas gafas con unos cascos incorporados (Figura 13).



Figura 13. Jaron Lanier con las *RB2*.

No mucho más tarde, apareció la RV en los videojuegos. Esto fue en el año 1982 cuando SEGA realizó su primer intento con un juego *shooter* visto en primera persona dónde lo introdujo en máquinas recreativas. El juego llamado *SubRoc-3D* (Figura 14), proporcionaba a los usuarios controlar un submarino para poder desafiarse a unas hordas de barcos enemigos.



Figura 14. Máquina recreativa *SubRoc-3D*

La NASA no quiso quedarse atrás tratando de desarrollar su propia idea, en el año 1986 creó *VIVED*, combinando LEDs y pantallas hechas de cristal líquido con un gran grado de ópticas trató de consolidar una buena inmersión. Figura 15.



Figura 15. Las gafas *VIVED* de la NASA.

En el año 1993 aparecieron las primeras gafas de RV en el ámbito de los videojuegos por la compañía SEGA, estas se llamaban Sega RV e iban de la mano con cuatro juegos. Cuando esto surgió, la sociedad todavía parecía que no estaba preparada para una idea tan tecnológica, la gente consideró esta tecnología excesivamente realista y peligrosa, por lo que el proyecto acabó por enterrarse. Figura 16.



Figura 16. Las Sega RV.

Breve tiempo después, nipona Nintendo comercializó el *Virtual Boy*, un diseño realizado por Gunpei Yokoi, el problema es que tenía mucho peso y era necesario el uso de un trípode para apoyarlo y se jugaba con un mando que estaba enchufado al aparato. Tuvo otra problemática, era que solamente podía plasmar en su pantalla el color rojo y no eran capaces de poder producir otros colores, por lo que aumentaron la complejidad del diseño del producto al tener que añadirle luces LED de color verde y azul. Pronto, surgieron otros problemas cómo que los usuarios solían presentar dolores de cabeza y mareos cuando llevaban unos veinte minutos con el uso de este producto. Figura 17.



Figura 17. Cascos Virtual Boy.

Posteriormente, *CAVE Automatic Virtual Environment* (Figura 18) aprovechando el espacio para poder proyectar la RV, creó unas gafas con obturador LCD estereoscópicas y proyecciones en tres paredes, así consiguió que dentro de un espacio delimitado por estas paredes se pudiese sumergir la gente y vivir una experiencia paralela. Este desarrollo fue realizado por unos estudiantes pertenecientes a la Universidad de Illinois.



Figura 18. *CAVE Automatic Virtual Environment*.

Las siguientes actualizaciones ya se están acercando a nuestra era actual. Nos referimos a las pioneras gafas *Oculus Rift* (Figura 19), que aparecieron en el año 2009 por un proyecto *Kickstarter*. Palmer Luckey es el responsable de desarrollar uno de los dispositivos más famosos en el ámbito de los videojuegos [8].



Figura 19. *Oculus Rift*.

2.3. Las aplicaciones de la RV en la actualidad

Hoy en día, el uso de la RV ya está muy extendido, en cosa de escasos minutos ya puedes visitar museos o viajar por océanos entre otras muchas cosas. Existen algunas aplicaciones que sin moverte del sofá se pueden disfrutar al máximo, en otros casos, se necesita un espacio más amplio para poder gozar todas las funciones que puede prestar un dispositivo RV [9].

Existen aplicaciones que te permiten meditar, te introduce en un mundo con experiencia sensorial dónde tomas las riendas mediante el uso de la respiración, esta aplicación se llama DEEP. Hay otras aplicaciones que te permiten incluso contratar tours virtuales rápidos, aprovechan esta oportunidad para ayudar a los usuarios a decidir un destino más fácilmente tras hacerles vivir una pequeña experiencia en las distintas opciones que se les ofrece. Otra opción similar a la que se acaba de citar es la utilización del Street View RV de Google, dónde puedes moverte a placer por las calles de la ciudad que desees de cualquier rincón del planeta.

Han iniciado la posibilidad de ver partidos de fútbol incluso en *streaming*, el clásico entre el FC Barcelona y el Real Madrid fue el primer partido retransmitido en directo con tecnología RV. Esto fue un servicio puntual, pero en un futuro no muy lejano será sin duda un acto que puede formar parte del día a día.

Quién está aprovechando la oportunidad también es el sector inmobiliario, como la plataforma de vídeos YouTube permite ya subir elementos en formato RV, está ofreciendo una ventana al comercio de las empresas, dónde el comprador puede desplazarse virtualmente de forma guiada por esta vivienda, o incluso tiene la posibilidad de visitarla antes de la propia construcción de esta.

También tienes la posibilidad de comprar desde tu propia casa de forma que te presentas virtualmente en esa misma tienda. EBay ha sido el pionero en utilizar la RV para aumentar sus ventas.

Incluso puedes ver cine en RV, diferentes cortos cómo puede ser el de *Tomorrow*, del estudio Future Lighthouse, empiezan a lanzar estas posibilidades con formatos de visión en realidad virtual. Por ahora, la producción en tres dimensiones no está en su mayor esplendor, la sociedad todavía parece que no acepta un cambio tan tecnológico en su día a día, por lo que es un sector que aún no es rentable para los productores ni los distribuidores de este contenido.

Y cómo no, la industria de los videojuegos, qué, sin duda, es la más desarrollada en esta tecnología. El público de este sector está más que dispuesto a gastarse amplias cantidades de dinero para adquirir los periféricos que le permitan gozar de la inmersión total en un mundo único [9].

La realidad virtual y la realidad aumentada también se utiliza como entrenamiento para algunos usuarios, como que permite a los cirujanos hacer operaciones simuladas muy complejas que ya están en uso en facultades como la de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid [10]. También permite a diseñadores de coches poder probar vehículos en carreteras ficticias, permiten a astronautas moverse por terrenos difíciles, a que conductores de trenes aprendan a conducir, la reconstrucción de edificios y ruinas.

La realidad aumentada ha llegado a puntos donde es capaz de reconocer lugares geográficos de zonas desconocidas y el sector industrial también se está beneficiando poco a poco de estos

avances, como la mejora de procesos de desarrollo de productos. Estas herramientas han permitido el ahorro de tiempo y dinero en la fabricación de productos gracias a técnicas de visualización y modelado tridimensional. También se ha investigado la simulación de ensamblajes y montajes de componentes con sistemas RV, de esta manera favorece el desarrollo del producto antes de empezar a su proceso de fabricación, ya que, se puede visualizar si el ensamblaje que se quiere realizar es posible o compatible con el resto de los elementos.

La tecnología RV es muy querida en ámbitos de diseño, sobre todo cuando hablamos del proceso de diseño conceptual, porque los entornos RV fomentan y desarrollan la creatividad gracias a los medios de interacción intuitivos. Un claro ejemplo de esto es el desarrollo de la tecnología CLARTE con la colaboración de las Escuelas de Diseño y de Minas de Nantes, que han desarrollado un sistema que permite crear elementos en 3D en entornos de RV [10], básicamente trata de un software que permite hacer bocetos adaptados a la RV.

Otro ámbito interesante que contempla la RV es el de la creación y manipulación de prototipos virtuales. En el sector del automóvil se utiliza un sistema para simulación de colisiones mediante la creación de unos maniqués virtuales que simulan como actuaría el cuerpo humano con estas situaciones de riesgo. También, empresas como Jaguar, utilizan salas especialmente creadas para hacer revisiones del diseño de los vehículos, estas salas están hechas con elementos de RV inmersivos, de manera que puedes ver los vehículos a tamaño real [10].

También se han desarrollado aplicaciones RV en ámbitos de procesos de producción en planta. Estas aplicaciones se utilizan para simular la distribución en planta utilizando la realidad aumentada, de manera que, cuando se compra una nueva máquina, utiliza la ayuda de esta aplicación para ver si existe espacio suficiente para que esta nueva máquina queda en planta. También hay sistemas RV que pueden planificar secuencias de montaje que permiten visualizar posibles problemas que pueden surgir en el montaje, y pueden corregirse estos problemas previamente ahorrando muchos costes.

Otra aplicación muy útil es para labores de mantenimiento a distancia. Por medio de la realidad aumentada se pueden realizar colaboraciones de forma remota entre el personal de mantenimiento y los usuarios que confrontan un problema con alguna de sus máquinas. Si tienes un problema con una máquina en tu empresa, puedes recurrir a la ayuda asistida con una persona de mantenimiento que te indique a tiempo real las correcciones que debes ir implementando para corregir el problema que presentas.

Finalmente, también se mejora la ingeniería colaborativa mediante la utilización de entornos virtuales, de manera que varios usuarios localizados en lugares distintos pueden colaborar y trabajar a la vez en el mismo proyecto, esto se puede hacer a tiempo real, donde, cualquier usuario que haga un cambio en el modelo, este cambio podrá ser visualizado en ese mismo instante por todos los usuarios que están conectados. Un ejemplo de este sistema fue realizado por la Universidad de Belfort-Montbéliard [10], donde, por medios de sistemas RV se podían evaluar distintos aspectos de prototipos virtuales tales como la ergonomía, mantenimiento, fabricación o la fiabilidad.

3. Aplicaciones de la RV en los procesos de diseño / modelado en ingeniería

3.1. Revisión de software comercial disponible para modelado en entornos RV

Para la realización del proyecto, es de gran ayuda buscar información sobre aplicaciones comerciales del modelado en entornos RV para recopilar procedimientos e ideas interesantes, de este modo se facilita su implementación e incluso se pueden mejorar herramientas creadas por otros usuarios.

Para ello, se ha utilizado y revisado exhaustivamente la plataforma de descarga de videojuegos *Steam* para descargar aplicaciones RV de modelado y animaciones. Entre estas aplicaciones se han descargado algunas que son gratuitas y otras que son de pago. En cuanto a las aplicaciones de pago, se tuvo que pedir permiso a la universidad por si podían permitir tener acceso a crédito para poder descargar estas y me respondieron positivamente a esta petición.

A continuación, se van a describir las aplicaciones adquiridas en la plataforma de descarga según su descripción obtenida en la plataforma de *Steam*;

Entre las aplicaciones gratis, se han revisado las siguientes: *Blocks*, *FlyingShapes*, *Kanova*, *Masterpiece Studio*, *Merper RV*, *Microsoft Maquette* y *vBuilder* entre otras. Posteriormente a la descripción sencilla de las aplicaciones, se va a proceder a la creación de unas fichas resumen de cada una de ellas, realizando capturas de pantalla, para reunir ideas y procedimientos que sean útiles y que contribuyan positivamente en la elaboración de unas interfaces intuitivas.

3.1.1. *Blocks*



Es una aplicación que permite crear objetos 3D en RV de una manera sencilla, sin importar la experiencia que tengas en el modelado. Solamente se usan seis herramientas sencillas, las que pueden crear objetos volumétricos de la forma deseada. Puedes escalar los objetos, moverlos libremente e incluso pintarlos. Tiene una temática bastante animada, con lo que es una aplicación perfecta para realizar videos o videojuegos infantiles y educativos. Una vez has creado tu diseño, puedes colgarlo a la web para que otros usuarios lo puedan ver o descargar, y también lo puedes exportar.

Esta es una aplicación gratuita, la cual tiene pocas herramientas y muy fáciles de usar. Por los colores y la ambientación que tiene la aplicación, está hecha para niños, por lo que su uso es muy fácil e intuitivo. Con un tutorial simple de menos de 3 minutos ya eres capaz de saber cómo funcionan todas las herramientas de esta aplicación.

En la Figura 20, vemos como es la paleta de herramientas de esta aplicación. De primeras, podemos apreciar que la forma de las piezas y herramientas en esta aplicación son mucho más

poligonales y rudimentarias que en muchas aplicaciones, por lo que los trabajos en esta aplicación tendrán menos calidad en cuanto a formas y texturas.



Figura 20. Paleta de herramientas de Blocks.

Podemos ver que solo hay seis funciones en la paleta de herramientas, estas son: “insert shapes”, “insert strokes”, “Paint”, “grab”, “modify” y “colour”. Traducidas al castellano significan: insertar figuras, insertar trazos, pintar, coger, modificar y color.

La herramienta “insertar figuras” te permite insertar formas muy sencillas como esferas, cubos, conos, toroides y cilindros. Estos te los permite insertar variando su tamaño con las flechas de los mandos y también te permite modificar la forma básica de estas figuras al mantener el gatillo del mando apretado y estirando o contrayendo la forma de estos.

En cuanto a la herramienta de “insertar trazos”, no se aprecia en la figura superior ya que al tener esta opción seleccionada no aparece en la paleta. Pero, como su nombre indica, esta herramienta es capaz de generar trazos a modo de dibujo libre, creando dibujos u objetos de cualquier forma. La figura simple que permite realizar los trazos es un polígono, que puede ser desde un triángulo hasta un decágono, y esto se puede variar al apretar las flechas del mando derecho (al igual que el cambio de forma de la herramienta “insertar figuras”).

La herramienta “pintar” tan solo permite colorear las formas u objetos creados, en esta aplicación solamente se puede cambiar el color, no permite la opción de cambiar el brillo de estos colores, además, los colores ya vienen determinados por el programa, no se pueden crear colores a parte de estos predeterminados. Y la herramienta “color” es la encargada de darle el color deseado a la pieza que quieres colorear.

La herramienta “coger” es tan simple como la que indica su nombre, te permite coger las figuras y moverlas a tu antojo. Tiene una opción interesante esta herramienta, te permite elegir los objetos que quieras por apretar el gatillo del mando derecho y arrastrar el cursor seleccionando los objetos que deseas modificar. Una vez seleccionados, puede modificar su tamaño y moverlos por la escena. También, si mantenemos apretado el gatillo del mando izquierdo en esta opción, nos permite la posibilidad de copiar un objeto y alinear este al objeto inicial, de forma que serán paralelos a la

dirección de los ejes locales del objeto original. Otra función es la de poder rotar los objetos mediante las flechas del mando derecho.

Finalmente, en cuanto a la herramienta de “modificar”, esta te permite modificar los objetos insertados por mover los vértices o las aristas de estos objetos insertados de la forma que desees. Podremos visualizar mejor esto en la Figura 21.



Figura 21. Cubo original y cubo modificado.

En la parte izquierda de la figura podemos ver un cubo con la forma original, al haber seleccionado la opción de “modificar” se permite visualizar y seleccionar los vértices, las caras y las aristas de estas figuras. Por lo que, en la parte derecha de la figura podemos ver el cubo original pero modificado al haber variado la posición de algunos vértices, caras y algunas aristas de su posición inicial.

Siguiendo con la Figura 21, en la parte inferior de la paleta tenemos otros 4 iconos. En orden de izquierda a derecha los iconos son de ayuda, cuadrícula, guardar y crear nuevo. El icono de “ayuda” tan solo es para visualizar un pequeño tutorial de cómo funciona la aplicación y es muy corto y sencillo. El icono de la “cuadrícula” nos permite ver las cuadrículas que tienen las formas y de esta manera crear objetos o relacionar objetos con otros de manera más precisa. El icono de “guardar” sirve tanto para guardar, como para importar objetos de otros usuarios o de las bibliotecas de la aplicación, también permite exportar los trabajos a otros formatos. En cuanto al icono de “crear nuevo” nos permite crear un archivo nuevo, pero si no hemos guardado antes nuestro trabajo realizado, nos saldrá la opción de guardar o de descartar.

3.1.2. *Flying Shapes*



Es una experiencia RV CAD, una nueva forma de crear tus modelos digitales para el diseño industrial y arquitectura. Puedes crear conceptos de modelado 3D para el diseño profesional de

productos con un procedimiento bastante intuitivo en RV. La característica que más llama la atención de esta aplicación es el uso de NURBS muy precisos, por lo que hace que esta aplicación sea muy buena para la creación de objetos industriales más complejos. Tiene la posibilidad de crear y modificar los objetos referidos a los ejes coordenados, es una característica que habrá que incluir en este proyecto sin duda. También tiene otra función muy útil, y es la evaluación de las curvas mediante el patrón de cebra, esto es muy bueno sobre todo cuando trabajas en superficies.

Esta aplicación es de las más completas que hay siendo gratis, es muy completa y te permite hacer prácticamente todo lo que te puedas imaginar.

Tenemos en la paleta de esta aplicación, las herramientas en inglés llamadas: *new file*, *import file*, *export file*, *activate mirror plane*, *vibration*, *Y-lock*, *tool tip title*, *sketch tool*, *tape tool*, *curve tool*, *surface tool*, *measure tool*, *table calibration tool* y finalmente, en la parte inferior tan solo existen distintos tipos de materiales que le puedes aplicar a los objetos. Estos materiales pueden ser de color rojo, de tipo arcilla, de tipo cebra, etc.

Las herramientas propiamente dichas traducidas al español se llaman: archivo nuevo, importar archivo, exportar archivo, activar plano de simetría, vibración, bloqueo coordenada Y, título de información sobre herramientas, herramienta de dibujo, herramienta tipo cinta, herramienta de curva, herramienta de superficies, herramienta de medición, herramienta de calibración de la mesa y los distintos tipos de superficies comentadas anteriormente. Todo esto se puede apreciar en la Figura 22.

Cabe destacar, que esta aplicación tiene una opción interesante. Al presionar el botón del menú puedes hacer aparecer y desaparecer la paleta de herramientas, de esta manera, puedes desactivarla en el momento que quieres realizar el bocetado y no te estorbará esta paleta.

Las funciones de nuevo documento, importar y exportar son iguales en la mayoría de las aplicaciones y sirven para lo mismo. La herramienta de “activar plano de simetría” te permite trabajar a la vez en un plano simétrico y los dibujos u objetos que realices se crean a la vez en el plano simétrico predeterminado y ahorras la mitad del tiempo. La herramienta de “vibración” tan solo te permite activar o desactivar la vibración para hacer el uso de la aplicación a tu gusto. En cuanto a la herramienta “bloqueo coordenada Y”, sirve para reordenar la escena, es decir, imagina que estas creando un objeto y al moverte alrededor de él, el entorno coordenado ha variado, al presionar esta opción se pondrá la



Figura 22. Paleta de herramientas de FlyingShapes.

orientación original de nuevo. La herramienta “título de información sobre las herramientas” sirve para activar o desactivar los tutoriales de cada función.

En el modo “herramienta de dibujo” es muy sencilla de utilizar, ya que es el típico dibujo en estilo libre en 3D. Los controles son muy sencillos, ya que, al presionar las flechas del mando puedes hacer varias funciones directas. Hacia arriba, puedes seleccionar o la opción de dibujo o la opción de borrar. Hacia el lado derecho e izquierdo están las opciones de hacer y deshacer. En cuanto a la flecha de abajo, te permite seleccionar varios elementos de los dibujados y puede borrarlos o modificarlos. También, con el joystick, al presionar arriba o abajo, puedes aumentar o disminuir el tamaño del cursor, de manera que, puedes variar el tamaño que tendrán tus dibujos. También afecta la presión con la que accionas el gatillo para dibujar, cuanto más presiones, más ancho será el dibujo que trazas.

En cuanto a la herramienta de “herramienta tipo cinta”, principalmente, es una herramienta que es necesario utilizar ambas manos y, por lo tanto, ambos mandos. Esta herramienta te permite, al igual que una cinta en la vida real, crear trazados de líneas variando su tamaño con el joystick al igual que en el apartado anterior, y permite crear curvas continuas con estas cintas como se puede apreciar en la Figura 23.



Figura 23. Herramienta de tipo cinta.

Con el mando izquierdo fijas en color rojo el tipo de curva que quieres crear, mientras que, con el mando derecho, vas creando el camino que quieres que se fije a continuación. Esta herramienta es muy útil, sobre todo si utilizas Blueprints, como veremos en la Figura 24 en el coche.

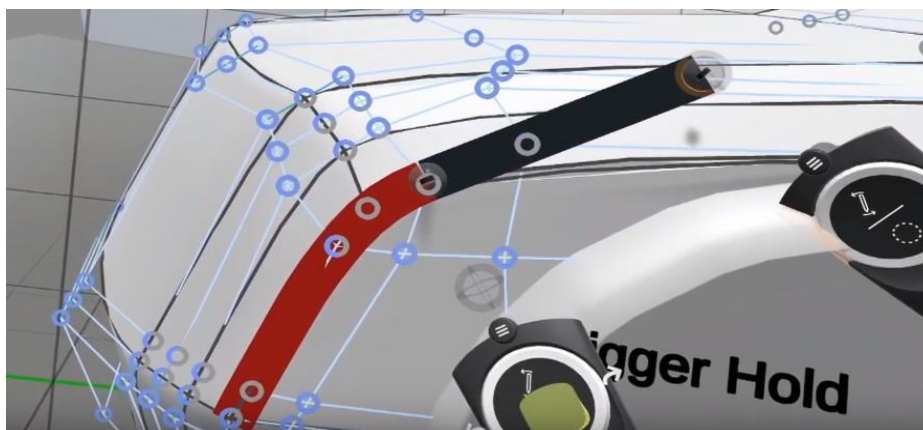


Figura 24. Herramienta de tipo cinta 2.

En cuanto a la herramienta “herramienta de curvas”, es una herramienta muy sencilla, que te permite trazar curvas de distinto grado y agregando el número CVs (*Control Vertices*) deseado. Esto se puede apreciar en la Figura 25, son conceptos básicos de modelado de curvas que, teniendo un mínimo de conocimiento, es muy fácil de usar, incluso es bastante fácil de aprender para gente que no tiene ni siquiera nociones básicas de modelado. Para terminar de trazar la curva, tan solo tienes que



Figura 25. Herramienta de trazado de curvas.

presionar y mantener el gatillo durante unos escasos segundos.

También tiene una opción de crear curvas en modo avanzado, esta opción te permite crear curvas con transiciones más suaves si al crear los puntos presionas el gatillo y arrastras el cursor en la dirección deseada, esto se puede apreciar en la Figura 26.

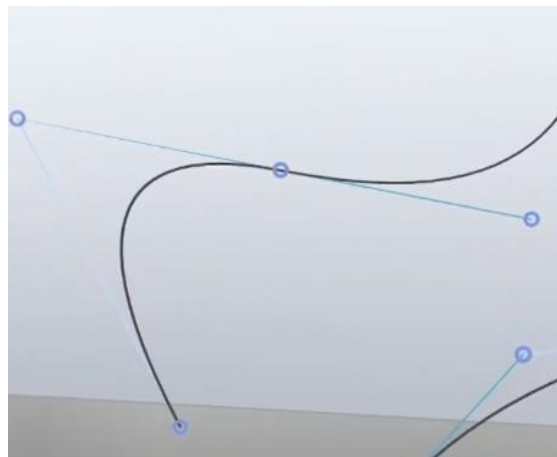


Figura 26. Curvas en modo avanzado.

En cuanto a la herramienta “herramienta de superficies”, permite hacer superficies de manera muy fácil e intuitiva. Es otra opción que se utiliza usando ambas manos, y se van creando patrones de superficies definiendo los puntos de control presionando los gatillos de los mandos, como se puede apreciar en la Figura 27. Esta herramienta tiene varias alternativas, con los joysticks se puede hacer que los CVs se alejen o se acerquen más a la curva original para variar la forma de la superficie. También, al usar las flechas de los mandos, se pueden aumentar o disminuir el número de CVs, por lo que se pueden hacer curvas con tramos más planos, y aumentando el número de CVs puedes hacer superficies con tramos más curvos.

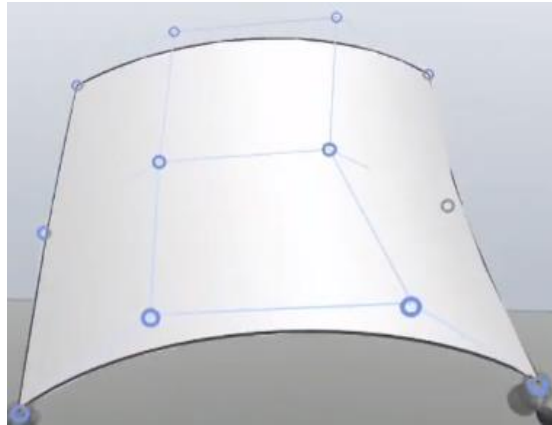


Figura 27. Herramienta de creación de superficies.

Existe otra opción en modo avanzado de creación de superficies, este modo es algo más complejo que el anterior, pero presenta unas ideas muy interesantes. Una vez has creado un parche, puedes aproximarte y seleccionar una arista y extruirla presionando el gatillo, esto creará superficies exactamente iguales que las del parche seleccionado, y cuando quieres terminar de extruir, tan solo tienes que presionar el gatillo y mantenerlo un par de segundos. También puedes crear extrusiones que continúen los parches creados, pero con superficies de CVs distintas, esto se hace presionando el botón “seleccionar” a la vez que presionas el gatillo. En este instante se aparecerá un Gizmo y ya puedes crear la superficie a tu antojo (Figura 28). Finalmente, otra posibilidad que te permite esta herramienta es unir los parches distintos, tan solo tienes que coger una arista de un parche y aproximarla a un parche que contenga una superficie con el mismo número de CVs que la superficie anterior.

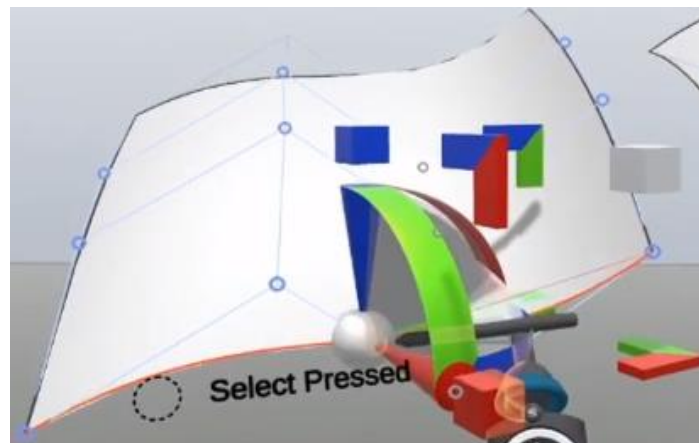


Figura 28. Superficie con Gizmo.

Pasamos a la herramienta “medición”. Esta herramienta es la más ingenieril, permite crear rectas con mediciones exactas y ángulos entre las rectas colindantes. También permite la opción de fijar las cotas que quieres que se mantengan visibles, e incluso puedes hacer dibujos más precisos porque la herramienta te permite fijar los puntos en lugares geométricos que pertenecen a los ejes coordenados como podemos apreciar en la Figura 29.

En cuanto a la “herramienta de la mesa de calibración” es simplemente una herramienta que permite crear un lienzo donde poder trabajar y crear dibujos en él. Con el uso de los dos mandos creas una pantalla que tiene un aspecto de pizarra blanca donde puedes dibujar en ese mismo plano lo que desees. Puede servir a modo de pizarra de apuntes creando un pequeño boceto.



Figura 29. Herramienta de medición.

En cuanto a la parte de los materiales, es una herramienta también sencilla, donde solamente tienes que seleccionar los objetos creados y luego, aplicarle el material. Específicamente, en esta paleta tenemos el color gris (estándar), rojo, espejo, sobra tipo cebra, el color azul, negro, marrón y naranja. La opción más interesante de esta herramienta reside en el material tipo cebra, porque, como podemos apreciar en la Figura 30, nos permite ver la continuidad entre superficies, y si seleccionamos la arista donde queremos que exista es continuidad correcta, se corregirá automáticamente.

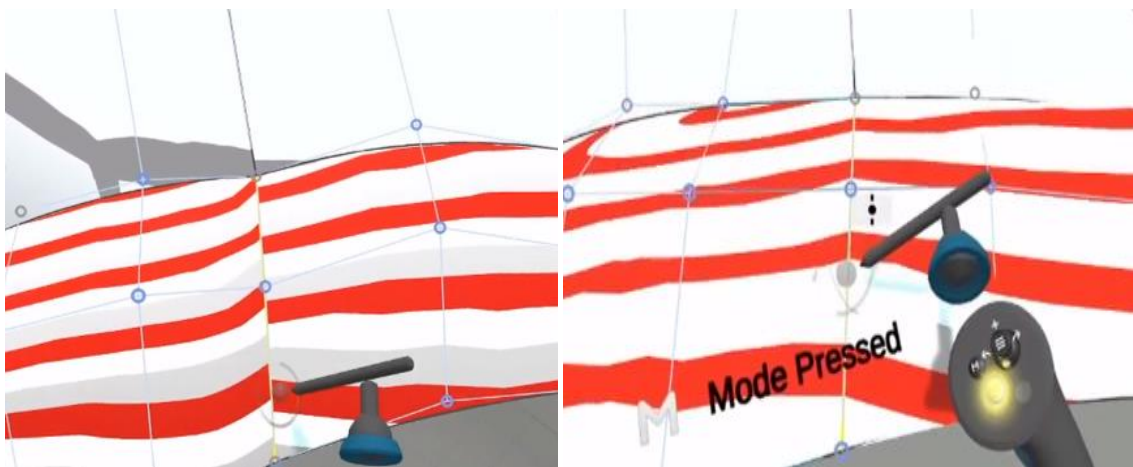


Figura 30. Herramienta materiales sin transición y con transición con continuidad.

3.1.3. Kanova



Es una aplicación de creación de esculturas 3D simple y fácil de usar. Usa una patente llamada *Adaptative Distance Field (ADF)*, es una aplicación de creación de materiales tipo barro, donde los objetos se pueden manipular y crear en un ámbito en RV. Es un software más bien dedicado al diseño artístico y de videojuegos, no está enfocado puramente al diseño industrial. Pero, como en muchas de estas aplicaciones, están desarrolladas de tal forma que sería interesante obtener ideas de estas, ya sea para la forma en la que se modifican los objetos ya creados. Lo que destaca de esta aplicación es la calidad del modelado y los materiales que utiliza.

Esta aplicación es puramente para diseño artístico y gráfico, se puede usar tanto el teclado y ratón, una tableta gráfica o las gafas RV. Todas las herramientas disponibles son comunes para todas opciones de diseño que se acaban de nombrar, y estas herramientas se van a ver en la Figura 31.

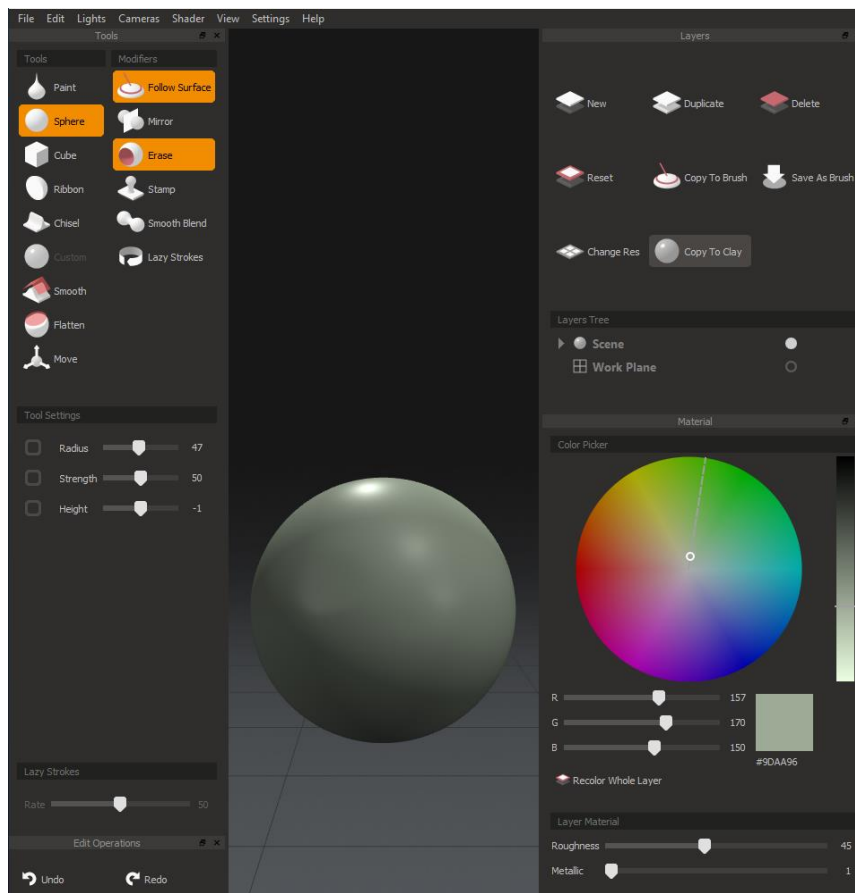


Figura 31. Herramientas de Kanova.

Realmente, pocas herramientas de esta aplicación se pueden aprovechar para nuestro proyecto, ya que, no tiene muchas opciones de modelado industrial y métrico. Prácticamente, todo lo que se modela es a “ojo” sin medidas exactas de lo que estás creando, cosa que es lo que se suele hacer en diseños más artísticos y gráficos. Las herramientas son: paint, sphere, cube, ribbon, chisel, custom, smooth, flatten, move, follow surface, mirror, erase, stamp, smooth blend y lazy strokes. Estas herramientas son las que aparecen en la figura en la parte superior izquierda, las demás son muy intuitivas de saber su función, ya que, son las típicas de crear objeto nuevo, duplicarlo, copiar al pincel, cambiar el color del pincel, añadir rugosidad al material, etc.

Las herramientas anteriores significan: pintar, esfera, cubo, banda o cinta, cincel, personalizar, suavizar, planeado, mover, seguir superficie, simetría, borrar, estampar, combinación suave y trazos perezosos. No es objeto de proyecto describir todas y cada una de estas herramientas a fondo, porque, como ya hemos comentado, no tiene demasiadas ventajas que se puedan incluir para diseños industriales. Todas las herramientas que se usan en esta aplicación son prácticamente similares, ya que, son a grosso modo, para darle forma a personajes y objetos de cualquier tipo, por lo que es buena aplicación para crear personajes de videojuegos o de animación como el que se puede ver en la Figura 32.



Figura 32. Personaje creado en Kanova.

3.1.4. Masterpiece Studio



Aplicación RV hecha para artistas, diseñadores, ilustradores y profesionales creativos que siempre han deseado crear elementos en 3D. Es una aplicación muy buena para crear personajes de animación, donde puedes aplicarle patrones de movimiento a los objetos y tiene una calidad excelente. Como se ha comentado con aplicaciones anteriores, esta tampoco tiene metas demasiado ingenieriles, pero es muy buena herramienta para seguir investigando y tener en cuenta.

Es otra de las aplicaciones que no tienen mucho fundamento industrial, es muy buena aplicación para crear personajes y animaciones para videojuegos, pero poco se puede aprovechar de esto para nuestro proyecto. Algunas de sus herramientas se pueden visualizar en las siguientes figuras (Figura 33 y la Figura 34).

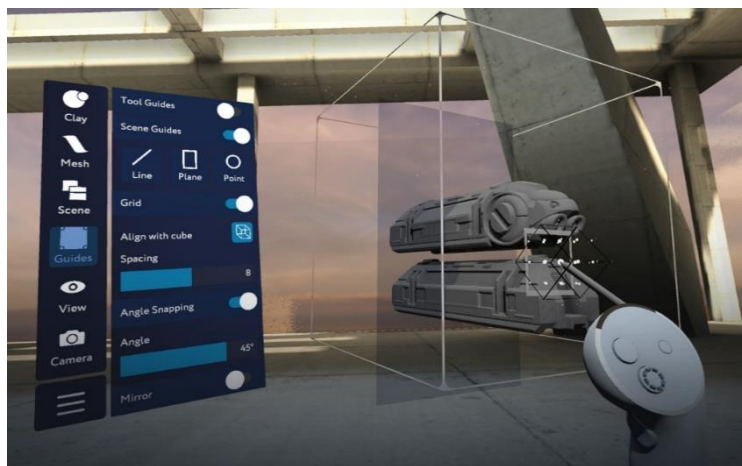


Figura 33. Herramientas de Masterpiece 1.

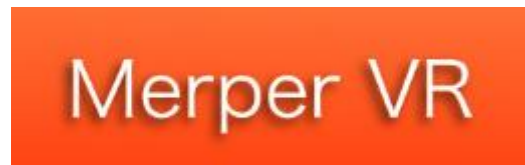


Figura 34. Herramientas de Masterpiece 2.

Estas herramientas son prácticamente iguales que las que se presentan en la aplicación de *Kanova*, por lo que son aplicaciones de diseño gráfico. La gran ventaja de esta aplicación es la facilidad gracias a todas las herramientas que precisa para hacer animaciones de forma muy sencilla. Una de las herramientas que no he visto utilizar en ninguna aplicación hasta ahora es el “twist” o, traducido al español “torsión”. Sería fácil de utilizar, solamente habría que elegir el eje del cual se quiere hacer la torsión, y mediante el giro que le proporcionas con el mando, pues se torcerá más o menos.

Realmente en *Masterpiece*, se han examinado las aplicaciones en su versión gratuita. Tiene dos programas diferenciados, uno es para crear los objetos y elementos llamado “Creation” donde se puede obtener alguna idea para este trabajo. Luego tiene otro programa llamado “Motion” que es el encargado de proporcionarle el movimiento a los objetos y crear animaciones alrededor del entorno. Puedes articular los elementos que vayas creando a placer, y estas articulaciones las puedes hacer mover con unos patrones de movimiento muy intuitivo.

3.1.5. Merper RV



Es otra aplicación para la animación de modelos 3D, es una herramienta intuitiva y en realidad virtual. También permite aplicarle patrones de movimiento a los elementos y es similar a *Masterpiece Studio*, aunque se puede apreciar fácilmente que tiene menor calidad de texturas y movimiento que la que se acaba de citar.

Al revisar esta aplicación a fondo, nos hemos podido percatar que hay muy pocos conceptos que pueden ser de utilidad para nuestro trabajo. Esto se debe a que, solamente permite manipular modelos ya creados y almacenados en la biblioteca de la aplicación, se pueden animar por frames, se pueden desplazar alrededor de un espacio bastante reducido. También es verdad que la manipulación de los distintos elementos de los objetos permite moverlos en prácticamente cualquier posición,

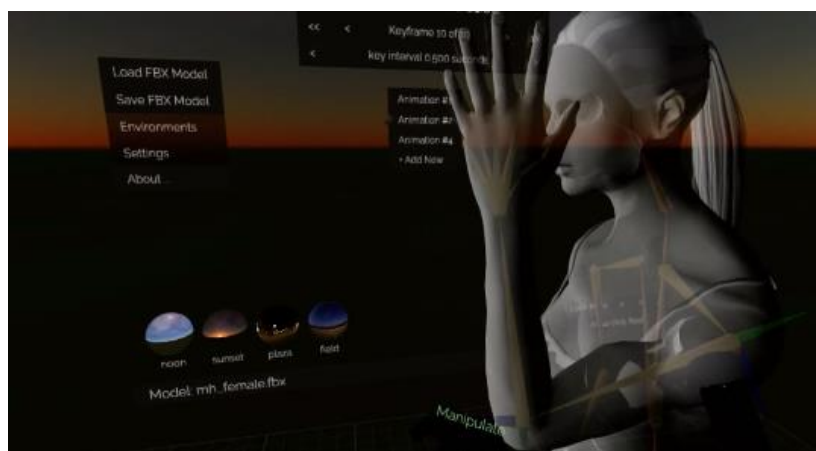


Figura 35. Manipulación de elementos en Merper RV.

aunque el movimiento de estos elementos es poco intuitivo y un poco tosco. Lo único que podría destacar de esta aplicación y que podría considerarse utilizar en nuestro proyecto en algún momento, es la capacidad de mover los distintos elementos de los objetos a las posiciones deseadas. Como poner en una posición específica las extremidades de una persona, o posicionar alguno de los objetos para la realización de alguna tarea determinada, como se puede observar en la Figura 35.

3.1.6. *vBuilder*



Permite a todo usuario crear fácilmente cualquier tipo de objetos en una experiencia interactiva en RV. Se puede modelar, importar, pintar, organizar escenas y realizar animaciones en la plataforma de forma intuitiva y con herramientas potentes. También puedes publicar tus modelos de manera que los usuarios puedan observar el trabajo realizado. Se pueden crear y modificar formas, combinando desde geometría simple a modelos más complejos. Puedes hacer animaciones y efectos especiales con los objetos y tienen como meta abarcar diferentes tipos de industrias.

Parece ser que esta aplicación no es compatible con los periféricos que se utilizan en este proyecto, o puede incluso que, la aplicación esté desactualizada desde hace tiempo y no es posible testarla internamente.

3.1.7. *RVCAT*



Una herramienta simple que permitirá rápidamente crear bocetos y modelar objetos en 3D en RV. No requiere ninguna experiencia previa para poder construir objetos tales como coches, naves u otros objetos propios salidos de la misma ciencia ficción, tan solo deja que tu creatividad fluya. Se enfoca más al dibujo e ilustración, es buena aplicación para hacer finos detalles, aunque tiene un detalle algo rudimentario. Parece una buena herramienta para realizar aproximaciones generales.

Estudiando la aplicación más detenidamente, vamos a ver su panel de herramientas y ver los elementos en los que destaca la aplicación. En la Figura 36 podemos ver las distintas opciones que nos permite realizar en el panel de dibujo.



Figura 36. Panel de dibujo de RVCAT.

Podemos apreciar que es un panel que se describe por si solo ya que no tiene ninguna complicación. Arriba a la derecha podemos elegir el estilo de dibujo libre o a base de líneas rectas, en la parte central podemos ver todos los tipos de distintos pinceles que podemos usar para dibujar, hay dos pinceles que no se aprecian en la imagen ni en la aplicación, y aunque los utilices en la aplicación no se sabe muy bien que forma tienen. En la parte derecha del panel central podemos ver la selección y edición de colores, también se puede modificar el brillo. En la parte inferior del panel podemos elegir



Figura 37. Panel de formas geométricas en RVCAT.

los distintos tipos de modos que presenta la aplicación, el siguiente que vamos a ver es el panel de formas geométricas. En la Figura 37 podemos ver todas estas formas geométricas que presenta la aplicación.

Las distintas formas que se permiten crear en la aplicación son las básicas utilizadas por la mayoría de las aplicaciones, las únicas que son algo distintas no vistas en cualquier aplicación son la de un cuarto de esfera, medio cilindro y el trapecoide (el trapecio en 3 dimensiones). El icono inferior a la izquierda tan solo permite darle iluminación a la escena o eliminarla, al darle iluminación se crean sombras que le proporciona más realismo al entorno.

En la Figura 38 vemos el panel de los ejes coordenados y las cuadrículas. Como podemos observar, ni en la imagen ni en la misma aplicación puedes distinguir los distintos elementos que presenta este panel hasta que lo pruebas, aún así, hay algunos que no sabes distinguir de otros.



Figura 38. Panel de coordenadas de RVCAT.

Lo que permite hacer este panel es básicamente colocar “a ojo” unas cuadrículas o ejes coordenados para dibujar o crear contenido más ordenado o espaciado equitativamente. Uno de estos elementos permite colocar una serie de puntos en línea recta, otro elemento permite colocar puntos dispersos tanto a lo largo como a lo ancho del entorno, todo esto plasmado de una forma poco precisa (puedes variar el tamaño de la dispersión de los puntos aumentando la escala de éstos con las



Figura 39. Posición de puntos en el espacio en RVCAT.

flechas del mando derecho). Finalmente, hay otro elemento que te permite colocar unos ejes coordenados, pero lo peor de este modo, es que no te permite colocar estos elementos de forma alineada con los ejes de coordenadas originales, por ello, es un entorno bastante impreciso. En la Figura 39 podemos ver uno de los elementos que se acaban de citar.

En la Figura 40 podemos ver el último de los paneles de esta aplicación, que es el panel de ajustes. Realmente no tiene nada especial, solamente puedes activar o desactivar elementos que se pueden visualizar en la aplicación, también se pueden variar el tamaño de algunos elementos o se puede borrar todo el contenido que has creado hasta el momento si lo deseas.



Figura 40. Ajustes de RVCAT.

Una cosa destacable de esta aplicación es que, en el menú de guardar, puedes exportar los modelos que has creado a .OBJ, y luego ya modificar tu modelo en otras aplicaciones que permitan manipular este formato.

La siguiente aplicación que veremos no pertenece a la plataforma de Steam, pero sigue siendo gratis y es de las mejores que he podido probar para entornos industriales, ya que es muy fácil de usar para todo el mundo y además trabaja muy bien con geometrías sencillas. La aplicación de la que estoy hablando es SketchUp.

3.1.8. SketchUp



No estamos hablando de la aplicación SketchUp así como tal, sino una extensión de RV que puedes instalar a tu aplicación del ordenador, es muy útil porque te permite instalar esta extensión incluso a la versión de prueba de SketchUp. Con un tutorial de menos de 10 minutos ya eres capaz de manejar todas las herramientas de la aplicación y puedes plasmar cualquier cosa que se te ocurra.

En la Figura 41 podemos ver el menú que nos proporciona la aplicación, son básicamente unos iconos desplegables que nos permite elegir las distintas herramientas pertenecientes a cada sección.

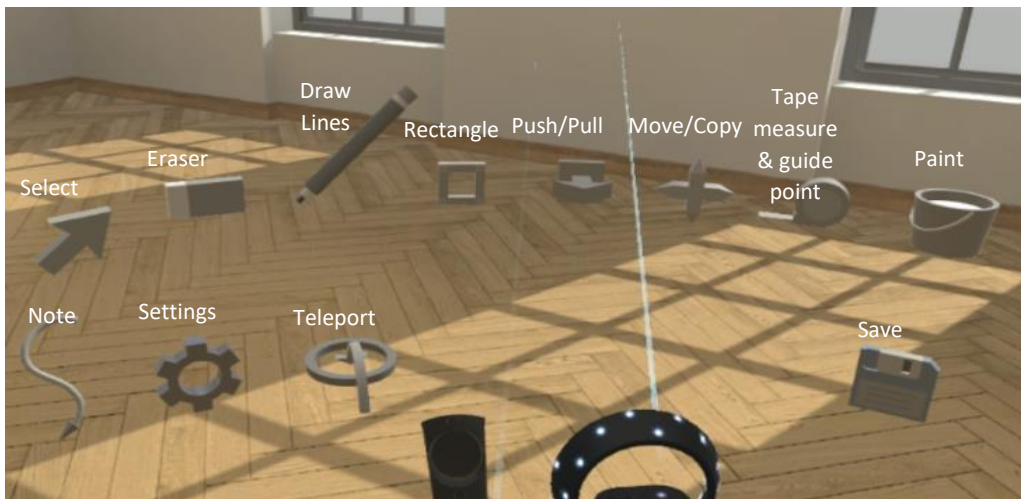


Figura 41. Menú de herramientas de SketchUp RV.



Figura 42. Herramienta "Settings" de SketchUp RV.

Como se ha comentado, cada una de estas herramientas tiene un desplegable que muestra unas opciones relacionadas con la herramienta seleccionada. En la herramienta *“Select”* que sirve para seleccionar los elementos creados, también muestra las herramientas de *“Laser select”* que te permite seleccionar objetos y elementos que están lejos de tu alcance. Otra opción que aparece es la de *“Components”*, que, si la seleccionamos, nos lleva directamente al menú de configuración o *“Settings”*, que en la Figura 42 podemos apreciar las distintas herramientas que nos permite utilizar.

En la opción de *“Rendering”* nos permite cambiar elementos de la configuración del renderizado, como mostrar las sombras u ocultarlas, desactivar o activar las aristas de los modelos, cambiar el ratio de aspecto, cambiar la orientación de los ejes, incluirle los ejes coordenados, etc. En cuanto a *“Options”* nos permite cambiar el tamaño de los iconos o del texto, también permite cambiar los FPS o incluso cambiar el color de las caras creadas en los modelos dependiendo en la posición que se encuentre el objeto. En la opción *“Microphone”* te permite activar el micrófono si lo deseas, que reconoce palabras clave para la selección rápida de distintas herramientas de la aplicación sin la necesidad de navegar por los menús. En la opción de *“Components”* te permite seleccionar objetos que se han importado desde la biblioteca y se han guardado en este espacio, de esta manera puedes recurrir a esta opción para encontrarlos y utilizarlos nuevamente de una forma más rápida. *“3D Warehouse”* aparece un buscador donde puedes escribir palabras clave y buscar modelos ya creados en la biblioteca de la aplicación, o también puedes importar modelos que están subidos en Google. En *“Scenes”* te permite crear distintas escenas colocando el lugar específico de la cámara y la orientación de esta escena. Y finalmente, la opción *“Layers”* te permite crear distintas capas y trabajar a distintos niveles ocultando o revelando las capas que deseas.

Pasamos a la herramienta *“Eraser”*, donde te permite borrar todos los elementos que has creado mediante una goma de borrar. Lo bueno de esta herramienta en esta aplicación es que te permite borrar pequeños trazos de un dibujo creado sin tener que borrar el dibujo entero.

La siguiente opción es la de *“Draw lines”*, que te permite dibujar líneas rectas, arcos mediante la colocación de dos puntos y el tercero determina el ángulo del arco que quieres crear. Y también te permite dibujar de forma libre, por lo que esta aplicación te permite dibujar de todas las formas posibles. Lo bueno de esta aplicación también es que, si quieres colocar puntos paralelos a otros creados anteriormente, el mando vibra y fija a modo de imán cuando el punto es paralelo al anterior, y de esta manera puedes colocarlo paralelamente si lo deseas.

En *“Rectangle”* puedes crear rectángulos definiendo su tamaño, puedes crear también *“cajas”* o cubos, también puedes crear polígonos, que con el joystick puedes aumentar o disminuir en número de lados que quieres que tenga el polígono, y también puedes crear circunferencias. Lo bueno de esta opción es que, a la hora de crear las formas geométricas, te obliga a crearlas paralelamente a alguno de los planos coordenados, y si luego quieres inclinar las figuras tan solo tienes que ir a la opción de rotar.

En cuanto a la herramienta *“Push/Pull”* que te permite modificar la posición de las caras de las figuras creadas, esto permite estirar las figuras o comprimirlas. También te permite extruir las partes de la geometría que desees y ponerlas a la altura de otras formas que hayas creado si lo desees. También te permite crear un *“Offset”*, que es básicamente una cara paralela seleccionada y se crea otra igual a una distancia específica, también permite crear *offsets* de la cara seleccionada variando su escala (Figura 43).

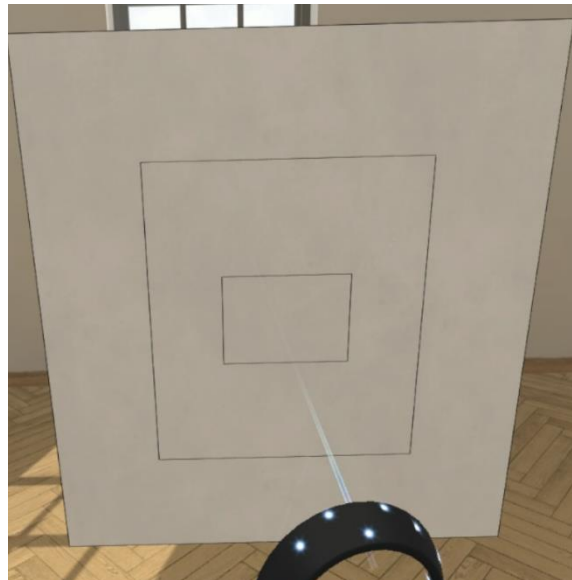


Figura 43. Offset en SketchUp RV.

En *“Move/Copy”*, sí seleccionas un objeto y presionas una vez en el gatillo, puedes mover el objeto y desplazarlo donde quieras, el mando vibra cuando encuentra posiciones paralelas al punto donde has seleccionado el objeto y te permite posicionarlo más exactamente. Sí seleccionas el objeto y también mueves el joystick hacia arriba, se va multiplicando el objeto y lo puedes copiar las veces que quieras. También permite la opción de *“Rotate”* que te permite rotar el objeto de una forma muy fácil e intuitiva. También te permite la posibilidad de *“Scale”* que se escala de una forma también muy sencilla. Finalmente, también te permite la posibilidad de mover los elementos de forma libre en la opción *“Freehand Move”*.

En *“Tape measure & Guide point”* te permite medir cualquier cosa creada en la aplicación, es un procedimiento muy fácil de realizar y también es muy útil en ámbitos industriales. Tiene la herramienta *“Section Plane”* que puede crear secciones entre objetos creados por cualquier lugar.

La herramienta de *“Paint”* no tiene mayor misterio, tiene una biblioteca bastante grande con colores almacenados. También se crea un pequeño recordatorio donde se reúnen los colores usados recientemente y poder acceder a ellos de manera más rápida.

La opción de *“Save”* tan solo te permite guardar sin ningún tipo de complicación. Cuando realizas tu primer movimiento, como crear una forma en esta aplicación, justo al lado de la opción de *“Save”* aparece otro icono que es el de *“Redo/Undo”*, no se aprecia en la Figura 41 porque aún se procedió a modelar nada.

El icono de “Teleport” es muy útil para poder desplazarte por el entorno sin necesidad de tener que moverte físicamente por el espacio con peligro de tropezar con elementos de tu entorno real.

Finalmente, nos acercamos al último icono, es el icono de “Note”. Te permite subrayar o redondear con colores distintos lugares que quieres remarcar y ponerle una pequeña nota. Con las teclas del mando se pueden cambiar los colores o incluso elegir la goma de borrar de las notas. Esta herramienta también tiene el icono de “Camera”, donde puedes realizar fotos de pantalla de manera muy sencilla.

En cuanto a las aplicaciones de pago, se han revisado las siguientes: Gravity Sketch (de VIVEPORT Infinity), MakeRV Pro, Tilt Brush, ShapeLab y Kodon. La inversión total entre todas las aplicaciones que se acaban de citar es inferior a 100€, pero son de mucha utilidad para la investigación del presente trabajo.

3.1.9. Gravity Sketch



Es una aplicación de la plataforma VIVEPORT Infinity, es intuitiva y te permite crear bocetos y dibujos en 3D, dando una experiencia extensa a la creación digital que te permite liberar tu creatividad. Replicando la naturaleza del dibujo a mano, puedes expresar tus ideas en tres dimensiones y en tiempo real, desde la concepción inicial hasta el confinamiento del modelo completo. Se pueden crear bocetos de manera rápida, detallada, bonitas escenas y realizar arte experimental. El detalle y calidad de los elementos y modelos que se crean en esta aplicación son de los mejores que se puede encontrar en la plataforma de VIVEPORT Infinity. Se puede crear prácticamente lo que quieras, con modificaciones en los modelos que permiten plasmar cualquier idea que se te pueda ocurrir. Tiene también la posibilidad de utilizar NURBS, por lo que hace que esta aplicación sea muy completa.

Realmente esta aplicación es de pago, pero se adquirió una suscripción gratuita de 14 días donde se pudo aprovechar este tiempo para revisar la aplicación a fondo.

En Figura 44 vamos a ver el menú de modelado o de dibujo de *Gravity Sketch*. Primero vamos a ver el icono de “Trazo”, que se apreciará mejor todas sus herramientas en la Figura 45.

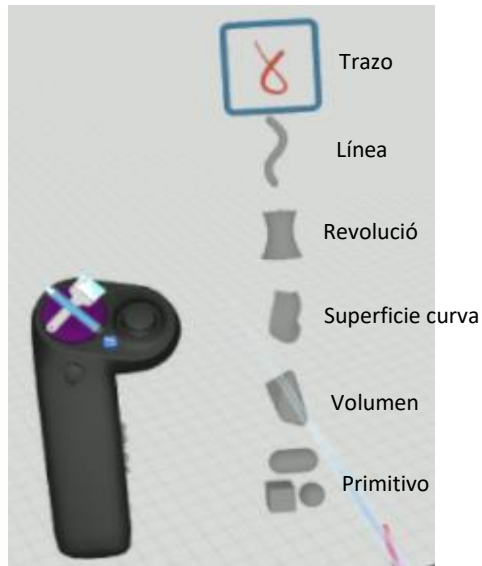


Figura 44. Menú de modelado de Gravity Sketch.

Los distintos tipos de trazos son de “Velocidad”, “Presión” y “Afilar” (Figura 45), los de “Velocidad” son los que, según a la velocidad que mueves el cursor y dibujas, pues el grosor de la línea trazada cambiará, a más velocidad el trazo será más fino y a menos velocidad el trazo será más grueso. En “Presión” pasa algo similar, pero variando la presión que le aplicas al gatillo, cuanto más presiones el gatillo, es trazo será más grueso y cuanto menos presiones el gatillo pasa lo contrario. En cuanto a “Afilar”, lo único que cambia es que al principio y al final del trazo el grosor de la línea es más fino y le da un acabado afilado, la parte intermedia del trazo tiene más grosor que el principio o el fin de este. También podemos apreciar en la figura nombrada otras opciones, opciones como “Grosso a delgado” o lo contrario “Delgado a grosso” donde el trazo pasa a ser de grosso a delgado o al revés. La opción

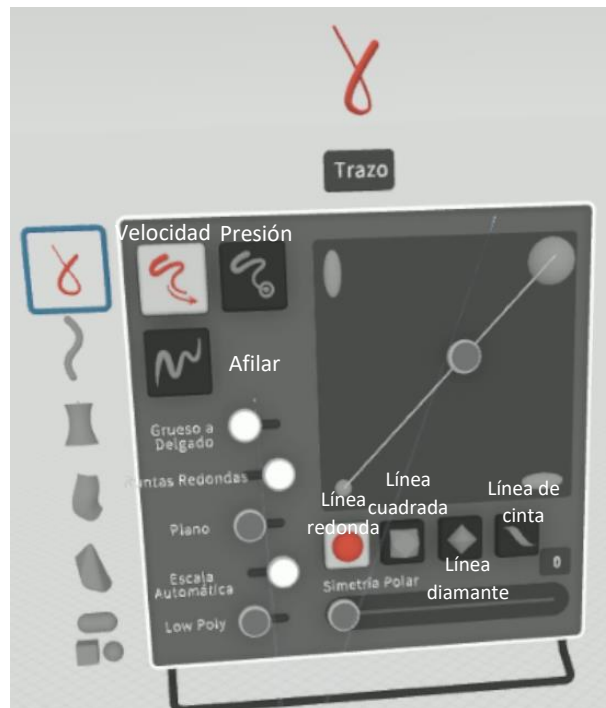


Figura 45. Icono de "Trazos".

de “Puntas redondas” o “Puntas planas” te permite elegir como termina el trazo en sus extremos, ya sea de forma redondeada o plana. El icono de “Plano” tan solo te permite activar o desactivar un plano en el entorno, para dibujar en el plano, o de forma libre. “Escala automática” QUE NO SÉ PARA QUE SIRVE. “Low poly” sirve para cambiar la resolución de la pantalla, ya sea normal o reducida.

Siguiendo con la misma figura, podemos ver que el menú posee un gráfico a la derecha de este, simplemente sirve para variar el grosor que tiene la línea del trazo. Más abajo podemos ver los distintos tipos de línea que se pueden utilizar, como los de “Línea redonda, cuadrada, diamante y de cinta”. Y en la parte más inferior del menú podemos variar la simetría polar, esto permite trabajar con simetrías alrededor del espacio, puedes trabajar en multitud de planos paralelos y acelerar el proceso o crear modelos realmente originales.

En la Figura 46 vamos a ver el menú en el icono de “Línea”, primero debemos saber la diferencia entre “Trazo” y “Línea”, en el “Trazo” tiene el grosor de sus líneas variable, que va cambiando de la forma que hemos explicado anteriormente, mientras que en “Línea”, todo el grosor de la línea es constante y no varía como pasa con el “Trazo”.

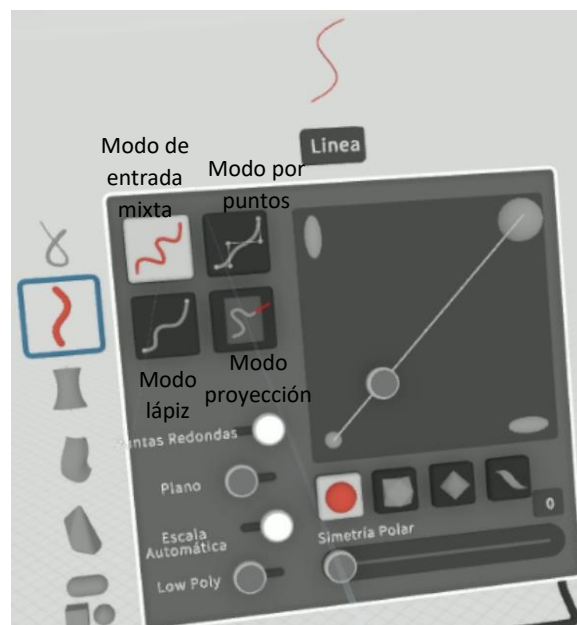


Figura 46. Menú de "Línea".

Vamos a ver los distintos tipos de “Líneas” nos proporciona esta aplicación, la primera que veremos es el “Modo por puntos”, se dedica a formar rectas a base de puntos que ubicas en el espacio, entre dos puntos se crea un CV o un punto de control que es el encargado de darle la curva a la línea que une ambos puntos. Esta herramienta funciona colocando los puntos con el gatillo del mando derecho y para finalizar hay que presionar el gatillo con el mando izquierdo.

En cuanto al “Modo lápiz”, es un trazo continuo. Empiezas colocando un punto inicial donde desees y presionas el gatillo (sin mantener) del mando derecho, una vez creas el primer punto no deja de dibujar, al colocar el segundo punto se creará una línea recta entre los puntos colocados. Si hacemos el mismo procedimiento que acabamos de describir, pero esta vez mantenemos el gatillo presionado sin soltar, se crearan curvas con el trazo que desees desplazando el mando. El “Modo de entrada mixta” es el clásico de pincel de estilo libre, mientras presionas el gatillo puedes dibujar creando curvas

y cuando dejas de presionar, simplemente deja de dibujar. El “Modo de proyección” no lo hemos visto en ninguna otra aplicación, simplemente te permite dibujar sobre algún elemento ya creado anteriormente desde una distancia, no te permite dibujar libremente por el espacio, requiere que haya algo dibujado anteriormente o requiere que exista un plano previo. Las demás opciones ya han sido mencionadas en el menú anterior, porque funcionan exactamente igual.

En la Figura 47 veremos el menú de “Revolución”. Todos los modos en este menú funcionan exactamente igual que en el modo anterior, pero esta vez se crean elementos de revolución que se pueden variar mediante el gráfico que se aprecia en el lado derecho de la figura. Aquí se puede variar tanto el valor de la revolución, de 0 a 360 grados y también se puede variar el grosor que tienen los trazos de la revolución. En la parte inferior del menú también se pueden ver los distintos tipos de línea, no son muy diferentes a los vistos en el menú anterior, solo que añaden las líneas de tipo polígono de 8 caras, de tipo polígono de 6 caras, de tipo triángulo y de tipo estrella.

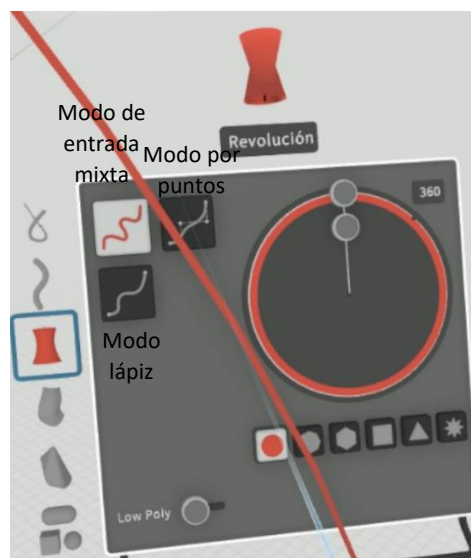


Figura 47. Menú de "Revolución".

En la Figura 48 vemos el menú de “Superficie curva”, este modo te permite crear superficies curvas de forma muy sencilla, es como crear una especie de “manta” que se puede ir modificando de la forma que desees, estirando o comprimiendo el elemento de forma que puedes crear un objeto continuo prolongado. Las opciones que tiene son: “Modo de entrada mixta”, “Modo por puntos”, “Vincular curvas” y “Superficies a partir de splines” (ésta última no aparece en la figura). Las dos primeras opciones funcionan exactamente igual que en los menús anteriores, lo que cambia aquí es el “Vincular curvas” y “Superficies a partir de splines”, donde la primera te permite crear una superficie entre dos curvas creadas anteriormente, mientras que la segunda opción te permite crear superficies empezando por una curva tipo “Spline” creada previamente.

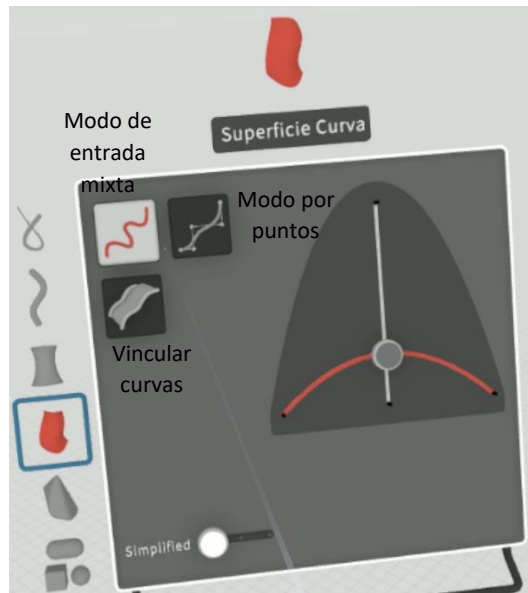


Figura 48. Menú de "Superficies curvas".

Luego, podemos ver que a la derecha del menú tenemos una opción un poco extraña a priori, pero es muy intuitiva, se trata del tipo de tensión o el tipo de curvatura que le queremos dar a nuestra superficie. Cuando más arriba colocamos el botón de la figura, más curvatura presentará nuestra superficie. Finalmente, la opción que aparece en la parte inferior te permite cambiar el tipo de curva, curva "Simplificada", curva tipo "Nurbs" y curva tipo "Subd" que son distintos tipos de curvas. Si seleccionas una superficie mediante el botón lateral del mando derecho y a la vez personas el menú en el mando izquierdo, te aparece otro menú de herramientas como el que podemos ver en la Figura 49. Este menú te permite cambia el tipo de curva que quieres representar y si se quiere utilizar la simetría o no, también, gracias a este menú, se pueden modificar los puntos de control de las curvas creadas para darle una forma deseada posteriormente al haber creado la curva.



Figura 49. Menú "Tipo de curva" de las superficies curvas.

Pasamos a superficies de "Volumen", se puede ver el menú de este modo en la Figura 50. Realmente esta opción tiene las mismas herramientas que en el menú de "Línea", pero sin el "Modo de proyección". Y su utilización no tiene gran misterio, los modos vistos aquí funcionan exactamente igual que en el modo de "Línea", la única diferencia que en este modo se crean elementos en tres dimensiones dibujando de forma libre. A base de la triangulación en el espacio se van creando figuras sólidas con la posibilidad de crear elementos de cualquier forma que se desee.



Figura 50. Menú "Volumen".

Vamos a ver su menú de configuración, esto lo podemos ver en la Figura 51. Ajustes de Gravity Sketch. Vamos a ver en general que ofrece este menú, permite activar el modo espejo para crear simetrías de forma rápida y puedes cambiar el estilo de espejo, puedes ocultarlo, ponerlo fijo o que

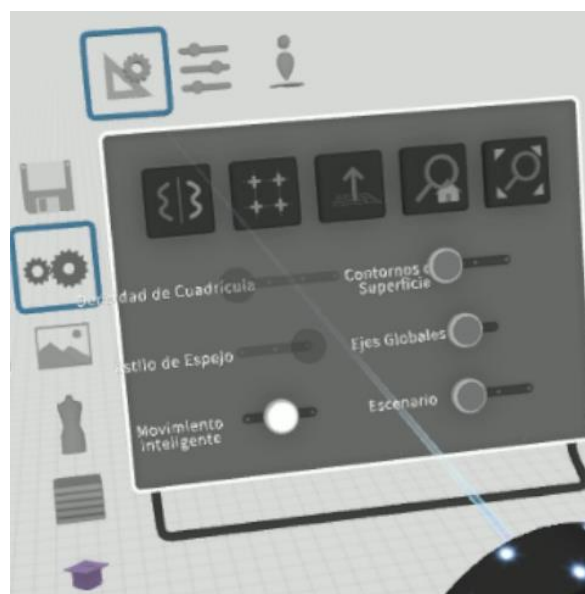


Figura 51. Ajustes de Gravity Sketch.

sea autoescalable. La cuadrícula la puede activar y puedes variar su densidad, es decir, la separación entre los puntos de la cuadrícula.

Se puede modificar el modo en que trabajas en el espacio, activando el movimiento inteligente, ya sea siguiendo el movimiento de los ejes o el movimiento libre. También puedes activar o desactivar los contornos de las superficies que creas, puedes trabajar en los ejes globales o en los locales o puedes incluso desactivar esta opción. Hay la posibilidad de cambiar el tipo de escenario, ya sea de forma cuadrada o redonda.

También se puede bloquear la orientación vertical, puedes reestablecer la orientación original, o en caso de que hayas perdido tu trabajo por el espacio, puedes reubicarte de nuevo con el botón de "Buscar mi sketch". Esta aplicación también permite la posibilidad de cambiar la iluminación del entorno pudiendo variar hasta el color de esta iluminación o el fondo del escenario.

El resto de las herramientas que vemos por la parte derecha del menú y por la parte inferior son opciones que hemos visto anteriormente en otros menús, y su funcionamiento es el mismo que en estos anteriores casos. Pasamos a ver el último menú de los modelados, este menú es el de "Primitivos" donde nos permite crear elementos en 3D gracias a formas básicas que podemos ver en la Figura 52.

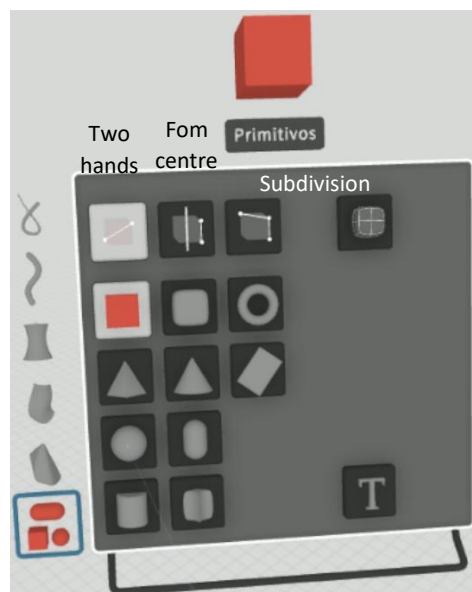


Figura 52. Menú "Primitivos".

Podemos ver las herramientas en la parte superior del menú llamadas "Two hands", "From centre", "One hand" y "Subdivision". La primera tan solo crea rectángulos gracias al uso de los dos mandos, donde le puedes dar las dimensiones que desees. "From centre" te permite crear rectángulos primero definiendo el centro donde quieres que se sitúe el elemento y luego arrastras el mando para darle la forma requerida. "One hand" funciona de forma muy similar a "From centre", donde primero colocas un punto donde quieres que empiece el elemento a crearse (desde el vértice del rectángulo) y luego arrastrando el mando le proporcionas el tamaño y la forma deseada. La última herramienta "Subdivision" está en fase Beta y no funciona correctamente, pero la intención de esta opción es que divida las caras de los elementos en pequeñas subcaras, y así poder modificarlas para dar más libertad al diseño y modelado de los elementos.

El resto de las herramientas que presenta este menú son muy intuitivas, tan solo crean los elementos que muestran sus iconos y son muy fáciles de crear. Finalmente, también permite la creación de textos mediante el icono inferior derecho.

En la Figura 53 podemos ver más de los elementos que nos permite ajustar nuestra experiencia utilizando esta aplicación. Practicante puedes crear un espacio de trabajo acorde a tus necesidades con todas las alternativas que te ofrecen en esta aplicación.

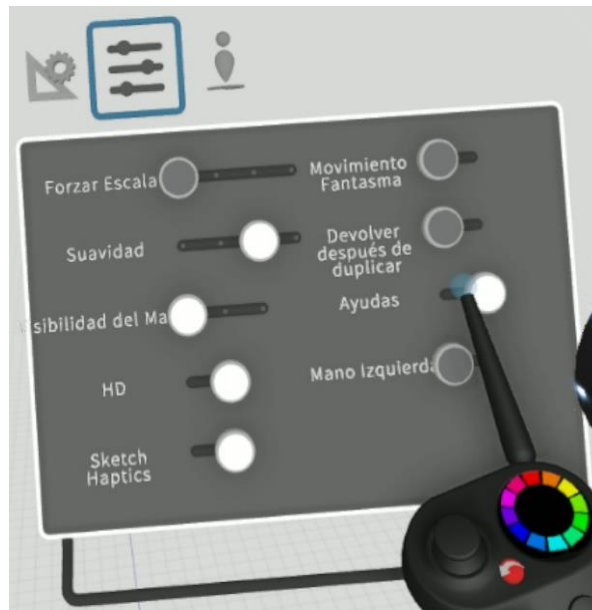


Figura 53. Más ajustes de Gravity Sketch.

Finalmente, también podemos comentar que esta aplicación permite importar modelos como partes del cuerpo humano, imágenes, te permite trabajar con distintos niveles con las capas. Cabe destacar que el icono del sombrero es el de los tutoriales, y tiene unos tutoriales muy bien explicados con todo lujo de detalles, que, gracias a su explicación, puedes crear cualquier cosa que se te pueda pasar por la imaginación.

3.1.10. MakeRV Pro



Capaz de crear con precisión contenidos en 3D en un entorno virtual, permite una creación de experiencias naturales, sin restricción de edades, desde la creación de elementos sencillos hasta el desarrollo profesional CAD. Se necesitan nociones muy básicas o prácticamente nulas de modelado para poder utilizar este programa sin problemas, por lo que resulta ser un programa muy intuitivo también. La tecnología 3D Multi-Touch utilizada es el siguiente paso lógico en la evolución de las interfaces, es una forma de interactuar en entornos 3D de forma tan natural, que cualquier persona puede utilizarla. Además, esta aplicación posee un modo profesional CAD, que te proporciona

herramientas avanzadas presentadas de tal forma que se pueden usar a la perfección y son muy poderosas para realizar modelos con precisión. Permite la utilización de reglas y cuadrículas y otros elementos ingenieriles configurables, así como ensamblajes, etc. Una de las ventajas de esta aplicación también es la capacidad de poder imprimir los modelos en prácticamente todos los formatos 3D.

Finalmente, no se pudo adquirir esta aplicación. Tenía alguna que otra característica interesante para poder añadir a las interfaces de este proyecto, pero desgraciadamente no se pudo analizar esta aplicación íntegramente.

3.1.11. Tilt brush



Te permite pintar en entornos 3D en RV. Permite fluir tu creatividad para diseñar mediante brochas, estrellas, luz o incluso efectos de fuego. En su descripción define que tu habitación es tu lienzo, y esos son los límites para plasmar tu arte, tu paleta es tu imaginación, y las posibilidades son ilimitadas. Es una aplicación que prácticamente solo tiene uso del pincel y de pintura, no tiene la capacidad de modelar muchos elementos sólidos en 3D, pero tiene elementos interesantes que podrían considerarse incluir en nuestro repertorio de ideas.

El manejo de este programa es cierto que es muy sencillo, eso no significa que no requieras de habilidad o de creatividad para crear bonitos escenarios, pero los mandos son muy fáciles de utilizar y en cuestión de minutos ya sabes utilizar todas las funciones.

Hay dos tipos de modos, el modo principiante, que es el que se ve en la Figura 54 y el modo avanzado que veremos más adelante. El modo principiante posee 3 pizarras principales. Lo que se aprecia en la Figura 54, que es la pizarra de herramientas, tenemos las opciones de “eraser”,

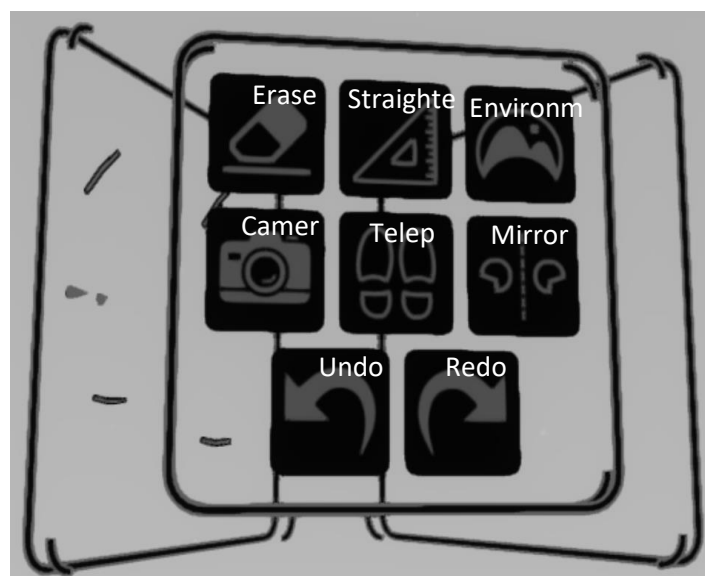


Figura 54. Pizarra de herramientas.

“straightedge”, “environment”, “camera”, “teleport”, “mirror”, “undo” y “redo”. Que traducidos al castellano son: borrar, líneas rectas, entorno, cámara, teletransporte, espejo (más bien conocido como simetría), deshacer y rehacer.

La opción de “borrar” la conocemos todos y simplemente sirve para borrar los dibujos o el trabajo que hemos realizado para rehacerlo de nuevo. La opción de “línea recta”, como bien dice su nombre, se selecciona para permitir dibujar con el pincel en líneas rectas en lugar de dibujo libre. Por defecto si no seleccionamos esta opción, se dibujará en modo libre y si queremos dibujar en líneas rectas pues tan solo se deberá activar esta opción. En cuanto a la opción de “entorno”, es tan solo una herramienta que te permite cambiar el fondo de pantalla en el que trabajas. Te permite cambiar a escenarios como el espacio, entornos de noche, entornos de fantasía, entornos donde normalmente dibujarían los artistas, etc.

En cuanto a la opción “cámara” es simplemente la manera de poder hacer una foto de tu trabajo realizado, te permite incluso hacer vídeos y GIFs y auto-GIFs. La opción de “teletransporte” es sencillamente la posibilidad de poder desplazarte fácilmente sobre el entorno en el que estás trabajando y poder modificar este desde distintos ángulos y perspectivas. La opción de “simetría” también la conocemos todos, y es permitir hacer una simetría del trabajo que estamos realizando, por lo que nos suele reducir el tiempo empleado en la elaboración de nuestro trabajo a la mitad. En esta aplicación no solo nos permite hacer simetría de un dibujo u objeto ya creado, sino que nos permite ir dibujando a la vez que se está plasmando la simetría y esto es una idea muy interesante, porque se visualiza mejor como va quedando nuestro trabajo y se puede ir modificando sobre la marcha.

En cuanto a las opciones de “deshacer” y “rehacer”, no hay gran misterio, son opciones que se usan prácticamente en todos los programas ya. Tan solo es la herramienta que te permite deshacer un avance realizado o rehacerlo por si has cambiado de opinión.

Para movernos entre pizarras es muy sencillo, las pizarras aparecen en el mando izquierdo, y para desplazarte de una pizarra a otra tan solo tienes que mover el joystick del mando izquierdo hacia la derecha o la izquierda.

Pasamos a la segunda pizarra, la pizarra de pinceles (Figura 56). En esta pizarra tenemos decenas de distintos tipos de pinceles, hay pinceles de tipo luz, de tipo neón, de tipo fuego, de tipo de copos de nieve, de tipo de diamante, de tipo de ondas, etc. Lo que más llama la atención de algunos tipos de pinceles son las animaciones por defecto que tienen algunos de estos. Cómo el de neón, que representa la luz del neón a la perfección, o cómo el pincel de fuego que representa su animación de una forma muy realista. No se van a repasar todos los tipos de pinceles que hay en la aplicación porque no es objeto de nuestro proyecto, pero si para la gente que esté interesada en animación o dibujo artístico en RV, sin duda es una herramienta muy buena y entretenida para usar. En la parte inferior de la Figura 56 se puede apreciar un icono de una especie de onda, este icono te permite utilizar tu voz para elegir el tipo de pincel que deseas usar sin tener que buscar entre todas las pantallas de selección, y de esta manera, reduces los tiempos innecesarios.

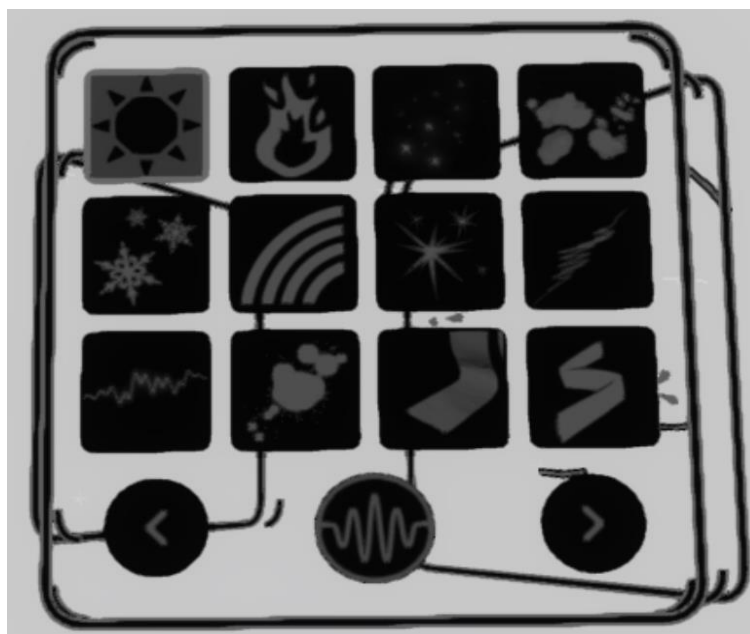


Figura 56. Pizarra de pinceles.

Finalmente, esta última pizarra no tiene mayor misterio, Figura 55. Sirve para elegir el color del que se va a dibujar con los pinceles elegidos. Cómo en casi todas las aplicaciones de diseño, se puede elegir el color y el brillo que se le puede aplicar. El icono que aparece en la figura en la parte inferior derecha es tan solo para poder elegir el color en una paleta de colores circular o en una rectangular, pero realmente representan lo mismo.

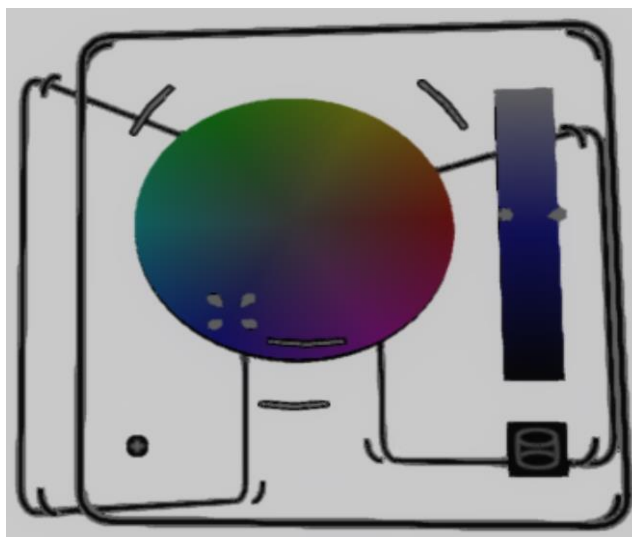


Figura 55. Pizarra de selección de colores.

Ahora veremos el modo avanzado, realmente no tiene opciones mucho más avanzadas o que hagan cosas muy distintas a las que proporciona el modo principiante, pero parece una opción interesante para aprender a utilizar el programa y sus primeros pasos y una vez ya se tenga más nociones del programa, pues utilizar el modo avanzado y crear trabajos con calidades mayores.

El modo avanzado, al igual que en el modo principiante, tiene tres pizarras diferenciadas. Pero dos de las pizarras son exactamente iguales que las del modo principiante, estas son las de selección de colores y las de selección de pinceles, es decir, la Figura 56 y la Figura 55 y son iguales para el modo avanzado. La única pizarra que cambia es la de herramientas, se puede apreciar en la Figura 57, que tiene dos partes. La parte de arriba es la parte de herramientas y la parte de abajo es la parte de otras opciones adicionales.

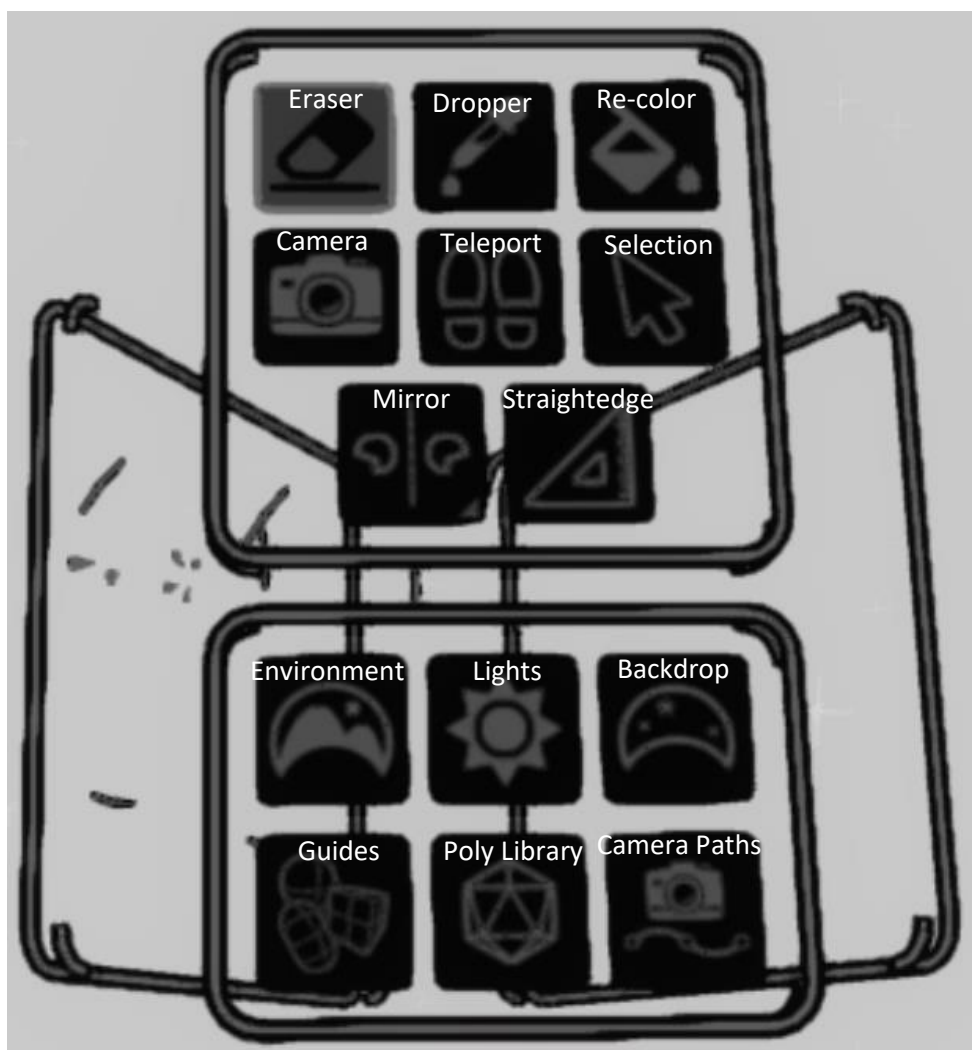


Figura 57. Pizarra de herramientas en el modo avanzado.

En la parte superior podemos apreciar unas funciones muy parecidas a las vistas en el modo principiante. Pero, esta vez, tenemos opciones como *eraser*, *dropper*, *re-color*, *camera*, *teleport*, *selection*, *mirror* y *straightedge*.

Traducidas al castellano, se llaman: borrar, cuentagotas, recolorar, cámara, teletransporte, selección, simetría y línea recta. Las opciones borrar, cámara, teletransporte, simetría y línea recta son exactamente iguales que las descritas en el modo principiante. En esta nueva selección se añaden unas opciones nuevas, cómo el “cuentagotas”, que se utiliza en muchísimas aplicaciones, sirve para copiar y seleccionar el color elegido de un dibujo u objeto ya creado anteriormente en tu diseño, y de esta manera, poder dibujar o crear objetos con el mismo color y tonalidad creadas anteriormente sin

necesidad de tener que volver a ajustar el color que quieres obtener. La opción “recolorear” tan solo sirve para cambiarle el color a un objeto o dibujo ya realizado. Finalmente, la opción “selección” nos permite seleccionar objetos y dibujos creados para luego poder editarlos o borrarlos individualmente sin afectar el resto del trabajo. Esta opción tiene más herramientas dentro de ella, como poder seleccionar un objeto solamente, se pueden seleccionar todos los objetos creados, se puede hacer una simetría de los objetos seleccionados eliminando el objeto inicial, o también se pueden invertir los colores de varios objetos seleccionados.

En cuanto a la pantalla inferior del modo avanzado podemos ver opciones llamadas *environment*, *lights*, *backdrop*, *guides*, *poly library* y *camera paths*. Traducidas al castellano significan: entorno, iluminación, fondo, guías, poli biblioteca y patrones de cámaras.

La opción de “entornos” es igual que en el modo principiante, pero el resto de las opciones proporcionan funciones distintas. La opción “iluminación” sirve para modificar el color y el brillo de la luz principal, la luz secundaria y la luz de relleno. En esta aplicación lo que representa la luz principal, es el color y el brillo que tiene la luz del día, lo que representa la luz secundaria es el color y el brillo que tiene la luz de noche, y la luz de relleno representa el color y el brillo que tendrán nuestros objetos o nuestro lienzo donde creamos nuestro trabajo. La opción de “fondo” tiene tres herramientas que cambiar el color y el brillo del entorno que hemos elegido en nuestro trabajo. Puedes elegir el color y el brillo del cielo y también puedes cambiar el color y el brillo del cielo a la altura del horizonte, también puedes cambiar la densidad de niebla del entorno, que crea como una especie de contraste. En cuanto a la opción de “guías” te permite elegir objetos básicos como esferas, paralelepípedos, elipsoides, etc. Y estas figuras te sirven como guía para hacer formas similares a estas y seguir sus ejes locales para hacer dibujos más precisos. La opción “poli biblioteca” te permite importar objetos básicos ya almacenados en la biblioteca del programa, o incluso importar objetos de otros proyectos ya creados. Finalmente, la opción de “patrones de cámara” es una opción bastante interesante, sobre todo para los interesados en crear animaciones, esta opción te permite crear patrones de movimiento de las cámaras para grabar el entorno que has creado. Por lo tanto, lo que permite esta opción es moverte por toda la escena y trasladar el objetivo de la cámara para grabar por los lugares que te interese que se visualice.

3.1.12. ShapeLab



Proporciona una alegre, sencilla y práctica creación en RV para los afortunados que posean periféricos de este tipo. Pretenden ofertar la herramienta más poderosa y sencilla de diseñar en RV y presentar soluciones de software para profesionales y a los recién llegados como creadores y diseñadores. Desde las primeras versiones, ha tratado de hacer fluir la creatividad y dejar realizar a los usuarios hacer sus diseños propios con una iniciativa colorida, divertida y de una forma intuitiva. Se

puede esculpir, pintar y expresar tu imaginación para llevarla a la realidad virtual. Definitivamente, es una aplicación muy buena para diseñar sobre todo en ámbitos como los videojuegos y mundos virtuales, tiene una calidad sublime, aunque no tiene fines demasiado ingenieriles. Pero, desde luego, es una aplicación muy potente para observarla detenidamente.

En la Figura 58 veremos el menú principal de ShapeLab, como la mayoría de las aplicaciones desarrolladas en RV ésta también está más bien decantada para el diseño gráfico. A priori no aparece ningún tipo de opción que te permita crear objetos de formas sencillas como cubos, rectángulos, esferas, etc. La interfaz empieza con una esfera en la que puedes aplicar las distintas herramientas (que son para esculpir y pintar). La forma en la que te permite mover los objetos en esta aplicación es interesante, mientras en otras aplicaciones no importa el mando que uses, el botón lateral te permite mover el objeto completo alrededor del espacio. En ShapeLab el botón lateral del mando derecho te permite rotar el objeto, mientras el botón lateral del mando izquierda permite mover el objeto libremente, esto es mucho más práctico a la hora de manejarte con soltura. Mientras tanto, al presionar ambos botones laterales te permite aumentar o disminuir la escala del objeto. A mi parecer, esta aplicación ha optimizado la forma de manejar el objeto sobre el espacio (al menos para ámbitos de diseño gráfico porque la rotación no te permite establecer un ángulo en concreto, más bien, es estimado).

Como comentaba anteriormente, las opciones que nos permite utilizar la aplicación son de diseño artístico, estas opciones aparecen en la Figura 58 y son: coger, dibujar, mover, inflar, planeado, eliminar material, suavizar y “pellizco”. Las herramientas solo con su nombre ya identifican la labor que realizan, lo único que nos puede llevar a un poco de confusión es la diferencia entre las opciones de “pellizco”, “coger” y “mover”, básicamente realizan lo mismo, pero el grado del filo es distinto. Es decir, cuando utilizo “grab/coger” el filo será bastante curvo, no habrá demasiadas aristas vivas, mientras que, si se utiliza “mover”, las aristas serán alto más marcadas y puntiagudas. Pasando a la opción “pellizco/pinch” las aristas son bastante más marcadas, son aristas vivas.

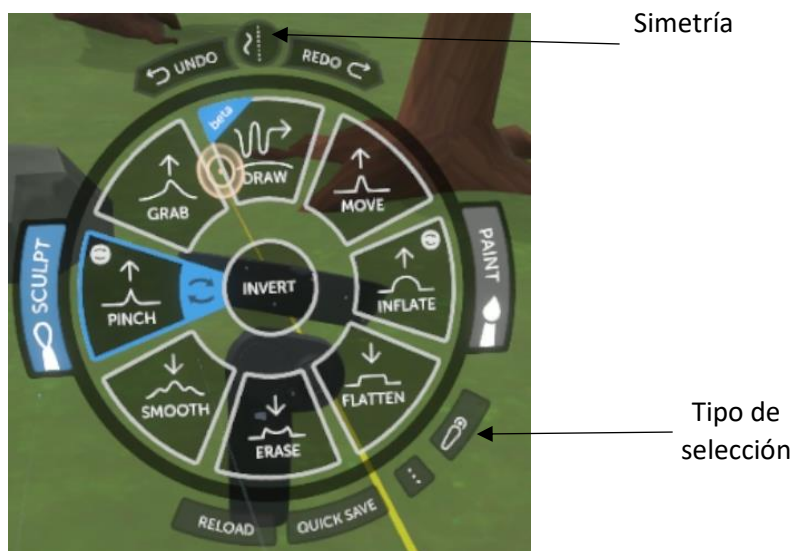


Figura 58. Menú principal ShapeLab.

Las demás herramientas, como ya se ha comentado, realizan la lo mismo que hemos visto en otras aplicaciones. Una opción que te permite hacer esta aplicación que no se ha visto en ninguna otra

aplicación es la de “invertir”, esto es, elegir la herramienta opuesta a la que estás utilizando actualmente. Es decir, si ahora mismo estoy utilizando la herramienta de “pellizcar” y resulta que quiero hacer justo lo contrario que es “inflar”, pues al presionar la opción “invert”, esto seleccionará de forma automática la opción “inflar”.

Otra herramienta interesante de esta aplicación es la opción “tipo de selección”, esto te permite elegir objetos que están cerca, si lo cambias, te permite elegir objetos que están a una cierta distancia del usuario, o la combinación de ambos, puedes elegir/trabajar en objetos que están cerca o a una cierta distancia.

También puedes activar o desactivar la opción de simetría, en la imagen mostrada la simetría esta desactivada, tan solo hay que activarla y te permitirá trabajar a modo de espejo con el objeto.

Pasamos a contemplar la Figura 59, básicamente se trata del menú de pintura, que es bastante fácil de interpretar.



Figura 59. Menú de pintura de ShapeLab.

No tiene nada de especial este menú, tan solo que te permite pintar las distintas partes de tu objeto como si fuera una especie de grafiti, de hecho, hasta suena como un grafiti cuando presionas el botón para pintar. Como en todas las distintas aplicaciones, en el menú de pintura también tienes la opción de poder cambiar la iluminación de cada pintura elegida. También puedes utilizar la opción del “cuentagotas” para elegir un color anterior y utilizarlo cuando desees.

Abajo a la izquierda del menú podemos ver una opción que es “reload”, básicamente lo que te permite es cargar de nuevo el objeto desde el inicio en caso de que quieras empezar de nuevo.

Pasamos a ver el menú de configuración de la aplicación, esto se puede ver en la Figura 60. El programa te permite importar modelos guardados en una biblioteca de contenido que tiene la aplicación, puedes importar objetos muy bien detallados, como pueden ser rinocerontes u otros tipos de animales.



Figura 60. Menú de configuración de ShapeLab.

Existe un menú de elegir el entorno, los distintos entornos que nos permite utilizar la aplicación son muy variados y muy bien recreados, desde ámbitos tecnológicos hasta la misma naturaleza. Esta aplicación te permite guardar el trabajo creado en formatos de leo3D, stl y obj. En cuanto a los materiales, hay una pequeña variedad, te permite definir los objetos con un aspecto mate, brillante, rugoso, etc. El menú “cámara” permite cambiar la iluminación del entorno para hacer capturas, puedes ponerle zoom, cambiar el brillo, el contraste y la saturación. La opción “desktop” tan solo te muestra tu escritorio a través de las gafas RV si lo deseas. En “settings/configuración” puedes aplicar el modo alámbrico que te permite ver los polígonos que se han creado en el modelo, puedes activar el contador de polígonos que solamente te indica el número de polígonos que tiene el modelo actualmente. Este menú también permite cambiar el volumen del ambiente y de los efectos, cambiar la mano dominante y también te permite cambiar el tipo de resolución de la imagen. Solamente queda comentar la opción de “help/ayuda” que aparece un texto explicando distintos tipos de ayudas que te ofrece la aplicación.

3.1.13. Kodon



Es una aplicación de creación de esculturas en 3D, es una buena aplicación de modelado con una interfaz intuitiva que permite incluso experimentar la creación de modelos 3D en forma mucho rápida que las formas convencionales.

Esta aplicación principalmente nos permite crear modelados de tipo poligonal o de tipo “Voxel”, éste último es el típico modelado de esculturas, crear elementos más curvos con

herramientas de suavizado, de pinceles para dibujar por la superficie del elemento, etc. El primer modelado que vamos a analizar es el "Voxel", lo podemos ver en la Figura 61.

Primero de todo, cabe destacar que las imágenes obtenidas de esta aplicación son de bastante mala calidad, esto es debido a dos factores. La aplicación sigue estando en fase Beta y hay algunas herramientas que no funcionan correctamente y es posible que la resolución de los menús no sea la definitiva. La otra razón, es simplemente que han utilizado menús muy grandes con tamaños de fuente muy pequeños y cuesta mucho leer los títulos de los menús y de las herramientas.

En cuanto a la Figura 61, las herramientas utilizadas en este modo serán enumeradas del 1 al 8. El nombre de cada herramienta se ha deducido personalmente ya que en la aplicación no nos proporcionaba ningún título.

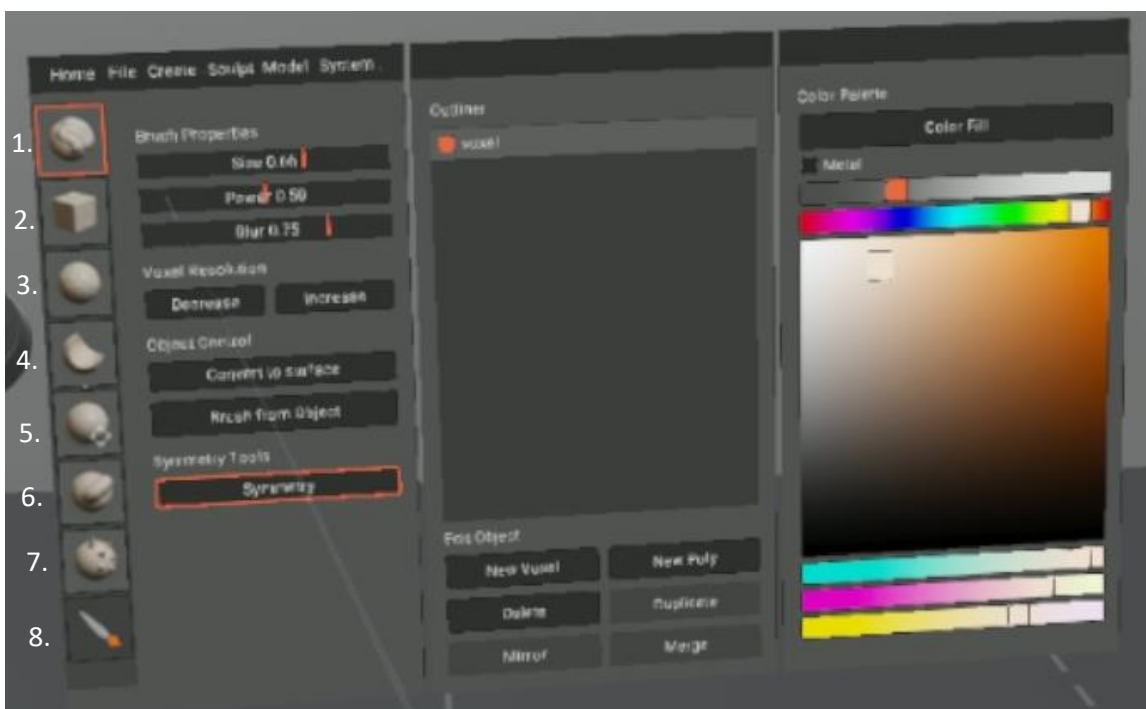


Figura 61. Menú "Voxel" de Kodon.

En todas las herramientas de esta sección se les puede configurar lo mismo, que es básicamente las opciones que aparecen a la derecha de las herramientas. Se puede aumentar o disminuir el tamaño del elemento a crear, se puede variar la intensidad de la forma en que se crean estos elementos y cambiar el tipo de difuminado que tienen. El icono de "Resolución visual" intuimos por su nombre que es para incrementar o decrementar la resolución del modelo, pero al utilizarlo lo que nos percatamos es que aumenta o disminuye escalarmente el tamaño de los modelos, así que, podemos intuir que la herramienta al estar en fase Beta no funciona bien o no están asignados los controles correctamente. Se puede activar la simetría que se crea a través de los planos que puedes colocar fácilmente por el espacio y también se puede convertir a una superficie o de una malla a un objeto.

1. **Modelado redondeado.** Básicamente permite crear de la nada modelos en 3D de objetos curvos rellenando el espacio.
2. **Modelado rectangular.** Es igual que el anterior, pero esta vez se crean modelos más cuadrados.
3. **Suavizado.** Esta opción sirve para modificar modelos creados, simplemente suaviza las superficies de los modelos para darle un aspecto más suave o limpio.
4. **Eliminación de material.** Simplemente, permite “erosionar” material y darle la forma que desees en modo libre.
5. **Desplazamiento a través de los ejes coordenados.** Esta herramienta te permite mover los objetos creados de forma paralela a los ejes coordenados.
6. **Acumulación de arcilla.** Te permite acumular material por encima de la superficie de los elementos y darle forma.
7. **Importar modelos.** Es la típica herramienta que tienen casi todas las aplicaciones de modelado, te permite importar modelos almacenados en la biblioteca de la aplicación, objetos como humanos y partes del cuerpo humano.
8. **Pintar.** Esta herramienta te permite pintar por la superficie del modelo y darle el color deseado por medio de la paleta de colores que se aprecia a la derecha de dicho menú.

La Figura 62 veremos el otro tipo de modelado que nos ofrece *Kodon*, el modelado poligonal. Este modelado es más parecido al de tipo industrial y es más interesante para nuestro trabajo. En este tipo de menú también lo descompondremos como en el anterior, pero esta vez de un número del 1 al 5.

Antes de nada, cabe destacar que, al iniciar un nuevo documento del tipo poligonal, se crea automáticamente un cubo en el centro de los ejes coordenados. Una vez se ha creado este elemento, puedes modificar la forma de éste utilizando las herramientas que veremos a continuación.

1. **Mover libremente.** Te permite mover las aristas, los vértices y las caras libremente por el espacio.
2. **Mover con los ejes.** Te permite mover las aristas, los vértices y las caras libremente, pero con la restricción de que tienen que ser paralelamente a los ejes coordenados o a los planos.
3. **Eliminar elementos.** Te permite eliminar especialmente caras de forma sencilla.
4. **Desplazamiento a través de los ejes coordenados.** Esta opción es exactamente igual que en el menú anterior, te permite mover el objeto completo alrededor del espacio siguiendo el movimiento paralelo de los ejes coordenados.
5. **Pintar.** Esta opción también es exactamente igual que en el anterior menú, te permite dibujar en cualquier parte de la superficie el color que desees que tenga tu elemento, esto se logra variando el color con la paleta de colores de la parte derecha del menú.

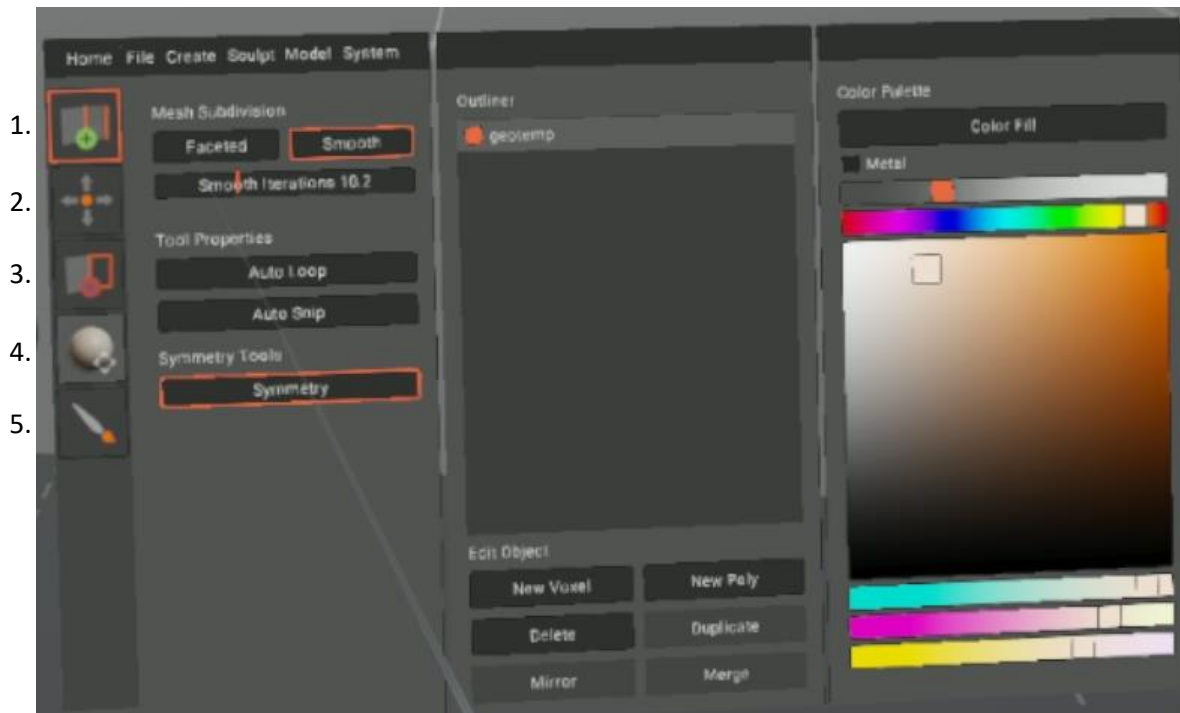


Figura 62. Menú "Poligonal" de Kodon.

En cuanto al resto de opciones que permite manejar esta aplicación, se encuentra la posibilidad de cambiar el tipo de aspecto que tiene el cubo original. Puede tener un aspecto facetado, que es básicamente que tenga un aspecto rectangular, mientras que es aspecto suavizado le permite tener una forma más circular y suave al cubo original. También se puede modificar las iteraciones del suavizado, que teóricamente, debería poder alterar el grado en el que se crea la curvatura del elemento, haciendo el elemento más curvo o menos. Pero la realidad es que, al probar esta opción, apenas se nota diferencia, por no decir ninguna.

También se pueden cambiar algunos elementos en la configuración de la aplicación, permite cambiar el entorno de la escena, te permite cambiar la mano dominante, puedes activar o desactivar la lámpara o el escenario (que básicamente es un plano) y finalmente también te permite configurar el grado en el que puedes presionar el gatillo para que puedas modelar de forma más o menos intensa.

3.2. Revisión de trabajos publicados en revistas científicas

Este apartado trata sobre las aportaciones que podrían servir para el futuro de la RV gracias a artículos realizados en revistas científicas. Realmente, el mundo de la RV sigue estando en su etapa primeriza de desarrollo en cuanto a ámbitos de modelado mecánico, y la idea es poder introducir la RV en el sector industrial, porque las aplicaciones actuales de RV suelen solo utilizarse para visualización.

Existen estudios que están desarrollando la integración del FEM en la RV. La aproximación llamada *VirDe* realizada por Tommaso Ingrassia y Francesco Cappello [11], es un nuevo diseño integrando el FEM con el modelo CAD. Es una actualización muy buena para la ingeniería que estos

avances se puedan implementar, porque permitirá hacer el modelado de una forma muy intuitiva, la pega sigue estando en que este sistema aún no está muy bien desarrollado. En el artículo mencionado, explica que los sistemas RV más desarrollados solo tienen implementados los análisis de post procesados CAD y FEM, y que el desarrollo del producto no se realiza en el RV, sino que se utilizan sistemas CAD y FEM tradicionales. Por lo que, si existen variaciones en el modelo, el proceso de aplicar los cambios en el CAD volver a cargar la simulación FEM se vuelve muy tediosa. Por esto mismo, el artículo trata con hacer un sistema que tenga en cuenta todo el proceso de diseño del producto y evitar estos problemas mencionados.

Otra idea interesante, es la aplicación multisensorial a la creación de modelos diseñados en tres dimensiones. Se han desarrollado las aplicaciones de modelado en 3D con herramientas como teclados y ratones, que realmente son elementos que trabajan en dos dimensiones. Es obvio que hay que empezar con lo básico para poder desarrollar una aplicación con herramientas complejas, pero es contraintuitivo el utilizar herramientas en dos dimensiones para crear objetos en tres dimensiones. Por lo que, Chi-Cheng P Chu, Tushar H Dani y Rajit Gadh en un artículo [12], mencionan una interfaz multisensorial adaptada para el modelado CAD en RV. Es un mecanismo que permite al usuario navegar por el espacio y manipular los objetos mediante el movimiento visual del ojo humano, ordenes por voz y el movimiento de las manos. El mecanismo proporciona una visión estereoscópica, un dispositivo de voz y un elemento háptico. La idea que nos quieren plasmar en este artículo es básicamente que la utilización de los sentidos humanos nos permite, sobre todo a la gente primeriza con estos dispositivos, es que nos permite trabajar de forma natural e intuitiva.

Se comenta algo similar en otro artículo científico en el que también participa Rajit Gadh [13], la implementación de una aplicación multisensorial pero que además se le añade una característica multimodal. Es decir, normalmente las aplicaciones de RV han sido desarrolladas para la utilización de un usuario a la vez, mientras que, el proceso de diseño y fabricación de un objeto en el uso tradicional se suele utilizar un entrono colaborativo donde varios expertos pueden trabajar simultáneamente en distintas áreas del producto. Pues la idea del elemento multimodal es este, el poder usar una especie de espacio colaborativo donde varias personas pueden trabajar a la vez con el mismo producto sin tener que estar perdiendo tiempo al tener que ir turnándose los periféricos. Básicamente, lo que se

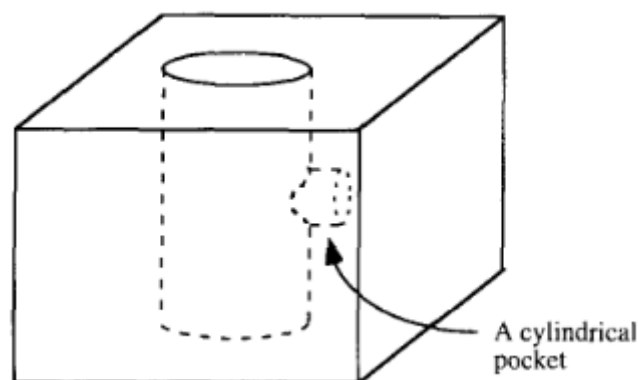


Figura 63. Ejemplo de mecanizado de un agujero ciego para aplicaciones CAD y RV.

trata con este sistema, es el poder compartir información entre los integrantes del grupo a través de unos servidores dedicados, y así poder trabajar desde distintos dispositivos a la vez.

También, es interesante contemplar las ventajas que tienen las aplicaciones RV para el modelado CAD frente a las aplicaciones tradicionales. Esto se puede ver muy bien explicado en el artículo realizado por S. N. Trika, P. Banerjeet y R. L. Kashyap [14]. Existen tres grandes ventajas de utilizar la RV frente al CAD tradicional, una de ellas es que el proceso de diseño se simplifica mucho. Al poder navegar por el entorno de una forma inmersiva, puedes llegar a cavidades del producto que en métodos tradicionales te llevaría un rato para poder llegar al mismo punto. Por ejemplo, en la Figura 63 podemos ver un agujero pasante con una pequeña cavidad conformando un agujero ciego perpendicularmente al primer agujero citado. Para poder realizar este agujero ciego utilizando las RV tan solo tendrías que mirar a través del primer agujero y seleccionar la localización de este segundo agujero. Mientras que, en el modo tradicional tendrías que realizar un corte seccionando el objeto, redireccionarlo y elegir el punto donde quieres realizar el agujero ciego.

Otra ventaja es que fuerza implícitamente las restricciones de accesibilidad a las funciones. Es decir, exige al diseñador que dibuje las características directamente en las superficies de la pieza agregando un grado de confianza a la capacidad de fabricación del diseño porque garantiza la accesibilidad a esa superficie. Se requiere que el diseñador alcance una superficie antes de dibujar en ella, de la misma manera que una máquina herramienta debe alcanzar una superficie antes de mecanizar una característica en ella. En la Figura 64 podemos ver unos elementos que son algo complejos de realizar mediante un CAD tradicional usando parámetros estándar, pero que en la RV es muy fácil de especificar.

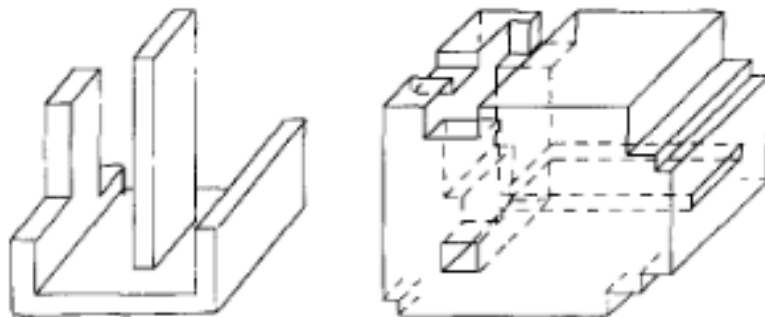


Figura 64. Ejemplo de modelos creados con sistemas CAD y RV.

Otra de las ventajas que ofrece la RV es que puede proporcionar sugerencias en la planificación de procesos sobre la secuenciación de características. Porque, uno de los problemas en la planificación de procesos es la decisión del orden de qué característica debe ser mecanizada primero. Ya que, con interfaces inmersivas hace que esta información sea explícita, porque, realmente, la decisión del diseñador del orden del mecanizado normalmente refleja la manera más rápida de poder crear el objeto planteado.

Existe otro artículo científico que recalca lo poco que está desarrollada la RV para el CAD [15], y cita las maneras de cómo podría mejorarse esta aplicación. En la actualidad, los modelos son creados en un sistema CAD tradicional, especificando las dimensiones. Luego, debe transferirse esta información a una herramienta CAD en RV, dónde las relaciones topológicas y las restricciones entre las entidades y la información paramétrica se pierden. Así que, para poder modificar estos modelos es necesario volver al CAD inicial, hacer los cambios deseados y luego reimportarlos al sistema RV para verificar que estos cambios se han hecho correctamente, lo que hace un procedimiento bastante tedioso e impreciso.

Por ello, en este artículo se presentan algunas modificaciones que podrían mejorar las aplicaciones RV para futuros procesos de modelado de productos. Principalmente, todo el desarrollo del modelo debería realizarse en la aplicación RV, y aquí también se llevarán las posibles modificaciones futuras. De esta manera, al poder hacer todos los cambios y el modelado en la misma aplicación, no hay necesidad de hacer transferencia de datos entre distintas aplicaciones, reduciendo así la posibilidad de perder información entre estas. Pero, es muy fácil decirlo, pero no tan sencillo el realizarlo. Ya que, las aplicaciones RV existentes no tienen todas las funciones que los CAD tradicionales tienen hoy en día. Por ello, se presenta una metodología para crear estos modelos directamente en entornos virtuales incorporando restricciones a estos entornos, haciendo el modelado de producto de una manera intuitiva y con una precisión de restricciones basada en las manipulaciones. Así que, el artículo está estructurado con cuatro secciones para presentar esta mejora. Estas secciones son: Modelado sólido basado en restricciones en entorno virtual, la construcción jerárquica de estructuras y restricciones, la realización de las restricciones en manipulaciones directas en 3D y la implementación y el prototipo realizado con sus resultados.

Otro artículo interesante es el realizado por F. Cappello, T.Ingrassia y M.Romano [16], en el que relata también una aplicación RV desarrollada por ellos para el modelado CAD en RV. En el que habla de que, gracias a aplicaciones desarrolladas como las que ellos realizan, son utilizadas cada vez más en entornos industriales. Básicamente explica las funcionalidades que tienen el software que ellos han desarrollado, el cual llaman "RV Studio." Que son, la realización de bocetos en dos dimensiones mediante arcos y segmentos, *point snapping* (coincidencia de puntos), realización de extrusiones y revoluciones, manejo de la cámara y abrir y guardar los archivos en archivos BREP y formatos IGES.

Luego, un artículo llevado a cabo por P. Ladwig and J. Herder y C. Geiger [17], llegan al punto de crear una aplicación de RV velando por la comodidad y descanso adecuado del usuario, porque consideran que este factor es muy importante para el modelado de producto, ya que, para el modelado perfecto de un modelo requiere largas sesiones de progresivos ajustes en sus elementos. Por ello, lo que tratan de hacer en su aplicación es minimizar la energía utilizada y maximizar el confort del usuario. Esto se realiza mediante las siguientes características; principalmente, puedes elegir si trabajar sentado o de pie. Puede uno sentirse libre para pasear por el entorno para modelar de forma más intuitiva alrededor del espacio, pero si deseas estar en una posición más fija y tranquila puedes sentarte y seguir trabajando, aunque se ha llegado a la conclusión, que el usuario se siente más cómodo cambiando de posición de vez en cuando. Su sistema también tiene la posibilidad de permitir descansar tus brazos en el reposabrazos de la silla, parece una cuestión obvia, pero parece ser que tiene un impacto bastante significativo a largo plazo del uso. Y, también evita la continua extensión de brazos para grandes periodos de tiempo. La aplicación tiene una funcionalidad que gran parte de la

utilización de los mandos se hace por medio del movimiento de las muñecas, sin tener que utilizar todo el brazo continuamente.

También es importante recalcar que, la utilización de RV para ámbitos del diseño gráfico o artístico puede extenderse muchísimo y puede ser altamente efectivo. Uno se puede informar mejor con el artículo científico realizado por Enrique Rosales, Jafet Rodriguez, y Alla Sheffer [18]. Como se ha comentado anteriormente en otros artículos, la utilización de herramientas en dos dimensiones para crear elementos de tres dimensiones tiene sus limitaciones y la metodología empleada es más lenta que la utilización de herramientas en tres dimensiones. Y esto es todavía más notable en ámbitos artísticos o de diseño gráfico, ya que, la utilización de pinceles y de modelados superficiales es muy limitado utilizando herramientas en dos dimensiones. Es muchísimo más práctico utilizar entornos virtuales para poder hacer dibujos tridimensionales sin tener que estar girando el entorno con el teclado y ratón, simplemente el usuario puede ir moviéndose por el entorno como si estuviese ahí mismo. Este artículo habla de la prueba realizada tanto con profesionales del diseño como con inexpertos pueden fácilmente entender bien cómo funcionan las apelaciones de este estilo y pueden rápidamente crear elementos en tres dimensiones. En cambio, cuando ponemos en manos de inexpertos las aplicaciones de diseño gráfico o artístico tradicionales como puede ser *ZBrush*, la adaptabilidad a es muchísimo más compleja que con entornos tridimensionales.

En el siguiente artículo científico [19] trata de temas similares a los mencionados en el anterior artículo, recalca lo complicado la adaptación a programas de modelado tradicionales para gente inexperta, y lo que tratan de hacer en el presente artículo es intentar hacer una aplicación capaz de poder ser utilizada por muchos más usuarios. Esto lo realizan creando un software con lo que denominan *head-mounted display*, que es básicamente como todo lo que estamos viendo en este trabajo, “una pantalla montada en la cabeza” que son los periféricos siempre mencionados. Su inspiración para realizar su trabajo viene de hacer coger ideas intuitivas del modelado en 2D y trasladarlas al 3D. Cabe destacar, que este artículo es bastante viejo, se creó en 1992 y todavía esta tecnología era muy rudimentaria, estamos hablando de unas gafas RV que no van con mando, sino que utilizan el ratón como controlador.

Volvemos a ver otro artículo más relacionado con el diseño artístico [20], donde los escritores subrayan las limitaciones que tienen las herramientas del modelado en RV actualmente, que afectan a la creatividad y a la aplicabilidad. Que estos son, el poco control del modelado en modo libre y la dificultad de empezar desde cero, al menos estas eran las dificultades que había en el 2016, hoy en día al menos el modelado en modo libre ha mejorado ligeramente. Para realizar esto, lo que hacen en este estudio es utilizar una interfaz inmersiva en 3D para hacer modelos de forma “artesanal”. Los artistas empiezan haciendo bocetos en 2D fuera de la aplicación RV, luego las importan y las posicionan en las RV, donde, en esta aplicación tratan de construir por encima de estos algoritmos de procesamiento de imágenes. Lo que hacen es seleccionar las curvas que están en 2D y son “levantadas” creando una curva en el espacio de forma tridimensional. Luego lo que hacen es generar estas superficies de barrido creando curvas tridimensionales, en el artículo citan que esta aplicación fue probada con gente avanzada y con novatos, y todos fueron capaces de entender cómo funcionaba dicha interfaz.

Vamos a pasar a otro artículo que se remonta en 1995 [21], donde todavía, la mayoría de las aplicaciones de este ámbito se utilizan bocetos en 2D que son proyectados en 3D y utilizando como controlador el ratón, y todos ya sabemos las limitaciones que esto implica. Por aquel entonces, la RV

se utilizaba mayormente para simulaciones y para entretenimiento y no estaba extendida a aplicaciones del día a día. Lo que previsualizaban estas personas era que la RV podía ser una tecnología muy potente para mejorar la productividad en el modelado en 3D. Pero, por aquel entonces pocos podían permitirse aplicaciones de este estilo que tuviesen un rendimiento de renderización aceptable, y poder elaborar una aplicación así cada vez iba siendo más cara, porque las expectativas de los usuarios cada vez eran mayores por la mejora de la calidad de las interfaces. No había softwares comerciales en aquella época, lo más cercano que podía tener un ciudadano de calle eran demos o representaciones muy breves de estas tecnologías. Por tanto, lo que querían conseguir con este estudio era poder llegar a comercializar este producto para la masa del mercado, no centrándose en limitados nichos. Así que, lo que crearon fue *HoloSketch* una interfaz fácil de usar para todos para crear dibujos, bocetos en 3D y sistemas de animación. Todo esto teniendo previamente que dibujar en 2D y luego convertirlo a 3D con barridos, proyecciones, etc.

También existen artículos que investigan elementos más concretos de modelar en RV, como el de experimentar la habilidad de una persona humana en dibujar en el aire con entornos RV [22]. Es obvio entender que existe un gran potencial en bocetar en RV, aunque hasta incluso a fechas del año 2017 y hoy en día, el poder dibujar de forma precisa en el aire es bastante complicado. Por eso, lo que se investiga en este estudio, son los factores que afectan a los humanos para poder dibujar de forma libre en el entorno virtual. Por lo que hacen un primer estudio comparando el dibujo tradicional en una superficie física con un dibujo en el entorno RV. Y lo que pueden averiguar es que las imprecisiones que se originan en entornos RV son debidas a la falta de tener una superficie física en la cual poder dibujar, y esto depende en gran parte de la orientación que tiene la superficie del dibujo. En un segundo experimento, evalúan hasta qué punto la guía visual puede compensar la pérdida de precisión del boceto en la realidad virtual, descubrieron que, aunque la guía visual adicional mejora la precisión posicional, puede ser perjudicial para la calidad estética de los trazos. En la Figura 65 se puede apreciar cómo se dibuja en la vida real y como puede ser dibujado el mismo elemento en RV, se puede ver claramente la imprecisión que se comete al hacerlo por medios virtuales hoy en día.

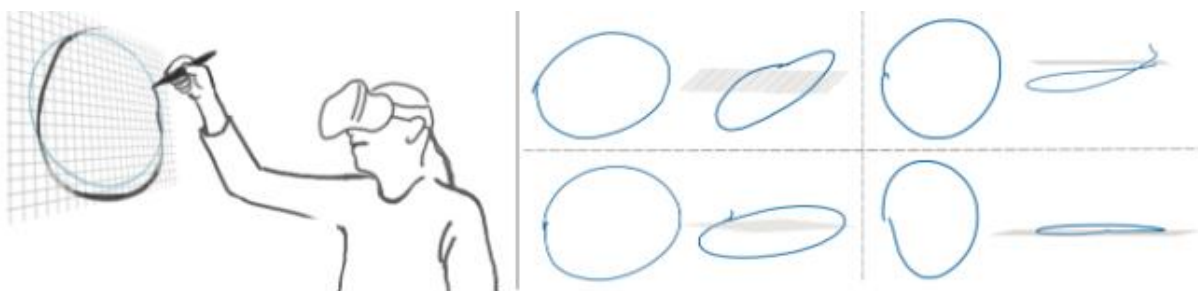


Figura 65. Imprecisiones dibujando en RV.

Hay artículos que también van más allá de solamente el modelado de los elementos, y también tiene en consideración la posibilidad del ensamblaje. Esto se puede ver en más detalle con el estudio realizado en el siguiente artículo [23]. Presentan una solución que permite la modificación del diseño paramétrico en entornos RV, esto se realiza con bases utilizadas en el CAD tradicional con integraciones de la RV. Donde utiliza restricciones, características y ajustes paramétricos de sistemas

CAD donde pueden ser extraídos automáticamente durante la creación del entorno RV y pueden ser integrados al ensamblaje virtual. Los usuarios pueden visualizar las características del diseño y acceder a la información paramétrica asociada en el entorno RV y intercambiar ajustes paramétrico online cuando ellos consideren necesario. Estos parámetros modificados pueden ser enviados de vuelta a los modelos CAD de manera que esos modelos pueden ser reevaluados, luego, el CAD modificado puede volverse a importar al ensamblaje virtual con un mecanismo automático. Todo esto puede llevarse a cabo por unos interfaces proporcionados por el mismo servidor del CAD y pueden realizarse rápidos cambios en el diseño y sus respectivas evaluaciones para las aplicaciones como diseños en sistemas colaborativos y revisiones inmersivas del proyecto.

La RV también se extiende por otros sectores, como puede ser el de los arquitectos, donde en el artículo presentado por Klerk R. y otros [24], hacen un estudio interesante sobre el ámbito de estos expertos. Para ser más específicos, este artículo trata de cómo puede ayudar la RV en la realización de maquetas para arquitectos. De esta forma, puedes explorar diferentes maquetas con todo tipo de escalas, y ayuda en la labor de los arquitectos en poder tomar decisiones en las primeras etapas de los diseños. Y como hemos visto en casi todos los artículos anteriores, aquí también se utiliza el principio de la inmersión para poder interactuar con el entorno y crear maquetas basadas en voxel (que es la unidad cúbica que compone un objeto en tres dimensiones). Y también, en este artículo aseguran que la utilización de sistemas RV son más efectivos y fáciles de usar que los sistemas CAD tradicionales donde fácilmente puede crear modelos simplificados. También hacen un experimento donde tratan de potenciar las herramientas que suelen utilizar los arquitectos y aprovecharlas para hacer modelos de forma más eficiente. Esto lo consiguen por combinar elementos de la vida real con la exploración inmersiva y permite a los arquitectos transformarse tanto en los constructores como los exploradores de la construcción espacial.

Otro artículo trata de herramientas más específicas, que a sectores como los del diseño gráfico y algunos diseñadores industriales también podrían estar interesados. El artículo trata de la creación y la modificación de curvas tridimensionales en ámbitos virtuales [25]. Lo que comenta este estudio es la posibilidad de controlar intuitivamente curvas *spline* de Hermite que pueden complementarse mediante un barrido en el entorno y crear superficies, definiendo su localización y orientación de mallas clonadas. Ya estamos hablando de gafas RV con controladores por mando en vez de teclado y ratón. El estudio habla de lo imprecisas que son las curvas creadas por los usuarios en entornos RV en modo libre, por factores que hemos comentado antes, especialmente cuando los usuarios están tratando de trazar curvas con formas suaves. Por lo que, en este estudio, trata de facilitar a los artistas a poder hacer formas esculturales de forma más precisa interactuando con objetos y herramientas en la realidad virtual. Así que, el estudio trata de explicar cómo su sistema genera superficies que pueden ser exportadas como modelos digitales en tres dimensiones, que pueden utilizarse para crear modelos virtuales, animaciones, elementos para videojuegos y objetos esculturales. Su trabajo básicamente trata de representar una técnica de interacción expresiva que permite al usuario definir una curva en el espacio tridimensional para aplicaciones de modelado, y, además, unos métodos para convertir el movimiento de la curva a mayores niveles del modelado de primitivas, como superficies, tubos y mallas replicadas. En la Figura 66 podemos ver algunos de los elementos que se pueden conformar con esta aplicación.

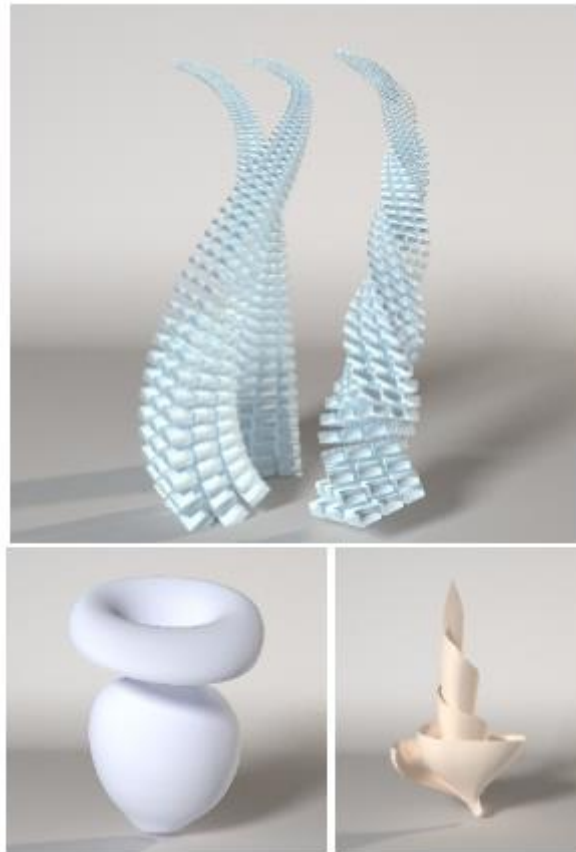


Figura 66. Ejemplos de elementos realizadas con curvas Spline de Hermite.

Aparece otro estudio que también destaca las imprecisiones que se presentan al querer dibujar bocetos en modo libre en RV, y estos presentan una metodología que puede mejorar la precisión de estas técnicas [26]. Como mencionan en otros artículos, en este también citan que el problema mayormente aparece al añadir la tercera dimensión a la ecuación, todos parecen estar de acuerdo que es mucho más preciso realizar los dibujos en bocetos de dos dimensiones. Esto es probablemente debido a los errores del sistema de la percepción de profundidad, una razón por la que puede suceder esto es porque al añadir esta tercera dimensión, la dificultad de la tarea aumenta y requiere una mayor demanda cognitiva y sensoriomotor. Por esta razón, en este estudio tratan de mejorar este sistema incorporando una técnica que ayuda de formar más efectiva e intuitiva la realización de nuevas formas con el modo libre. El artículo presenta 4 secciones destacadas, donde explica las técnicas que utiliza para mejorar el dibujo tridimensional mencionado. La primera es una herramienta que genera unos planos de ajuste automático, lo que realiza esta opción es que cada vez que estás realizando un trazo la herramienta genera automáticamente planos basados en la posición actual del mando y de sus anteriores trazos. La segunda herramienta es lo que llaman “puntos gatillo de embellecimiento”, lo que realiza esta opción es que, basada en la forma que tiene el actual trazo y su relación geométrica con el mando, el sistema automáticamente crea una especie de guías visibles. Que las llaman “puntos gatillo de embellecimiento”. Al mover el mando en una posición que actúa como gatillo y siguiendo estas guías, este trazo se embellece de la mejor forma posible para poder representar más precisamente lo que quieres dibujar. La tercera herramienta es lo que llaman el “embellecimiento en tiempo real”, que básicamente es el nuevo método que presentan para

identificar automáticamente y embellecer los trazos mientras el usuario está dibujando. Finalmente, el último punto es la evaluación de estas etapas recientemente mencionadas y son comparadas con trazos de 2D en un segundo estudio.

Los recientes avances en sistemas RV han encontrado un camino para poder usarse mucho más en distintas industrias. De hecho, el bajo precio de algunas herramientas RV, las nuevas maneras de adquirir y de imprimir elementos en 3D ha aumentado el número de posibles aplicaciones y el tipo de usuarios que se pueden beneficiar de este tipo de tecnologías. Hoy en día, solamente los expertos pueden usar softwares CAD para crear y modificar elementos en tres dimensiones. Por lo que, esto supone una gran barrera de entrada para los usuarios finales, porque como ya se ha comentado en alguna que otra ocasión anteriormente, las aplicaciones son algo complicadas y difíciles de entender para incluso modificaciones sencillas. Así que, en el estudio conformado por Eduardo Cordeiro, Franca Giannini y Marina Monti [27], el desarrollo apropiado de la interacción con estos elementos y su manipulación pueden conseguir que los usuarios finales puedan manejar estas herramientas satisfactoriamente. Para ello, es importante hacer que las funciones del modelado sean lo más naturales posibles para el humano. Por lo que, el artículo presenta los criterios que se deben adoptar para ilustrar los distintos enfoques para manipular elementos en 3D en entorno inmersivos, también proporciona una visión de conjunto de las mayores tendencias de los sistemas actuales. También plasma brevemente los logros que han conseguido con sus investigaciones, con el comportamiento del usuario para definir de forma más natural la interacción con los modelos RV.

También, nos encontramos con artículos que hablan sobre los menús de las aplicaciones RV y comparan la utilización de los menús tradicionales con los radiales, de esta manera pueden analizar cuál de estos menús son más intuitivos para los usuarios [28]. También evalúan la manera de manejar el menú, es decir, evalúan si es mejor tener el panel sostenido por la mano del usuario, o en cambio si el menú debe fijarse en algún punto del espacio. Hicieron un cuestionario y testearon las distintas posibilidades con un total de 51 participantes, se evaluó la eficiencia y la efectividad, la usabilidad, la satisfacción del usuario, el tiempo para terminar las tareas y el número de pasos innecesarios realizados por los usuarios. Finalmente, los resultados muestran que existe una clara preferencia por la utilización del menú tradicional, y también prefieren la posibilidad de fijar el menú en algún lugar para poder luego utilizar las dos manos para el modelado y que la paleta del menú no estorbe con la interacción del usuario. También concluyen con que, a pesar de que la mayoría prefería la primera posibilidad, todos los tipos de menú que presentaron funcionaban perfectamente, incluso hicieron modificaciones para adaptar mejor los menús radiales y sostenidos por la mano a gusto de los usuarios, pero seguía existiendo la gran preferencia de utilizar la forma tradicional. En la Figura 67 se pueden ver las interfaces que propusieron.

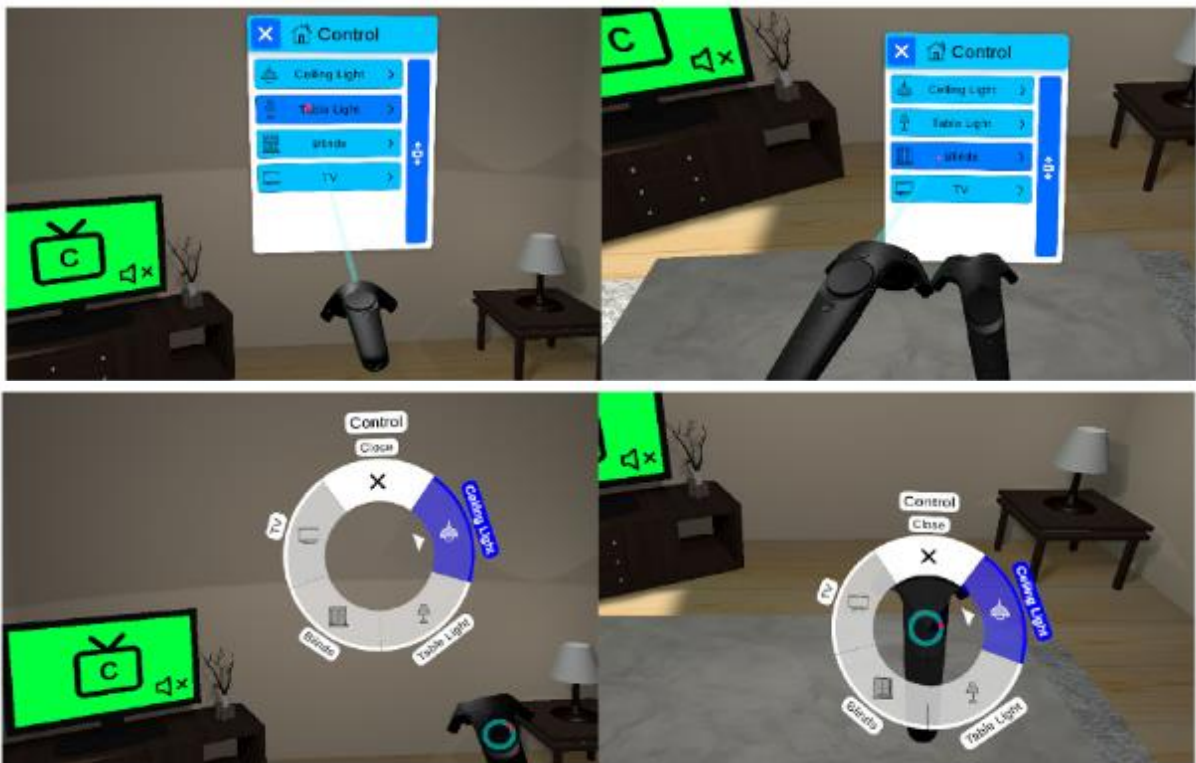


Figura 67. Interfaces tradicionales e interfaces radiales.

Luego, hay más artículos haciendo la comparativa del uso tradicional del CAD en 2D con teclado y ratón, con el CAD más moderno en RV con mandos y los cascos de realidad virtual. En este artículo están testeando la misma aplicación, pero utilizando distintos tipos de controladores [29]. Para ello, hacen el experimento tanto para la construcción de modelos como para el ensamblaje de distintos elementos. Lo que podemos apreciar con este estudio es que, el tiempo de realización del modelado es similar para ambos tipos de sistemas, aunque suele ser bastante más intuitivo de la forma inmersiva. Lo que si que muestra resultados más significativos es la comparativa con el proceso de ensamblaje, resulta ser bastante más rápido el ensamblaje con el nuevo método RV. A pesar de esto, el nuevo método tiene sus desventajas. Ya que, requiere factores físicos del usuario mayores, suelen esforzarse bastante más y estar en tensión para realizar las tareas, y la distancia recorrida por el movimiento de las manos es de 1,6 a 2,3 veces mayor que con el sistema CAD tradicional. Pero, en el cuestionario final respondido por los usuarios estipula que el sistema moderno RV produce más sensación de satisfacción para estos, tanto para el modelado como para el ensamblaje.

Otro estudio comparativo entre sistemas CAD tradicionales y los de RV muestran resultados finales similares al estudio mencionado anteriormente, pero tiene alguna ligera variación [30]. Esta vez se testa realizar los mismo cuatro modelos para varios usuarios diferentes tanto con el sistema CAD tradicional como con el RV. Para ello, hacen el experimento utilizando un sistema RV CAD y el otro es un sistema tradicional con la aplicación de *Fusion 360*. Los resultados muestran que el tiempo dedicado por los usuarios a la creación del modelo y la familiarización con la aplicación es similar para ambos sistemas, el número de características que se utilizan para la realización de los modelos en el CAD RV es apreciablemente mayor, aunque se tarda el mismo tiempo prácticamente para crear los modelos en el otro sistema. El tiempo en el cual los participantes eran capaces de realinear sus manos y con los

mandos en el entorno inmersivo era muchísimo más rápido que en el sistema con el teclado y ratón donde tenían que utilizar múltiples clics para elegir los planos, rotar los modelos, arrastrando el ratón y otros movimientos estaban consumiendo más tiempo. Esto sugiere que la RV puede generar conceptos e ideas de manera mucho más rápida, esto también conlleva a que, la capacidad de creatividad e innovación con el sistema inmersivo es significativamente mejor. Se pudo apreciar que la puntuación en cuanto a precisión del modelo también es generalmente mayor en el sistema moderno RV y demuestra que la experiencia del usuario fue un factor importante en la calidad y creatividad de los examinados, que resulta ser destacadamente mejor para el sistema más moderno. En la Figura 68 puede verse la preferencia de sistema para realizar cada uno de los cuatro modelos distintos, se puede ver que generalmente se suele elegir el sistema RV CAD frente al sistema tradicional.

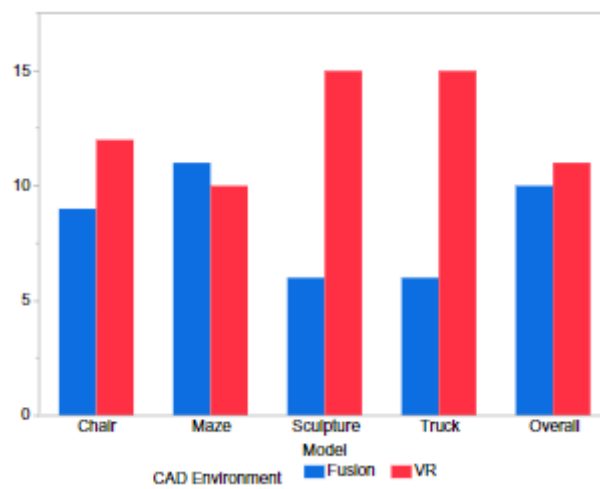


Figura 68. Resultados de preferencias de aplicaciones entre modelos CAD y CAD RV [29].

4. Materiales y medios

En este apartado vamos a tratar con las aplicaciones y *hardware* que se han utilizado para poder desarrollar este Trabajo de Final de Máster.

En cuanto al *hardware* utilizado, se ha recurrido a unos cascos de realidad virtual de Lenovo, la aplicación para la creación del entorno interactivo de forma estática que se ha utilizado es Microsoft Maquette, que es una aplicación que está gratis en la plataforma de descarga de videojuegos *Steam* y en cuanto al programa encargado de hacer que el entorno interactivo creado por Microsoft Maquette sea funcional es la aplicación llamada *Virtual Modeling*. Todos estos materiales y medios utilizados serán descritos más profundamente a continuación.

4.1. Periféricos utilizados para la realización del trabajo

Es necesario tener unos accesorios RV para poder realizar este trabajo, ya sea para investigar otras aplicaciones de modelado de RV, cómo para la creación del propio interfaz. Para ello, gracias a mi tutor Manuel Contero, me ha prestado unas de las gafas RV que tenía disponibles en el departamento de ingeniería gráfica para la realización de este trabajo.

Concretamente, las gafas utilizadas son las *Lenovo Explorer* (Figura 69). Estas gafas para poder ser utilizadas en un ordenador requieren una serie de requisitos técnicos, tales como:



Figura 69. Gafas RV Lenovo Explorer.

- Sistema operativo Windows 10 Fall Creators (RS3).
- Procesador mínimo Intel Core i5 de séptima generación.
- Gráfica Intel HD Graphics 620 o superior.
- 8GB de memoria RAM DDR3 o superior.
- HDMI 1.4 o DisplayPort 1.2 | USB 3.0 y Bluetooth 4.0.
- Al menos 10 GB de almacenamiento libre.

Afortunadamente, al haber adquirido un ordenador bastante actualizado hace menos de un año, no ha sido necesario comprar ningún elemento extra para poder soportar las características de las gafas satisfactoriamente [31].

Por lo tanto, se ha tenido una gran suerte de poder aprovechar la calidad de estas gafas para realizar este trabajo, ya que son perfectas para disfrutar la realidad virtual en cualquier parte. Son fáciles de configurar y con un buen funcionamiento, contiene dos cámaras en la parte delantera que son responsables de un sensor de proximidad, también tiene un giroscopio, un acelerómetro y un magnetómetro. Todos estos elementos citados unificados permiten captar los movimientos y situarnos con muy buena precisión en una realidad mixta.

Estos cascos son bastante ligeros, tienen un peso de apenas 380 gramos. Además, con la correa adaptable nos permite ajustarlo a la perfección al tamaño de nuestra cabeza y disfrutar de su utilización durante extensas sesiones reduciendo al máximo las molestias.

También incluyen como podemos observar en la figura anterior unos mandos inalámbricos que se conectan por medio de Bluetooth. Estos mandos son denominados *Motion Controllers*, los cuales también poseen un magnetómetro, un giroscopio y un acelerómetro.

Otra ventaja de estas gafas, son la inexistente necesidad de la utilización de unos sensores fijos en la habitación donde se usan los periféricos. Esto limitaría muchísimo el recinto de utilización del escenario, pero solo con calibrarlo una vez en el recinto normalmente utilizado es suficiente para su utilización.

Antes de empezar a describir todas las aplicaciones y cómo se usan sus herramientas, es importante que se sepa cuáles son los botones o controles del mando y así entender mejor como nos manejamos de forma concisa y directa. Por lo tanto, vamos a ver a continuación cómo nos referimos a los distintos botones del mando. Básicamente, el mando tiene 3 botones, un gatillo, una palanca de mando o joystick y un panel táctil o *TouchPad* (Figura 70).

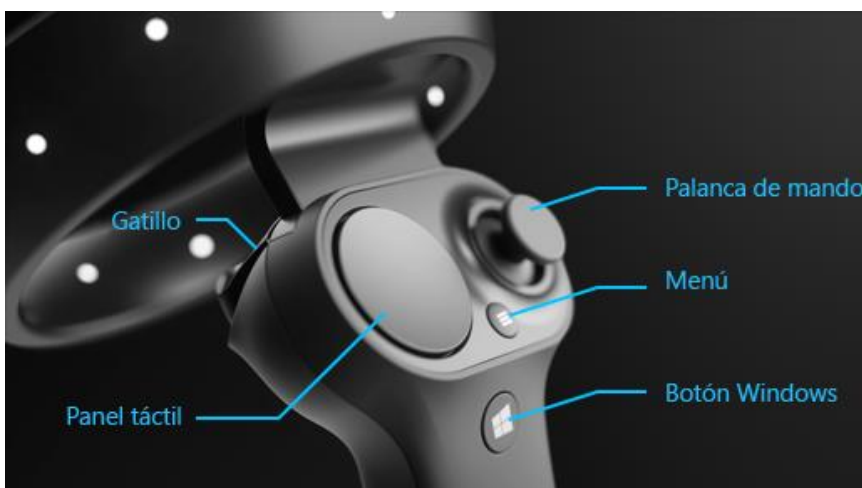


Figura 70. Controles del mando Lenovo Explorer.

Los botones son, el botón de menú, el botón de Windows y el botón lateral el mando (que no se aprecia en la Figura 70). El botón del menú suele ser para desplegar las paletas de herramientas de

las aplicaciones, la gran mayoría de aplicaciones permite desplegar o plegar las paletas de herramientas para que puedas trabajar de la forma más cómoda posible. En cuanto al botón de Windows, esto es común a todas las aplicaciones. Te permite desplegar un menú estándar de Windows donde podemos ver sus distintas herramientas en la Figura 71.

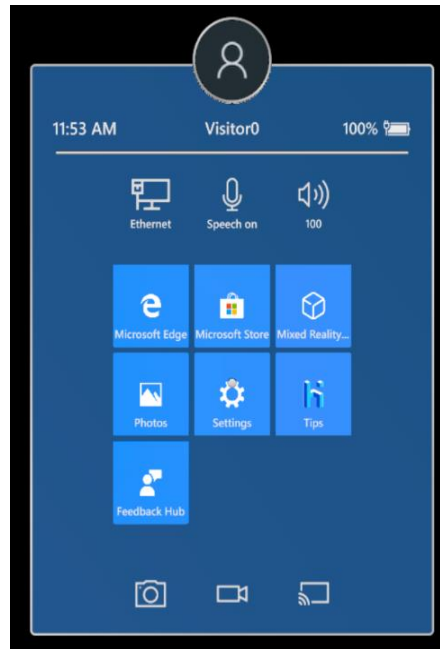


Figura 71. Menú Windows en entornos RV.

Como se aprecia en la imagen mencionada, este menú es común en todas las aplicaciones, y sus distintas opciones son muy intuitivas. Por lo que no tienen un gran misterio, son básicamente ayudas, enlaces a la tienda o al buscador Explorer, fotos realizadas, etc. En cuanto al botón lateral, que se suele llamar “Grab” o “coger”, y sirve para coger los objetos de las aplicaciones y desplazarlos a tu antojo alrededor de la escena. Otra opción que permite realizar el botón de “coger” es, mediante presionar este botón con ambos mandos y separando los mandos o acercándolos, puedes cambiar el tamaño de los objetos que estás manejando o cambiar el zoom de la escena.

En cuanto al gatillo, suele ser el control principal de todas las aplicaciones. Suele ser el botón común para seleccionar objetos, opciones, etc. Manteniendo presionado y arrastrando también suele hacer que los objetos se modifiquen o se creen transiciones requeridas.

La palanca de mando o joystick sirve en algunas aplicaciones para desplazarte por la escena, pero muchas otras veces sirve para agrandar o empequeñecer objetos o el cursor para trazar líneas más grandes o pequeñas. Otras veces también sirve para hacer la típica acción de “Undo” y “Redo”, o traducido al español “deshacer” y “rehacer”.

Finalmente, el panel táctil o *TouchPad* suele ser para seleccionar distintas opciones dentro de un menú, otras veces es para hacer la acción de “Undo” y “Redo” u otro tipo de opciones. Entre las distintas aplicaciones, las opciones van variando según su diseño, pero, por regla general, el gatillo, el botón del menú, el botón lateral y el botón de Windows son comunes en casi todas las aplicaciones.

4.2. Herramienta utilizada para crear las interfaces de forma estática



Herramienta que permite hacer bocetos de forma sencilla y puede iterar ideas rápidamente en entornos 3D. Es una aplicación en RV que tiene como objetivo conseguir tener un prototipado espacial inmersivo fácil y rápido. Es una aplicación muy completa y versátil que permite hacer todo tipo de modelados, y es una herramienta, que sin duda, será muy utilizada para la elaboración de este trabajo.

Esta es la aplicación que se ha utilizado para crear las distintas interfaces y que les proporcionan el aspecto estético a los menús interactivos. Cabe destacar que, Microsoft Maquette es una aplicación estática, por lo que no permite añadir animaciones ni transiciones como pueden ser la apertura de desplegables o poder hacer que los botones sean funcionales. Esta aplicación es puramente estética y es la que se ha utilizado para diseñar los distintos entornos, la aplicación que se ha utilizado posteriormente para poder darle la funcionalidad y ese carácter dinámico a los menús interactivos es *Virtual Modeling*, que está creado con el motor UNITY, que es uno de los motores de creación de videojuegos de los más utilizados en la actualidad.

Una vez ya hemos explicado otros programas en profundidad ya podemos ver con más facilidad las distintas herramientas que se usan en otras aplicaciones ya que son muy similares, incluso con los iconos muy parecidos e intuitivos. Por lo tanto, la mayoría de estas herramientas son muy semejantes a las vistas en otras aplicaciones. Opciones como “select”, “clone”, “brush”, “erase”, “eyedropper”, “text”, “camera”, “help”, “environment”, “colour picker” y “RGB” ya las hemos visto y se utilizan prácticamente igual que en otras aplicaciones.

En Figura 72 vamos a ver las distintas herramientas que utiliza esta aplicación y veremos porque es un programa muy potente.

Luego hay algunas herramientas que son ligeramente distintas, pero en líneas generales se utilizan de la misma forma. “Home space” tan solo te permite salir a la pantalla principal si quieres salir de la aplicación, “help” te permite visualizar pequeños tutoriales o ayudas para saber manejarte bien con el programa. La opción de “new project” es para crear nuevos documentos con la opción de guardar, etc. El “colour picker” es prácticamente igual en todas las aplicaciones, lo que sí es distinta es la opción “swatches” que te permite almacenar colores y texturas creadas anteriormente y así puedes tener un acceso más rápido a estas. En la parte inferior de la figura podemos apreciar tres esferas o circunferencias, estas opciones son para elegir el tipo de material o textura que tienen los objetos, ya sean con sombras, de manera lisa, etc.



Figura 72. Herramientas de Microsoft Maquette.

En la Figura 73 vemos en detalles la herramienta de “assets”, que básicamente es la selección de distintos objetos y formas.

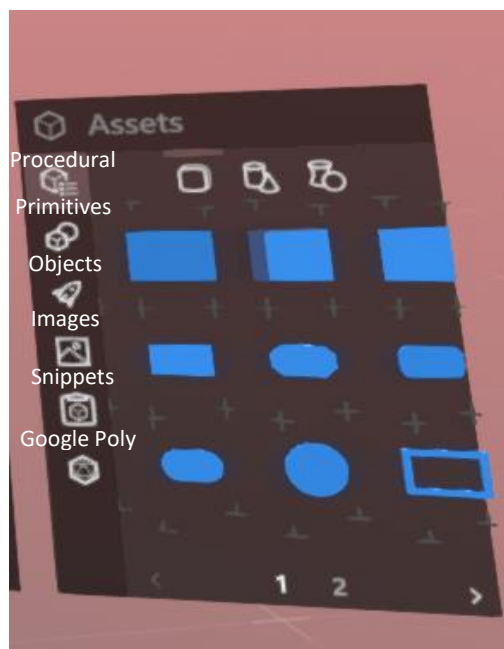


Figura 73. Herramientas de Assets en M. Maquette.

En “*Procedural*” tenemos objetos con formas muy simples como pueden ser cubos, esferas, conos, pirámides, etc. Mientras en “*Primitives*” tenemos objetos más complejos, como pueden ser personas o elementos del cuerpo humano como manos, piernas, etc. También nos presenta objetos de casa o de entornos habituales, como pueden ser sillas, mesas, sofás o incluso coches, plantas, árboles y otros objetos similares. En cuanto a “*Objects*”, permite importar objetos sencillos de una biblioteca que tiene la misma aplicación. Puedes importar objetos como mandos de periféricos RV, humanos, iconos almacenados por otros usuarios y figuras más complejas, como pueden ser dinosaurios u otro tipo de animales. La opción “*Images*” permite importar imágenes para trabajar en base a ellas (incluso de tu mismo escritorio), también hay una biblioteca de imágenes que han sido almacenadas por otros usuarios. “*Snippets*” es una biblioteca con objetos todavía más complejos con mucho detalle, puede importar coches, animales, objetos de ciudades con todos sus distintos elementos y decorados con todo lujo de colores. En cuanto a “*Google Poly*” te permite importar objetos que están en internet, con objetos más complejos y detallados que los que aparecen en “*Snippets*” ya que, están representados en ambientes y escenarios muy bien conseguidos.

En cuanto a la herramienta “*Gizmo*”, te permite colocar varias cámaras en distintos lugares del entorno para poder crear animaciones e imágenes renderizadas del escenario. También incorpora la opción de poner iluminación por el entorno y mejorar la visibilidad del escenario que se quiere crear.

La herramienta “*Scenes*” permite crear animaciones, ya sea concatenando una serie de clips realizados anteriormente y permite desplazarte alrededor de los distintos escenarios.

“*Environment*” es igual que en otras aplicaciones, donde permite recrear tu entorno de la forma deseada. Tiene guardados algunos escenarios por defecto los cuales son muy realistas y proporcionan una sensación de inmersión muy bien conseguida.

La opción “*Labs*” permite configurar el entorno RV a tu gusto. Puedes variar el FOV (*Field Of View*) o en castellano “Campo de visión”, cambiar el brillo del entorno y permitir que se visualicen los mandos o se oculte, o incluso poder desactivar/activar opciones como la simulación.

Las demás opciones ya son conocidas por todo el mundo. En “*Projects*” puedes guardar distintos proyectos e importarlos en el futuro, en “*Settings*” puede variar elementos de los periféricos, como elegir tu mano dominante, cambiar la calidad de la imagen o activar/desactivar la vibración de los mandos y mucho más.

4.3. Descripción de la aplicación de modelado utilizada

La aplicación encargada para proporcionar la funcionalidad de las interfaces se llama “*Virtual Modeling*”, es una herramienta diseñada con la colaboración de la Universidad Politécnica de Valencia y la Universidad Politécnica de Cartagena. Esta aplicación está desarrollada con el motor creador de videojuegos llamado UNITY [2].

La aplicación es capaz de crear elementos de modelado con herramientas muy básicas, se pueden crear todo tipo de formas con la utilización de aristas y circunferencias, conformando vértices y extruyendo elementos para darle esa forma tridimensional.

En la Figura 74 podemos ver el menú de opciones que dispone esta aplicación. Entre ellas, podemos ver las herramientas “Save”, “New”, “Open”, “Export STL”, “Line draw”, “Free draw”, “Face”, “Eraser”, “Plane”, “Remove plane”, “Force axes”, “Move”, “Copy”, “Symmetry”, “Rotate model”, “Select”, “Deselect all”, “Undo”, “Color surface”, “About”, “Help”, “Play”, “Next”, “Previous”, “Pause”, “Change interface”, “See models”, “See main edges”, “See secondary edges”, “Draw menu”, “Adjust ground”, “Upper ground” y “Lower ground”.

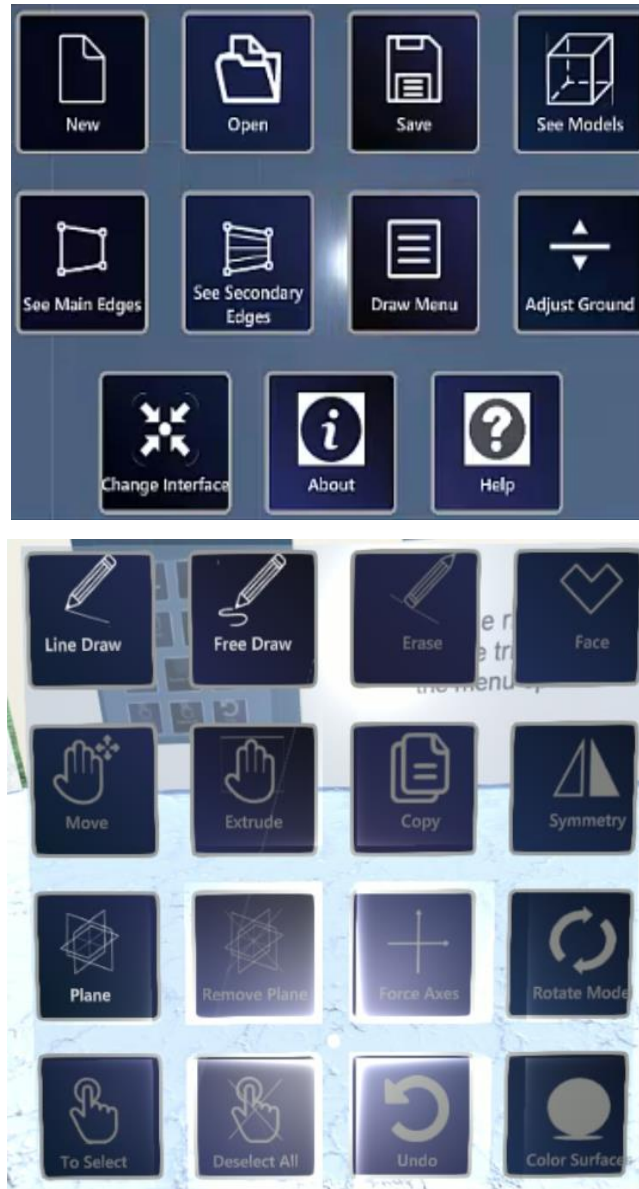


Figura 74. Menú de herramientas de Virtual Modeling.

La gran mayoría de opciones que se utilizan en esta aplicación las hemos visto en aplicaciones anteriores, ya que son herramientas bastante comunes en aplicaciones de modelado. Las únicas herramientas que pueden dar confusión podrían ser “Face”, “Force axes” y “See models”, que las describiremos a continuación. En cuanto a “Change interface”, nos permite cambiar entre las distintas interfaces que hemos creado para el trabajo, existen 3 y las veremos en apartados posteriores.

Si nos centramos en la opción *“See models”*, nos permite elegir imágenes donde aparecen los distintos modelos a representar, estos modelos a representar serán los ejemplos que trataremos de modelar con las distintas interfaces en las que entraremos más en detalle en posteriores apartados.

Al crear una forma cuadrada mediante aristas, el elemento se queda en forma alámbrica, por ello, una herramienta que posee la aplicación es la de conformar una cara creando una superficie, esta opción se llama *“Face”*.

La opción de *“Force axes”* sirve para elegir la dirección de los ejes coordenados en la que queremos dibujar las aristas. Si no aplicamos el *“Force axes”*, las aristas dibujadas estarán en modo libre.

En cuanto a *“See main edges”* sirve para que se puedan mostrar u ocultar las aristas principales de los elementos. Mientras que *“See secondary edges”* sirve para mostrar u ocultar las aristas secundarias, que básicamente son las que muestran unas pequeñas barras que conforman cada cara del modelo creado. *“Draw menu”* solamente se usa para desplegar el menú inferior o para plegarlo dependiendo de si quieres usar la parte inferior del menú o no.

4.3.1. *Como proceder a utilizar la aplicación*

Antes de poder empezar a ajustar el entorno, se pueden elegir los modelos a replicar mediante la opción *“See models”*, también se puede ocultar o desocultar el tutorial de la aplicación mediante la opción *“Help”*.

Primero, debemos establecer la altura correcta del suelo. Para poder hacer bien esto, se utiliza la opción *“Adjust ground”*, donde se puede elevar o bajar la altura del suelo con las herramientas *“Upper ground”* y *“Lower ground”*.

Una vez colocado el piso a nuestro agrado, para poder empezar a modelar es preciso definir previamente los planos de trabajo donde queremos empezar a dibujar. Esto se hace mediante la opción *“Plane”*, donde lo colocas de forma horizontal o vertical.

Si queremos que las aristas a dibujar sigan unos ejes determinados, es necesario que forcemos la dirección de estas aristas con los ejes coordenados. Esto se hace mediante la opción *“Force axes”* en las que tienes que definir en qué dirección de los tres ejes quieres dirigir la arista, luego eliges *“Line draw”* y dibujas las aristas con esa dirección predefinida. Puede seleccionar varias de estas aristas con *“Select”* o deseccionarlas con *“Deselect all”* para hacer simetrías, etc.

Una vez creado el elemento requerido, el elemento se queda en forma alámbrica y será necesario cerrar la superficie mediante la opción *“Face”*. Luego, puedes colorear la superficie como quieras, puedes realizar simetrías, rotar el modelo, seleccionar aristas, etc. al igual que se puede hacer en cualquier otra aplicación de modelado.

Una vez establecida esta cara, puedes empezar a extruir los modelos, aunque también puedes extruir los elementos, aunque estén en forma alámbrica.

5. Propuesta de diseño de interfaz 3D para una aplicación de modelado 3D

5.1. Descripción de las herramientas propuestas para el diseño de interfaces

En cuanto al diseño de las interfaces, vamos a ver tres variaciones. Realizamos tres variaciones para poder evaluar posteriormente con distintos usuarios cuál de las tres es la más intuitiva y la que podríamos establecer como definitiva.

Vamos a ver un diseño bastante básico y “clásico” donde podremos evaluar si a los usuarios les interesa más las cosas sencillas. Las otras dos interfaces serán más innovadoras, donde tendrán bastantes menús desplegables e incluso una de las interfaces presenta un entorno de botones tridimensional.

Cabe destacar, que todas las interfaces poseen las mismas herramientas u opciones, que son la que vienen predefinidas por la aplicación de “*Virtual Modeling*”, lo único que cambia es la estética de los botones y su disposición. También es importante recalcar, que todas las interfaces han sido diseñadas con la aplicación *Microsoft Maquette*, dónde los diseños son completamente estáticos, ya que, esta aplicación no permite añadir la posibilidad de incluir menús desplegables. Así que, los menús desplegables han sido incluidos mediante una programación realizada con un script en UNITY e integrándola a la misma aplicación de *Virtual Modeling*.

El procedimiento que se ha utilizado para la creación de las distintas interfaces es lo bastante breve como para no tener que dedicar un apartado específico para ello. De hecho, la explicación del procedimiento es mucho más fácil que la labor real de crear las interfaces.

Lo que se ha realizado es mediante una creación de botones, empleando figuras simples como son rectángulos o circunferencias, donde se les ha incluido un icono que represente la utilidad de cada herramienta y también se les ha incluido un texto que indica el título de cada una de estas herramientas. Una vez creados todos estos botones, se han creado unas especies de soportes o paneles que son el lugar donde se ubican los botones. Todo esto teniendo en cuenta que se han agrupado los botones en grupos funcionales similares que deberían facilitar el uso para el usuario.

5.1.1. Descripción interfaz 1 – Interfaz Cinturón

La idea general de esta interfaz es crear un cinturón donde se ubican todas las herramientas que se utilizan en el modelado. En la mayoría de las aplicaciones RV se utiliza una paleta de herramientas que se “sostiene” mediante el mando izquierdo. La idea principal de esta interfaz es que la paleta de herramientas no se “sostenga” por ningún mando, el cinturón aparece debajo de las gafas RV de modo que puedes tener ambas manos libres para el modelado. Pero después de pensarlo y probarlo, esta idea fue descartada, ya que, en el modelado, la posición de la paleta estorba para el diseño de elementos porque esta paleta se interpone delante de la manipulación de los elementos. Por lo que, finalmente se decidió poder anclar este menú en algún lugar del entorno que desees y poder utilizar ambas manos para la realización del modelado, esta decisión también fue tomada gracias

al artículo científico [28] donde quedó claro que los usuarios prefieren que el menú esté anclado en algún lugar y puedan trabajar de forma más libre.

El cinturón se muestra en la Figura 75, donde podemos ver que tiene dos niveles. El nivel superior y el nivel inferior, tanto el nivel superior como el inferior contiene botones principales, y cada botón principal contiene herramientas con opciones relacionadas a las de botón principal las cuales se muestran por desplegables. La idea de esta interfaz es que en los niveles donde se ubican los botones principales solo se muestren estos botones y que los botones secundarios estén ocultos, de esta manera, cuando el usuario posiciona el cursor del mando sobre uno de los botones principales esto provocaría que se abriesen los desplegables mostrando los botones secundarios de este botón principal seleccionado.

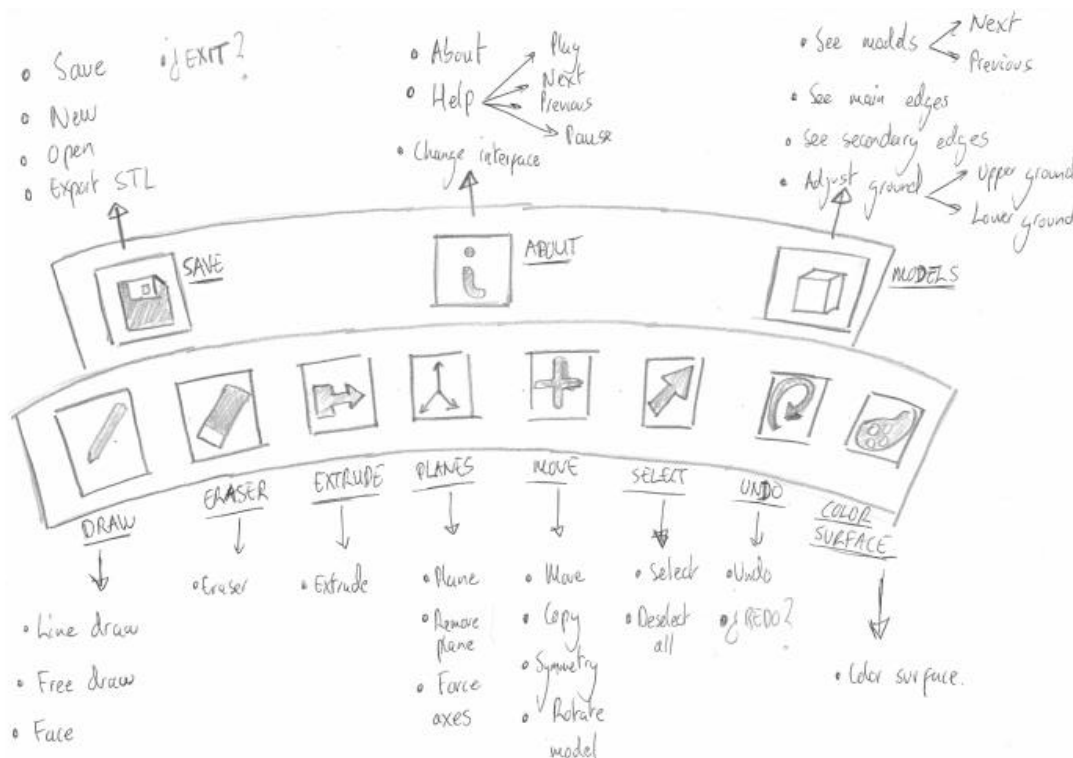


Figura 75. Diseño de la interfaz 1 a mano.

En el nivel superior se encuentran los botones *SAVE*, *ABOUT* y *MODELS*, mientras que en el nivel inferior se hallan los botones *DRAW*, *ERASER*, *EXTRUDE*, *PLANES*, *MOVE*, *SELECT*, *UNDO* Y *COLOR SURFACE*.

Ahora vamos a ver las herramientas de los desplegables, la idea es que en el nivel superior el desplegable se abra hacia arriba, mientras que en el nivel inferior los desplegables se abran hacia abajo (tal y como se aprecia en la Figura 75 y la Figura 76) para que no se solapen los desplegables con los demás botones y los tapen. A su vez, hay alguna herramienta dentro del desplegable que tiene otro desplegables.

Se han reunido los botones principales con las herramientas que se consideran que son más intuitivas de buscar para el usuario. La lista de puntos negros es el desplegable del botón principal mientras la lista de puntos blancos es el subdesplegable dentro de cada herramienta.

SAVE

- *Save*
- *New*
- *Open*
- *Export STL*

ABOUT

- *About*
- *Help*
 - *Play*
 - *Next*
 - *Previous*
 - *Pause*
- *Change interface*

MODELS

- *See models*
 - *Next*
 - *Previous*
- *See main edges*
- *See secondary edges*
- *Adjust ground*
 - *Upper ground*
 - *Lower ground*

Ahora vamos a ver la parte inferior de la paleta.

DRAW

- *Line draw*
- *Free draw*
- *Face*

ERASER

- *Eraser*

EXTRUDE

- *Extrude*

PLANES

- *Planes*
- *Remove plane*
- *Force axes*

MOVE

- *Move*
- *Copy*
- *Symmetry*
- *Rotate model*

SELECT

- *Select*
- *Deselect all*

UNDO

- *Undo*

COLOR SURFACE

- *Color surface*

Finalmente, en la Figura 76, podemos apreciar en *Microsoft Maquette* cómo quedaría la primera interfaz con sus debidos desplegables.



Figura 76. Diseño interfaz 1 con Microsoft Maquette.

5.1.2. Descripción interfaz 2 – Interfaz Planetaria

En cuanto a la segunda interfaz, la distribución de los botones ha sido exactamente la misma que en la interfaz 1. Pero esta vez, el diseño de los botones es de forma tridimensional. Al tratar con una aplicación de crear modelos en tres dimensiones, se veía conveniente o acorde el crear una interfaz que representara también un entorno tridimensional.

Los botones son esferas "invertidas" donde se alojan los iconos dentro de las esferas y se pueden visualizar desde cualquier ángulo. La idea es que ahora los desplegables en vez de ser lineales como en la primera interfaz, es que ahora sean desplegables circulares. Es decir, los iconos están distribuidos de la misma forma que en la interfaz 1, pero hay un botón principal que al presionarlo hace que se desplieguen más botones y de forma circular, esto se puede apreciar mejor en la Figura 78. Las flechas amarillas representan el despliegue que se realiza al presionar cada uno de los botones.

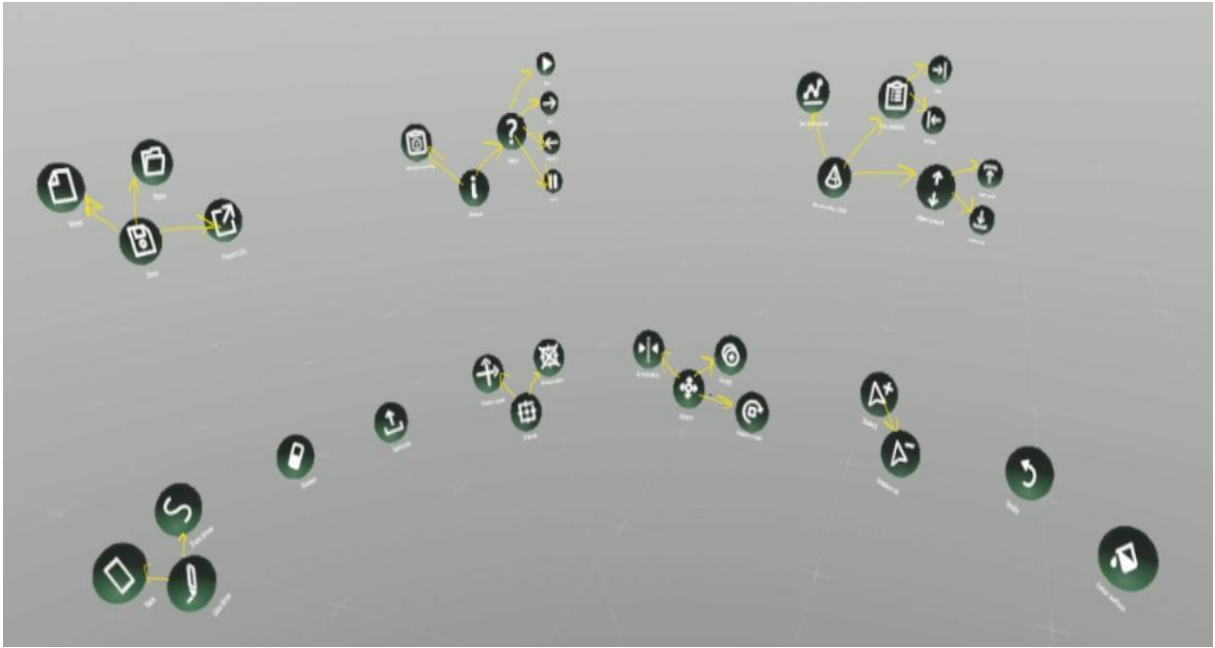


Figura 78. Interfaz 2 diseñada en Microsoft Maquette.

En las siguientes figuras se han realizado fotografías de las distintas herramientas de forma más individualizada (Figura 77 y Figura 79), ya que, en la Figura 78 no se aprecian bien todos los botones.



Figura 77. Parte superior menú de herramientas de la interfaz 2 en Microsoft Maquette.



Figura 79. Parte inferior menú de herramientas de la interfaz 2 en Microsoft Maquette.

Si os habéis fijado, tanto la interfaz 1 como la 2 no tiene la opción de “Draw menu”, no hay necesidad de plegar o desplegar el menú inferior, ya que, este menú está permanentemente desplegado y será anclado en algún lugar del espacio. Por lo que, no será necesario incluirla porque no estorbará a la hora de modelar de ninguna de las maneras.

La idea general que tiene esta interfaz es simular un entorno planetario, ya que, el entorno creado en este menú interactivo puede asemejarse al de unos planetas que orbitan alrededor del usuario.

5.1.3. Descripción interfaz 3 – Interfaz Panel

En cuanto a la tercera interfaz, nos encontramos con la más básica y sencilla. La razón por la que se ha decidido hacer una interfaz menos compleja es para testear si un diseño simple puede ser más efectivo que uno más elaborado o enrevesado. Otra razón por la que se ha intentado hacer un diseño más sencillo es por la complejidad y trabajo que conlleva hacer la programación dinámica de los desplegables.

Como se ha explicado en anteriores puntos, la posibilidad de poder incorporar menús desplegables es necesario hacer un script en UNITY y añadir esta integración a *Virtual Modeling*, y esta programación es bastante tediosa. Así que, en la Figura 80 vemos como ha quedado definida la tercera interfaz en *Microsoft Maquette*.

Como podréis apreciar, esta interfaz respeta la disposición de botones de la disposición original de la aplicación *Virtual Modeling*, de manera que es fiel a su estilo y no incluye el botón de “Draw menu” para que se despliegue el menú inferior, ya que, en esta interfaz en menú inferior ya está incluido en el menú general de la interfaz y nos ahorramos otro desplegable innecesario. Es innecesario

el incluir este desplegable también porque la idea es de fijar la paleta de herramientas en algún lugar del espacio de trabajo y no estorbaría en el modelado.



Figura 80. Paleta de herramientas de la interfaz 3 en Microsoft Maquette.

Tanto en los botones “See models”, “Adjust ground” y “Help” se pueden apreciar unos pequeños botones que podrían actuar como desplegables de esta función principal, pero se optó por dejarlos fijados en esa posición sin tener que desarrollar tanta programación y así interactuar con ellos de manera más directa.

Finalmente, aunque no se aprecie en las imágenes de las interfaces, se decidió añadir un último botón que permitiese ubicar y orientar el elemento de modelado a su posición inicial. Este botón se ha llamado “Original position” y se ha colocado al lado de “Rotate model”. Se decidió añadir este botón a última hora porque nos dimos cuenta de que era algo tedioso volver a ubicar el elemento que se está modelando a su ubicación y orientación original manualmente, así que, con la adición de esta herramienta, su ubicación y orientación original se hacen de forma rápida y precisa.

5.2. Evaluación

Para la evaluación de las interfaces se contó con 10 sujetos (estudiantes y personal vinculado al mundo de la ingeniería de producto) que utilizaron la herramienta Microsoft Maquette para poder visualizar los diferentes tipos de interfaz desde dentro de un entorno de realidad virtual. Como los

sujetos no tenían experiencia previa en el ámbito de la realidad virtual ni en el manejo de la herramienta Microsoft Maquette, la primera parte de la sesión de evaluación consistió en una toma de contacto con la herramienta de evaluación para pasar a continuación a la evaluación de cada uno de los interfaces diseñados

Para que la evaluación se lleva a cabo de forma más clara para los usuarios, se ha decidido darle nombre a cada una de las interfaces. De manera que, la interfaz 1 se ha llamado “interfaz cinturón”, la interfaz 2 se ha llamado “interfaz planetaria” y la interfaz 3 se ha llamado “interfaz panel”.

Para la evaluación de los interfaces, se ha empleado el Sistema de Escalas de Usabilidad (SEU) en español (en inglés se denomina *System Usability Scale* (SUS)). Lo que se mide con esta metodología, es la usabilidad en la experiencia de usuario de cualquier dispositivo, aplicación u objeto [32].

Para complementar la evaluación, también se va a llevar a cabo un cuestionario donde se van a realizar 15 preguntas comparativas entre todas las interfaces.

5.2.1. Preguntas del Sistema de Escalas de Usabilidad

El sistema SUS consiste en hacer 10 preguntas muy sencillas las cuales estarán puntuadas con valores del 1 al 5, donde el número 1 indica que el usuario está en total desacuerdo, mientras que el número 5 indica que el usuario está en total acuerdo. Cabe destacar que, las 10 preguntas se deben hacer para cada una de las interfaces. Por lo tanto, vamos a realizar 30 preguntas SUS, 10 preguntas para cada una de las 3 interfaces.

1. Creo que usaría esta interfaz frecuentemente.
2. Encuentro la interfaz innecesariamente compleja.
3. Creo que la interfaz fue fácil de usar.
4. Creo que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para usar esta interfaz
5. Las funciones de esta interfaz están bien integradas.
6. Creo que la interfaz es muy inconsistente.
7. Imagino que la mayoría de la gente aprendería a usar esta interfaz de forma muy rápida.
8. Encuentro que la interfaz es muy difícil de usar.
9. Me siento confiado al usar esta interfaz.
10. Necesité aprender muchas cosas antes de ser capaz de usar esta interfaz.

5.2.2. Cuestionario de comparación de las distintas interfaces

Una vez los usuarios hayan contestado todas las preguntas sobre la usabilidad de las interfaces, se ha creado un cuestionario para complementar el análisis y evaluación del trabajo desarrollado. En este cuestionario, el objetivo principal es comparar las opiniones de los usuarios con el resto de las

tres alternativas de interfaces, y, de esta forma, poder averiguar con certeza cual es la interfaz preferida y la que se seleccionaría como definitiva para utilizar en la aplicación.

Se han realizado 15 preguntas sobre opinión de los usuarios acerca de su experiencia con las distintas interfaces. En este cuestionario es general para las 3 interfaces, donde los usuarios elegirán qué interfaz les ha parecido mejor para cada aspecto. Es un cuestionario de comparación entre las 3 distintas interfaces, por lo que, solo se deberá contestar una vez solamente.

1. ¿Qué interfaz a simple vista (sin haberla usado aún) te parece la más simple e intuitiva de usar?
2. ¿Qué interfaz te ha parecido más simple e intuitiva una vez ya la has usado?
3. ¿Qué interfaz a simple vista (sin haberla usado aún) te parece la más compleja y menos intuitiva de usar?
4. ¿Qué interfaz te ha parecido más compleja y menos intuitiva una vez ya la has usado?
5. ¿Qué interfaz te ha gustado más estéticamente?
6. ¿Qué interfaz te ha gustado menos estéticamente?
7. ¿Qué interfaz te ha parecido la más fácil de aprender?
8. ¿Qué interfaz te ha parecido la más difícil de aprender?
9. ¿Qué interfaz te ha dado la sensación de que trabajabas más rápido?
10. ¿Qué interfaz te ha dado la sensación de que trabajabas más lento o que había demasiadas acciones innecesarias a tomar?
11. ¿Con qué interfaz te has sentido más cómodo/a?
12. ¿Con qué interfaz te has sentido más incómodo/a?
13. ¿Qué interfaz elegirías definitivamente para trabajar?
14. ¿Qué interfaz descartarías definitivamente para trabajar?
15. ¿Combinarías características de algunas interfaces con otras para mejorar su usabilidad? En este caso, ¿qué cambios sugerirías?

5.2.3. Resultados de las pruebas de usabilidad

En cuanto a la medición de los resultados de las preguntas SUS, cabe destacar que no se van a considerar resultados percentiles o de porcentajes. No se realiza de esta forma ya que suele derivar a resultados incorrectos y son errores bastante comunes en sistemas como este [32]. Si se realiza de esta manera, suelen obtenerse resultados que no son necesariamente reales, o incluso, pueden infundir a obtener buenos resultados de sistemas que realmente no funcionan.

Para saber cómo se evalúan los resultados que se obtendrán con este sistema, se va a proceder a su explicación. Se van a sumar los resultados obtenidos promediándolos de la siguiente manera: las preguntas que son impares, es decir, las preguntas 1, 3, 5, 7 y 9 tomarán el valor que el usuario ha asignado y se le restará 1. En cuanto a las preguntas que son pares, es decir, las preguntas 2, 4, 6, 8 y 10 tomarán el valor 5 y se le restará el valor asignado por el usuario. Y una vez hallamos el resultado del sumatorio final, se multiplicará por 2,5 para poder obtener el resultado final.

Vamos a ver un ejemplo de un resultado supuesto, imaginemos que las respuestas de los usuarios son las siguientes:

4, 3, 2, 1, 1, 2, 2, 2, 3 y 5.

Ahora, asignando el algoritmo del SUS, los resultados se calcularían de la siguiente manera:

$$[(4-1) + (5-3) + (2-1) + (5-1) + (1-1) + (5-2) + (2-1) + (5-2) + (3-1) + (5-5)] \cdot 2,5 = 47,5.$$

Por lo tanto, el resultado del SUS es de **47,5**. Teniendo en cuenta que, el máximo teórico es de 100 puntos, el resultado que hemos obtenido con este ejemplo sería algo menos que mediocre, por lo que, sería un aspecto que deberíamos trabajar bastante en él para poder mejorar su puntuación.

Así que, que los resultados obtenidos con el sistema SUS que se han realizado individualmente para cada interfaz se van a mostrar a continuación.

Tal y como se puede apreciar en la Tabla 1, el mejor resultado es el conseguido por la interfaz panel con un valor de **76,25** en el sistema SUS. Su valoración en letras según el SUS es de “B”, por lo que tiene un resultado notable. Justo le sigue en cuanto a su resultado la interfaz cinturón con un valor de **75,50** en el sistema SUS, por lo que también tiene un resultado notable “B” y es perfectamente válida para ser elegida la interfaz definitiva. Por el otro lado, la interfaz que es ligeramente inferior obtenido peores resultados en la escala de SUS es la interfaz planetaria, con un valor de **68,75** en el sistema SUS, con una nota “B” que también es bastante buena valoración.

Interfaz Cinturón												
Participantes	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Resultado SEU / 100	Valoración
Usuario 1	3	5	4	2	3	2	4	2	3	2	60,00	D
Usuario 2	3	2	4	3	3	2	2	3	3	2	57,50	D
Usuario 3	2	3	2	1	3	1	2	3	2	2	52,50	D
Usuario 4	4	1	3	1	3	1	5	3	5	1	82,50	A
Usuario 5	5	2	4	1	5	2	5	1	5	1	92,50	A
Usuario 6	3	3	4	2	4	2	4	2	4	2	70,00	B
Usuario 7	5	1	4	1	4	2	4	1	5	1	90,00	A
Usuario 8	3	2	3	2	5	2	4	2	3	3	67,50	D
Usuario 9	5	1	4	1	4	1	5	1	4	1	92,50	A
Usuario 10	4	1	5	1	5	2	4	1	4	1	90,00	A
RESULTADO PROMEDIO:											75,50	B

Interfaz Planetaria												
Participantes	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Resultado SEU / 100	Valoración
Usuario 1	1	5	3	3	2	5	3	3	1	2	30,00	F
Usuario 2	4	2	4	3	3	2	4	2	3	3	65,00	D
Usuario 3	4	2	5	1	5	1	5	1	4	1	92,50	A
Usuario 4	4	2	4	1	3	1	4	2	3	1	77,50	B
Usuario 5	2	3	2	2	1	4	3	2	3	2	45,00	F
Usuario 6	4	2	5	2	3	2	5	2	4	2	77,50	B
Usuario 7	1	4	1	2	3	4	2	4	2	3	30,00	F
Usuario 8	5	2	5	2	4	2	5	1	5	3	85,00	A
Usuario 9	5	1	5	1	4	2	4	1	5	1	92,50	A
Usuario 10	4	2	5	1	4	1	5	1	5	1	92,50	A
RESULTADO PROMEDIO:											68,75	B

Interfaz Panel												
Participantes	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Resultado SEU / 100	Valoración
Usuario 1	4	1	4	1	4	1	5	1	5	1	92,50	A
Usuario 2	4	2	4	2	4	3	3	3	3	2	65,00	D
Usuario 3	4	2	5	1	5	1	5	1	5	1	95,00	A
Usuario 4	4	1	4	1	3	1	4	2	4	1	82,50	A
Usuario 5	4	1	4	1	1	4	5	1	5	1	77,50	B
Usuario 6	1	4	2	2	3	3	2	4	2	2	37,50	F
Usuario 7	4	1	5	2	4	2	5	1	4	3	82,50	A
Usuario 8	3	2	3	1	3	3	4	3	3	2	62,50	D
Usuario 9	3	1	5	1	4	4	5	1	5	1	85,00	A
Usuario 10	2	1	5	1	5	4	5	1	4	1	82,50	A
RESULTADO PROMEDIO:											76,25	B

Tabla 1. Resultados SUS de las interfaces cinturón, planetaria y panel con sus respectivas valoraciones en letras.

Como tenemos 3 tipos de interfaces distintas que evaluar, se ha realizado un promedio de resultados para cada interfaz. De esta manera podemos evaluar qué interfaz obtiene el valor más alto y ésta será la interfaz ganadora. Junto al resultado de cada promedio también se ha establecido la valoración en letras de la “A” a la “F”, dónde “A” es la mejor valoración y “F” es la peor valoración, esta valoración fue extraída por el blog de Hadi Alathas [33], y se puede apreciar en la Tabla 2 que valor es atribuido a cada resultado obtenido.

Resultado	Valoración
>80,3	A
68 - 80,3	B
68	C
51 - 68	D
<51	F

Tabla 2. Valoración en letras según el resultado obtenido en la evaluación SUS.

Aunque la peor de las interfaces ha conseguido una valoración como aceptable, debemos tener en cuenta que las otras dos interfaces han conseguido resultados evidentemente mejores. Esto es debido a que, según el criterio de los alumnos parece ser que la usabilidad de la interfaz planetaria es más débil que las interfaces de panel y cinturón. Para la mayoría de los alumnos, la distribución de los botones de la interfaz planetaria es la menos adecuada para la creación de modelos CAD en RV.

Una solución totalmente válida sería elegir la interfaz cinturón como posible menú para creación de modelos en CAD RV, ya que tiene un resultado muy parejo al de la interfaz panel. Esta interfaz es posiblemente la más sofisticada debido a su diseño y por la cantidad de desplegados que contiene, es bastante intuitiva y su usabilidad es buena según los resultados de los usuarios. Pero, quizás lo que hace que los usuarios se decanten un poco más por la interfaz panel, es por su diseño tan básico, el cual puede ser muy fácil de aprender de utilizar por cualquier tipo de usuario.

Según el criterio de los alumnos, la interfaz que se considera la más consistente y la que mejor tiene distribuida la interfaz de los botones es la interfaz panel. Con este resultado podemos ver que el poder de lo básico suele ser lo más efectivo, ya que, esta interfaz es la que tiene el diseño más sencillo e intuitivo.

En la Figura 81 pueden verse los resultados SUS de los usuarios para cada interfaz representada en un gráfico de barras.

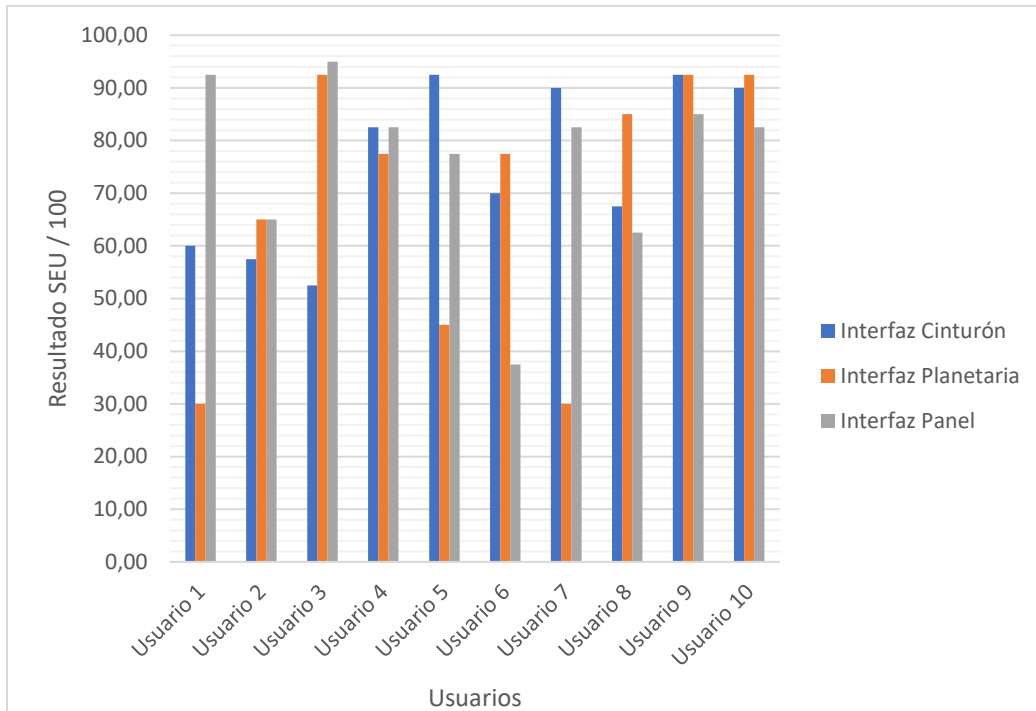


Figura 81. Representación en gráfico de barras de los resultados SUS según los usuarios para cada interfaz.

En la Figura 82 se muestra un gráfico con los resultados promedio SUS de cada interfaz según el criterio de los alumnos.

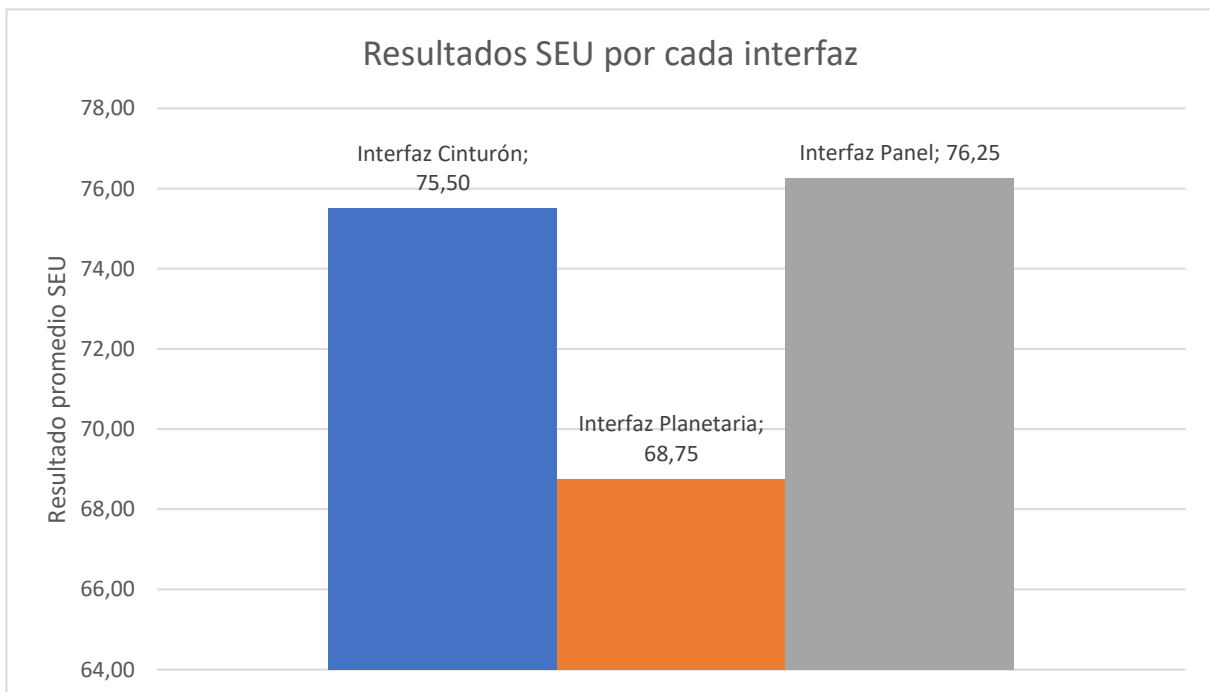


Figura 82. Representación en gráfico de barras de los resultados promedios SUS de cada interfaz según el criterio de los usuarios.

En cuanto a los resultados de los cuestionarios comparativos, se han realizado de la siguiente manera. Los resultados de la pregunta 1 a la 14 se han contabilizado en un documento Excel, contando el número de veces que los usuarios elegían cada interfaz para cada pregunta. Es decir, en cada pregunta los usuarios debían elegir qué interfaz de las 3 preferían utilizar según cada pregunta, y el número de veces que se elegía cada interfaz se contabilizaba. En cuanto a la pregunta 15 no se le evaluó de la misma forma ya que era una pregunta de desarrollo, y debe ser evaluada de distinta forma y veremos su resultado más adelante.

Los resultados de los cuestionarios comparativos de la pregunta 1 a la 14 se pueden visualizar en la Figura 83. Como podéis ver, debajo del gráfico se muestran las veces que los usuarios han votado la interfaz que elegirían según cada pregunta.

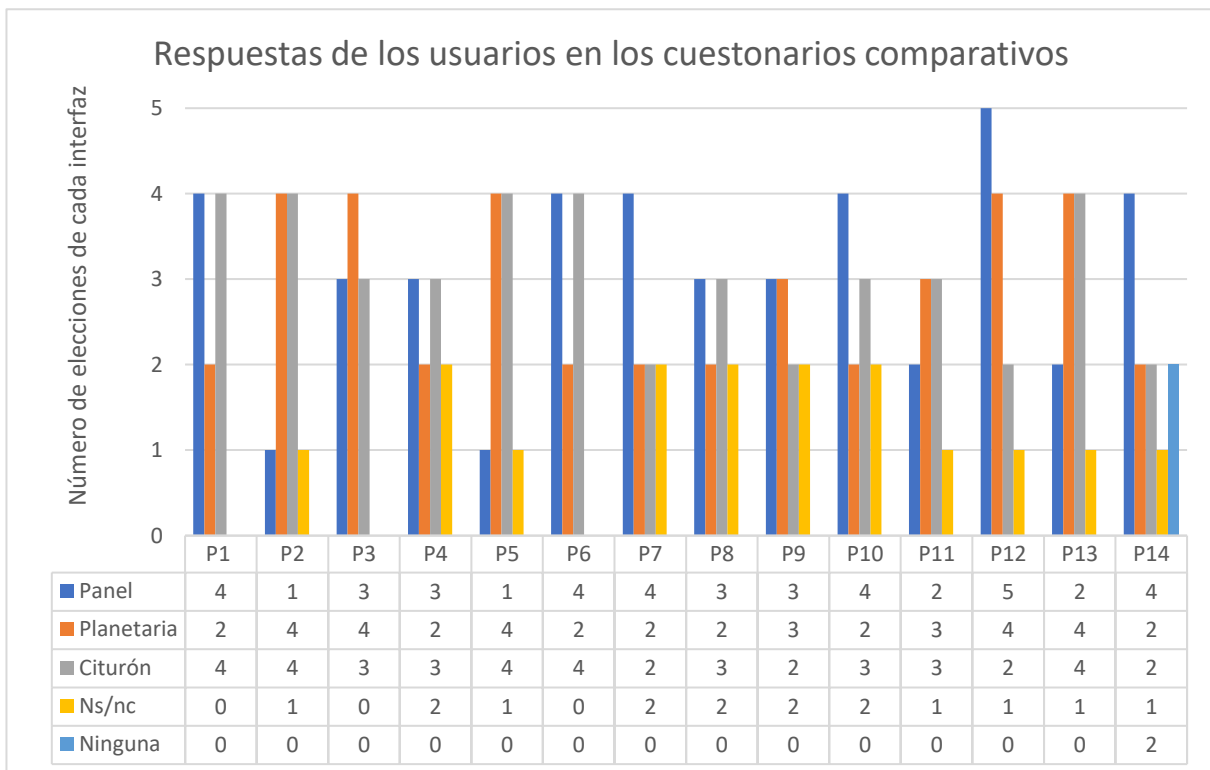


Figura 83. Representación en gráfico de barras de las respuestas de los usuarios a los cuestionarios comparativos de las preguntas 1 a la 14.

En la primera pregunta se puede ver que la mayoría de los usuarios se han decantado por la interfaz panel y la interfaz cinturón, piensan que estas interfaces son las más simples e intuitivas de usar a simple vista, una vez ya han utilizado la interfaz los resultados cambian un poco, porque para la segunda pregunta la mayoría de los usuarios se deciden por la interfaz planetaria y cinturón. Como era de esperar, siguiendo los resultados obtenidos con el SUS, los usuarios también piensan que a simple vista la interfaz menos intuitiva o la que parece más difícil de usar es la interfaz planetaria. En cuanto a las respuestas a la pregunta 4, la mayoría de los sujetos han votado la interfaz cinturón y la interfaz panel como las más complejas y menos intuitivas de utilizar una vez las han usado. En cambio, la interfaz que les ha gustado más estéticamente a los usuarios es tanto la interfaz planetaria como la interfaz cinturón.

La pregunta 6 es un poco contradictoria con la pregunta 5, ya que, la mayoría de los usuarios ha votado que la interfaz que les ha gustado menos estéticamente es la interfaz cinturón y la interfaz panel, en definitiva, parece que la interfaz planetaria tiene más respuestas positivas en cuanto a su estética y resulta ser la más bonita. Respecto a la pregunta 7, la interfaz que más fácil ha sido de aprender para los usuarios es la interfaz panel. Con referencia a la pregunta 8, las interfaces que generalmente han parecido más difíciles de aprender son las interfaces cinturón y panel. En cuanto a la pregunta 9, la mayoría votaron a las interfaces panel y planetaria, los usuarios tienen la sensación de que trabajando con estas interfaces avanzan más rápido modelando. La interfaz panel ha sido la interfaz con la que los usuarios trabajaban más lento, esto es debido a los distintos desplegados que presenta el menú interactivo.

En cuanto a las preguntas 11 y 12 la mayoría de los usuarios ha votado que la interfaz planetaria y la interfaz cinturón son con las que más cómodos se han sentido a la hora de modelar y han votado a la interfaz panel como la interfaz más incómoda de usar. En cuanto a las últimas preguntas, ha habido bastantes respuestas muy variadas, los usuarios han votado las interfaces planetaria y cinturón como las interfaces que elegirían definitivamente para modelar, mientras que en la pregunta 14, la mayoría de los sujetos descartarían la interfaz panel para trabajar.

En cuanto a la pregunta 15, se ha tenido que tratar de distinta forma, ya que no es una pregunta de elección de interfaces, sino que es una pregunta de desarrollo y criterio según cada usuario. La pregunta radica en si según los usuarios combinarían características de algunas interfaces con otras para tratar de mejorar su usabilidad, y los usuarios sugieren lo siguiente:

- Primero de todo, 5 de los 10 usuarios respondieron que no combinarían ninguna característica y dejarían las interfaces tal y como están definidas.
- Dos de los usuarios combinarían las características de la interfaz panel con las de la interfaz cinturón. Es decir, la idea de una interfaz simple y clásica que se puede anclar en un lugar del espacio combinada con desplegados simples de botones.
- Otro usuario opina que la interfaz cinturón es la más ordenada e intuitiva, y sugiere que si las otras interfaces estuvieran ordenadas de la misma manera serían más intuitivas.
- Otro usuario opina que la interfaz planetaria es bonita estéticamente pero que su organización podría ser mejor, si se agruparan los botones con funciones similares de una manera más efectiva la interfaz sería más completa e intuitiva.
- Dos de los usuarios sugieren combinar las características de las interfaces planetaria y cinturón, es decir, combinar la organización y distribución de los botones de la interfaz cinturón con el aspecto tridimensional que proporcionan las esferas de la interfaz planetaria, porque consideran adecuado el tener una interfaz tridimensional para crear modelos tridimensionales.
- Otro usuario sugiere que en la interfaz planetaria se debería de poner algún tipo de panel con colores lisos detrás de los botones, ya que hay algunas circunstancias donde los botones pueden confundirse con el modelo o con el fondo del entorno. Este mismo usuario evitaría que los iconos de las esferas de la interfaz planetaria se pudiesen ver por detrás, ya que entorpece a la hora de modelar.

En definitiva, para analizar cuál es la interfaz que definitivamente ha obtenido los mejores resultados en este Trabajo Final de Máster, tenemos que contemplar varios aspectos. Primero de todo, debemos de tener muy en cuenta los resultados obtenidos en los cuestionarios de usabilidad SUS, ya que es un sistema probado y globalmente utilizado para validar la usabilidad de aplicaciones. También debemos de tener en cuenta los resultados obtenidos en los cuestionarios comparativos, pero este cuestionario no está validado científicamente ni es globalmente utilizado para validar aplicaciones, este cuestionario ha sido creado especialmente en este trabajo para poder complementar los resultados obtenidos con el SUS. Así que, el criterio que se ha utilizado para crear los cuestionarios comparativos es testear que sensación han tenido los usuarios a la hora de utilizar cada interfaz y comparar con las demás, pero los resultados que se obtienen con este cuestionario no son tan determinantes ni tan fiables como los que se obtienen con el SUS, aun así, se pueden obtener conclusiones con sentido.

Así que, por los resultados obtenidos con el sistema SUS, las interfaces que presentan mejores condiciones para modelar son las interfaces panel y cinturón. Además, complementando los resultados obtenidos en el SUS con los resultados de los cuestionarios comparativos, podemos definir que también son estas dos interfaces las preferida por los usuarios. Una de las interfaces más fáciles de usar ha resultado ser la interfaz cinturón y la más fácil de aprender ha sido la interfaz panel. La interfaz panel al tener un aspecto clásico y básico, sin ningún tipo de desplegables, y, además como el panel podía ser anclado en cualquier lugar del espacio de trabajo la usabilidad de esta interfaz ha resultado ser la mejor y la más intuitiva. Quizás no haya sido la interfaz que mejor aspecto estético tenga, pero el objetivo de este trabajo es más funcional que estético, así que, el criterio estético es más secundario.

Así que, con los resultados obtenidos no podríamos elegir una interfaz solamente como la favorita, debido a que los resultados están bastante ajustados entre la interfaz panel y la interfaz cinturón. Lo ideal sería combinar las características de ambas interfaces tratando de conseguir una s

Según las sugerencias de los usuarios, y gracias a la investigación de distintos artículos científicos, con el objetivo de mejorar futuros desarrollos sería interesante combinar características de algunas interfaces con otras para mejorar la usabilidad. En este caso, sería conveniente combinar la simplicidad que tiene la interfaz panel con la distribución organizada de los botones de la interfaz cinturón e incluir un aspecto tridimensional similar al de la interfaz planetaria. Estas combinaciones se podrían probar en futuras iteraciones y se podrían evaluar de una manera similar a la que se ha realizado en este trabajo, de esta manera se podrá conseguir una interfaz todavía más efectiva e intuitiva.

6. Conclusiones

Gracias a los resultados obtenidos en el estudio realizado en el presente trabajo, se han obtenido una serie de conclusiones en materia de creación de menús interactivos mediante entornos de Realidad Virtual y su utilización para modelar.

Para poder reunir la información relevante y desarrollar este trabajo efectivamente, se ha recurrido a la investigación de blogs, artículos científicos y a la revisión de aplicaciones de Realidad Virtual actuales. Con la información obtenida de estas fuentes, se han podido adquirir los conocimientos para entender este entorno y poder combinar estas ideas para conseguir crear las distintas interfaces presentadas en el trabajo.

Para este estudio se ha analizado si era viable poder realizar interfaces de menús interactivos directamente utilizando herramientas de Realidad Virtual. Para la realización de este análisis, se ha tenido que aprender a manejar la aplicación Microsoft Maquette y así poder crear los menús interactivos de una forma estática, para posteriormente poder integrar funcionalidad a estos menús con otra aplicación llamada *Virtual Modeling*.

Con todas las herramientas citadas anteriormente, se han creado entornos de Realidad Virtual para aplicaciones relacionadas con ámbitos industriales, capaz de poder crear modelos mecánicos y geométricos. Todo esto utilizando unas interfaces de modelado que fueran intuitivas y fáciles de usar para todo tipo de usuarios, y gracias a los resultados obtenidos en la evaluación de este proyecto, podemos concluir que este objetivo se ha completado correctamente.

Con la realización de este Trabajo Final de Máster, podemos concluir que la Realidad Virtual tiene mucho potencial de desarrollo en aplicaciones de ámbitos industriales. Y, sin duda es una posibilidad de modelado más intuitiva que la de los métodos tradicionales.

Bibliografía

- [1] De la Torre, D. (22 de noviembre de 2018). "El prometedor futuro de la realidad virtual." *blogthinkbig.com*. Recuperado de <https://blogthinkbig.com/futuro-realidad-virtual>
- [2] Conesa Pastor, J., Contero González, M. y Naya Sanchis, F. (7 – 10 de julio de 2020). "Application for Modeling in Virtual Reality Based Engineering". *24th International Congress on Project Management and Engineering, 1847-1859*.
- [3] Pascual, J.A. (3 de abril de 2016). "Realidad Virtual: 25 preguntas y respuestas que debes conocer." *computerhoy.com*. Recuperado de <https://computerhoy.com/noticias/zona-gaming/realidad-virtual-25-preguntas-respuestas-que-debes-conocer-42543#:~:text=Podemos%20definir%20la%20Realidad%20Virtual,est%C3%A1s%20dentro%20de%20la%20escena>.
- [4] Croft, P. (11 de enero de 2018). "Realidad Virtual: origen, actualidad y futuro." *as.com/meristation*. Recuperado de https://as.com/meristation/2018/01/10/reportajes/1515567480_172151.html
- [5] "Comparison of virtual reality headsets". (Sin fecha). En Wikipedia. Recuperado el 21 de noviembre del año 2020 de https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_virtual_reality_headsets
- [6] "Casco de realidad virtual". (Sin fecha). En Wikipedia. Recuperado el 21 de noviembre del año 2020 de https://es.wikipedia.org/wiki/Casco_de_realidad_virtual
- [7] "Diferencias entre Realidad Virtual y Realidad Aumentada." *onirix.com*. Recuperado de <https://www.onirix.com/es/aprende-sobre-ra/diferencias-entre-realidad-virtual-y-realidad-aumentada/> (accesed 10 Jun. 2020).
- [8] (28 de diciembre de 2018) "10 hitos en la historia de la Realidad Virtual." *Deusens.com*. Recuperado de <https://www.deusens.com/hitos-historia-realidad-virtual/>
- [9] "El uso de la Realidad Virtual y sus aplicaciones en la actualidad." *blog.racc.es*. Recuperado de <http://blog.racc.es/coche/uso-de-la-realidad-virtual-y-sus-aplicaciones/> (accesed 11 Jun. 2020).
- [10] Martín-Erro, A. *et al.* (Julio – agosto de 2014). "Aplicaciones industriales de entornos de realidad virtual y de realidad aumentada". *Ingeniería de Diseño. ETSII – Universidad Nacional de Educación a Distancia – UNED*.
- [11] Ingrassia, T. y Cappello F. (2009) "VirDe: a new virtual reality design approach." *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 1-11, 3(1).
- [12] Chu, C., Dani T. y Gadh R. (1997). "Multi-sensory user interface for a virtual-reality-based computer-aided design system." *CAD Computer Aided Design*, 709-725, 29(10)
- [13] Arangarasan, R. y Gadh, R. (2000). "Geometric modeling and collaborative design in a multi-modal multi-sensory virtual environment." *Proceedings of DETC'00 ASME 2000 Design*

Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference Baltimore, Maryland, 1-19.

- [14] Trika, S.N., Banerjeet, P. y Kashyap, R.L. (1997) "Virtual reality interfaces for feature-based computer-aided design systems." *Computer-Aided Design*, 565-5774, 29(8).
- [15] Zhong, Y., Shirinzadeh, B. y Ma, W. (2005). "Solid modelling in a virtual reality environment." *The Visual Computer*, 17-40, 21(1-2).
- [16] Cappello, F., Ingrassia, T. y Romano, M. (2007). "RV Studio: Solid Modelling in a Virtual Reality Environment." *5th Eurographics Italian Chapter Conference 2007 – Proceedings*, 119-126, 1.
- [17] Ladwig, P., Herder, J. y Geige, C. (2017). "Towards Precise, Fast and Comfortable Immersive Polygon Mesh Modelling: Capitalising the Results of Past Research and Analysing the Needs of Professionals." *International Conference on Artificial Reality and Telexistence and Eurographics Symposium on Virtual Environments*.
- [18] Rosales, E., Rodriguez, J. y Sheffer, A. (2019). "Surfacebrush: From virtual reality drawings to manifold surfaces." *ACM Transactions on Graphics*, 38(4).
- [19] Butterworth, J., Davidson, A., Hench, S. y Olano, T. (1992) "3DM: A three dimensional modeler using a head-mounted display." *Proceedings of the Symposium on Interactive 3D Graphics*, 135-138, Part F1296.
- [20] Keefe, D. y Jackson, B. (2016). "Lift-Off: Using Reference Imagery and Freehand Sketching to Create 3D Models in RV". *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 1442-1451, 22(4).
- [21] Deering, M. (1995). "HoloSketch: A Virtual Reality Sketching / Animation Tool". *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 220-238, 2(3).
- [22] Arora, R. et al. (2017). "Experimental Evaluation of Sketching on Surfaces in RV". *Conference on Human Factors in Computing Systems – Proceedings*, 5643-5654.
- [23] Wang, Q. et al. (2010). "Live parametric design modifications in CAD-linked virtual environment". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 859-869, 50(9-12).
- [24] Klerk, R. et al. (2019). "Usability studies on building early stage architectural models in virtual reality". *Automation in Construction*, 104-116, 103(March).
- [25] McGraw, T., Garcia, E. y Sumner, D. (2017). "Interactive swept surface modeling in virtual reality with motion-tracked controllers". *Proceedings – Sketch-Based Interfaces and Modeling, Part of Expressive 2017*, (1).
- [26] Barrera Machuca, M. D. et al. (2018) "Multiplanes: Assisted freehand RV sketching". *Proceedings of the Symposium on Spatial User Interaction*, 36-47.
- [27] Cordeiro, E., Giannini, F. y Monti, M. (2019). "A survey of immersive systems for shape manipulation". *Computer-Aided Design and Applications*, 1146-1157, 16(6).
- [28] Monteiro, P. et al. (2019). "Comparison of radial and panel menus in virtual reality". *IEEE Access*, 116370-116379, 7.

- [29] Toma, M., Gîrbacia, F. y Antonya, C. (2012). "A comparative evaluation of human interaction for design and assembly of 3D CAD models in desktop and immersive environments". *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 179-193, 6(3).
- [30] Feeman, S., Wright, L. y Salmon, J. (2018). "Exploration and evaluation of CAD modeling in virtual reality". *Computer-Aided Design and Applications*, 892-904, 15(6).
- [31] Pérez, D. (4 de abril de 2018). "Lenovo Explorer: así son las gafas de realidad mixta de Lenovo." *elespanol.com*. Recuperado de https://www.elespanol.com/omicrono/tecnologia/20180404/lenovo-explorer-gafas-realidad-mixta/297221663_0.html
- [32] Devin, F. (25 de febrero de 2017). "Sistema de Escalas de Usabilidad: ¿qué es y para qué sirve?" *uxpanol.com*. Recuperado de <https://uxpanol.com/teoria/sistema-de-escalas-de-usabilidad-que-es-y-para-que-sirve/>
- [33] Alathas, H. (19 de noviembre de 2019). "How to Measure Product Usability with the System Usability Scale (SUS) Score". *uxplanet.org*. Recuperado de <https://uxplanet.org/how-to-measure-product-usability-with-the-system-usability-scale-sus-score-69f3875b858f#:~:text=Then%20sum%20all%20scores%20of,of%20this%20example%20is%2077.5.>

Parte II

Presupuesto

1. Introducción

En cuanto a la realización del presupuesto, hay que dividirlo en dos partes diferenciadas. Una de ellas consta de la mano de obra y la otra consta de las aplicaciones adquiridas y de los medios o equipos utilizados y con su amortización correspondiente.

1.1. Coste de la mano de obra

El coste de la mano de obra consta del coste que está relacionado con la debida remuneración del personal participe del desarrollo del proyecto. La gran mayoría del presupuesto que está relacionado con este trabajo está vinculado con el personal porque el trabajo realizado está destinado en gran parte a la utilización del ordenador y de las aplicaciones virtuales.

El presente trabajo está asociado a un total de 12 créditos ECTS, lo que implica que, se han empleado aproximadamente unas 300 horas de trabajo por parte del alumno. Y con ello, el personal involucrado consta de:

- Un profesor de la Universidad Politécnica de Valencia, como tutor y director de dicho proyecto, el cual es catedrático.
- Un profesor de la Universidad Politécnica de Cartagena, como Ingeniero Industrial Superior dedicado a la programación de las aplicaciones desarrolladas en el proyecto, el cual es profesor titular.
- Un estudiante de Máster de Ingeniería Industrial, que se considera como un Ingeniero Industrial.

Para calcular el total de horas trabajadas en un año, se ha restado a los 365 días del año 2020 los festivos y los fines de semana. En el año 2020 hay 104 días de fin de semana y 12 días festivos en la Comunidad Valenciana, dando un total de 249 días laborables. Por lo tanto, considerando que se han trabajado 8 horas al día durante los 249 días laborables, obtenemos un total de 1992 horas trabajadas al año.

Para poder estimar el salario anual de los profesores, es necesario saber que las retribuciones del profesorado constan de un salario bruto por figura de cada profesor, más una suma de la estimación de la antigüedad de cada persona en trienios, quinquenios y sexenios.

Un profesor catedrático normalmente puede tener unos 4 quinquenios y 3 sexenios como mínimo. Mientras que, un profesor titular puede tener unos 3 quinquenios y 1 sexenio. En la Tabla 3 y la Tabla 4 inferiores podremos apreciar con más precisión la retribución que suelen tener los profesores en la Universidad Politécnica de Valencia. Aunque exista la colaboración de un profesor de la Universidad Politécnica de Cartagena, se va a considerar para el cálculo de este presupuesto como si fuese retribuido económicamente por la Universidad Politécnica de Valencia.

RETRIBUCIONES PROFESORADO FUNCIONARIO EN BASE A LA LEY DE PRESUPUESTOS PARA EL EJERCICIO 2019

DENOMINACION	DEDICACION	SUELDO	C. DESTINO	C. ESPECIFICO	TOTAL MENSUAL	SUELDO P.EXTRA	P.EXTRA	TOTAL RETRIB. ANUAL	TRIENIO MENSUAL	TRIENIO P.EXTRA
CATEDRATICOS UNIVERSIDAD (NIVEL 29)	TC	1.177,08	922,22	1.039,80	3.139,10	726,35	2.688,37	43.045,94	45,29	27,95
	6H	509,91	849,95	0,00	1.359,86	314,66	1.164,61	18.647,54	19,62	12,11
	5H	424,93	708,29	0,00	1.133,22	262,23	970,52	15.539,68	16,35	10,09
	4H	339,94	566,63	0,00	906,57	209,78	776,41	12.431,66	13,08	8,07
	3H	254,96	424,97	0,00	679,93	157,33	582,30	9.323,76	9,81	6,05
TITULARES UNIVERSIDAD Y CATEDRATICOS E.U. (NIVEL 27)	TC	1.177,08	844,65	485,11	2.506,84	726,35	2.056,11	34.194,30	45,29	27,95
	6H	509,91	576,05	0,00	1.085,96	314,66	890,71	14.812,94	19,62	12,11
	5H	424,93	480,04	0,00	904,97	262,23	742,27	12.344,18	16,35	10,09
	4H	339,94	384,03	0,00	723,97	209,78	593,81	9.875,26	13,08	8,07
	3H	254,96	288,03	0,00	542,99	157,33	445,36	7.406,60	9,81	6,05
TITULARES E.U. (NIVEL 26)	TC	1.177,08	741,04	299,52	2.217,64	726,35	1.766,91	30.145,50	45,29	27,95
	6H	509,91	450,77	0,00	960,68	314,66	765,43	13.059,02	19,62	12,11
	5H	424,93	375,64	0,00	800,57	262,23	637,87	10.882,58	16,35	10,09
	4H	339,94	300,51	0,00	640,45	209,78	510,29	8.705,98	13,08	8,07
	3H	254,96	225,39	0,00	480,35	157,33	382,72	6.529,64	9,81	6,05

Paga extra que está formada por una mensualidad del SUELDO P. EXTRA más el 100% del complemento de destino mensual y el 100% C. Especifico mensual

Tabla 3. Salario bruto por figura del profesor.

RETRIB. POR MERITOS DOCENTES (QUINQUENIOS) PARA EL EJERCICIO 2019

DENOMINACION	RETRIB. MENSUAL	PAGA EXTRA	TOTAL ANUAL
PROF. COMPLEMENTO DESTINO NIVEL 29 (CATEDRATICOS DE UNIVERSIDAD)	157,71 €	157,71 €	2.207,94 €
PROFESORES TITULARES DE UNIVERSIDAD CATEDRÁTICOS DE ESCUELA UNIVERSITARIA PROFESORES CONTRATADOS DOCTORES	127,75 €	127,75 €	1.788,50 €
TITULARES ESCUELA UNIVERSITARIA PROFESORES COLABORADORES AYUDANTES DOCTORES	108,09 €	108,09 €	1.513,26 €
INVESTIGADOR CIENTIFICO	142,73 €	142,73 €	1.998,22 €

RETRIB. COMPLEMENTO DE PRODUCTIVIDAD (SEXENIOS) PARA EL EJERCICIO 2019

DENOMINACION	RETRIB. MENSUAL	TOTAL ANUAL
PROF. COMPLEMENTO DESTINO NIVEL 29 (CATEDRATICOS DE UNIVERSIDAD)	157,71 €	1.892,52 €
PROFESORES TITULARES DE UNIVERSIDAD CATEDRÁTICOS DE ESCUELA UNIVERSITARIA PROFESORES CONTRATADOS DOCTORES	127,75 €	1.533,00 €
TITULARES ESCUELA UNIVERSITARIA PROFESORES COLABORADORES	108,09 €	1.297,08 €
INVESTIGADOR CIENTIFICO	142,73 €	1.712,76 €

Tabla 4. Retribución del profesorado dependiendo del número de trienios, quinquenios y sexenios.

Como podemos apreciar en la Tabla 3, el salario mensual de un catedrático de universidad perteneciente a la Universidad Politécnica de Valencia a tiempo completo es de unos 3.139,10 €, lo que significa que tiene una retribución de 43.045,94 € al año. Mientras que, un profesor titular en la Universidad Politécnica de Valencia a tiempo completo tiene una retribución de 2.217,64 € al mes, lo que significa que tiene un salario de 30.145,50 € al año.

En cuanto a la retribución dependiendo a la antigüedad de cada profesor, podemos apreciar en la Tabla 4 que un catedrático tiene una retribución extra por cada quinquenio de 157,71 € mensuales, lo que suma un total de 2.207,94 € anuales por quinquenio. Y, además tiene una retribución extra por cada sexenio de 157,71 € mensuales, lo que suma un total de 1.891,52 € anuales por sexenio.

En cuanto a la retribución de un profesor titular dependiendo de su antigüedad, podemos ver que es de 108,09 € mensuales por cada quinquenio, lo que suma un total de 1.513,26 € por cada quinquenio. Y, además una suma de 108,09 € mensuales por sexenio, lo que significa que tiene una retribución anual de 1.297,08 € por sexenio.

	Profesor Catedrático	Profesor Titular	Ingeniero Industrial
Horas trabajadas al año	1.992	1.992	1.992
Salario anual por figura en euros	43.045,94	30.145,50	39.560,61
Retribución anual por quinquenios en euros	8.831,76	4.539,78	-
Retribución anual por sexenios en euros	5.674,56	1.297,08	-
Salario bruto medio anual en euros	57.552,26	35.982,36	39.560,51
Coste horario en euros	28,89	18,06	19,86

Tabla 5. Metodología del cálculo del coste de mano de obra.

En la Tabla 5 podemos ver el salario anual total y el coste horario de todos los integrantes partícipes en el proyecto. Cabe destacar que, se ha considerado que un catedrático tiene una retribución extra de 4 quinquenios y 3 sexenios, y para un profesor titular tiene una retribución extra de 3 quinquenios y 1 sexenio. Como un ingeniero industrial no tiene retribución por quinquenios ni sexenios, en la tabla no se muestra ningún valor asociado en este campo.

Ahora, en la Tabla 6 podemos ver el reflejo de lo que ha supuesto el coste total de la mano de obra para este trabajo.

Ref.	Descripción	Uds.	Cantidad	Coste unitario (€/Uds.)	Importe (€)
1.1.	Profesor Catedrático	h	30	28,89	866,70
1.2.	Profesor Titular	h	25	18,06	451,50
1.3.	Ingeniero Industrial	h	300	19,89	5.967,00
Coste total de la mano de obra					7.285,20

Tabla 6. Coste total de la mano de obra.

1.2. Coste de los equipos y de las aplicaciones

En el siguiente apartado vamos a recoger los costes que vincular a los programas utilizados, sus respectivas licencias, los equipos utilizados y las aplicaciones adquiridas.

Hardware

- **Ordenador de sobremesa** customizado con; procesador AMD Ryzen 5 2600X 3,6 Ghz, memoria RAM Kingston HyperX Fury Black DDR4 2400 PC4-19200 8GB CL15 (2 unidades), fuente de alimentación Nfortec Scutum PSU 650W 80 Plus Bronze Modular, disco duro Seagate BarraCuda 3,5" 1TB SATA3, disco sólido Kingston SSDNow A1000 240GB M.2 NVMe y tarjeta gráfica Gigabyte GeForce GTX 1050Ti OC 4GB GDDR5.
- **Periféricos RV** Lenovo Explorer.

Software

- **Microsoft Office 2020.** Herramienta utilizada para la visualización y para el análisis de datos.
- **Aplicaciones de pago de Steam.** Entre las aplicaciones de la plataforma Steam se han utilizado unas aplicaciones que eran de descarga gratuita y otras que eran aplicaciones de pago. Entre las de pago, se han utilizado las siguientes: MakeRV Pro, Tilt Brush, Shape Lab y Kodon.

Ref.	Descripción	Coste inicial (€)	Amortización	Importe (€)
2.1.	Ordenador sobremesa	850,00	9 meses / 5 años	127,50
2.2.	Periféricos RV	350,00	9 meses / 4 años	65,63
2.3.	Licencia Microsoft Office 2020	80,00	9 meses / 1 año	60,00
2.4.	Aplicaciones Steam	94,96	9 meses / 6 años	11,87
Coste y amortización de los equipos y aplicaciones				265,00

Tabla 7. Coste y amortización de los equipos y aplicaciones.

1.3. Presupuesto total

Vamos a ver en la Tabla 8 el presupuesto total del proyecto, en el que se han añadido además unos gastos generales, el beneficio industrial y el IVA.

Descripción	Importe (€)
Coste de la mano de obra	7.285,20
Coste de los equipos y de las aplicaciones	265,00
	7.550,20
Gastos generales (13 %)	981,53
Beneficio industrial (6 %)	453,01
	8.984,74
IVA (21 %)	1.886,80
PRESUPUESTO TOTAL	10.871,54

Tabla 8. Presupuesto total del trabajo.

El coste total de este Trabajo Final de Máster es de DIEZ MIL OCHOCIENTOS SETENTA Y UN EUROS Y CINCUENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.