



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

TEMA:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PIRÁMIDE DE PROYECCIÓN
BASADA EN LA TÉCNICA “FANTASMA DE PEPPER” PARA UN
SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA**

AUTORES:

**PAILIACHO GUEVARA, GUILLERMO SEBASTIÁN
VILLEGAS VILLACÍS, BRYAN DANIEL**

DIRECTOR:

ING. LOZA MATOVELLE, DAVID CÉSAR

SANGOLQUÍ

2019



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PIRÁMIDE DE PROYECCIÓN BASADA EN LA TÉCNICA “FANTASMA DE PEPPER” PARA UN SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA**” fue realizado por los señores **PAILIACHO GUEVARA GUILLERMO SEBASTIÁN** y **VILLEGAS VILLACÍS BRYAN DANIEL**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 16 de enero del 2019



ING. DAVID CÉSAR LOZA MATOVELLE, MSc.
DIRECTOR

C.C.: 1708661549



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **PAILIACHO GUEVARA GUILLERMO SEBASTIÁN**, con cédula de identidad N° 1722219696 y **VILLEGAS VILLACÍS BRYAN DANIEL**, con cédula de identidad N° 1721977336, declaramos que este trabajo de titulación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PIRÁMIDE DE PROYECCIÓN BASADA EN LA TÉCNICA “FANTASMA DE PEPPER” PARA UN SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 16 de enero de 2019

**PAILIACHO GUEVARA
GUILLERMO SEBASTIÁN**
C.C.: 1722219696

**VILLEGAS VILLACÍS BRYAN
DANIEL**
C.C.: 1721977336



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, PAILIACHO GUEVARA GUILLERMO SEBASTIÁN y VILLEGAS VILLACÍS BRYAN DANIEL autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PIRÁMIDE DE PROYECCIÓN BASADA EN LA TÉCNICA "FANTASMA DE PEPPER" PARA UN SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 16 de enero de 2019

PAILIACHO GUEVARA
GUILLERMO SEBASTIÁN
C.C.: 1722219696

VILLEGAS VILLACÍS BRYAN
DANIEL
C.C.: 1721977336

DEDICATORIA

A mis padres, a mi hermana y las personas que siempre están.

Guillermo Sebastián Pailiacho Guevara

DEDICATORIA

Dedico el proyecto de tesis elaborado a Dios que me dio la fuerza suficiente para culminar mi etapa académica, y me dio salud para ver cumplido este logro. A mis padres que siempre me apoyaron, mi madre acompañándome en cada uno de los pasos dados en mi vida universitaria, a mi padre que ahora se encuentra en el cielo pero que estuvo conmigo en la mayor parte de mi formación académica dándome su apoyo y buscando ayudarme con todo lo que necesité, igual que mis hermanos y familia, siempre se preocuparon por mi bienestar y me brindaron su apoyo. También, a mis amigos que me animaron en los momentos difíciles, apoyándome siempre para seguir adelante.

Bryan Daniel Villegas Villacís

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Guillermo y Fanny, quienes son los principales promotores de mis sueños, y quienes me han acompañado desde el inicio hasta el fin del camino recorrido, dándome ánimos y fuerza para no decaer en los momentos difíciles. Gracias por confiar y creer en mí, a mi madre le agradezco por todo el amor y apoyo incondicional que me da todos los días desde muy temprano en la mañana, gracias a mi padre por los consejos y guías que me proporciona día a día para mejorar y superarme.

A mi hermana quien es mi amiga, mi confidente y mi compañera de aventuras, le agradezco por sus consejos, motivación y sobre todo por darme el ejemplo a seguir, gracias por las risas y el cariño, por estar siempre para mí y ser mi apoyo incondicional.

A mis amigos quienes son una parte fundamental, les agradezco por su amistad, ayuda, y sobre todo por los momentos vividos, para aquellos con los que comencé y los que fui conociendo en el trayecto.

Guillermo Sebastián Pailiacho Guevara

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Diosito que cada día me da una nueva oportunidad para vivir y ser mejor, de superarme y seguir adelante con cada meta que me propuse cumplir y por haberme dado la oportunidad de conocer a grandes amigos que me apoyaron en estos años de formación académica. Agradezco a mi madre Mónica que siempre estuvo cuando necesite ayuda y a mi Padre Luis quien ahora se encuentra con Dios y me está apoyando desde arriba tal y como lo hizo en vida, siempre preocupado por mí y le agradezco por haberme dado lo más importante para mí desempeño en la vida que son mis estudios y mi conocimiento. Agradezco a Melanie, Sergio, José Luis, Nathy y Viky que me apoyaron en cada paso como amigos y compañeros, dándome fuerza y ayuda en cada problema que afronte. Y a mi compañero Sebastián que estuvo conmigo en este último paso para obtener este logro tan anhelado por nosotros.

Bryan Daniel Villegas Villacís

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
INDICE DE TABLAS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO 1.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. Motivación y problemática.....	1
1.2. Investigación Previa de dispositivos de realidad aumentada.....	3
1.2.1. Gafas de realidad aumentada “Magic Leap One”.....	3
1.2.2. Microsoft’s HoloLens AR.....	4
1.2.3. Pirámide de Proyección Holográfica.....	5
1.3. Justificación e importancia.....	6
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo General.....	7
1.4.2. Objetivo Específico.....	7
1.5. Alcance del Proyecto.....	7
1.6. Estructura del Documento.....	8
CAPÍTULO 2.....	10
INVESTIGACIÓN PREVIA.....	10
2.1. Técnicas para Crear un Efecto Visual Tridimensional.....	10
2.1.1. Estereoscopía.....	12
2.1.2. Autoestereoscopía.....	15
2.1.3. Holografía.....	18
2.2. Realidad Aumentada.....	19
2.2.1. Niveles de Realidad Aumentada.....	19

2.2.2.	Imágenes Volumétricas.	21
2.2.3.1.	HOLUS	22
2.2.3.2.	GATEBOX.....	24
2.2.3.3.	Pantalla de proyección holográfica	25
2.2.4.	Sistemas de imágenes volumétricas dinámico.....	26
2.2.4.1.	Perspecta Spatial 3D	28
2.3.	Sistemas de Gestión de Diálogo	28
2.3.1.	Sistemas de Gestión de Diálogos Hablados.....	28
2.3.2.	Sistemas de gestión de dialogo Multimodal	29
2.3.3.	Comparación de productos existentes y proyecto actual	30
2.4.	Resumen	31
CAPÍTULO 3		32
DISEÑO		32
3.	Diseño de Sistema en base a la función de calidad.	32
3.1.	Primer Módulo: Estructura.	35
3.1.1.	Subsistema Bastidor.....	36
3.1.1.1.	Selección Material Postes y Esquinas	36
3.1.2.	Subsistema Pirámide de Proyección.....	43
3.1.2.1.	Selección del material para la pirámide de proyección.....	47
3.2.	Segundo Módulo: Sistema de Animación.	50
3.2.1.	Subsistema Display de Proyección	50
3.2.1.1.	Selección display de proyección	51
3.2.2.	Subsistema Proyección 3D	53
3.2.2.1.	Selección de software para diseñar animación.....	54
3.2.2.2.	Diseño aplicativo animación 3D.	56
3.3.	Tercer Módulo: Arquitectura de Control.....	62
3.3.1.	Subsistema Software.....	62
3.3.2.	Subsistema Gestión de Diálogos	63
3.3.3.	Subsistema Mando de Control.....	65
3.3.3.1.	Selección de dispositivo para mando de control.	66
3.4.	Sistema Completo.....	68
3.5.	Resumen	69
CAPÍTULO 4		72
INTEGRACIÓN Y VALIDACIÓN.....		72

4.1.	Implementación de estructura.....	72
4.2.	Implementación del sistema de control	81
•	Control mediante voz.....	81
•	Control mediante teclado.....	82
4.3.	Implementación de la interfaz de usuario.....	83
4.4.	Pruebas y resultados de los subsistemas.....	87
4.5.	Pruebas y resultados del prototipo.....	94
4.6.	Resumen	97
CAPÍTULO 5		99
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS		99
5.1.	CONCLUSIONES.....	99
5.2.	RECOMENDACIONES	101
5.3.	TRABAJOS FUTUROS.....	102
REFERENCIAS		103

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Comparación dispositivos del mercado</i>	30
Tabla 2	<i>Requerimientos y Características Técnicas</i>	33
Tabla 3	<i>Matriz QFD</i>	33
Tabla 4	<i>Resultados QFD</i>	34
Tabla 5	<i>Módulos del Sistema</i>	35
Tabla 6	<i>Posibles Materiales para Bastidor (poste de apoyo)</i>	37
Tabla 7	<i>Criterios ponderados para selección de material bastidor</i>	37
Tabla 8	<i>Ponderación de soluciones respecto a costos</i>	38
Tabla 9	<i>Ponderación de soluciones respecto a fácil manufactura</i>	38
Tabla 10	<i>Ponderación de soluciones respecto a la resistencia del material</i>	38
Tabla 11	<i>Resultados de importancia para seleccionar material del bastidor</i>	38
Tabla 12	<i>Posibles soluciones para el material de pirámide</i>	47
Tabla 13	<i>Criterios ponderados para selección de material Pirámide</i>	48
Tabla 14	<i>Ponderación de soluciones respecto a Resistencia del material</i>	48
Tabla 15	<i>Ponderación de soluciones respecto a disponibilidad en el mercado</i>	48
Tabla 16	<i>Ponderación de soluciones respecto a costo de material</i>	49
Tabla 17	<i>Resultado de ponderaciones para selección de material pirámide de proyección</i>	49
Tabla 18	<i>Posibles soluciones de dispositivos de proyección de imagen</i>	51
Tabla 19	<i>Criterios ponderados para la selección del display de proyección</i>	52
Tabla 20	<i>Ponderación del dispositivo en base a la resolución</i>	52
Tabla 21	<i>Ponderación de las soluciones en base a costo</i>	52
Tabla 22	<i>Ponderación de soluciones en base a Robustez</i>	53
Tabla 23	<i>Resultados de selección de display de proyección</i>	53
Tabla 24	<i>Posibles soluciones de plataforma de diseño 3D</i>	54
Tabla 25	<i>Criterios ponderados para la selección de plataforma de animación 3D</i>	55
Tabla 26	<i>Ponderaciones de soluciones en base a compatibilidad</i>	55
Tabla 27	<i>Ponderación de soluciones en base a Procesamiento</i>	55
Tabla 28	<i>Ponderación de soluciones en base a resolución</i>	55
Tabla 29	<i>Resultados de selección de software de programación de animación 3D</i>	56
Tabla 30	<i>Comandos de voz dentro de la aplicación</i>	65
Tabla 31	<i>Posibles soluciones de dispositivo para mando de control</i>	66
Tabla 32	<i>Criterios ponderados para la selección de dispositivo de control</i>	67
Tabla 33	<i>Ponderación de soluciones en base al costo</i>	67
Tabla 34	<i>Ponderación de soluciones en base a capacidad</i>	67
Tabla 35	<i>Ponderación de soluciones en base a apariencia</i>	67
Tabla 36	<i>Resultados de selección de dispositivo de mando de control</i>	68
Tabla 37	<i>Detalle de piezas necesarias para la estructura</i>	73
Tabla 38	<i>Detalle de tiempo de manufactura de piezas del proyecto</i>	74
Tabla 39	<i>Medición de error de la inclinación de caras</i>	89
Tabla 40	<i>Detalle recursos computacionales</i>	91
Tabla 41	<i>Tiempos de respuesta control animaciones</i>	93
Tabla 42	<i>Resultados de validación de reconocimiento de voz</i>	94

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 "Magic Leap one" Gafas de realidad aumentada	4
Figura 2 Microsoft "HoloLens AR"	5
Figura 3 Spectre, pirámide de proyección comercial	6
Figura 4 Pirámide YOULALIGHT	6
Figura 5 Se muestra a) vista del ojo izquierdo, b) vista del ojo derecho	12
Figura 6 Primer Estereoscopio	13
Figura 7 Figura creada con la técnica de anaglifo.....	14
Figura 8 Formas de crear una pantalla autoestereoscópica, a) Objeto Lenticular y b) Mediante una barrera	17
Figura 9 Pantalla multivista.....	18
Figura 10 Código de Barras y código QR.	19
Figura 11 Marcador imagen 2D para RA.....	20
Figura 12 Aplicación LG y Wikitude para realidad aumentada.....	20
Figura 13 Lentes de visión aumentada	21
Figura 14 Holus, pirámide de proyección 3D	22
Figura 15 Holus, servicio de videojuegos 3D	23
Figura 16 Holus, servicios para educación.....	23
Figura 17 Holus, servicio de proyección y comunicación de personas	24
Figura 18 Gatebox proyección asistente del hogar	25
Figura 19 Azuma Hikari.....	25
Figura 20 Valla Publicitaria	26
Figura 21 Espejo Oscilante	27
Figura 22 Concepto de funcionamiento del dispositivo de Espejo Varifocal	27
Figura 23 Spectra Spatial 3D dispositivo holográfico.	28
Figura 24 Componentes Bastidor del dispositivo	36
Figura 25 Componentes Bastidor: a) Esquina Superior, b) Esquina Inferior y c) Poste.....	39
Figura 26 Probeta ABS sometida a resistencia de compresión.....	42
Figura 27 Curva de convergencia de simulación	42
Figura 28 Diagrama aplicativo de la Ley de Reflexión	44
Figura 29 Ángulos de Reflexión e inclinación.....	44
Figura 30 Vista lateral pirámide de proyección	46
Figura 31 Variables de cara lateral de pirámide de proyección	47
Figura 32 Diseño pirámide final.....	50
Figura 33 Posición donde se va a ubicar el display.....	51
Figura 34 Ejemplo Animación 3D en software de computador.....	54
Figura 35 Algoritmo de Funcionamiento de la Aplicación.....	58
Figura 36 Sistema Solar creado en el software Blender.....	59
Figura 37 Colocación de iluminación	59
Figura 38 Colocación de cámaras dentro del escenario	60
Figura 39 Posición de las vistas de las cámaras proyectadas en una única pantalla.....	60
Figura 40 Sistema solar diseñado en 4 vistas para proyección holográfica	61
Figura 41 Juego creado y proyectado con las cuatro vistas	61
Figura 42 Diagrama de flujo proceso de control.....	63

Figura 43 Diagrama de flujo funcionamiento gestor de diálogos.....	64
Figura 44 Diagrama de flujo funcionamiento mando de control	66
Figura 45 Sistema completo.....	69
Figura 46 Diagrama de flujo elaboración estructura.....	73
Figura 47 Diseño CAD correspondiente a la estructura del equipo.....	74
Figura 48 Proceso de impresión 3D	75
Figura 49 Piezas impresas 3D de postes de apoyo.....	75
Figura 50 Corte laser correspondiente a la cubierta inferior.....	76
Figura 51 Corte laser correspondiente a la cubierta superior.....	76
Figura 52 Corte laser correspondiente a la superficie de apoyo de la pirámide.....	77
Figura 53 Componentes de pirámide de proyección (binchas y caras laterales)	77
Figura 54 Ensamble poste	78
Figura 55 Postes del dispositivo ensamblados	78
Figura 56 Ensamble cubierta inferior del equipo	79
Figura 57 Ensamble total para superior del equipo.....	79
Figura 58 Pirámide de proyección ensamblada en su totalidad	80
Figura 59 Prototipo ensamblado	80
Figura 60 Prueba de funcionamiento gestor de dialogo.....	81
Figura 61 Posiciones del juego asociado con el teclado numérico	82
Figura 62 Jerarquía de pantallas.....	83
Figura 63 Pantalla inicio dispositivo.....	83
Figura 64 Escenario Sistema Solar.....	84
Figura 65 Tablero de Juego (Tres en Raya)	85
Figura 66 Pantalla de proyección para generar holograma de juego	85
Figura 67 Escenario de cada planeta modelado a) Mercurio, b) Venus, c) Tierra, d) Marte, e) Júpiter, f) Saturno, g) Urano y h) Neptuno	86
Figura 68 Escenario para el término del juego a) Empate, b) Ganador "o" y c) Ganador "x"	86
Figura 69 Ensayo a compresión	87
Figura 70 Resultados del ensayo a) Fuerza vs Tiempo, b) Desplazamiento vs Tiempo y c) Fuerza vs Desplazamiento.....	88
Figura 71 Probeta de prueba de resistencia a compresión	88
Figura 72 Posición de caras en la pirámide.....	89
Figura 73 Prueba de proyección de imagen holográfica.....	90
Figura 74 Pruebas de software programado en Blender	90
Figura 75 Cuadro de visualización de recursos computacionales Blender	91
Figura 76 Histórico de recursos ocupados CPU.....	92
Figura 77 Histórico de memoria utilizada.....	92
Figura 78 Histórico de red del sistema.....	93
Figura 79 Pruebas de sistema solar en dispositivo completo	95
Figura 80 Reconocimiento de audio.....	95
Figura 81 Juego tres en raya proyectado holograficamente.....	96
Figura 82 Disposición del tablero de juego.....	96
Figura 83 Secuencia de funcionamiento del prototipo.....	97

RESUMEN

El presente proyecto describe el diseño y construcción de un prototipo de pirámide para proyección holográfica, el cual se basa en la técnica “Fantasma de Pepper”. El dispositivo permite la proyección de animaciones virtuales, para recrear el efecto de holograma, también posee un control de escenarios mediante reconocimiento de voz, además se da el manejo de los mismos, a través de dispositivos periféricos, con la finalidad de volverlo interactivo. El alcance que tendrá el proyecto se basa en la investigación e información recabada referente a la temática a desarrollarse. Se utilizó la metodología de diseño basada en la calidad del producto; la cual muestra los requerimientos y características del prototipo, necesarias para la implementación del diseño. Posteriormente se selecciona los materiales y elementos para fabricar los componentes, que constituyen el prototipo, los cuales se los realiza mediante impresión 3D, corte manual y corte laser. Las animaciones se realizan en “Blender”, y el algoritmo se lo desarrolló en lenguaje de programación “Python”, el cual sirve para el control mediante voz y teclado del escenario virtual. Finalmente se realiza pruebas del funcionamiento en el cual se corrobora que la proyección de las imágenes genere la ilusión de un holograma, y la mejora de la interactividad entre usuario y dispositivo.

PALABRAS CLAVE:

- **REFLEXIÓN**
- **INTERACCIÓN**
- **PIRÁMIDE**
- **ILUSIÓN**
- **HOLOGRAMA**

ABSTRACT

This project describes the design and construction of a pyramid prototype for holographic projection, which is based on "Pepper's Ghost" technique. The device allows the projection of virtual animations, to recreate a similar effect of hologram, it also has control of several scenarios through voice recognition, in addition the management of them is given through peripheral devices, because is important to make it interactive. The scope of the project is based on the research and information gathered regarding of subject to be developed. The methodology used for the design was based on product quality; which shows the requirements and characteristics of prototype, necessities for the implementation of the design. Subsequently, the materials and elements to manufacture the components, which constitute the prototype, are selected, which are made by 3D printing, manual cutting and laser cutting. The animations are made in "Blender", and the algorithm was developed in the programming language "Python", which is used for voice and keyboard control of the several virtual scenarios. Finally, performance tests are carried out in which it's corroborated that the projection of images generates the illusion of a hologram, and improvement the interactivity between user and device.

KEYWORDS:

- **REFLECTION**
- **INTERACTION**
- **PYRAMID**
- **ILLUSION**
- **HOLOGRAM**

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

En el capítulo se describe la motivación, problemática, alcance y objetivos por los cuales se realiza la construcción de un equipo para realidad aumentada, a través de una pirámide de proyección holográfica. También, se presenta la justificación e importancia del tema a realizar en el trabajo de fin de carrera. Se realizará una breve explicación de temas a tratar en los capítulos siguientes. Además, se explica la estructura del documento como fin del capítulo.

1.1. Motivación y problemática.

La realidad aumentada es una tecnología que ha venido en alza, de acuerdo con Konica Minolta (2016) se cree que para el año 2020 se tendrá 1 mil millones de usuarios de esta tecnología. Según Ibán de la Horra (2016) dentro de la educación, se han empezado a usar tecnologías de la información y comunicación (TIC), como lo es la pizarra inteligente dando así apertura a nuevas tecnologías. La realidad aumentada tiene un gran potencial en la enseñanza, ya que como lo menciona de la Horra (2016), se usa la realidad aumentada para obtener dos objetivos concretos sobre los cuales se basa la educación a diario, los cuales son: motivación y aprendizaje del estudiante.

Dichos antecedentes motivan a desarrollar distintos dispositivos, que den una apreciación más realista y creen diferentes experiencias interactivas, debido a la coexistencia de objetivos reales y virtuales en un mismo espacio; teniendo así un impacto importante dentro de áreas como educación, mantenimiento, entretenimiento, publicidad, E-Commerce, etc. Por ejemplo, dentro del área educativa se ha realizado visualización médica, la cual sirve para estudiar órganos de seres humanos, mientras que en el área de entretenimiento se han desarrollado videojuegos y escenarios de interacción (Azuma, 1997). En el área de mantenimiento, se ha desarrollado un proyecto en el cual se ve el funcionamiento o el ensamble de una máquina,

proporcionando un mejor entendimiento dentro de su entorno real (Mohr, Kerbl, Donoser, Schmalstieg, & Kalkofen, 2015).

De acuerdo con Fombona, Pascual, & Madeira (2012) en la actualidad se han desarrollado tres tipos de tecnologías fundamentales, sobre las cuales se logra la representación de realidad aumentada, siendo los siguientes: computador tradicional, dispositivos portátiles, y equipos específicos de realidad aumentada. La tecnología del computador tradicional se realiza a través de la cámara digital, la cual toma la imagen del entorno real, y mediante el software reconoce distintos marcadores o patrones, después selecciona los puntos específicos y superpone otras imágenes o información. Mientras tanto, en los dispositivos portátiles se tiene una cámara integrada, la cual permite la incorporación en tiempo real de las imágenes virtuales, y presentar las mismas en pantalla; tomando en cuenta que para realizar se basan en el posicionamiento geográfico GPS. En cuanto al tercer tipo de tecnología son dispositivos específicos para realidad aumentada, como son gafas de realidad virtual, avatares interactivos, y proyecciones holográficas.

La tecnología de realidad aumentada en la actualidad busca la forma de dar una mayor interacción con el usuario. Sin embargo, los dispositivos desarrollados hasta el día de hoy resultan costosos y poco accesible para la comunidad. Por lo cual se crea una posibilidad de generar un dispositivo que trabaje con realidad aumentada de forma interactiva, siendo de un costo bajo para la comunidad.

El proyecto busca la implementación un prototipo formado por una pirámide y una pantalla para la proyección de un escenario de realidad aumentada, la cual posee una serie de dispositivos para la interacción como es audio, video y dispositivos de control con los cuales se da un manejo del escenario virtual proyectado. Se implementará un estudio de aplicaciones y teorías que faciliten la conexión y control del escenario virtual y su animación. El prototipo

generará un aporte significativo para el campo de realidad aumentada, dando así apertura a nuevas investigaciones dentro de este ámbito ya sea para educación o entretenimiento.

El objetivo del proyecto es crear realidad aumentada a través de hologramas basados en el método “Fantasma de Pepper”, una de los dispositivos que utiliza dicha técnica es “*HOLUS*” (HOLOMAX, 2018) la cual es una plataforma educativa y de entretenimiento, el dispositivo proyecta una serie de animaciones a través de una pantalla, las cuales son reflejadas sobre una pirámide de vidrio, creando un efecto de realidad aumentada.

1.2. Investigación Previa de dispositivos de realidad aumentada.

La tecnología de realidad aumentada genera un gran campo de investigación, debida a que es innovadora y se la puede aplicar en distintas áreas, dando la oportunidad para la elaboración de nuevos dispositivos y aplicaciones. Debido a ello se puede aplicar dentro del área de medicina, educación, aplicaciones militares, comunicación, aplicaciones de diseño gráfico, etc. (Tinoco, 2012). A continuación, se presentan algunas aplicaciones y dispositivos generados hasta la actualidad.

1.2.1. Gafas de realidad aumentada “Magic Leap One”

Las gafas de realidad aumentada “Magic Leap One” presentadas por Google (Magic Leap, Inc., 2017), son el último modelo generado por dicha empresa. Las gafas de realidad aumentada permiten la interacción entre el mundo digital y el real, debido a una variedad de sensores los cuales ayudan a identificar el entorno real, logrando un mayor realismo con las animaciones que presentan las gafas. El modelo de las gafas se puede apreciar en la Figura 1.

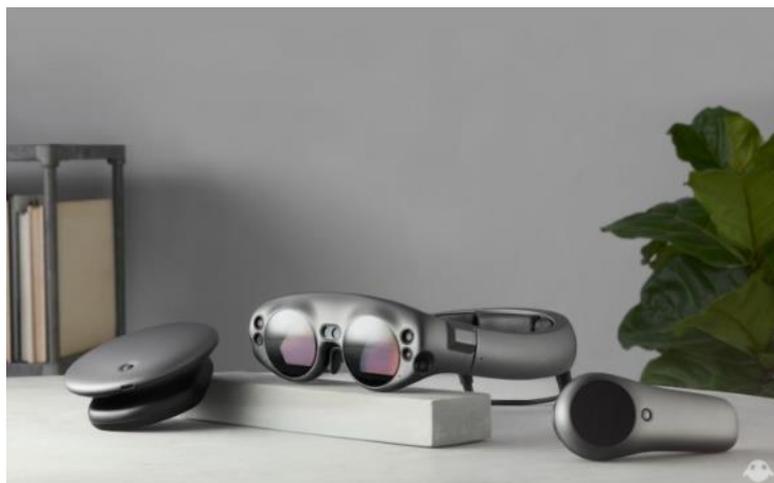


Figura 1 "Magic Leap one" Gafas de realidad aumentada
Fuente: (Magic Leap, Inc., 2017)

Las gafas “Magic Leap one” incorporan tres partes principales, las cuales son las gafas, un miniordenador y un mando de control (Magic Leap, Inc., 2017). Los cuales permite la interacción y control de las animaciones presentadas en la realidad aumentada. La configuración del software para este dispositivo permite la manipulación en diferentes planos de los objetos, generando una percepción real de los presentado por las gafas.

1.2.2. Microsoft’s HoloLens AR

Microsoft lanzó al mercado su versión de gafas de realidad aumentada llamada “HoloLens AR” (Microsoft, 2018), cómo se observa en la Figura 2. El dispositivo presenta una aplicación, el diseño y software para control, es decir, las gafas proyectan en el entorno físico las características de una pantalla de computador de forma digital, la cual puede ser manipulada por el usuario. También, permite la visualización de archivos CAD sobre el entorno real.



Figura 2 Microsoft "HoloLens AR"
Fuente: (Microsoft, 2018)

HoloLens presentó dentro de su dispositivo las siguientes cualidades, una serie de sensores que movilizan las proyecciones con el movimiento de la cabeza, además, una serie de sensores para detectar gestos de las manos, los cuales son utilizados para la manipulación de la proyección y un sensor de audio, mediante el cual reconoce comandos de voz del usuario, realizando con los mismos una serie de actividades programadas.

1.2.3. Pirámide de Proyección Holográfica

Las pirámides de proyección holográfica generadas hasta la actualidad trabajan en base a la proyección de una animación digital sobre una pirámide de vidrio, acrílico u otro material refractivo. La muestra de imágenes digitales es realizada a través de una pantalla, la cual muestra una serie de vistas propias de lo que se desea proyectar. Actualmente existen este tipo de pirámides comerciales como por ejemplo la creada por *Spectre Hologram* (Spectre Hologram, 2016), el dispositivo se observa en la figura 4. Otra empresa que fabrica este tipo de dispositivos es *YouLalight* (YOULALIGHT, 2017), como se observa en la Figura 3 y Figura 4.



Figura 3 Spectre, pirámide de proyección comercial
Fuente: (Spectre Hologram, 2016)



Figura 4 Pirámide YOULALIGHT
Fuente: (YOULALIGHT, 2017)

1.3. Justificación e importancia

Dentro de la educación y entretenimiento se han buscado mejoras en su interacción a través de herramientas tecnológicas, las cuales ha generado un mejor desempeño en dichos ámbitos (Breazeal, 2004). En la actualidad, los sistemas de interacción mediante plataformas robóticas u otros son muy costosos, a diferencia de las formas tradicionales como libros, juegos didácticos, etc., los cuales son económicos, pero no cuentan con un nivel interactivo para la enseñanza y entretenimiento. Lo cual genera la oportunidad de crear un dispositivo o método innovador, interactivo y que a su vez sea económico.

La pirámide de proyección holográfica que se basa en la técnica del “Fantasma de Pepper” (Brooker, 2007), dando la oportunidad de generar un escenario virtual, interactivo y de

bajo costo. La animación y proyección que se realiza es fácil y económica, a diferencia de la fabricación de un sistema de realidad aumentada para la interacción.

En conclusión, los logros que se desea obtener en el proyecto de titulación es un sistema de interacción completo con una pirámide de proyección 3D, el cual realizará la proyección de escenarios para temas educativos o de entretenimiento. También permite un campo de investigación nuevo, el cual será tratado en futuros proyectos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar y construir una pirámide de proyección basada en la técnica “Fantasma de Pepper” para un sistema de realidad aumentada.

1.4.2. Objetivo Específico

- Diseñar un prototipo de pirámide de proyección holográfica, basada en la ley de Snell y el trazo de luz para a proyección de un escenario virtual.
- Desarrollar un sistema de interacción enfocado en el escenario virtual proyectado en la pirámide 3D
- Implementar dispositivos de reconocimiento de diálogos, salidas de audios y tratamiento de señales para el dispositivo de proyección.
- Evaluar el nivel de interacción entre el escenario virtual de la pirámide y el usuario, mediante un muestreo poblacional representativo con pruebas a personas de distintas edades, teniendo un rango entre 14 a 30 años.

1.5. Alcance del Proyecto

El proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema de interacción, mediante la construcción de una pirámide que proyecte un escenario virtual. El prototipo constará de una

estructura metálica, dentro de la cual tendrá una plataforma de soporte para la pantalla, conteniendo dentro de la estructura a la pirámide de proyección. Tendrá un sistema de interacción mediante la utilización de un micrófono por el cual se identificará la información del usuario y tendrá un parlante por el cual se reproducirá sonidos propios de la pirámide. Se crearán dos escenarios virtuales en la plataforma, siendo uno de los escenarios orientados a la educación y el otro escenario será diseñado para el entretenimiento de los usuarios. Para obtener un control dentro del escenario virtual, se utilizará el Sistema Operativo Robótico (ROS Organization, 2014). Dentro del sistema se realizará un HMI, el cual permitirá la manipulación del entorno dentro de los escenarios virtuales. El control tendrá también la posibilidad de ser manipulado a través de un mando joystick.

1.6. Estructura del Documento

El documento posee la siguiente estructura especificada a continuación. En el capítulo 1 se desarrolla los temas generales del proyecto, como son la presentación del proyecto, su importancia por la cual se lo realiza y también se delimita los objetivos a lograr. También posee una breve explicación de lo que se planea realizar para la elaboración del prototipo a fabricar.

En el capítulo 2 se realiza una investigación de trabajos previos que tengan un enfoque en el área de conocimiento que se requiere, como son temas de proyección holográfica, sistemas de interacción y sistemas de gestión de dialogo. También se dará una introducción a lo que es relacionado a realidad aumentada y conocimientos base para la elaboración del proyecto.

En el capítulo 3 se despliega la metodología con la que se va a trabajar y la parte de diseño de los distintos subsistemas que conforman la pirámide. Se explicará paso a paso como se diseñó cada componente y subsistema para el funcionamiento conjunto del prototipo final. Además de realizar una revisión periódica para integrar los distintos subsistemas.

En el capítulo 4 se muestra el procedimiento para implementar cada uno de los subsistemas que se realiza, para luego dar a conocer la inclusión de los distintos subsistemas en un solo sistema. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas, tanto de los subsistemas como del sistema unificado con una serie de usuarios que se encuentre en un rango de edades establecidas en el objetivo específico.

Por último, el capítulo 5 se realiza el análisis del proyecto a través de las conclusiones obtenidas de las pruebas realizadas. También, se dan las recomendaciones para el mejoramiento del prototipo y los trabajos futuros que pueden ser realizados a partir de trabajo de fin de carrera.

CAPÍTULO 2

INVESTIGACIÓN PREVIA

El capítulo contiene información detallada en la cual se describe los dispositivos tecnológicos que se utilizan para crear realidad aumentada. Conjuntamente, se detalla el funcionamiento y aplicaciones a las cuales fueron orientadas como es la educación y el entretenimiento. También, se indican los diferentes tipos de proyección sobre el cual trabajan los dispositivos para generar la realidad aumentada.

2.1. Técnicas para Crear un Efecto Visual Tridimensional

Según Dolgoff (1997) existen distintas técnicas utilizadas para crear la ilusión óptica y así recrear una imagen en tres dimensiones, dichas técnicas se las desarrolla para dar una sensación de percepción y profundidad para el observador. Las sensaciones se logran mediante la consideración de múltiples condiciones que el ojo del observador necesita como son señales 2D, paralaje, disparidad binocular, disparidad de profundidad. Al ser recopilada la información por el observador se logra dar una sensación de inmersión en la escena, creando el efecto de tres dimensiones.

Como se mencionó en el párrafo anterior se necesita distintas condiciones para lograr la percepción y profundidad de una imagen en tres dimensiones, a continuación, se detalla cada una de ellas:

- **Señales 2D**

Las señales consisten en aumentar el tamaño del objeto, minimizarlo, ponerlo más cercano hacia el observador, modificar la altura, realizar distintos contrastes con la luz del objeto, o modificar su color. También se va cambiando el fondo que se tiene en la imagen, ya

que se muestran diferentes objetos, la secuencia de señales es grabado y reproducido dentro de una imagen 2D estándar.

- **Paralaje**

Paralaje es una condición que ocurre cuando se cambia la posición del observador, creando así una desviación angular entre la primera y segunda vista del objeto. Generando así una nueva imagen con una vista distinta del objeto de la posición aparente del objeto, en la cual se logra observar los distintos objetos que se encontraban ocultos en la primera imagen. Como lo explica Dolgoff (1997), la paralaje no es completamente esencial para generar una sensación tridimensional, sino más bien es un complemento para que la imagen que se muestra sea más realista para el observador.

Como lo explica Dodgson (2005) existen dos tipos de paralajes los cuales son paralaje estéreo y de movimiento. Siendo paralaje estéreo aquel que ve una diferente imagen con cada ojo o de diferente ubicación del observador, mientras que en paralaje de movimiento se aprecia distintas imágenes cuando se mueve la cabeza del observador.

- **Disparidad binocular**

Cuando se observa un objeto se obtienen dos diferentes imágenes, ya que cada uno de los ojos captura una imagen distinta, debido a que los ojos tienen una separación entre ellos como se observa en la Figura 5. Al tener un campo de visión distinta por cada ojo, se logra una imagen sobrepuesta, mediante la cual se determina la profundidad de la imagen. Según Calderón (2011), para reproducir dicha condición se necesita mínimo dos o más imágenes de distintas posiciones para crear un escenario en tres dimensiones.

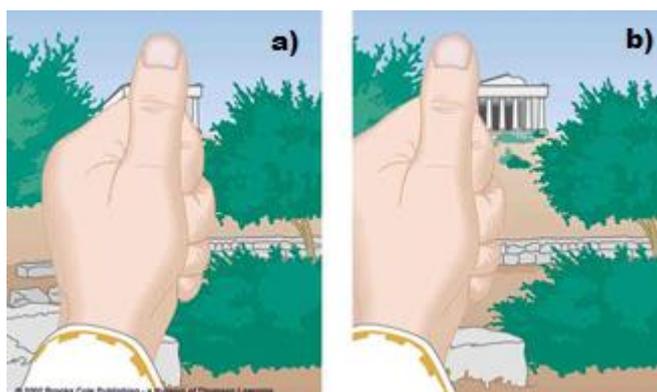


Figura 5 Se muestra a) vista del ojo izquierdo, b) vista del ojo derecho

Fuente: (Calderón, 2011)

- **Disparidad de profundidad**

La disparidad de profundidad es un proceso neurofisiológico del ojo, en el cual el cristalino se enfoca en un objeto, logrando así tener una distancia aproximada, mientras pone en segundo plano a los demás objetos. Para poner atención en los demás objetos del entorno necesita reenfocar el cristalino del ojo. Como lo explica Dolgoff (1997) para reproducir el fenómeno en una imagen tridimensional, se necesita de al menos dos diferentes componentes en la escena con dos diferentes profundidades en el espacio.

Teniendo en cuenta las cuatro consideraciones se ayuda al ser humano para poder observar en tres dimensiones, en los sistemas actuales se intenta reproducir estas consideraciones para que, mediante una imagen de dos dimensiones, se logre obtener un efecto de tres dimensiones. Pero la exposición muy larga a estas imágenes causa dolores de cabeza y fatiga visual en el observador. A continuación, se muestran distintas técnicas que se ha desarrollado para poder lograr un efecto visual en tres dimensiones.

2.1.1. Estereoscopía

La estereoscopía se basa en la creación de imágenes que den la sensación de profundidad de objetos al observador, mediante la superposición de dos imágenes distintas (Dolgoff, 1997).

El efecto se debe a que una de las imágenes es la vista izquierda de la escena y la otra imagen es una vista derecha de la misma escena, dando así la condición de disparidad binocular en la imagen.

Como se mencionó anteriormente se necesita distintas consideraciones para dar una sensación de tres dimensiones al observador. Para conseguir dichas consideraciones, en la antigüedad se creó el estereoscopio en 1838 por Charles Wheatstone, el cual es un dispositivo que contiene dos espejos colocados perpendicularmente entre ellos y dos imágenes distintas de un mismo escenario. Las imágenes son reflejadas mediante los espejos y se los coloca de tal manera que quede una única imagen sobrepuesta, dando así el efecto deseado al observador. Como se observa en la Figura 6, A y A' son los espejos que se utiliza para reflejar las imágenes, mientras que E y E' son las imágenes. El dispositivo contiene un sistema mecánico en la parte inferior, mediante el cual da una correcta posición de las imágenes y así lograr sobreponerlas, creando el efecto en tres dimensiones.

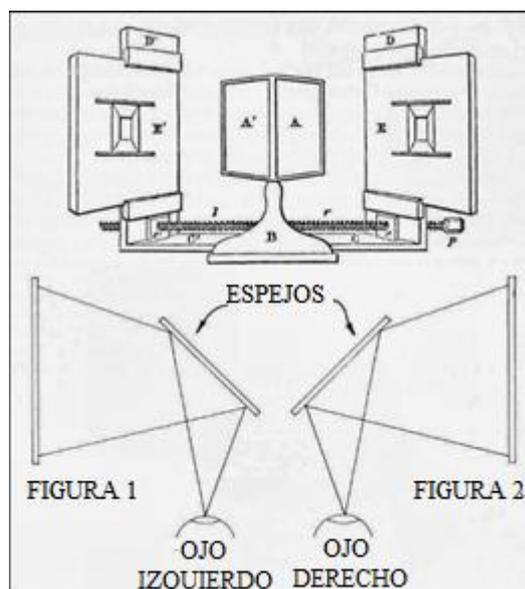


Figura 6 Primer Estereoscopio

Fuente: (Beato, 2011)

Con el paso de los años se ha ido optimizando la idea inicial del estereoscopio, dando paso a la creación de nuevas tecnologías, según Sexton & Surman (1999) las técnicas más representativas son la técnica del anaglifo y displays polarizados. Pero en todas las nuevas tecnologías el observador requiere del uso de dispositivo ópticos, los cuales ayudan a que se observe por cada ojo la imagen correspondiente, esto se logra por gafas de un lente verde y uno rojo, gafas polarizadas, o lentes que enfoquen cada imagen correspondiente.

- **Técnicas de Anaglifo**

Es una técnica basada en la separación de colores de una imagen, la cual se muestra en una única pantalla. Como lo indica Sexton & Surman (1999) son dos imágenes sobrepuestas, siendo una la vista derecha de la imagen y la otra la vista izquierda. Ambas imágenes son de distintos colores, y deben ser colores complementarios o casi complementarios, comúnmente se utiliza el color rojo y verde. Para observar el efecto deseado de profundidad en la imagen de dos dimensiones, es necesario utilizar gafas que contengan filtros, mediante los cuales se logra observar la imagen adecuada para cada ojo, percibiendo así el usuario el efecto tridimensional. Como se observa el aspecto de la Figura 7, no es el mejor ya que a simple vista tiene distorsión, pero al utilizar las gafas, la imagen adquirirá el efecto de profundidad deseado.



Figura 7 Figura creada con la técnica de anaglifo

Fuente: (Ideses & Yaroslavsky, 2004)

- **Pantallas Polarizadas**

El método de polarización probablemente sea el más familiar, actualmente se la está utilizando en la producción de cine 3D como lo indica Sexton & Surman (1999). Dicha técnica utiliza filtros polarizados siendo planos o circulares, los cuales son localizados en frente de los ojos del observador, con ellos se orienta a los ángulos correctos para poder ver la información correcta de las imágenes.

Las imágenes son proyectadas por dos pantallas, las cuales dan la separación correcta entre las dos vistas que se necesita para poder apreciar correctamente la imagen mediante filtros de polarización. Existe un problema con los filtros planos, debido a que si la cabeza del espectador no se encuentra en la posición correcta existe la posibilidad que se aprecie un “fantasma”, por ello se utiliza filtros circulares, pero en dichos filtros existe una pérdida de transmisión mayor, sin embargo, no se logra apreciar los “fantasmas”.

2.1.2. Autoestereoscopía

La técnica autoestereoscópica es aquella que reproduce una imagen en tres dimensiones, sin la necesidad de que el observador utilice gafas o algún dispositivo óptico. Según Dodgson (2005) la técnica combina dos efectos de paralaje, siendo dichos efectos paralaje estéreo y de movimiento, algo que no era posible en la estereoscopía. El efecto tridimensional que se consigue es por el uso de lentes, prismas y barreras que bloquean la luz ya que se encuentran cerca de la imagen y proporcionan así la imagen adecuada para cada ojo.

Dentro de la autoestereoscopía existen diversas pantallas para la proyección de imágenes en tres dimensiones, entre las más importantes son aquellas que proyectan multivisión y las que proyectan dos vistas distintas y tienen seguimiento de cabeza, creando así un mejor efecto para

el observador. A continuación, se muestra una categorización según Dodgson (2005) de distintas pantallas autoestereoscópicas, siendo:

- **Pantalla que proyecta dos vistas**

Dichas pantallas reproducen dos imágenes, mediante las cuales dividen la resolución horizontal del dispositivo de visualización, típicamente cristal líquido, dividiendo en dos conjuntos. Para conseguir el efecto se utilizan dos formas, como se muestra en la Figura 8, la primera es con objetos lenticulares, se lo realiza mediante un arreglo de lentes cilíndricos, los cuales desvían la luz, logrando así permitir al observador ver correctamente a una distancia prudente. La otra forma es mediante una barrera la cual es colocada delante de la pantalla y al producir la obstrucción de la luz permite ver a cada ojo del observador la imagen correspondiente.

Según Dodgson (2005), se puede reproducir la imagen y hacerlo visible en distintas zonas, cuando el observador se encuentra a una distancia y posición correcta si se logra percibir una imagen estereoscópica. Pero existe un 50% de posibilidades de que el observador no se encuentre en una posición correcta y no logre ver la imagen adecuada, por tal motivo se han buscado otros métodos, teniendo así el seguimiento de cabeza o incrementar el número de vistas.

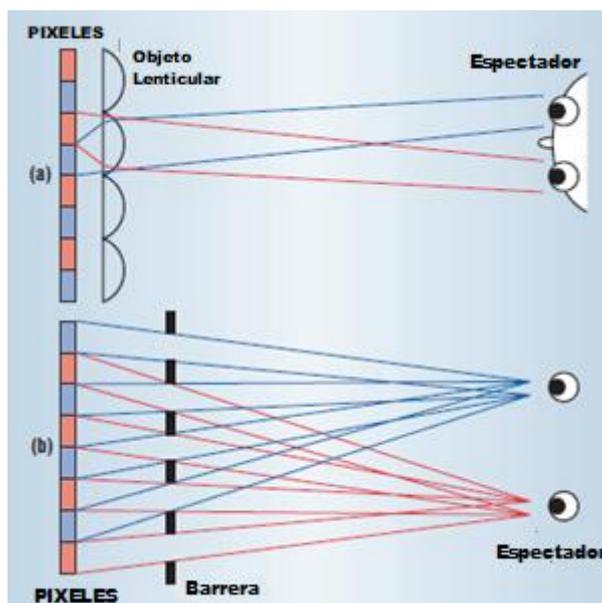


Figura 8 Formas de crear una pantalla autoestereoscópica, a) Objeto Lenticular y b) Mediante una barrera

Fuente: (Dodgson, 2005)

- **Pantalla de seguimiento de cabeza, de dos vistas**

La pantalla usa un algoritmo de seguimiento de cabeza para poder estimar la pose, mostrando así la imagen adecuada, para que el usuario pueda apreciar el efecto tridimensional. Sin embargo, como lo menciona Dodgson (2005) existen problemas, en especial cuando existe una diferencia significativa entre la separación de los ojos de cada usuario, teniendo así que reajustar los proyectores o la pantalla, ya que no se aprecia correctamente. Otro problema es el retraso que tiene la pantalla para moverse y mostrar adecuadamente la imagen, también cabe recalcar que únicamente el sistema puede ser utilizado por una persona.

- **Pantalla multivista, con tres o más vistas**

Una pantalla multivista tiene la capacidad de mostrar una imagen en tres dimensiones, siempre y cuando se encuentre el espectador dentro de la zona de observación. En cuanto a desventaja, el crear una pantalla que produzca este efecto es dificultoso y también el generar las

distintas vistas simultáneamente. En la Figura 9 se puede observar el ejemplo de la posición necesaria del espectador.

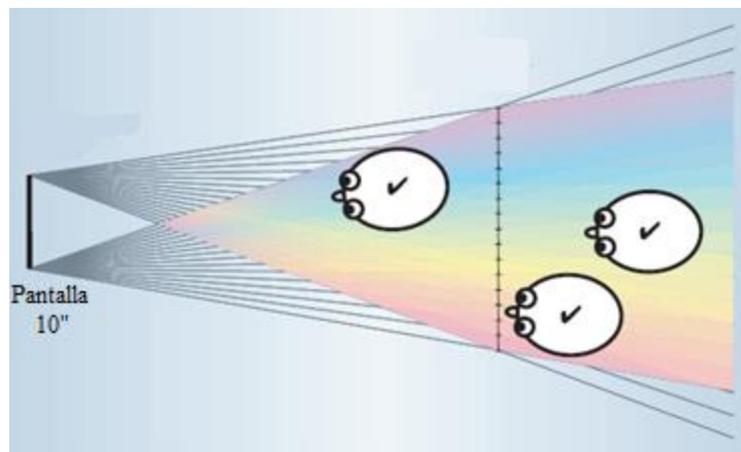


Figura 9 Pantalla multivista

Fuente: (Dodgson, 2005)

2.1.3. Holografía

Es un método para la captura de información y reconstrucción de una imagen tridimensional, mediante el cual se consigue la producción de hologramas a través el procesamiento de los datos recolectados (A. Beléndez, 1991). Dentro de la holografía existen dos etapas, en la primera etapa se realiza la interferencia de las ondas de luz sobre un objeto, logrando la reflexión de las mismas para posteriormente pasar a la segunda etapa en la cual se realiza la reconstrucción de la imagen en un plano objeto.

La principal clasificación de hologramas se puede dar de forma geométrica, siendo: holograma en eje (Gabor) y fuera de eje (Leith-Upatniecks). En el primero se da la coincidencia de que el haz de luz y la referencia es la misma, mientras que en el holograma fuera de eje se da que la dirección entre haces de luz genera un ángulo para la reconstrucción de la imagen.

La clasificación también puede ser establecida debido a la dirección que toman los haces de luz, los cuales pueden ser hologramas de transmisión o de reflexión. Los hologramas de

transmisión se dice que los haces de luz deben tener el mismo sentido, es decir, chocar sobre una misma cara del material. A diferencia del segundo, el cual se genera un choque de los haces de luz desde lados opuestos.

2.2. Realidad Aumentada

Según Prendes Espinosa (2015) la realidad aumentada es definida como la capacidad de superponer imágenes creadas digitalmente en ordenadores, sobre un entorno real capturado a través de cámaras fotográficas o de video. Las áreas que utilizan más dicha tecnología son en el ámbito educativo y de entretenimiento, generando dispositivos útiles para la proyección realista de entornos virtuales.

2.2.1. Niveles de Realidad Aumentada

Dentro de la realidad aumentada se definen distintos niveles, ya que ocupan diferentes tecnologías, lo cual lo vuelve más complejo en el desarrollo (Espinosa, 2015). Teniendo así cuatro niveles enumerados desde el nivel 0 hasta el nivel 3.

- **Nivel 0 (Hiperenlazando el mundo físico):**

El nivel se basa en hiperenlaces que poseen información del contenido deseado, es decir, los códigos son detectados y reconocidos para la obtención de información. Funcionan en base de imágenes 2D por lo cual es el nivel más bajo de realidad aumentada, un ejemplo claro de este nivel son los códigos QR y códigos de barras como se puede ver en la Figura 10.



Figura 10 Código de Barras y código QR.

Fuente: (Espinosa, 2015)

- **Nivel 1 (Basado en Marcadores):**

Es un nivel en el cual se trabaja con patrones principalmente de imágenes 2D. Se define también a los marcadores como dibujos sencillos realizados en forma asimétrica para una mejor apreciación de patrones, los cuales son la base para la generación de realidad aumentada en el nivel 1. Un ejemplo de este nivel se muestra en la Figura 11.



Figura 11 Marcador imagen 2D para RA

Fuente: (Game Programming, 2012)

- **Nivel 2 (Sin Marcadores):**

El nivel 2 de realidad aumentada trabaja mediante el uso de geolocalización para obtener la posición del dispositivo, además para obtener imágenes reales de la posición y superponer imágenes digitales en base a la información obtenida. También, se utiliza los acelerómetros de los dispositivos para estimar la pose teléfono, logrando una mejor proyección de la realidad aumentada como se muestra en la Figura 12.



Figura 12 Aplicación LG y Wikitude para realidad aumentada

Fuente: (Lg y Wikitude, 2011)

- **Nivel 3 (Visión Aumentada):**

El nivel 3 busca el desprendimiento de apartados fijos como es el computador, logrando la proyección en dispositivos específicos como gafas o proyecciones holográficas. Dentro de los cuales se empieza el estudio de nuevas tecnologías para obtener realidad aumentada, como se puede observar en la Figura 13.



Figura 13 Lentes de visión aumentada

Fuente: (Martin, 2011)

2.2.2. Imágenes Volumétricas.

Las imágenes volumétricas son consideradas representaciones tridimensionales de objetos o animaciones, las cuales pueden ser observadas en un rango visual de 360°, logrando así una mejor experiencia el observador. Generalmente se las presenta sobre superficies planas, sin embargo, se han generado dispositivos mecánicos que dan la sensación de proyectar un holograma.

Se puede considerar dos grupos principales de proyección de imágenes volumétricas, la cual depende del tipo de dispositivo a utilizar y su forma de trabajo para la proyección. Es decir, si el dispositivo es móvil, la imagen se genera por rotación o vibración del equipo, o si el dispositivo es estático, la imagen será generada mediante la proyección de imágenes 2D a través de una pantalla sobre un plano transparente.

2.2.3. Sistemas de imágenes volumétricas estáticos.

Como lo indica su nombre son dispositivos que crean la imagen volumétrica sin la necesidad de emplear movimiento mecánico. Como lo indica Beltrán Guerrero & Basañez Villaluenga (2008), son los dispositivos más fiables, debido a que, al no generar la imagen desde el movimiento, la intermitencia de la imagen no se presenta. A continuación, se muestra los avances más representativos:

2.2.3.1.HOLUS

Holus es un prototipo que a futuro será comercial, creado por H+ Technology (HOLOMAX, 2018), que presenta un sistema de interacción creativo. El dispositivo se basa en la proyección de hologramas en una pirámide, como se observa en la Figura 14, la cual da la posibilidad de manipular la animación generada. (HOLOMAX, 2018)



Figura 14 Holus, pirámide de proyección 3D

Fuente: (HOLOMAX, 2018)

Holus (HOLOMAX, 2018) presenta una serie de acciones o actividades que puede realizar, además, posee varios servicios educativos y de entretenimiento, como son videojuegos proyectados en 3D lo cual se observa en la Figura 15 y la proyección y manipulación de

información sobre el sistema solar, universo y otros temas educativos como se observa en la Figura 16.



Figura 15 Holus, servicio de videojuegos 3D

Figura: (HOLOMAX, 2018)



Figura 16 Holus, servicios para educación

Figura: (HOLOMAX, 2018)

Holus puede realizar la comunicación en tiempo real con otras personas, generando los gestos y movimientos de la cabeza de la persona que no se encuentra presente, mediante la proyección en tres dimensiones sobre la pirámide, realizando una teleconferencia holográfica. Proyecta los movimientos de boca, ojos y cabeza en el avatar proyectado, logrando una comunicación casi real con la persona como se observa en la Figura 17.



Figura 17 Holus, servicio de proyección y comunicación de personas

Fuente: (HOLOMAX, 2018)

2.2.3.2.GATEBOX

Gatebox presenta un sistema de asistente personal llamado “Hologram-in-a-jar” (Gatebox Inc., 2016), el cual se encuentra programado para interactuar en tiempo real con personas, como se lo puede observar en la Figura 18. El sistema incorpora sensores de movimiento y temperatura, además tiene la capacidad de enlazarse con cualquier dispositivo inteligente que exista dentro del hogar que tenga conexión bluetooth. El enlace le permite realizar el control de los dispositivos acorde a las preferencias del usuario, o también acorde a acciones establecidas de personas, como por ejemplo encender las luces por la noche, simular la apreciación de una película, entre otras.



Figura 18 Gatebox proyección asistente del hogar

Fuente: (Gatebox Inc., 2016)

El holograma presentado en el sistema de interacción fue llamado “*Azuma Hikari*” (Gatebox Inc., 2016), el cual tiene la figura de una mujer, como se puede apreciar en la figura Figura 19. Puede generar gestos faciales e interactuar de forma real con el usuario, es decir puede asimilar el comportamiento humano de una mujer en la interacción con personas. Posee un sistema de gestión de diálogo muy extenso con el cual genera respuestas exactas, además de poseer varios servicios enlazados a la nube teniendo acceso así a la información del clima, noticias, tránsito, etc.



Figura 19 Azuma Hikari

Fuente: (Gatebox Inc., 2016)

2.2.3.3. Pantalla de proyección holográfica

Las pantallas publicitarias 3D presentaron una forma tecnológica para dar la información de productos, la cual es la utilización de un holograma proyectado para reemplazar las vallas

publicitarias, las cuales implicaban un costo económico mayor y no tenían mucha atención por parte del público. La idea de ocupar una proyección holográfica es principalmente llamar la atención del público, además de poder presentar imágenes y videos virtuales (Montana Patente n° ES200703175A, 2007). Un ejemplo de dichas pantallas se presenta en la Figura 20.



Figura 20 Valla Publicitaria

Fuente: (Media Markt, 2015)

2.2.4. Sistemas de imágenes volumétricas dinámico

Los sistemas de tipo volumétrico dinámico son creados por el movimiento mecánico, vibratorio o rotatorio de una pantalla, dicha pantalla debe ser lo suficientemente rápida para que el observador no logre percibir su movimiento y así crear el efecto deseado. Para ello se utilizan dos técnicas, siendo:

- **Dispositivo de Espejo Oscilante**

El dispositivo consiste en un espejo que es situado frente a una pantalla de tubo de cátodo (CRT) como se muestra en la Figura 21, realizando un movimiento hacia adelante y atrás rápidamente y a la vez vibrar. Con este movimiento del espejo se logra dar una percepción de profundidad. (Beltrán Guerrero & Basañez Villaluenga, 2008)

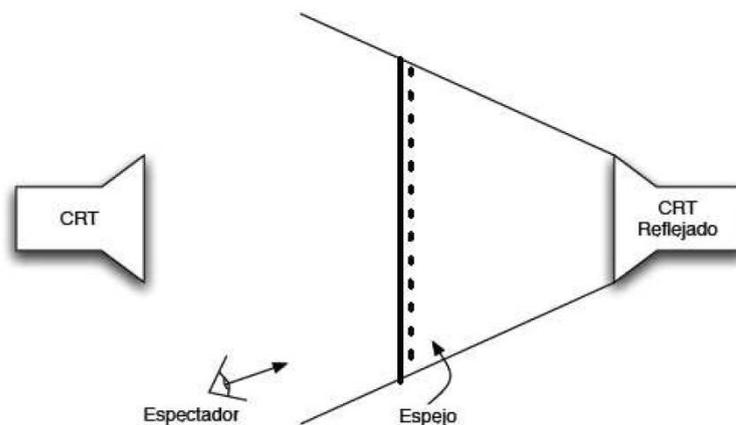


Figura 21 Espejo Oscilante

Fuente: (Beltrán Guerrero & Basañez Villaluenga, 2008)

- **Dispositivos de Espejo Varifocal**

Según Beltrán Guerrero & Basañez Villaluenga (2008) la técnica de espejo varifocal es la más empleada en sistemas volumétricos dinámicos. Dichos dispositivos utilizan un espejo circular flexible, el cual es anclado por los bordes a un altavoz. Mediante las distintas frecuencias que reproduce el parlante, cambia la longitud focal del espejo, la imagen se reproduce a partir de una pantalla de tubo de cátodo, como se puede observar en la Figura 22. (Traub, 1967)

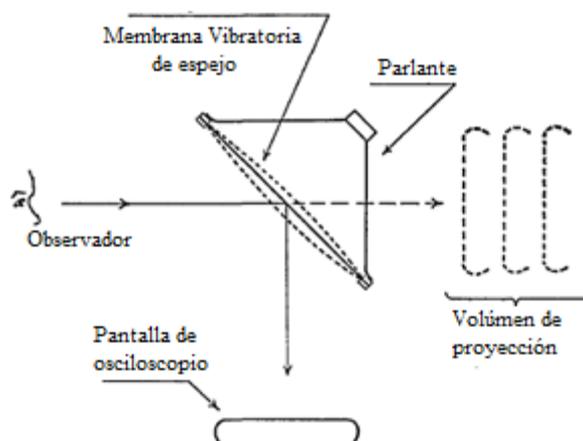


Figura 22 Concepto de funcionamiento del dispositivo de Espejo Varifocal

Fuente: (Traub, 1967)

2.2.4.1. Perspecta Spatial 3D

Es un dispositivo de proyección holográfica dinámica, debido a que la proyección se realiza a través de una pantalla vertical, la cual se presenta una serie de perspectivas de una imagen gracias a la gran velocidad de rotación que posee (Cossairt Oliver S., 2007). La imagen es recreada mediante luces leds, las cuales tienen una configuración general, generando así los hologramas sobre el dispositivo. En la Figura 23 se observa un diagrama de la estructura del dispositivo spectra spatial 3D.

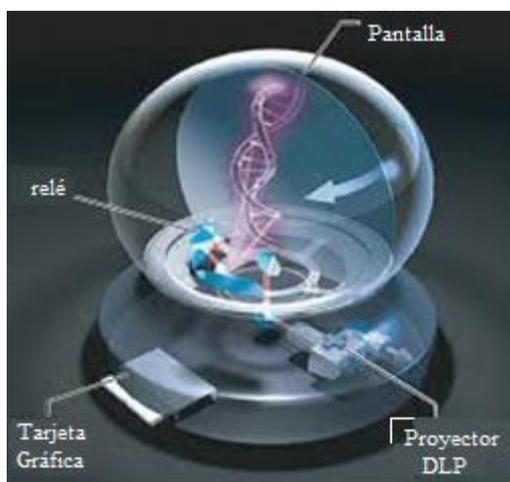


Figura 23 Spectra Spatial 3D dispositivo holográfico.

Fuente: (Beltrán Guerrero & Basañez Villaluenga, 2008)

2.3. Sistemas de Gestión de Diálogo

Dentro de los sistemas de gestión de diálogos se presentan diferentes tipos o formas de manejar un dialogo, clasificándose de acuerdo con la forma de ingreso del comando al sistema. Los cuales pueden ser sistemas de diálogos multimodales, o sistemas de dialogo hablado, siendo los siguientes:

2.3.1. Sistemas de Gestión de Diálogos Hablados

Los sistemas de gestión de diálogos hablados se utilizan en equipos que requieren el reconocimiento de expresiones verbales, es decir necesitan realizar una recepción de expresiones orales para un análisis e interpretación (España Patente nº ES02783013T, 2001). El análisis que realiza el sistema de gestión de dialogo permite generar respuestas, las cuales serán presentadas de igual forma en una expresión oral.

Los sistemas de gestión de diálogos hablados ideales presentan las siguientes características:

- Reconocimiento de contexto oral.
- Entendimiento de títulos.
- Respuesta clara, con sentido gramatical.
- Capacidad de pronunciar y entonar las frases de forma coherente.

Sin embargo, los sistemas de gestión de diálogos tienen limitaciones en la comprensión, habla sintetizada, técnicas de verificación y dialogo espontaneo, lo que genera que las respuestas sean fuera de contexto en ciertas ocasiones. También genera un grado de dificultad para interacción humano máquina, dando en los sistemas o dispositivos actuales errores de control sobre los mismos.

2.3.2. Sistemas de gestión de dialogo Multimodal

Un sistema de diálogo multimodal es aquel que implementa aparte de una entrada de voz diferentes tipos de entradas del comando al sistema, es decir, no exclusivamente por habla la interacción. También, se puede reconocer el comando u orden a través de un teclado, una cámara, micrófonos, e incluso mediante un menú de selección por parte del usuario. Generando

un mejor reconocimiento e interpretación del dialogo, logrando así generar una respuesta más exacta y lógica en base a lo solicitado.

2.3.3. Comparación de productos existentes y proyecto actual

Tabla 1

Comparación dispositivos del mercado

Dispositivo	Recon. de voz	Juegos	Interactivo	Software libre	Recon. visual
Holus (HOLOMAX, 2018)		X	X		
Gatebox (Gatebox Inc., 2016)	X		X		X
Spectre Hologram (Spectre Hologram, 2016)				X	
PyGram	X	X	X	X	

En la Tabla 1 se aprecia una comparación entre las características que poseen ciertos dispositivos del mercado actual, y el proyecto a desarrollarse. Como se observa el proyecto tiene como objetivo principal implementar todas las características de cada uno, para mejorar la interacción con el usuario, se evidencia que en comparación a Holus un prototipo similar, el proyecto incluye un reconocimiento de voz y es de software libre. En comparación con Gatebox el proyecto posee un juego para entretenimiento, lo cual se compensa con la falta de reconocimiento visual, el cual puede ser incluido en proyectos futuros. Y en comparación con Spectre Hologram lo único que posee este equipo comercial es software libre debido a que son animaciones fijas, haciendo el proyecto más innovador que este dispositivo. Por tanto, el proyecto se considera una innovación de sus antecesores teniendo así un campo amplio por investigar.

2.4. Resumen

Las técnicas que existen para recrear un efecto en tres dimensiones, en el cual, como punto principal, se debe tomar en cuenta las condiciones que el ojo humano reconoce para poder observar todo su entorno de tres dimensiones, siendo señales 2D, paralaje, disparidad binocular, disparidad de profundidad. Todas estas condiciones son de vital importancia para poder reconocer un objeto tridimensional.

Las técnicas que se han ido implementando al paso de los años han sido incorporadas en dichas condiciones, dentro de la estereoscopía se busca la superposición de imágenes para la sensación de profundidad a vista del ser humano, mientras que en la autoestereoscopía se basa en buscar mediante objetos por delante de la pantalla para poder crear el efecto.

También, en cuestión de realidad aumentada, los distintos niveles que existen hasta la actualidad son 4, en los cuales se dan mediante hiperenlaces, con marcadores, sin marcadores y visión aumentada. La realidad aumentada genera imágenes volumétricas mediante las cuales se clasifican los dispositivos que crean dichas imágenes. Siendo, sistemas de imágenes volumétricas estáticos o dinámico, los cuales, son los encargados de generar las imágenes u hologramas mediante reflexión de imágenes o movimientos rotatorios respectivamente.

Los sistemas de diálogos, pueden ser gestor de diálogos hablado y el multimodal. El primero únicamente posee la entrada de voz para generar una respuesta, la cual no siempre suele ser exacta debido a que no se trabaja netamente con contexto de la oración únicamente se transforma lo escuchado, y el segundo tiene varias entradas para hacer la interacción con el sistema, siendo por ejemplo entradas de texto, voz, video o menús de selección.

CAPÍTULO 3

DISEÑO

En el capítulo se describe el desarrollo, diseño y construcción del prototipo, cuyo diseño se encuentra basado en la metodología de la función de calidad. El diseño está conformado por tres partes: estructura, sistema de animación y arquitectura de control. La estructura del prototipo abarca desde el diseño físico, hasta la selección de materiales óptimos para cumplir con las características requeridas. El sistema de animación es el encargado de diseñar y crear la proyección 3D que será expuesta en la pirámide hacia el usuario. Por último, la arquitectura de control es la encargada de la manipulación de la animación 3D, dando una forma sencilla y atractiva de controlar la animación. Al finalizar el capítulo se muestra el modelo final del dispositivo y las características técnicas para cada componente diseñado.

3. Diseño de Sistema en base a la función de calidad.

Para la clasificación de sistemas en base a su importancia dentro del proyecto, se utiliza la metodología de diseño mediante la función de calidad (QFD, Quality Function Deployment), la cual busca establecer una secuencia adecuada para la construcción del dispositivo. La metodología ocupa una herramienta llamada matriz de calidad, en la que se compara las necesidades del cliente con las características ingenieriles, logrando así establecer una prioridad entre ellas con el fin de llegar a un cumplimiento de los objetivos del proyecto (Enrique Yacuzzi, 2003).

Para la elaboración de la matriz QFD se detectaron los siguientes requerimientos del cliente, en conjunto con las características técnicas planteadas para solucionar dichos requerimientos. A continuación, en la Tabla 2 se presentan a detalle los requerimientos y características técnicas a solventar en el proyecto.

Tabla 2
Requerimientos y Características Técnicas

Requerimientos	Características Técnicas
Estética	Material
Nitidez	Tamaño del Equipo
Interactivo	Diseño Modular
Proyección Adecuada	Diseño de Animación 3D
Mantenimiento Sencillo	Resolución de Imagen 3D
Fácil Uso	Velocidad de Respuesta
Plug and Play	Control
Peso	Software de programación libre
Costo	Método de Proyección
Software Gratuito	Dispositivo de control de Animación 3D
Durabilidad	Sistema de Retroproyección

Al establecer los requerimientos y características técnicas, se procede a elaborar la matriz de calidad, en la cual se asigna valores de importancia hacia los requerimientos y características, generando así una ponderación de importancia, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3
Matriz QFD

Matriz QFD
 Proyecto de Tesis Pirámide Proyección 3D
 Alumnos: Paillacho Sebastian
 Villegas Bryan

		N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
		Cómo	Material	Tamaño del Equipo	Diseño Desarmable	Diseño de animación 3D	Resolución de imagen 3D	Velocidad de Respuesta	Control	Software de programación libre	Método de proyección	Dispositivo de control de Animación 3D	Sistema de Retroproyección	RC vs CT	Importancia relativa de los requerimientos
N°	Importancia	Qué													
1	5	Estética	5	3	5	5	5	0	0	0	3	1	3	150	18,0%
2	3	Nitidez	0	0	0	3	5	1	0	0	3	0	5	51	6,1%
3	3	Interactivo	0	0	0	0	0	1	3	3	0	5	3	45	5,4%
4	4	Proyección Adecuada	1	0	0	3	3	0	0	0	5	0	5	68	8,2%
5	5	Mantenimiento Sencillo	3	5	5	0	0	0	3	3	0	3	0	110	13,2%
6	5	Fácil Uso	0	1	3	3	3	3	5	0	3	5	3	145	17,4%
7	2	Plug and Play	1	0	3	0	0	0	3	0	0	3	0	20	2,4%
8	2	Peso	5	5	3	0	0	0	0	0	1	3	3	40	4,8%
9	3	Costo	5	5	5	3	5	3	3	0	0	3	5	111	13,3%
10	2	Software Gratuito	0	0	0	3	0	0	3	5	0	0	0	22	2,6%
11	3	Durabilidad	5	3	3	0	0	0	3	0	0	5	5	72	8,6%
Importancia (CT vs RC)			86	79	101	76	82	30	79	34	61	96	110		
Importancia Relativa			10,3%	9,5%	12,1%	9,1%	9,8%	3,6%	9,5%	4,1%	7,3%	11,5%	13,2%		
Dificultad (0 a 10)			7	5	5	9	6	5	5	4	10	8	7		

Una vez desarrollada la matriz QFD y todas las comparaciones entre los requerimientos del cliente hacia el prototipo, se obtiene el porcentaje de importancia de cada característica técnica del diseño. Los resultados de importancia son obtenidos de la matriz QFD se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4
Resultados QFD

Hitos	Características Técnicas	Importancia Relativa
1	Sistema de Retroproyección	13,20%
2	Diseño Desarmable	12,10%
3	Dispositivo de control de Animación 3D	11,50%
4	Material	10,30%
5	Resolución de imagen 3D	9,80%
6	Tamaño del Equipo	9,50%
7	Control	9,50%
8	Diseño de animación 3D	9,10%
9	Método de proyección	7,30%
10	Software de programación libre	4,10%
11	Velocidad de Respuesta	3,60%

Obtenido los valores se ordena de acuerdo con el porcentaje de importancia de cada característica técnica, como se observa en la Tabla 4, dando como resultado que el Sistema de Retroproyección tiene la mayor importancia. Las características técnicas más importantes definidas por la matriz de calidad afectan directamente a la interacción que poseerá el usuario con el dispositivo, es decir, influyen claramente en la apreciación de la animación, el fácil manejo del sistema y el interés que despierte en el usuario.

Como se observa en la Tabla 5 se establecen los módulos y subsistemas que conforman la totalidad del proyecto, además, se expresa los hitos a cumplirse en cada uno de los subsistemas. Una vez establecidos los módulos se puede asignar las diversas acciones a cumplirse para el satisfacer los requerimientos del proyecto.

Tabla 5
Módulos del Sistema

N°	Módulos	Subsistemas	Funciones	Hitos
1	Estructura	Bastidor	Soporte y apoyo de elementos	2,4,6
		Pirámide de Proyección	Estructura de proyección de holograma	1,4,9
2	Sistema de Animación	Display de Proyección	Muestra de imagen diseñada a proyectarse	5,9
		Proyección 3D	Diseño de la animación	5,8
3	Arquitectura de control	Software	Sistema de funcionamiento	10,11
		Gestión de Diálogos	Control de la proyección mediante la voz	7,10
		Mando de control	Control de la proyección mediante dispositivo electrónico	3,7,10,11

3.1. Primer Módulo: Estructura.

El módulo 1 referente a la estructura del dispositivo a fabricar, posee como componentes la creación del bastidor o estructura del prototipo, es decir, columnas, bases y cubiertas para el apoyo y protección de los dispositivos del equipo. La estructura fue diseñada acorde al peso de los elementos que componen el sistema completo, además, de verificar los materiales necesarios para garantizar que el equipo posea un peso y resistencia adecuado.

También, posee el diseño de la estructura del sistema de retroproyección (pirámide de proyección), sobre la cual se genera y proyectará la animación del sistema. El subsistema de proyección se diseña en base a los ángulos de inclinación adecuados de la pirámide, para que la

perspectiva de reconstrucción y visualización de la animación 3D sea lo más comfortable hacia el usuario.

3.1.1. Subsistema Bastidor.

El equipo contará con un conjunto de elementos fabricados para la estructura o soporte base del sistema completo, en el cual se diseñaron los postes de apoyo y esquinas de sujeción de la cubierta para la protección de los dispositivos. Los postes de apoyo se diseñaron para dar un mejor aspecto físico y visualización del equipo completo, además, se asegura la integridad del display de proyección que se encontrará apoyado sobre dichos postes.

La cubierta debe ser fabricada en un material resistente, liviano y estético acorde a las características requeridas, generando una protección hacia los elementos eléctricos y electrónicos que posee el prototipo. Como se aprecia en la Figura 24 se da el detalle de la estructura y los componentes del subsistema.

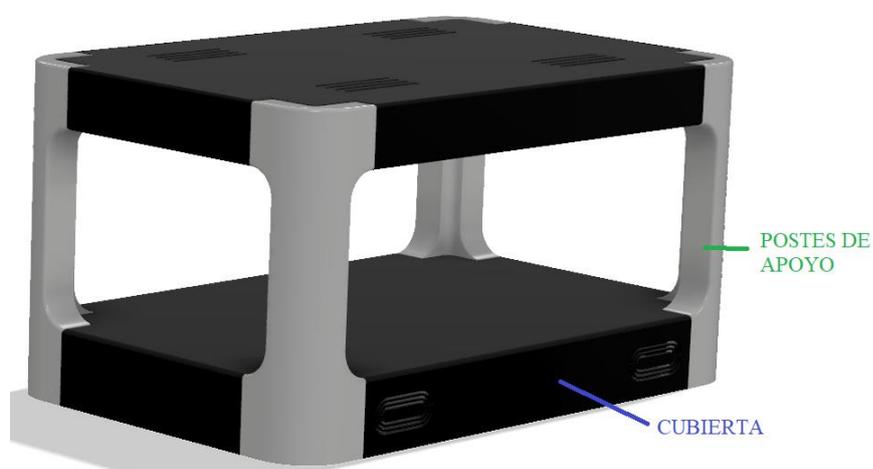


Figura 24 Componentes Bastidor del dispositivo

3.1.1.1. Selección Material Postes y Esquinas

Para la selección se consideraron distintos materiales, tomando en cuenta las necesidades que requiere el prototipo como es de un peso liviano y con un aspecto adecuado y atractivo. Por

tal motivo se compara entre tres materiales como se muestra en la Tabla 6, ya que dichos materiales cumplen con los requerimientos.

Tabla 6
Posibles Materiales para Bastidor (poste de apoyo)

N°	Solución	Propiedades
A	Aluminio	Resistencia Alta Peso Alto Costo Medio
B	Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	Resistencia Media Peso Bajo Costo Alto
C	Poliácido láctico (PLA)	Resistencia Baja Peso Bajo Costo Alto

Para la ponderación de importancia y selección de materiales se empleará la denominada matriz de Holmes (Ulrich, 2013), mediante la cual se genera una secuencia de importancia de los criterios a cumplir, para la selección apropiada de materiales a ocuparse en la construcción del dispositivo. A continuación, se muestra como fue implementada para la selección del material:

Tabla 7
Criterios ponderados para selección de material bastidor

Criterio	Costo	Resistencia	Manufactura	Suma +1	Ponderación	Hitos
Costo	-	5	2,5	8,5	0,472	1
Resistencia	0	-	2,5	3,5	0,194	3
Manufactura	2,5	2,5	-	6	0,333	2
Total				18		1

Tabla 8*Ponderación de soluciones respecto a costos*

Costo	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Suma +1	Ponderación	Hitos
Solución A	-	2,5	0	3,5	0,194	3
Solución B	2,5	-	2,5	6	0,333	2
Solución C	5	2,5	-	8,5	0,472	1
Total				18	1	

Tabla 9*Ponderación de soluciones respecto a fácil manufactura*

Manufactura	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Suma +1	Ponderación	Hitos
Solución A	-	0	2,5	3,5	0,194	3
Solución B	5	-	2,5	8,5	0,472	1
Solución C	2,5	2,5	-	6	0,333	2
Total				18	1	

Tabla 10*Ponderación de soluciones respecto a la resistencia del material*

Resistencia	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Suma +1	Ponderación	Hitos
Solución A	-	5	5	11	0,611	1
Solución B	0	-	5	6	0,333	2
Solución C	0	0	-	1	0,056	3
Total				18	1	

Tabla 11*Resultados de importancia para seleccionar material del bastidor*

	Costo	Manufactura	Resistencia	Suma	Prioridad
Solución A	0,092	0,065	0,119	0,275	3
Solución B	0,157	0,157	0,065	0,380	1

Solución C	0,223	0,111	0,011	0,345	2
			Total	1	

Según los resultados obtenidos de la matriz de selección en la Tabla 11, se concluye que el material óptimo para la elaboración de la estructura del equipo es la solución B, siendo la correspondiente al acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). Tomando en cuenta el resultado de selección del material, la manera adecuada de fabricar las estructuras requeridas para el equipo es mediante el diseño e impresión 3D.

Para el diseño de los componentes del bastidor como son: poste, esquinas y cubierta, se utilizó el software CAD, con el cual se obtuvo el diseño de los modelos necesarios para la impresión 3D. En la Figura 25 se observa los diseños CAD generados para el bastidor, teniendo así los modelos de esquinas y postes del prototipo.

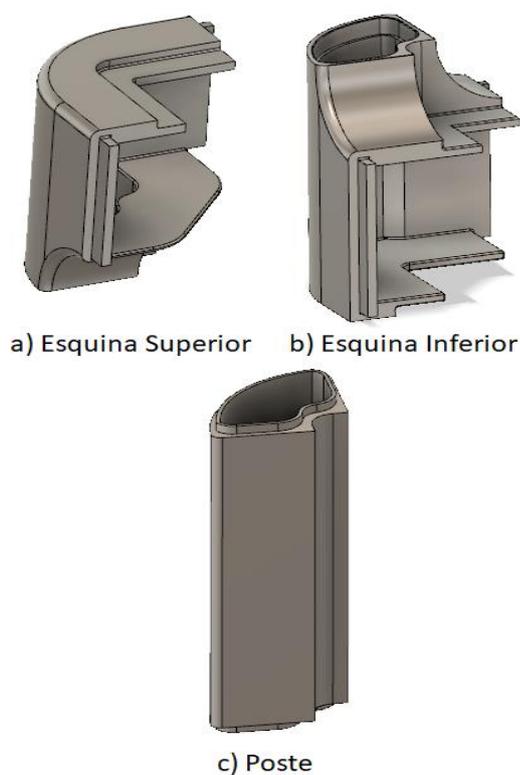


Figura 25 Componentes Bastidor: a) Esquina Superior, b) Esquina Inferior y c) Poste

Se realiza el cálculo de la resistencia, de cada uno de los elementos conformantes del poste de apoyo, obteniendo el esfuerzo de pandeo y el esfuerzo a compresión que posee el modelo impreso en 3D.

El primer paso una vez obtenidos los diseños CAD mediante el software es obtener los siguientes valores de momentos inerciales:

$$\text{Momento inercial Esquina inferior} \quad I_{yy} = 2.3856 * 10^{-4} [m^4] \quad (1)$$

$$\text{Momento inercial Esquina superior} \quad I_{yy} = 1.650775 * 10^{-4} [m^4] \quad (2)$$

$$\text{Momento inercial Poste} \quad I_{yy} = 2.951673 * 10^{-4} [m^4] \quad (3)$$

También, se conoce el valor del módulo de elasticidad para el material de ABS siendo el siguiente:

$$E = 1.7 \text{ GPa} \quad (4)$$

También se conoce las longitudes de diseño que poseen los elementos:

$$\text{Longitud esquina inferior} \quad L_{ei} = 130 [mm] \quad (5)$$

$$\text{Longitud esquina superior} \quad L_{es} = 105 [mm] \quad (6)$$

$$\text{Longitud Poste} \quad L_p = 180 [mm] \quad (7)$$

Con los valores de las ecuaciones de la (1) a la (7), calculamos la fuerza de pandeo que posee cada elemento, utilizando la ecuación (8).

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2} \quad (8)$$

Dando como resultado las siguientes fuerzas de pandeo:

$$\text{Fuerza de pandeo esquina inferior} \quad P_{crei} = 236842.47 \text{ [KN]} \quad (9)$$

$$\text{Fuerza de pandeo esquina superior} \quad P_{cres} = 251222.16 \text{ [KN]} \quad (10)$$

$$\text{Fuerza de pandeo poste} \quad P_{crp} = 152852.27 \text{ [KN]} \quad (11)$$

Con las fuerzas de pandeo de las ecuaciones (9) a la (11) se calcula el esfuerzo máximo con la ecuación (12).

$$\sigma = \frac{P_{cr}}{A} \quad (12)$$

Los resultados de los esfuerzos máximos se muestran a continuación:

$$\text{Esfuerzo máximo esquina inferior} \quad \sigma = 2.8 \text{ [GPa]} \quad (13)$$

$$\text{Esfuerzo máximo esquina superior} \quad \sigma = 3.51 \text{ [GPa]} \quad (14)$$

$$\text{Esfuerzo máximo poste} \quad \sigma = 1.76 \text{ [GPa]} \quad (15)$$

Con los valores de los esfuerzos máximos que resisten los elementos, procedemos a calcular el esfuerzo real ocupado. Para el proyecto analizaremos el elemento que menor esfuerzo máximo permisible tiene, siendo el poste. Con el cual se calcula el factor de seguridad general.

Cálculo del esfuerzo utilizado con la ecuación (8):

$$\sigma_r = \frac{50 \text{ [N]}}{87014.89 \text{ [mm}^2\text{]}} = 574.61 \text{ [Pa]} \quad (16)$$

Con los valores de las ecuaciones (15) y (16) se observa que el σ_{max} es mayor al σ_r , con lo cual se asegura que el material es suficiente para resistir la carga del equipo.

Para la verificación de resistencia del material se realizó una simulación de ensayo a compresión como se muestra en la Figura 26 del CAD generado del poste. El cual fue impreso en material de ABS. En la Figura 27, se muestra el resultado de la curva de convergencia para asegurar el correcto valor de la simulación a compresión.

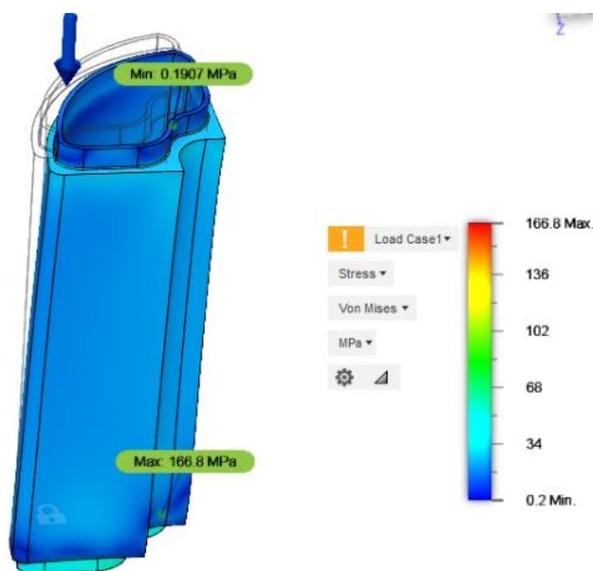


Figura 26 Probeta ABS sometida a resistencia de compresión

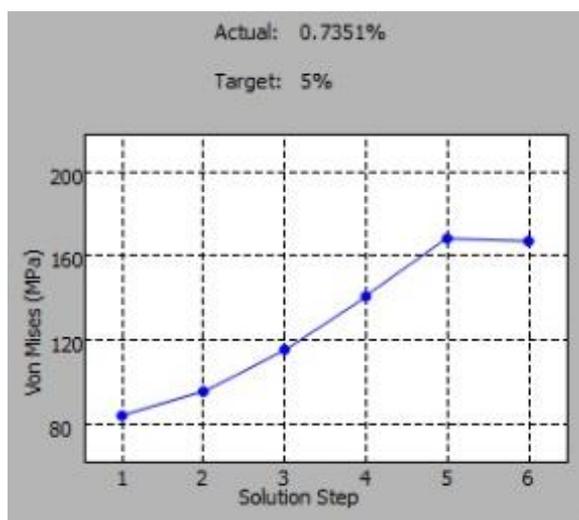


Figura 27 Curva de convergencia de simulación

Según los resultados obtenidos mediante cálculos y simulación de la prueba de resistencia a compresión de la probeta, se comprueba que el material ABS realizado mediante impresión 3D soporta las cargas deseadas para el sistema con una seguridad adecuada. Lo cual corrobora que el material seleccionado es el adecuado para la elaboración del bastidor.

La cubierta fue fabricada en material de acrílico de 4 mm, para garantizar la integridad física de los dispositivos incorporados dentro del equipo. Debido al tipo de material a ocuparse para la cubierta, el proceso de manufactura a utilizarse es corte láser, dando mayor precisión y repetitividad en las piezas necesarias para la cubierta del equipo.

3.1.2. Subsistema Pirámide de Proyección.

El diseño de la pirámide es muy importante en el sistema como se pudo mostrar en la matriz QFD, debido que a partir del diseño se podrá obtener una buena apreciación de las reflexiones por parte del observador. En el diseño se intenta obtener que el rayo reflejado sea completamente horizontal, dando así una buena apreciación de la imagen proyectada, para ello se considerará la ley de reflexión, mediante la cual se calcula el ángulo de inclinación adecuado de la pirámide.

La definición de la ley de reflexión se encuentra establecida por la ecuación (17), y el diagrama de aplicación al proyecto se encuentra establecida en la Figura 28.

$$\theta_i = \theta_r \quad (17)$$

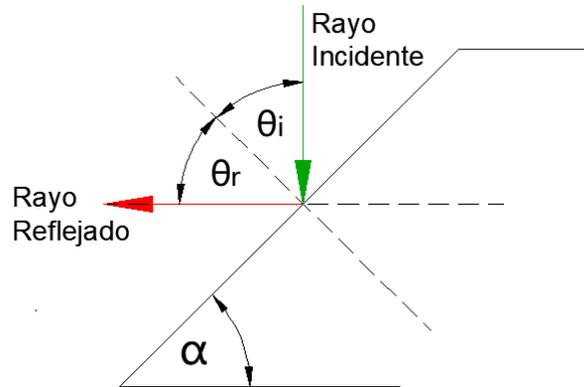


Figura 28 Diagrama aplicativo de la Ley de Reflexión

La ley de reflexión indica que un rayo incidente sobre una superficie reflectante será reflejado con un ángulo igual al ángulo de incidencia, los cuales serán medidos desde la normal de la superficie reflectante. Siendo θ_i el ángulo de incidencia y θ_r el ángulo de reflexión. El diseño de la pirámide se la hace para obtener un rayo reflejado totalmente horizontal hacia el observador, para ello se debe buscar el ángulo de inclinación (α) correcto de la pirámide.

Para cumplir el requerimiento se toma en cuenta el principio de la reflexión y mediante trigonometría se determinará el ángulo de inclinación adecuado de la pirámide como se observa en la Figura 29.

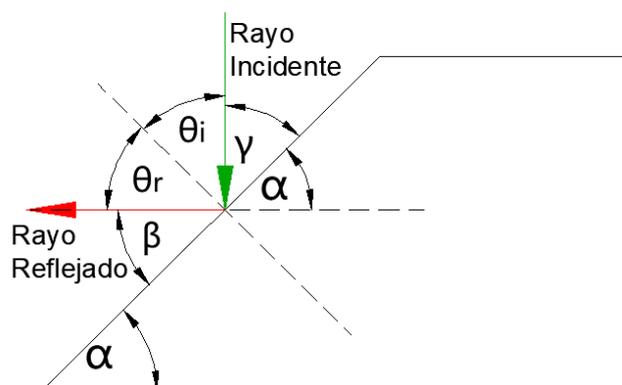


Figura 29 Ángulos de Reflexión e inclinación.

Según lo apreciado en la Figura 29 se obtiene la siguiente suma de ángulos:

$$\beta + \theta_i + \theta_r + \gamma = 180^\circ \quad (18)$$

Por lo tanto, según la ecuación (17) y para obtener un rayo reflejado el cual sea horizontal,

se necesita que:

$$\beta = \alpha \quad (19)$$

$$\gamma + \alpha = 90^\circ \quad (20)$$

$$\theta_r + \beta = 90^\circ \quad (21)$$

Al reemplazar la ecuación (17) y ecuación (20) en la ecuación (18), se obtiene:

$$\alpha + 2\theta_r + \gamma = 180^\circ$$

$$\alpha + 2\theta_r + (90^\circ - \alpha) = 180^\circ$$

$$2\theta_r + 90 = 180^\circ$$

$$2\theta_r = 90^\circ$$

$$\theta_r = 45^\circ \quad (22)$$

Al reemplazar la ecuación (22) en la ecuación (21), se obtiene que:

$$45^\circ + \beta = 90^\circ$$

$$\beta = 45^\circ \quad (23)$$

Con el valor de β ocupamos en la ecuación (19) y obtenemos:

$$\alpha = 45^\circ \quad (24)$$

Luego se procede a calcular las dimensiones de la pirámide. Para ello se toma en cuenta el área de proyección que tiene la pantalla, siendo de 400 x 400 mm, con las cuales se plantea utilizar una pirámide truncada de base 420 mm. Para calcular la altura (h) necesaria y la apotema (d) de la pirámide mediante geometría, obteniendo el siguiente resultado:

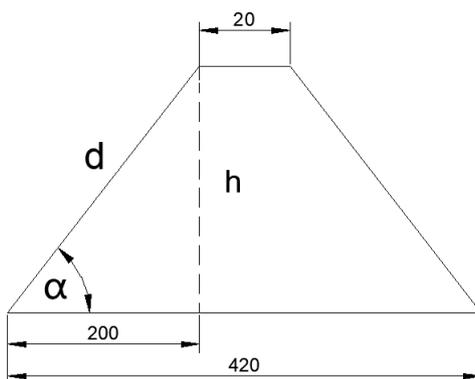


Figura 30 Vista lateral pirámide de proyección

Con la tangente del ángulo de inclinación α , y según la disposición de las variables en la Figura 30 se calcula la altura de la pirámide de la siguiente forma:

$$\tan \alpha = \frac{h}{200}$$

$$h = 200 \cdot \tan 45^\circ$$

$$h = 200 \text{ mm} \quad (25)$$

Con el coseno del ángulo de inclinación α , y según la disposición de las variables en la Figura 30 se calcula la apotema de la pirámide de la siguiente forma:

$$\cos \alpha = \frac{200}{d}$$

$$d = \frac{200}{\cos 45^\circ}$$

$$d = 282.84 \text{ mm} \quad (26)$$

El valor de la ecuación (26) es el valor de la altura del triángulo de las caras de la pirámide, con la cual calcularemos las dimensiones de la cara lateral de la pirámide, para asegurar el ángulo de inclinación de la pirámide. La disposición de variables de la cara lateral de la pirámide se muestra en la Figura 31.

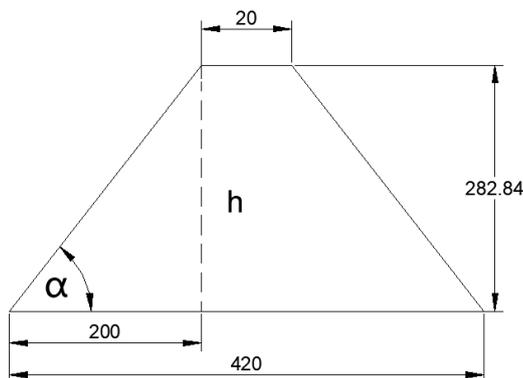


Figura 31 Variables de cara lateral de pirámide de proyección

Según la disposición dada en la Figura 31, el ángulo de inclinación de la cara de la pirámide se calcula mediante la tangente del ángulo. Como se muestra a continuación:

$$\tan \alpha = \frac{282.84}{200}$$

$$\alpha = 54.74^\circ \quad (27)$$

3.1.2.1. Selección del material para la pirámide de proyección.

La selección del material con el que va a ser construida la pirámide es de suma importancia, ya que el material debe tener características reflectivas y a la vez se debe tener en cuenta su costo y resistencia. Por tal motivo se consideraron tres materiales con los cuales se podría lograr los objetivos, como se expone en la

Tabla 12.

Tabla 12

Posibles soluciones para el material de pirámide

N°	Solución	Propiedades
A	Vidrio	Resistencia Baja Peso medio Costo Bajo
B	Acrílico	Resistencia Media Peso Bajo Costo Alto

C	Polímero transparente	Resistencia Baja Peso Bajo Costo Alto
---	-----------------------	---

Para la selección del material se utilizará la matriz Holmes (Ulrich, 2013), mediante dicha herramienta se crea una secuencia de importancia de los criterios a cumplir, para así seleccionar el material adecuado para la pirámide. Teniendo como resultados las Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15 y 16, en las cuales se muestra el proceso de selección de acuerdo a los criterios.

Tabla 13
Criterios ponderados para selección de material Pirámide

Criterio	Costo	Resistencia	Disponibilidad	Suma +1	Ponderación	Hitos
Costo	-	0	2,5	3,5	0,194	3
Resistencia	5	-	2,5	8,5	0,472	1
Disponibilidad	2,5	2,5	-	6	0,333	2
Total				18	1	

Tabla 14
Ponderación de soluciones respecto a Resistencia del material

Resistencia	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Suma +1	Ponderación	Hitos
Solución A	-	0	5	6	0,333	2
Solución B	5	-	2,5	8,5	0,472	1
Solución C	0	2,5	-	3,5	0,194	3
Total				18	1	

Tabla 15
Ponderación de soluciones respecto a disponibilidad en el mercado

Disponibilidad	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Suma +1	Ponderación	Hitos
Solución A	-	2,5	5	8,5	0,472	1
Solución B	2,5	-	2,5	6	0,333	2
Solución C	0	2,5	-	3,5	0,194	3

Total	18	1
-------	----	---

Tabla 16*Ponderación de soluciones respecto a costo de material*

Costo	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Suma +1	Ponderación	Hitos
Solución A	-	5	5	11	0,611	1
Solución B	0	-	5	6	0,333	2
Solución C	0	0	-	1	0,056	3
Total				18	1	

Tabla 17*Resultado de ponderaciones para selección de material pirámide de proyección*

	Resistencia	Disponibilidad	Costo	Suma	Prioridad
Solución A	0,157	0,157	0,119	0,434	1
Solución B	0,223	0,111	0,065	0,399	2
Solución C	0,092	0,065	0,011	0,167	3
Total				1	

En base a los resultados de la Tabla 17 del proceso de selección de material para la pirámide de proyección holográfica, se da como óptima la solución A para la construcción de la pirámide. Siendo la correspondiente al material de vidrio, con lo cual se asegura que sea económico y resistente para el propósito del proyecto.

El diseño CAD del subsistema pirámide de proyección, se muestra en su totalidad en la Figura 32, también vale acotar que los vidrios a utilizar van a tener un polarizado medio, lo cual ayuda a que el ambiente que va a tener la proyección sea oscuro y así resalten las imágenes.

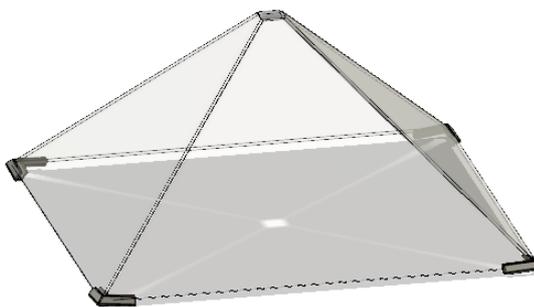


Figura 32 Diseño pirámide final

3.2. Segundo Módulo: Sistema de Animación.

El módulo 2 tiene referencia al diseño y selección de los componentes que intervienen en la elaboración de la animación a mostrarse, es decir, las imágenes que se generarán para proyectar sobre la pirámide. También, se establece el dispositivo el cual presentará la imagen (display de proyección), y la calidad que es necesaria para tener una resolución apropiada de la misma.

Para el software se realizó la selección de la plataforma de programación, sobre la cual se creará la animación necesaria para la proyección del holograma. La decisión de que software utilizar se la tomó de acuerdo con los recursos tecnológicos que posee el computador (NUC), logrando un mejor procesamiento adecuado de imágenes y sonidos, además, de esta forma se evita el desperdicio de recursos.

3.2.1. Subsistema Display de Proyección

La ubicación del display es en la parte superior de la estructura como se observa en la Figura 33, por tanto, se necesita la correcta selección del dispositivo debido a que mediante el mismo se proyecta las imágenes, las cuales serán reflejadas en la pirámide. Uno de los aspectos importantes para la selección es que tenga una buena resolución para mejorar la calidad de la imagen proyectada, ya que incide directamente sobre la visión que tiene el observador.

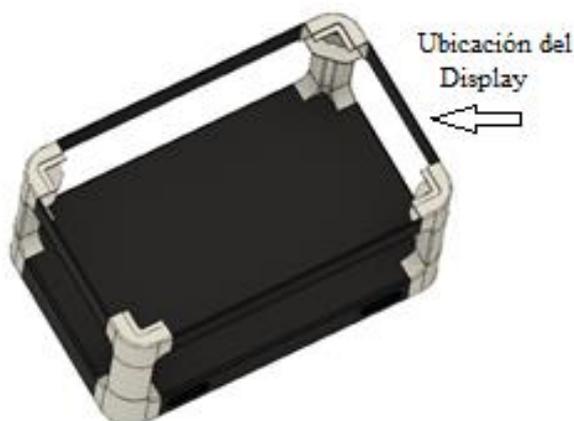


Figura 33 Posición donde se va a ubicar el display

3.2.1.1. Selección display de proyección

Se toma en cuenta tres posibles soluciones para la selección del display de proyección entre las opciones que se considera: monitor, televisión y display, como se muestra en la Tabla 18. Entre las soluciones se busca la más adecuada teniendo en cuenta la resolución que tenga, su peso, dimensión y costo.

Tabla 18

Posibles soluciones de dispositivos de proyección de imagen

N°	Solución	Propiedades
A	Monitor	Resolución 1920×1080 Peso Alto Costo Alto
B	Pantalla TV.	Resolución 1080p Peso Medio Costo Medio
C	Display.	Resolución Baja Peso Bajo Costo Bajo

Tomando en cuenta el método de selección para los anteriores materiales se seguirá usando la matriz de Holmes (Ulrich, 2013), mediante este procedimiento se tomará en cuenta

los criterios que se quieren obtener, junto con las posibles soluciones que se tiene. Para ello se realizó el siguiente procedimiento:

Tabla 19

Criterios ponderados para la selección del display de proyección

Criterio	Costo	Robustez	Resolución	Suma +1	Ponderación	Hitos
Costo	-	5	0	6	0,333	2
Robustez	0	-	2,5	3,5	0,194	3
Resolución	5	2,5	-	8,5	0,472	1
Total				18	1	

Tabla 20

Ponderación del dispositivo en base a la resolución

Resolución	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Suma +1	Ponderación	Hitos
Solución A	-	2,5	2,5	6	0,333	2
Solución B	2,5	-	5	8,5	0,472	1
Solución C	2,5	0	-	3,5	0,194	3
Total				18	1	

Tabla 21

Ponderación de las soluciones en base a costo

Costo	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Suma +1	Ponderación	Hitos
Solución A	-	5	0	6	0,353	2
Solución B	0	-	2,5	3,5	0,206	3
Solución C	5	2,5	-	7,5	0,441	1
Total				17	1	

Tabla 22
Ponderación de soluciones en base a Robustez

Robustez	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Suma +1	Ponderación	Hitos
Solución A	-	2,5	5	8,5	0,500	1
Solución B	2,5	-	2,5	6	0,353	2
Solución C	0	2,5	-	2,5	0,147	3
Total				17	1	

Tabla 23
Resultados de selección de display de proyección

	Resolución	Costo	Robustez	Suma	Prioridad
Solución A	0,092	0,118	0,069	0,278	3
Solución B	0,223	0,069	0,097	0,389	1
Solución C	0,157	0,147	0,029	0,333	2
Total				1	

En base a los resultados del proceso de selección para el display de proyección, se concluye que la mejor opción para el dispositivo del proyecto de fin de carrera es la pantalla de televisión, debido a que la resolución y robustez ayudan al mejoramiento de la imagen a proyectarse. También, el costo no se aumenta en exceso, debido a que el tamaño necesario para cumplir con el objetivo del proyecto.

3.2.2. Subsistema Proyección 3D

Dentro del subsistema se abarca la animación y diseño de la temática a proyectarse en forma de holograma, es decir, se realizará las imágenes y animaciones tridimensionales en software libre, las cuales serán enlazadas a códigos Python para realizar su control y manipulación a través de comandos de voz o un control por teclado. También, se analizará el

software libre a utilizar para la elaboración de las animaciones, teniendo la posibilidad de usar plataforma Blender, Unity o Unreal.

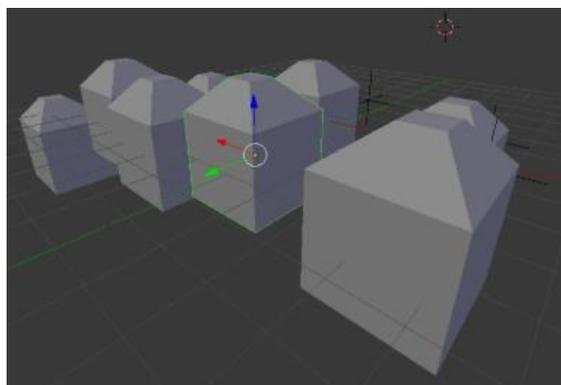


Figura 34 Ejemplo Animación 3D en software de computador
Fuente: (Blender, 2018)

3.2.2.1. Selección de software para diseñar animación.

Para la plataforma de programación de la animación 3D se optó por utilizar una plataforma que pueda diseñar juegos, entre las cuales se da como opciones las mostradas en la Tabla 24, con las cuales se realizarán las matrices de selección para obtener la mejor opción en cuestión de recursos computacionales. También, se observará cuál de las soluciones es adecuada para el proyecto.

Tabla 24
Posibles soluciones de plataforma de diseño 3D

N°	Solución	Propiedades
A	Blender	Resolución imagen Media Procesamiento Medio Software Libre Compatibilidad Ubuntu
B	Unity	Resolución imagen Alta Procesamiento Alto Software Libre (Licencia Estudiantil) Compatible Ubuntu
C	Unreal	Resolución imagen Alta Procesamiento Alto Software Libre (Licencia Estudiantil) Compatible Ubuntu

Tabla 25*Crterios ponderados para la seleccin de plataforma de animacin 3D*

Criterio	Compatibilidad	Resolucin	Procesamiento	Suma +1	Ponderacin	Hitos
Compatibilidad	-	5	2,5	8,5	0,472	1
Resolucin	0	-	2,5	3,5	0,194	3
Procesamiento	2,5	2,5	-	6	0,333	2
Total				18	1	

Tabla 26*Ponderaciones de soluciones en base a compatibilidad*

Compatibilidad	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Suma +1	Ponderacin	Hitos
Solucin A	-	5	2,5	8,5	0,472	1
Solucin B	0	-	2,5	3,5	0,194	3
Solucin C	2,5	2,5	-	6	0,333	2
Total				18	1	

Tabla 27*Ponderacin de soluciones en base a Procesamiento*

Procesamiento	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Suma +1	Ponderacin	Hitos
Solucin A	-	5	5	11	0,611	1
Solucin B	0	-	0	1	0,056	3
Solucin C	0	5	-	6	0,333	2
Total				18	1	

Tabla 28*Ponderacin de soluciones en base a resolucin*

Resolucin	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Suma +1	Ponderacin	Hitos
Solucin A	-	0	2,5	3,5	0,194	3

Solución B	5	-	0	6	0,333	2
Solución C	2,5	5	-	8,5	0,472	1
Total				18	1	

Tabla 29

Resultados de selección de software de programación de animación 3D

	Compatibilidad	Procesamiento	Resolución	Suma	Prioridad
Solución A	0,223	0,204	0,038	0,465	1
Solución B	0,092	0,019	0,065	0,175	3
Solución C	0,157	0,111	0,092	0,360	2
Total				1	

Según el proceso de selección la solución óptima para la plataforma de programación de animación 3D, es la solución A como se muestra en la

Tabla 29, correspondiente a Blender. Debido a que posee una resolución apropiada para las imágenes a realizarse para la proyección, además, posee un procesamiento y utilización de recursos bajo, mejorando el tiempo de respuesta de la animación proyectada. También, una de las razones es la compatibilidad, ya que el lenguaje de programación será Python y la plataforma Blender está diseñada para utilizar Python como su lenguaje base.

3.2.2.2. Diseño aplicativo animación 3D.

Para la animación se consideró que debe ser atractivo hacia el espectador y que sea de fácil manejo, por tal motivo se eligió el sistema solar para la educación y el juego tres en raya para el entretenimiento, se eligieron los dos temas debido a que es algo conocido y la forma en la que se proyecta resultará llamativo a la vista.

Para crear el aplicativo se dispuso una pantalla inicial, con la cual mediante comando de voz se dirigirá hacia las escenas siguientes, ya sea el escenario de juego o el sistema solar, para el juego se debe pronunciar “jugar” y para acceder al sistema solar se detecta la palabra “solar”.

El escenario del sistema solar es controlado por comando de voz, ya que al escuchar el nombre de algún planeta lo dirigirá hacia la escena que contiene el objeto dibujado en tres dimensiones, y también se dará información relevante sobre el mismo. Existe la posibilidad de acceder a otro planeta, diciendo el nombre o en su defecto regresar al sistema solar pronunciando la palabra “regresar”.

En cambio si la aplicación reconoce que se seleccionó el escenario de juego, se presentará la escena del tres en raya la cual es controlada por medio los números del 1 al 9, cada vez que se presione un número va colocando las “x” u las “o” de modo alternado dando así la posibilidad de jugar entre dos personas, al ganar el jugador “x” u “o” se muestra una pantalla con la palabra “ganador”, en cambio sí se obtiene un empate se muestra una escena sobrepuesta que indica el resultado. Para reiniciar el juego se necesita oprimir la tecla “r”, mientras que si se desea regresar al punto inicial de la aplicación se presionará la letra “b”, en el siguiente diagrama (Figura 35) se muestra el algoritmo utilizado en la aplicación.

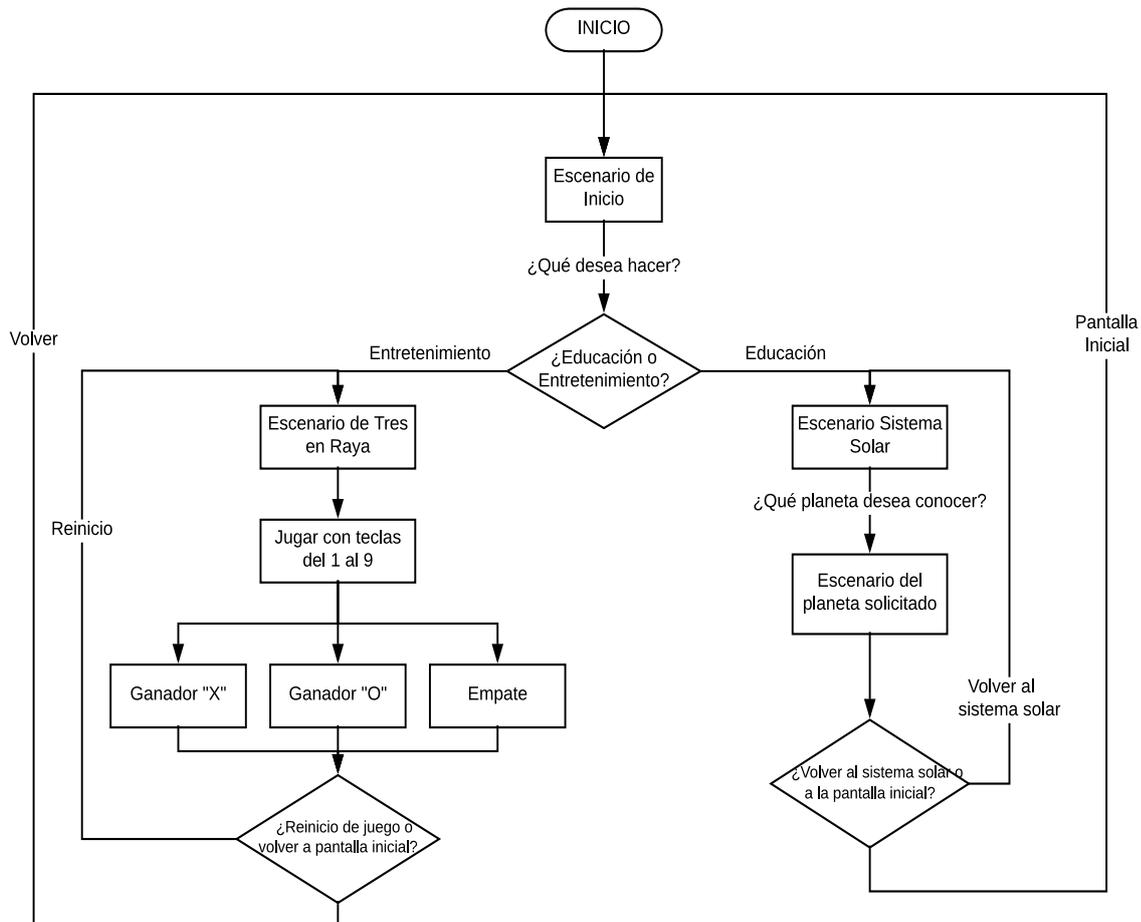


Figura 35 Algoritmo de Funcionamiento de la Aplicación

Como se puede observar en la Figura 36 los planetas son dibujados en el software Blender y se les ha asignado un tamaño correspondiente, tomando en cuenta las proporciones que tiene cada uno de ellos, además se les dio la textura adecuada a cada uno para que se pueda observar las características de los planetas al ser proyectado sobre la pirámide.

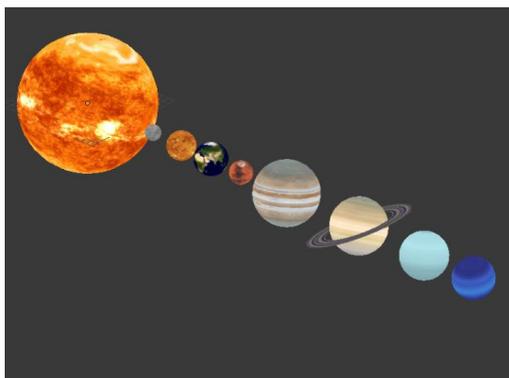


Figura 36 Sistema Solar creado en el software Blender

Dentro de la escena se necesita iluminación, para poder observar las texturas de cada objeto dibujado, por tal motivo se colocan dos “Hemi”, las cuales son la mejor opción de todas las iluminaciones, ya que ayuda a visualizar correctamente los planetas, las cuales se ubican en la parte superior del cuerpo y por la parte inferior del mismo, como se muestra en la Figura 37, dichas iluminaciones se encuentran colocadas a 45° con respecto al sólido.

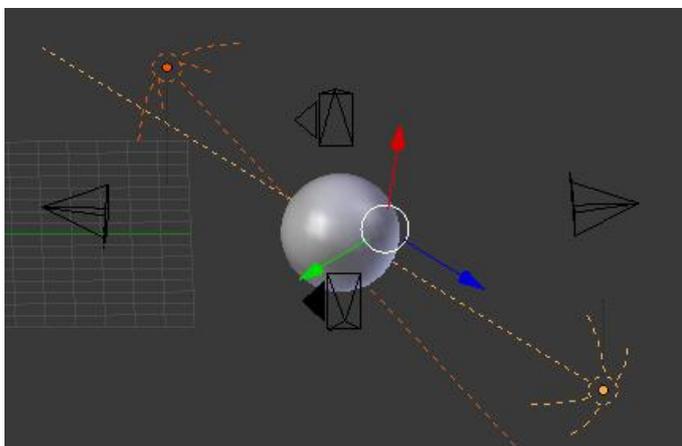


Figura 37 Colocación de iluminación

Tomando en cuenta que se va a proyectar en las cuatro caras de la pirámide, se necesita obtener la animación de cuatro tomas distintas para así recrear el efecto de tres dimensiones dentro de la pirámide. Las vistas que se crean son generadas mediante cuatro cámaras colocadas dentro del mismo escenario, las cuales se encuentran equidistantes entre ellas como se muestra

en la Figura 38, recolectando así la información de los objetos dibujados en tres dimensiones, para luego proyectar en una sola imagen las cuatro vistas.

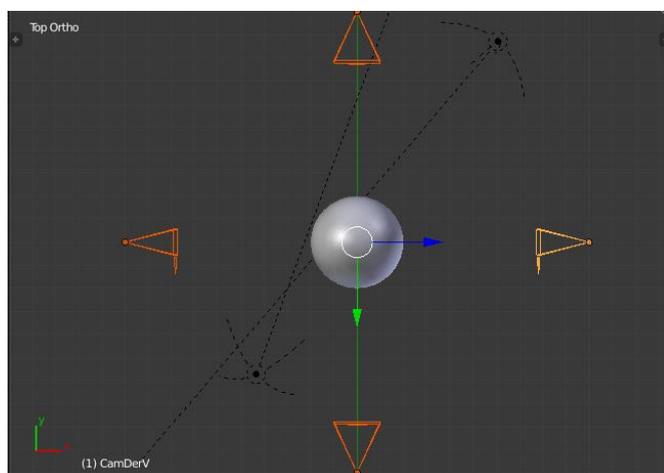


Figura 38 Colocación de cámaras dentro del escenario

Una vez obtenida las cuatro vistas, se utilizó un algoritmo programado en Python, el cual logra posicionarlas en una única pantalla, por tal motivo se divide a la pantalla en nueve partes, obteniendo tres divisiones en el ancho y tres divisiones en el alto, como se muestra en la Figura 39. Luego se posicionan los “viewports” dentro de la única pantalla, logrando así obtener cuatro vistas en una única pantalla.

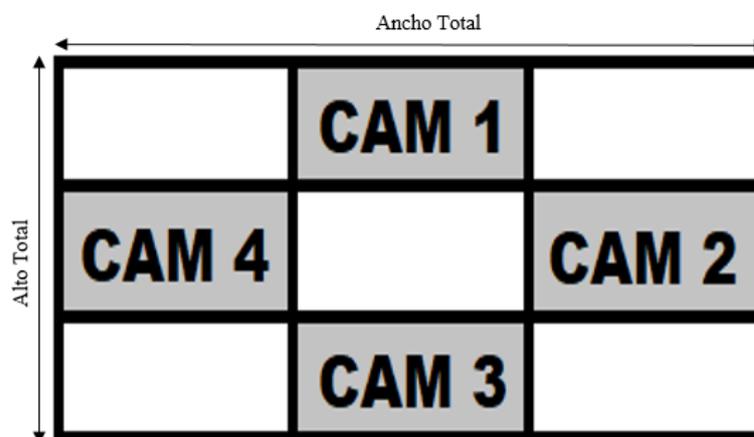


Figura 39 Posición de las vistas de las cámaras proyectadas en una única pantalla

Al tener la disposición de las cuatro vistas en la pantalla, se proyecta sobre la pirámide recreando así el efecto del fantasma de Pepper, lo cual genera una ilusión de tres dimensiones. En la siguiente figura se muestra la posición que se obtiene de las cuatro vistas del sistema solar y juego, las cuales se proyectan en una única pantalla. Como se muestra en las Figura 40 y Figura 41, respectivamente.

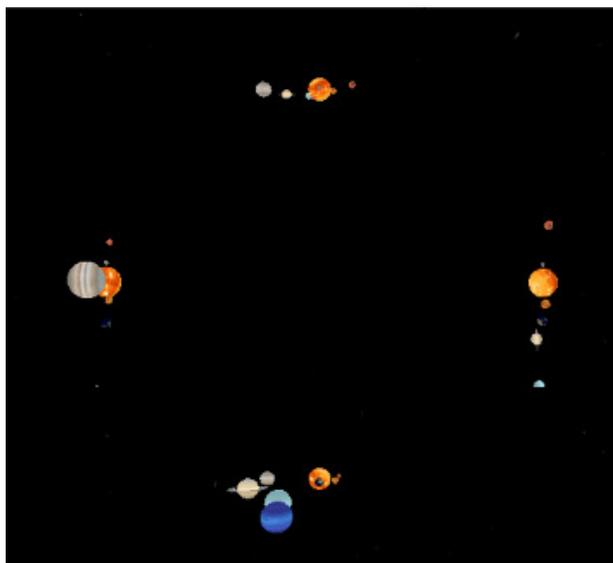


Figura 40 Sistema solar diseñado en 4 vistas para proyección holográfica

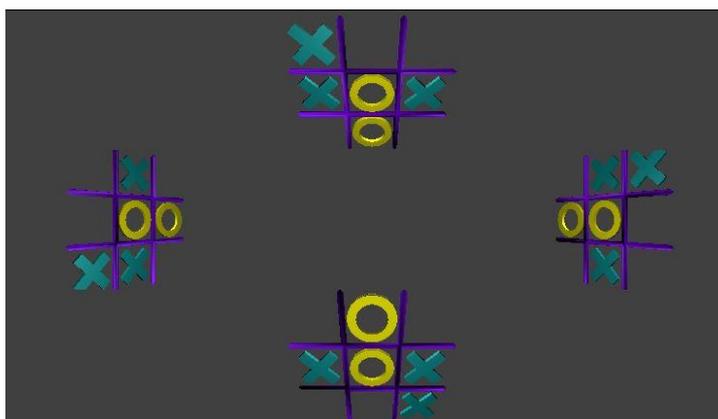


Figura 41 Juego creado y proyectado con las cuatro vistas

3.3. Tercer Módulo: Arquitectura de Control

El módulo 3 tiene como objetivo el diseño y selección del software y dispositivos de control para la animación, es decir, encontrar el software adecuado donde se generará el código de control y manipulación de los escenarios anteriormente creados.

Mientras que los dispositivos de control se seleccionarán para que sean los que emitan la ordenes de mando, es decir, se busca dispositivos que recepten los comandos de voz y las ordenes mediante teclado. Los cuales servirán para controlar y dar un normal funcionamiento del gestor de diálogos y para el control del juego.

3.3.1. Subsistema Software

El software de control corresponde al diseño realizado para manipular las acciones de la animación 3D proyectada, en la cual se implementará control de movimiento y la presentación de los distintos objetos creados. El software también permite la visualización y control de las vistas que se obtienen a partir de las cámaras del sólido 3D animado, con el cual se asegurará que la animación sea lo más realista posible, también tiene la opción para que se manejado mediante comando de voz o mando de control.

El diagrama de flujo del software de control se encuentra establecido en la Figura 42 en la cual se detalla el proceso que se realiza con la animación 3D.

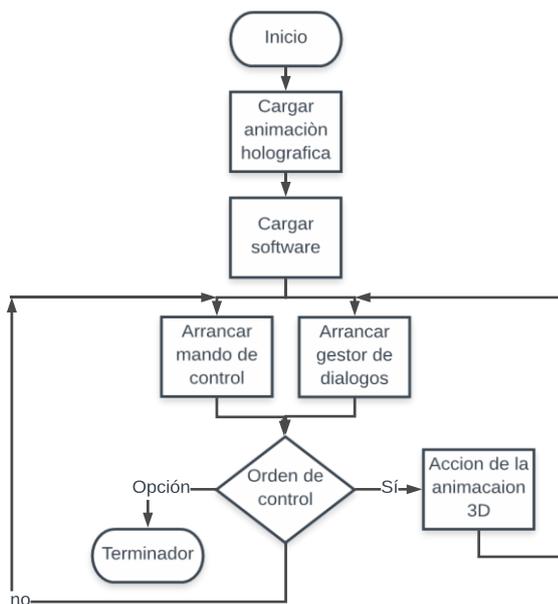


Figura 42 Diagrama de flujo proceso de control

El proceso del software de control es definido por los algoritmos denominados mando de control y gestor de diálogos, mediante los cuales se emiten diversas ordenes o comandos para la manipulación de la animación 3D. El diseño del holograma incluye la recepción de los valores de control emitidos por los subsistemas antes mencionados, el software siempre se mantendrá predispuesto para realizar una acción, por tal motivo se logra obtener un funcionamiento continuo.

3.3.2. Subsistema Gestión de Diálogos

El sistema de gestión de diálogos se encuentra diseñado en base a la aplicación requerida del proyecto de fin de carrera, contiene un reconocimiento de voz, el cual funciona todo el tiempo mientras la animación se encuentre encendida. El subsistema tiene un dispositivo de entrada para reconocer los comandos de voz, el cual es un micrófono de audio. Una vez que el reconocimiento de voz detecta una palabra clave, realiza una acción predeterminada en la animación. Mientras que el “Text to Speech”, genera audios de acuerdo con las condiciones que el reconocimiento de voz haya encontrado.

En la Figura 43 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al proceso de funcionamiento del sistema de gestión de diálogos, mediante el cual se procede a controlar la animación, ya sea para cambiar de escena u obtener alguna información.

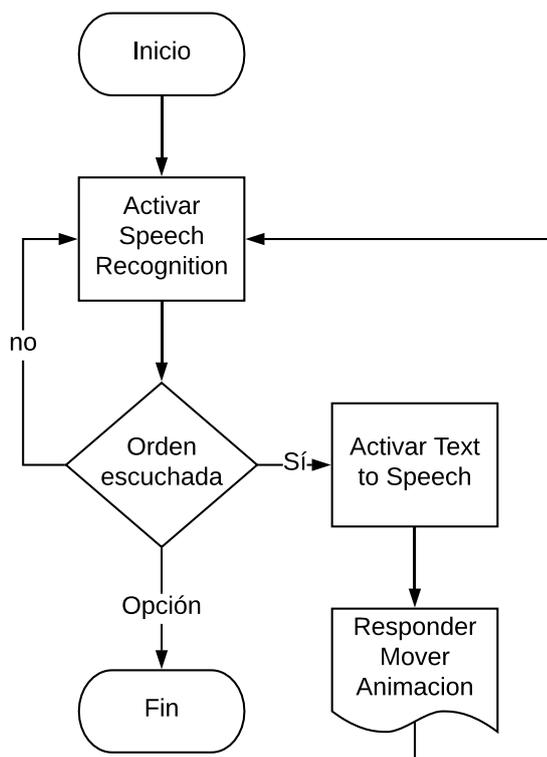


Figura 43 Diagrama de flujo funcionamiento gestor de diálogos.

El reconocimiento de voz trabaja mediante la detección de una palabra clave, la cual se encuentra previamente definida, esta dará el paso para realizar una acción dentro de la animación, si no se reconoce el comando de voz el algoritmo sigue escuchando hasta detectar una palabra clave. El reconocimiento es totalmente independiente de la voz del interlocutor, es decir que cualquier persona lo puede utilizar sin antes tener que entrenar al algoritmo. Las palabras que se han tomado en cuenta para que sea un comando de voz se muestran en la Tabla 30:

Tabla 30
Comandos de voz dentro de la aplicación

Palabra	Acción
Jugar	Muestra el escenario del juego tres en raya
Solar	Muestra el sistema solar
Mercurio	Se dirige a la escena de Mercurio
Venus	Muestra la escena de Venus
Tierra	Muestra la escena del planeta Tierra
Marte	Muestra la escena de Marte
Júpiter	Muestra la escena de Venus
Saturno	Se dirige a la escena de Saturno
Neptuno	Indica el escenario de Neptuno
Urano	Muestra el escenario de Urano
Regresar	Mediante este comando se regresa a la escena anterior en jerarquía

3.3.3. Subsistema Mando de Control

El subsistema de mando tiene un funcionamiento similar al subsistema de gestión de dialogo, ya que de igual manera controla la animación dentro de la aplicación. El dispositivo que se utiliza será seleccionado de tres opciones establecidas: teclado, joystick y Leap-Motion. En la Figura 44 se presenta el diagrama de flujo del proceso, mediante el cual se realiza la manipulación del holograma.

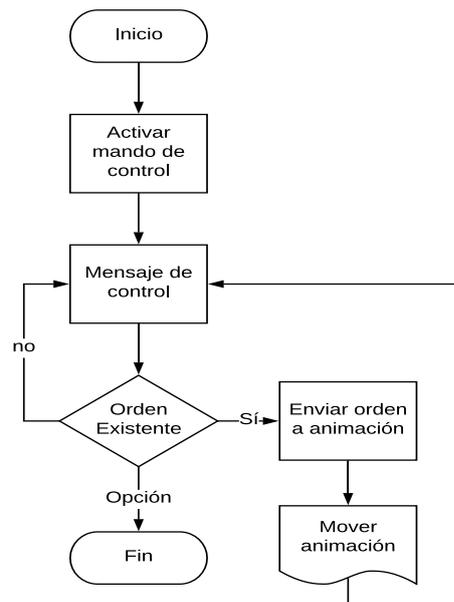


Figura 44 Diagrama de flujo funcionamiento mando de control

3.3.3.1. Selección de dispositivo para mando de control.

El dispositivo para ocupar en el control del holograma es muy importante para mejorar la estética del dispositivo, y asegurar que sea de fácil uso ara el usuario. Es decir, requiere ser ergonómico, de bajo costo y fácil de obtener un repuesto de reemplazo. Las posibles alternativas de las cuales se realizará la selección se encuentran especificados en la Tabla 31, con las respectivas características de análisis para la selección.

Tabla 31

Posibles soluciones de dispositivo para mando de control

N°	Solución	Propiedades
A	Joystick USB	Estética Media Compatibilidad Alta Costo Medio
B	Teclado y Ratón	Estética Alta Compatibilidad Alta Costo Bajo
C	Leap-Motion	Estética Media Compatibilidad Media Costo Alto

Tabla 32*Crterios ponderados para la seleccin de dispositivo de control*

Criterio	Costo	Capacidad	Apariencia	Suma +1	Ponderación	Hitos
Costo	-	2,5	5	8,5	0,472	1
Capacidad	2,5	-	2,5	6	0,333	2
Apariencia	0	2,5	-	3,5	0,194	3
Total				18	1	

Tabla 33*Ponderación de soluciones en base al costo*

Costo	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Suma +1	Ponderación	Hitos
Solución A	-	0	0	1	0,056	3
Solución B	5	-	0	6	0,333	2
Solución C	5	5	-	11	0,611	1
Total				18	1	

Tabla 34*Ponderación de soluciones en base a capacidad*

Capacidad	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Suma +1	Ponderación	Hitos
Solución A	-	2,5	5	8,5	0,472	1
Solución B	2,5	-	5	8,5	0,472	1
Solución C	0	0	-	1	0,056	3
Total				18	1	

Tabla 35*Ponderación de soluciones en base a apariencia*

Apariencia	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Suma +1	Ponderación	Hitos
Solución A	-	5	5	11	0,611	1
Solución B	0	-	2,5	3,5	0,194	2
Solución C	0	2,5	-	3,5	0,194	2
Total				18	1	

Tabla 36*Resultados de selección de dispositivo de mando de control*

	Costo	Capacidad	Apariencia	Suma	Prioridad
Solución A	0,026	0,157	0,119	0,302	3
Solución B	0,157	0,157	0,038	0,353	1
Solución C	0,289	0,019	0,038	0,345	2
			Total	1	

Según los resultados de selección mostrados en la Tabla 36, la mejor opción de dispositivo es la solución B correspondiente al teclado y ratón. Debido a que es económico, de fácil uso y posee una apariencia amigable para la utilización en el dispositivo. También, es de fácil adaptación para la plataforma de programación de la animación 3D.

3.4. Sistema Completo

Al integrar los subsistemas de bastidor, animación y control se obtuvo un solo sistema completo, el cual ahora ya cuenta con una estructura conformada por postes, esquinas y cubierta (acrílico). También ya se encuentra fabricada la pirámide de vidrio, la cual se encuentra con una inclinación de 45° en cada cara, para obtener la mejor apreciación de proyección, como se puede observar en la Figura 45.

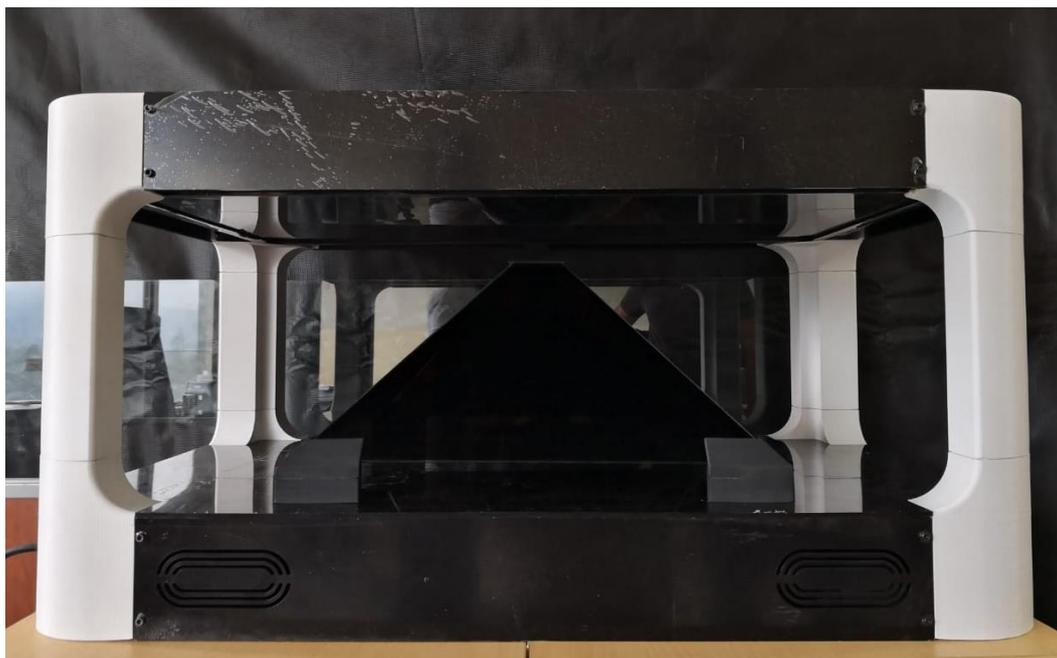


Figura 45 Sistema completo

Mientras que en la parte de control ya se encuentra implementado el reconocimiento de voz, el cual funciona de acuerdo con las palabras especificadas en la Tabla 30, teniendo así un desplazamiento entre escenarios adecuado. En cada escenario ya se muestra información relevante de cada planeta, esto se logra mediante el TTS de IBM “*Watson*”, el cual es gratuito por un tiempo de reproducción máximo. Mientras que para el juego se encuentra desarrollado el control mediante teclado, en el cual se presiona una tecla numérica del 1 al 9, para poder posicionar las fichas.

3.5. Resumen

La selección de los requerimientos para el diseño de la estructura es especificada por las características del cliente y las características técnicas de fabricación, siendo la forma que va a tener y el material que se va a utilizar, tomando entre varias opciones se seleccionó la impresión 3D en material ABS para postes de apoyo, los cuales al ser sometidos a prueba soportaron 2 toneladas a compresión, y se complementó el diseño con cortes en acrílico negro para la cubierta del bastidor.

La selección de los elementos para el sistema de animación en cuestión de proyección y diseño de animaciones mejora la presentación del efecto en tres dimensiones, el cual se conforma por el display de proyección, software de animación y el aplicativo que se va a realizar. Mediante las matrices de selección se pudo obtener un resultado para el display de proyección, el cual revelo como mejor opción obtener un televisor de 32" con una resolución de 1080p. Para seleccionar el software de animación se tomó en cuenta que sea libre y que sea adecuado para diseñar distintas formas, teniendo como resultado el software Blender, en el cual se realiza la animación de las distintas escenas del sistema solar con los planetas y el juego "tres en raya", conjuntamente trabaja con el lenguaje de programación Python, en el cual se realizaron los algoritmos para desplegar las cuatro vistas de la cámara, el reconocimiento de voz y el control mediante teclado, teniendo así una ventaja sobre las demás opciones.

Para la selección de la arquitectura de control se tomó en cuenta el gestor de diálogos y el mando de control. Para la primera parte se generó un código para el reconocimiento de voz, el cual funciona mediante internet y en programación de Python. También posee un Text to Speech, siendo "Watson" el utilizado, dicho TTS genera la respuesta hablada al reconocimiento de audio mediante una base de datos. En segunda instancia se seleccionó como mando de control un teclado, debido a la versatilidad y la funcionalidad que tiene, facilitando la utilización por parte del usuario.

El aplicativo que se va a realizar es un sistema solar para el tópico de educación, debido a que se podrá observar el orden de los planetas, su textura y su movimiento, además se tendrá un escenario por cada planeta en el cual se muestre únicamente el planeta y también se dará datos relevantes sobre cada uno de ellos; en cambio para el tema de entretenimiento se escogió un juego sencillo, siendo "tres en raya" el juego a diseñar, debido a que es un juego conocido y

se puede jugar entre dos personas, el cual al obtener un resultado sea ganar o empatar, mostrará otro escenario con lo obtenido.

CAPÍTULO 4

INTEGRACIÓN Y VALIDACIÓN

En el capítulo se describe el desarrollo e implementación de cada uno de los subsistemas y elementos que conforman el dispositivo de proyección holográfica. Además, se detalla el ensamble y la construcción de cada componente, la disposición de los elementos de proyección y reflexión del dispositivo. También, se explica el algoritmo del software generado y sus acciones sobre las animaciones. En el capítulo se presenta pruebas y resultados realizados para verificar la interactividad que posee el dispositivo.

4.1.Implementación de estructura.

El proceso realizado para la fabricación del módulo de estructura se encuentra detallado paso a paso en el diagrama de flujo de la Figura 46, en el cual se especifica las actividades realizadas para la fabricación de la estructura total.

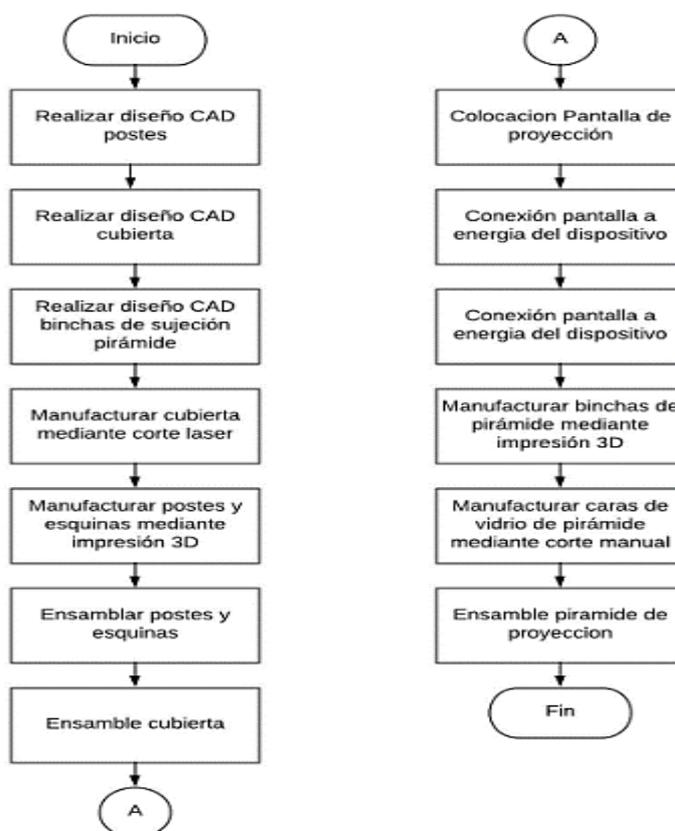


Figura 46 Diagrama de flujo elaboración estructura

Tanto esquinas, postes y cubiertas necesitaron un tiempo de fabricación y un proceso de creación específico, por ello se detalla de cada pieza su conformación, y se encuentra resumido en la Tabla 37.

Tabla 37

Detalle de piezas necesarias para la estructura

Cantidad	Pieza	Proceso Manufactura	Material
4	Esquinas superiores	Impresión 3D	ABS
4	Esquinas inferiores	Impresión 3D	ABS
4	Postes de apoyo	Impresión 3D	ABS
4	Cubierta lateral superior	Corte Laser	Acrílico
4	Cubierta lateral inferior	Corte Laser	Acrílico
1	Tapa superior	Corte Laser	Acrílico
1	Tapa inferior	Corte Laser	Acrílico
1	Base apoyo pirámide	Corte Laser	Acrílico
5	Binchas sujeción pirámide	Impresión 3D	ABS
4	Caras pirámide	Corte manual	Vidrio

La primera etapa es el diseño de la estructura, el cual comienza con crear el prototipo con la ayuda de un sistema CAD (Computer-Aided Design), donde se genera la forma de los elementos que componen la estructura del dispositivo. La cual está conformada por: 4 esquinas superiores, 4 esquinas inferiores, 4 postes de apoyo y 11 cortes de Polimetilmetacrilato (Acrílico) de color negro. Como se muestra en la Figura 47.

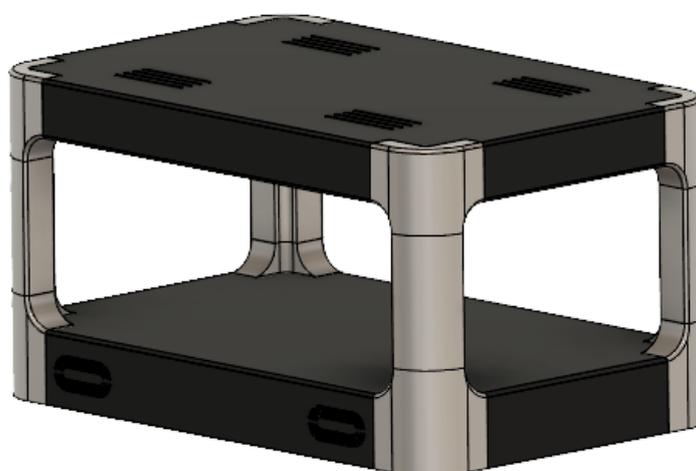


Figura 47 Diseño CAD correspondiente a la estructura del equipo

El detalle de tiempo de manufactura según el proceso de fabricación de la Tabla 37 se detalla en la Tabla 38, dando como resultado un tiempo total de manufactura de 129 horas con 30 minutos.

Tabla 38

Detalle de tiempo de manufactura de piezas del proyecto

Cantidad	Pieza	Tiempo de manufactura
4	Esquinas Superiores	42 horas con 25 minutos
4	Esquinas Inferiores	48 horas con 40 minutos
4	Postes de Apoyo	32 horas con 10 minutos
1	Plancha Acrílico 4mm espesor (cubiertas superior e inferior, tapa superior e inferior, base de apoyo)	2 horas con 30 minutos
5	Binchas pirámide	3 horas con 15 minutos
4	Caras pirámide	30 minutos

Al crear los elementos en el sistema CAD, se procede a generar los archivos STL de cada uno, con los cuales se realiza la impresión 3D de los prototipos en material ABS, una vez impresas todas las piezas, se procede al ensamble de la estructura. Se manufacturó mediante modelado 3D como se observa en la Figura 48 debido a la complejidad de las formas que posee cada pieza y al tiempo y costo de fabricación. Las piezas resultantes se muestran en la Figura 49.

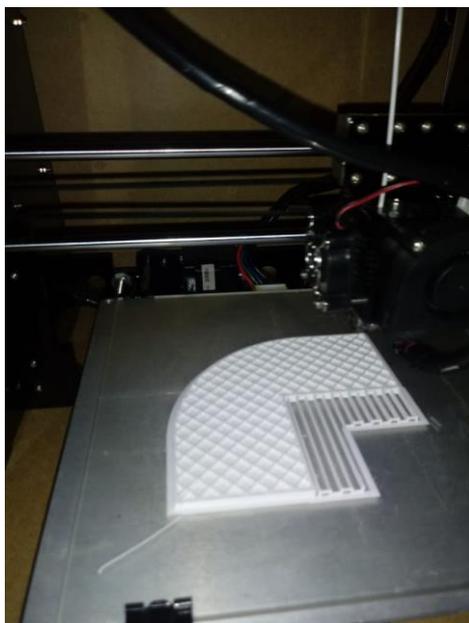


Figura 48 Proceso de impresión 3D

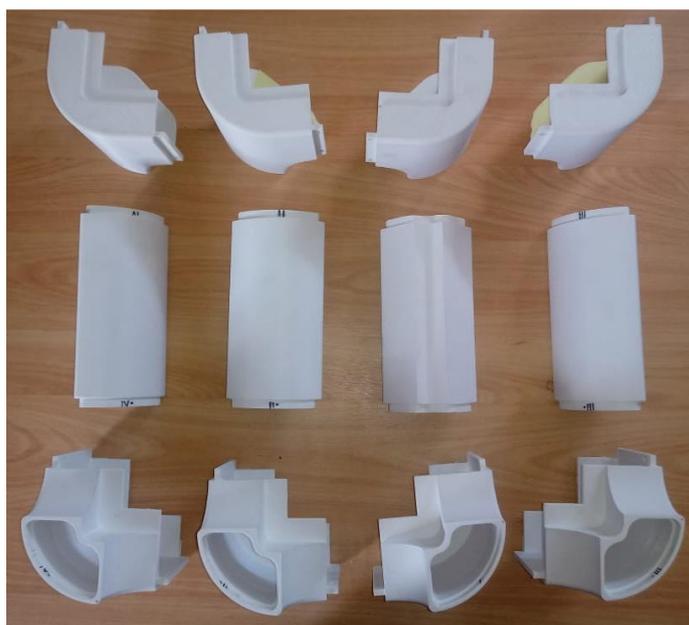


Figura 49 Piezas impresas 3D de postes de apoyo

Para generar la cubierta del dispositivo que estará formada de material de acrílico de espesor de 4 mm, el proceso de manufactura utilizado es corte láser, debido al bajo tiempo y mayor exactitud posible para las dimensiones requeridas en el corte. El proceso requiere de un archivo DXF para generar los cortes de acuerdo con las dimensiones requeridas. Las piezas resultantes se muestran en las Figura 50, Figura 51 y Figura 52.



Figura 50 Corte laser correspondiente a la cubierta inferior



Figura 51 Corte laser correspondiente a la cubierta superior



Figura 52 Corte laser correspondiente a la superficie de apoyo de la pirámide

Para la elaboración y ensamble de la pirámide de proyección se procedió a realizar el diseño CAD de binchas de sujeción, posteriormente se manufacturó mediante impresión 3D, asegurándose que el ángulo de inclinación sea de 45° . Mientras que las caras de la pirámide se manufacturaron en vidrio de 2 mm mediante corte manual, y fueron polarizarlos teniendo como resultado las piezas que se pueden observar en la Figura 53.



Figura 53 Componentes de pirámide de proyección (binchas y caras laterales)

Una vez manufacturadas todas las piezas que conforman la estructura del dispositivo, se procede a realizar el ensamble por partes. El cual comienza con el ensamble de los postes de

apoyo, siendo conformados por una esquina superior una esquina inferior y un poste, como se muestra en las Figura 54 y Figura 55.



Figura 54 Ensamble poste

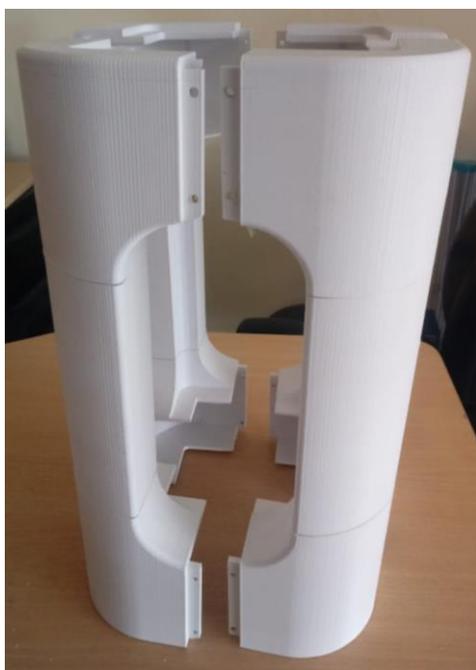


Figura 55 Postes del dispositivo ensamblados

Al terminar de ensamblar todos los postes de apoyo como se muestra en la Figura 55, se realiza el ensamble de la cubierta inferior del dispositivo. En la Figura 56 se muestra el ensamble total de la parte inferior del equipo.



Figura 56 Ensamble cubierta inferior del equipo

Una vez culminado el ensamble inferior, se procede a realizar el ensamble superior del equipo, obteniendo como resultado la Figura 57.



Figura 57 Ensamble total para superior del equipo

El ensamble de la pirámide de proyección se realiza con las binchas de sujeción inferiores y la bincha superior, con las cuales soporta el peso de las caras de vidrio de la pirámide y

aseguran el ángulo de 45° de inclinación calculado en el capítulo 3 en la ecuación 8. El ensamble total de la pirámide se muestra en la Figura 58.



Figura 58 Pirámide de proyección ensamblada en su totalidad

En la Figura 59 se observa el ensamble totalmente del dispositivo, el cual tiene como de dimensiones finales 835 x 535 x 435 mm.

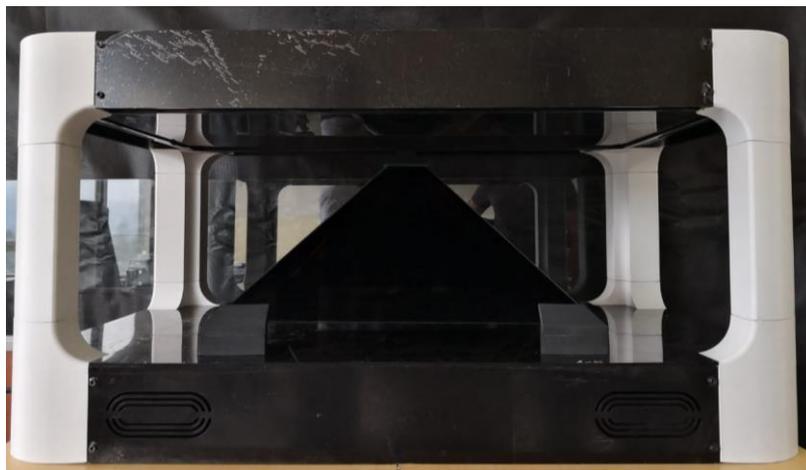


Figura 59 Prototipo ensamblado

4.2. Implementación del sistema de control

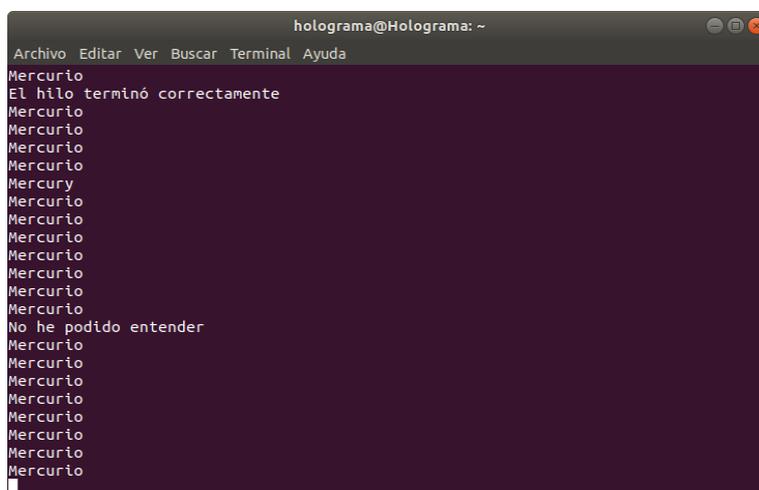
Para la interacción dentro de la aplicación se realizaron dos tipos de controles, por voz y por teclado, mediante los cuales se intenta dar una mayor interactividad a la misma, siendo aplicados

- **Control mediante voz**

Para el control mediante voz se utilizó un gestor de dialogo, debido a que se necesita interactividad, por lo cual el gestor de dialogo permite interactuar con el usuario al preguntar si desea algo en específico o responder a sus respuestas.

Con el STT se reconoce los requerimientos que desea el usuario y se los transforma a texto para que el algoritmo sepa que acción debe realizar con cada uno de ellos, teniendo así la facilidad de moverse dentro de la aplicación en distintos escenarios.

Los algoritmos fueron escritos dentro del mismo programa de Blender, ya que este ofrece la posibilidad de tener algoritmos generados en Python para poder controlar desde el mismo sin la necesidad de crear un puente de enlace entre el código y los objetos generados. Teniendo así una ventaja ya que únicamente se ejecuta el programa Blender para poder controlar la aplicación.



```
holograma@Holograma: ~
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
Mercurio
El hilo terminó correctamente
Mercurio
Mercurio
Mercurio
Mercury
Mercurio
No he podido entender
Mercurio
Mercurio
Mercurio
Mercurio
Mercurio
Mercurio
Mercurio
Mercurio
```

Figura 60 Prueba de funcionamiento gestor de dialogo

En la Figura 60 se prueba el normal funcionamiento del gestor de dialogo. Debido a ello se puede asumir que el reconocimiento de voz escucha correctamente, por tal motivo va a emitir una respuesta acorde a lo escuchado.

- **Control mediante teclado**

El control mediante teclado se realizó específicamente para manipular el escenario correspondiente para el juego, debido a que es un tres en raya, se asoció las posiciones del bloque numérico (Numpad) del teclado con las posiciones en donde se puede colocar una ficha, como se muestra en la figura siguiente.

7	8	9
4	5	6
1	2	3

Figura 61 Posiciones del juego asociado con el teclado numérico

Una vez obtenida la posición se mostrará el objeto cruz (X) o circulo (O), donde se haya presionado el número, hasta conseguir un ganador o un empate. El algoritmo está validado para que pueda ganar un jugador ya sea completando una fila, una columna o una diagonal, también una vez pasado los nueve turnos de juego, y si no se consigue un ganador muestra el empate conseguido. Si se desea reiniciar el juego se debe aplastar la tecla “R” en el teclado y si se quiere regresar a la pantalla principal de la aplicación se debe aplastar la letra “B”.

4.3. Implementación de la interfaz de usuario.

Para la realización de la interfaz de usuario, se contempló una estructura como se muestra en la Figura 62, la cual se conforma por tres niveles, en el primer nivel se encuentra la pantalla principal, con la cual se puede acceder a los siguientes niveles, dentro del segundo nivel se encuentra la pantalla de entretenimiento (tres en raya) o a su vez se puede seleccionar de educación (sistema solar). Existe un tercer nivel de jerarquía en el cual se encuentran todas las escenas de los planetas si se accede desde el sistema solar, mientras que si se accede desde la pantalla del tres en raya se muestra la pantalla del ganador o empate.

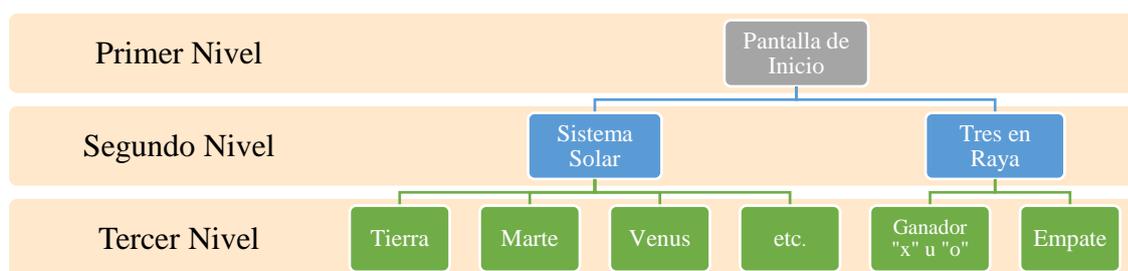


Figura 62 Jerarquía de pantallas

- **Primer Nivel**

La página principal de inicio del dispositivo se muestra en la Figura 63, la cual se muestra con un audio, el cual se presenta y solicita una orden de voz para reconocer a que escenario se debe acceder.

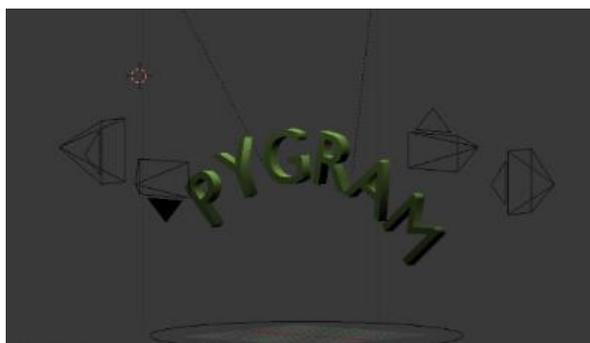


Figura 63 Pantalla inicio dispositivo

- **Segundo Nivel**

Al segundo nivel de jerarquía se accede mediante el comando de voz que se haya reconocido en la pantalla principal, por tal motivo al reconocer el comando adecuado de acceso para cada escenario se dirigirá hacia ella, ya sea el del sistema solar o de tres en raya.

- **Sistema Solar**

Al acceder a la pantalla del sistema solar, se podrá observar el escenario que contiene a todos los planetas y el sol, dichos elementos son animados y recrean el movimiento que tienen los planetas alrededor del sol, como se muestra en la Figura 64. El escenario también se encuentra equipado con el control por voz, descrita anteriormente en la Figura 43, mediante la cual se genera el cambio de escena hacia los planetas o en su defecto regresar a la pantalla inicial.

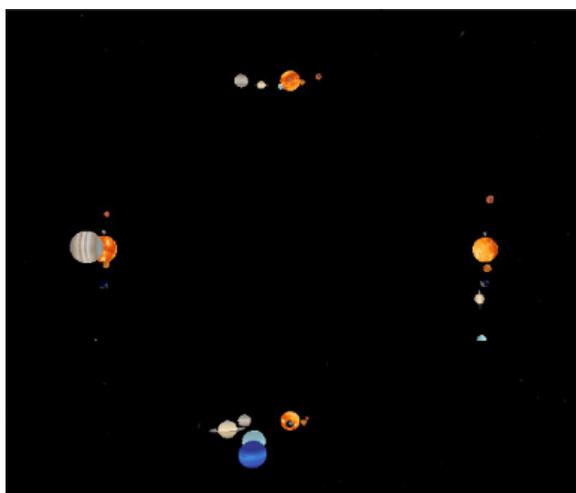


Figura 64 Escenario Sistema Solar

- **Tres en Raya**

Al ingresar al escenario, se puede observar el tablero de juego como se muestra en la Figura 65, el escenario se encuentra controlado por teclado, es decir cada vez que se presione una tecla en el numpad (teclado numérico), se asignará una ficha en el espacio correspondiente, como se explicó en la Figura 61.

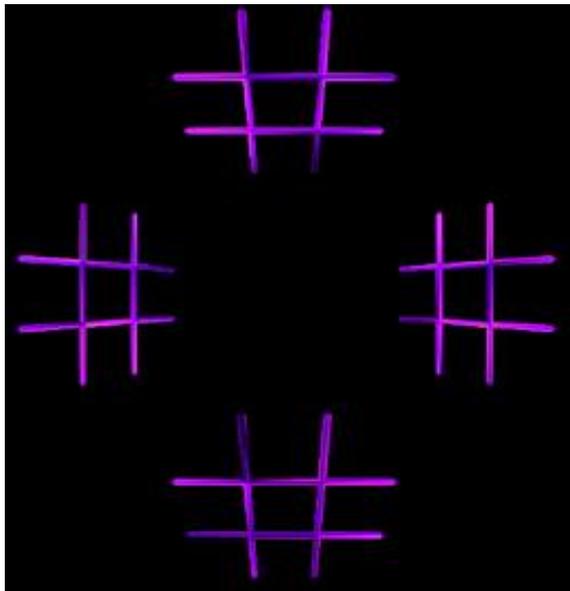


Figura 65 Tablero de Juego (Tres en Raya)

En la Figura 66 se presenta las imágenes para generar el holograma sobre la pirámide de proyección, en la cual se optó por mostrar el tablero de juego en las cuatro vistas, permitiendo al usuario visualizar el juego desde cualquier cara de la pirámide.

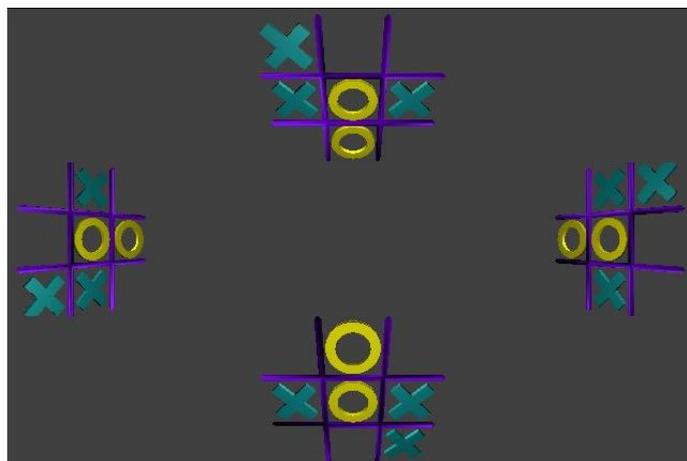


Figura 66 Pantalla de proyección para generar holograma de juego

- **Tercer Nivel**

Las pantallas de tercer nivel se acceden únicamente si se detecta los comandos asignados para cada escena, es decir si se encuentra en la pantalla del sistema solar y se nombra un planeta,

se cambiará de escena y lo mostrará. Los escenarios de los planetas se muestran en la Figura 67.

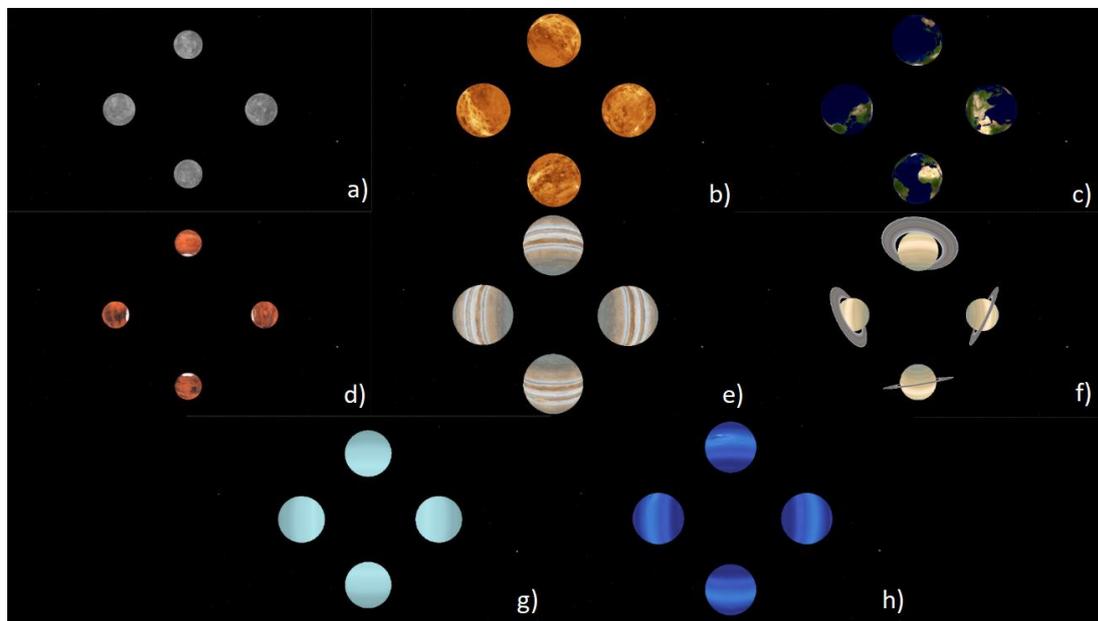


Figura 67 Escenario de cada planeta modelado a) Mercurio, b) Venus, c) Tierra, d) Marte, e) Júpiter, f) Saturno, g) Urano y h) Neptuno

Mientras que las pantallas de tercer nivel que se acceden desde el juego son las que se proyectan a lo que ocurre algún evento en el juego, es decir si gana el jugador “x” u “o” se proyectará una escena donde indique que dicho jugador ganó, mientras que si se produce un empate se sobrepondrá una escena donde se indique el resultado, como se muestra en la Figura 68.

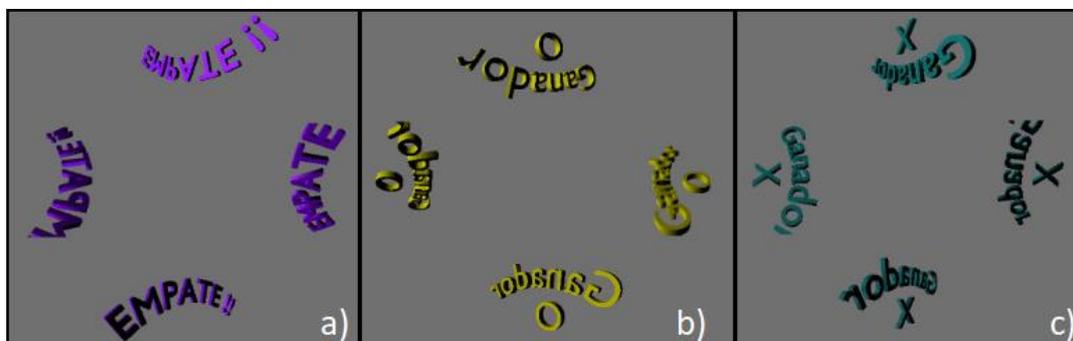


Figura 68 Escenario para el término del juego a) Empate, b) Ganador "o" y c) Ganador "x"

Para todos los escenarios de tercer nivel se asigna una función de retorno para su respectiva pantalla anterior, para los escenarios del sistema solar se asignó con control de voz la palabra “regresar”, mientras que para el juego se necesita aplastar la tecla “B” y así regresará a la pantalla principal.

4.4.Pruebas y resultados de los subsistemas.

- **Pruebas del bastidor.**

El bastidor del dispositivo se conforma por postes de apoyo, esquinas superiores, inferiores y cubierta, para comprobar la resistencia del material se realizó un ensayo de compresión en una sección de la columna como se muestra en la Figura 69, debido a que el elemento debe resistir el peso de la televisión.



Figura 69 Ensayo a compresión

Dicho resultado se puede observar en la Figura 70, donde se observa el comportamiento de la probeta, la cual soportó un total de 2064 [kgf], y teniendo un desplazamiento de 15 [mm]. Por tal motivo se puede concluir que la estructura va a soportar el peso de la televisión junto con los acrílicos.

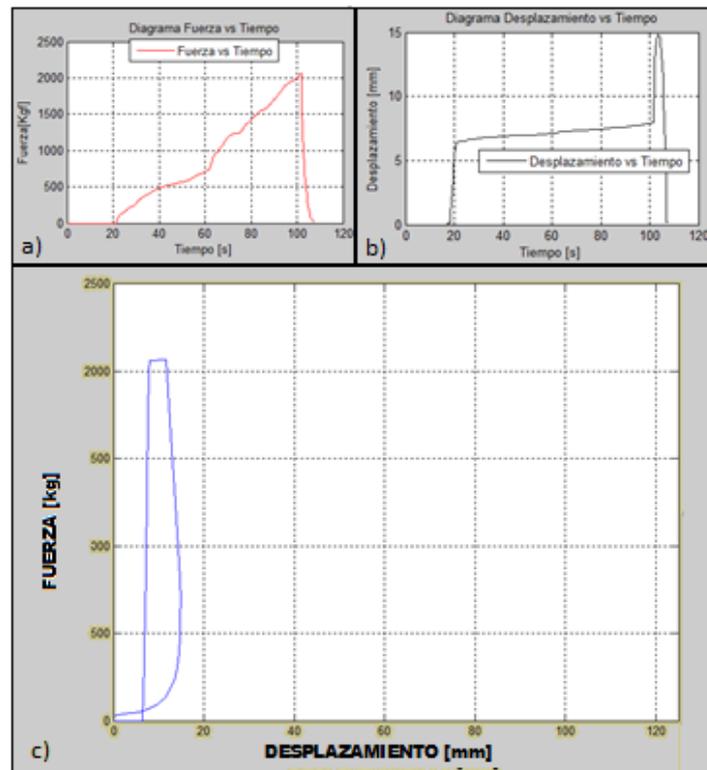


Figura 70 Resultados del ensayo a) Fuerza vs Tiempo, b) Desplazamiento vs Tiempo y c) Fuerza vs Desplazamiento

La probeta analizada al ser comprimida terminó como se lo muestra en la Figura 71, en la cual se nota claramente los efectos de los esfuerzos a los que fue expuesta.



Figura 71 Probeta de prueba de resistencia a compresión

- **Prueba pirámide de proyección**

La pirámide fue probada durante el ensamble con un medidor de nivel digital, con el cual se obtuvo la inclinación de las caras de vidrio de la pirámide. Dando los siguientes resultados de cada cara como se muestra en la Tabla 39, las caras de la pirámide se encuentran posicionadas

como se muestran en la, para el cálculo del error se realizó con la formula del error absoluto (27).

$$e = \frac{\bar{x} - x}{\bar{x}} * 100 \quad (27)$$

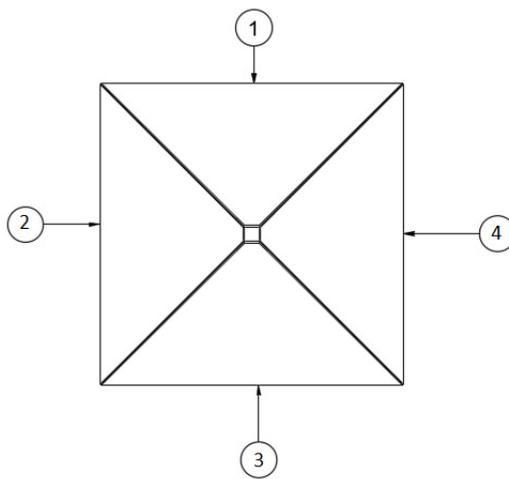


Figura 72 Posición de caras en la pirámide

A continuación, se muestra la tabla con los resultados:

Tabla 39
Medición de error de la inclinación de caras

Cara N°	Medida Real	Medida Calculada	Error
1	44.2	45	1.77
2	44.3	45	1.56
3	45.7	45	1.56
4	45.7	45	1.56

El error resultante de la ecuación (27) por cada cara es aceptable, por lo cual no se requiere corregir o reemplazar la pirámide actual. Al proyectar la imagen en la pirámide se logra un resultado como la mostrada en la Figura 73.



Figura 73 Prueba de proyección de imagen holográfica.

- **Pruebas de la Animación**

Para probar el funcionamiento de la animación, se revisó las escenas individualmente y después se realizó una prueba de funcionamiento de todas las animaciones en conjunto.

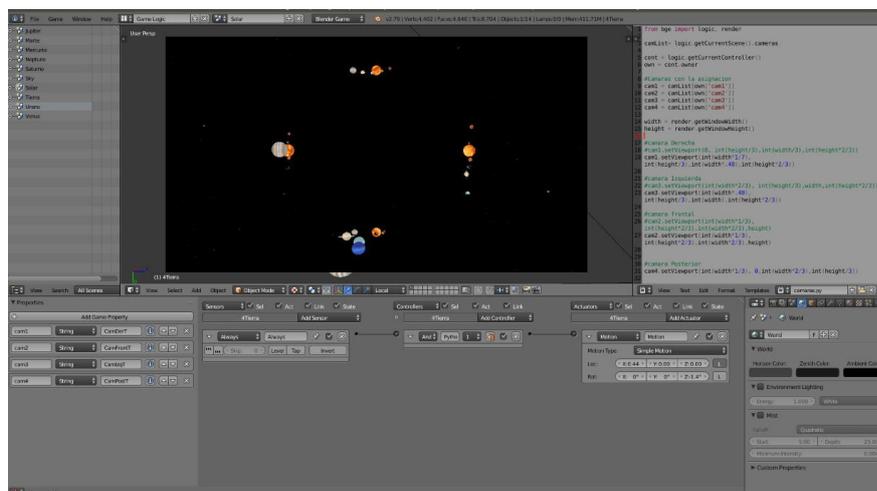


Figura 74 Pruebas de software programado en Blender

La plataforma de programación Blender permite la visualización y obtención de porcentajes de los recursos computacionales utilizados, en la Figura 75 se observa el cuadro de muestra de porcentajes.

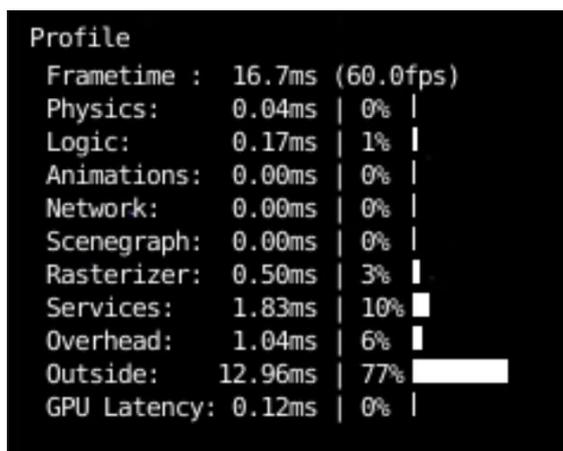


Figura 75 Cuadro de visualización de recursos computacionales Blender

En la Tabla 40 se encuentra resumido los recursos computacionales utilizados por cada escenario. Dando los principales que son: Outside (Utilización de recursos externos al juego), GPU Latency (tiempo de recepción de imagen) y Rasterizer (renderizado de imagen).

Tabla 40

Detalle recursos computacionales.

Escenario	Outside (ms)	GPU Latency (ms)	Rasterizer (ms)
Pantalla inicial	11.13	0.24	0.53
Sistema Solar	14.21	0.25	1.08
Mercurio	10.73	0.15	0.83
Venus	11.50	0.23	0.35
Tierra	11.73	0.19	0.29
Marte	12.10	0.19	0.28
Júpiter	12.20	0.16	0.38
Saturno	10.15	0.20	0.83
Urano	12.03	0.19	0.28
Neptuno	11.53	0.24	0.49
Inicio Juego	13.07	0.10	0.18
Fin Juego	12.57	0.09	0.53

También, se obtuvo el reporte en tiempo real de los recursos utilizados por el computador a través del monitor de sistema de Ubuntu. En la Figura 76, se presenta la gráfica resultante al procesamiento del CPU, dando un valor de utilización entre 75 y 90 % de uso.

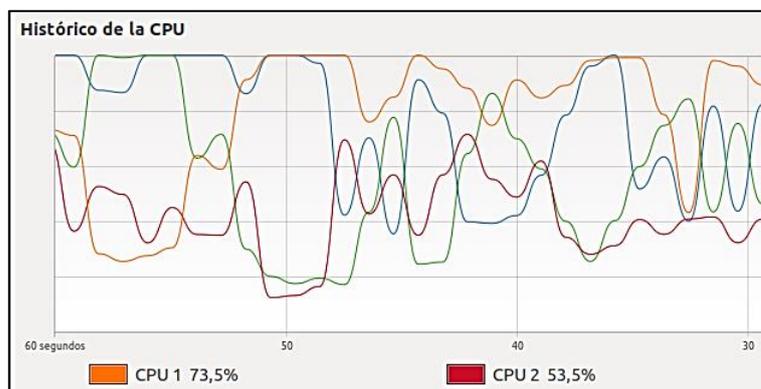


Figura 76 Historico de recursos ocupados CPU

Además, el instante en que se ejecuta el programa la memoria aumenta un 20% más en su utilización. Lo cual se observa en la Figura 77.

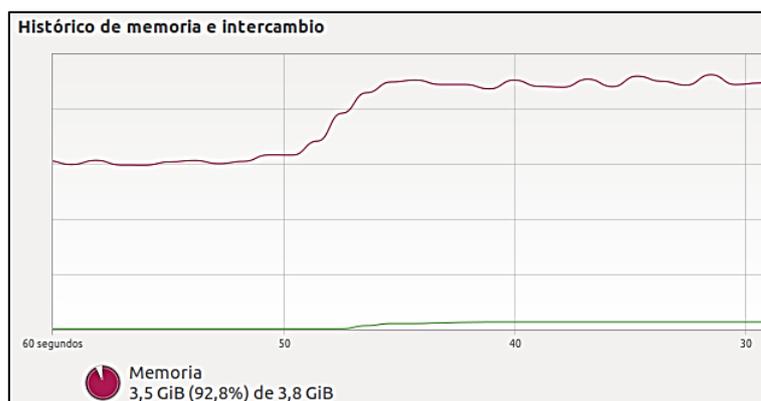


Figura 77 Historico de memoria utilizada

También, en cada proceso realizado por el programa existe un pico de procesamiento de información de 64 Kb/s aproximadamente. Lo cual se observa en la Figura 78.

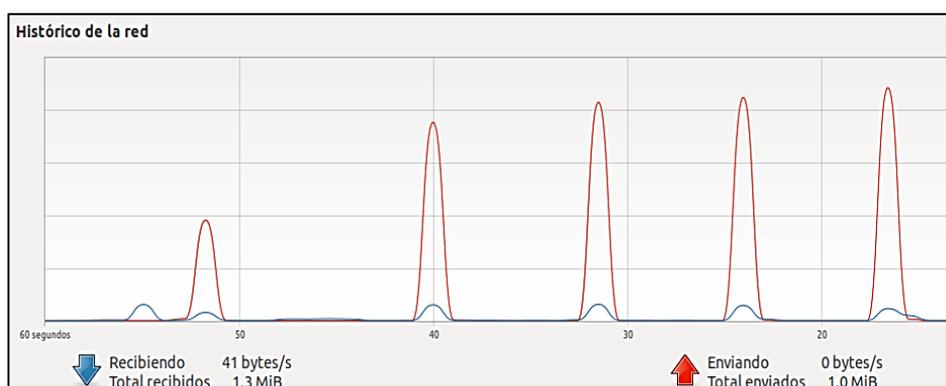


Figura 78 Histórico de red del sistema

Según los resultados obtenidos de la utilización de recursos mostrados en la Tabla 40, se observa que el mayor recurso computacional se utiliza en el escenario correspondiente al sistema solar. El cuál es el más complejo de los escenarios diseñados, debido a que en este se ejecutan una simulación de todos los planetas asemejando la rotación que tienen alrededor del sol. También, se evidenció que existe un mayor tiempo de retardo al intentar ingresar en dicha animación.

Tabla 41

Tiempos de respuesta control animaciones

Pruebas de control	Tiempo de Respuesta
Teclado	0.5 segundos
Comando de voz	3 segundos

En la Tabla 41 se observa los tiempos de respuesta de los mandos de control, los cuales difieren dependiendo la operación realizada. Es decir, el comando de voz se demora más a causa del proceso de conversión de audio escuchado a texto.

Prueba de reconocimiento de voz

Para probar el reconocimiento de voz, se realizaron pruebas en las cuales se repetía la palabra clave durante un cierto número de veces, logrando saber cuántos reconocimientos correctos se logró y cuántos incorrectos, como se muestra en la Tabla 42.

Tabla 42
Resultados de validación de reconocimiento de voz

Palabra	Número de veces pronunciado	Número de Aciertos	Número de Errores	% Error
Jugar	50	48	2	4
Solar	50	49	1	2
Mercurio	50	50	0	0
Venus	50	50	0	0
Tierra	50	49	1	2
Marte	50	48	2	4
Júpiter	50	50	0	0
Saturno	50	49	1	2
Neptuno	50	50	0	0
Urano	50	48	2	4
Regresar	50	49	1	2

Teniendo como resultado que el porcentaje mayor es de 4%, el cual es aceptable ya que representa que en una prueba de 50 intentos no se reconoció dos veces. Dando como resultado que al pronunciar la palabra tierra, se produjo un error y se reconoció sierra.

4.5.Pruebas y resultados del prototipo.

El prototipo final fue probado con cada aplicativo creado, siendo la proyección de un sistema solar y un juego de tres en raya para entretenimiento, los cuales son controlados mediante comandos de voz y teclado respectivamente.

El primer aplicativo sobre el sistema solar, se denoto que el tamaño de la animación generada es influido por la disposición de las cámaras de simulación para el tamaño proyectado en el holograma, y el tamaño del display con lo cual se mejoró la calidad del holograma. Como se muestra en la Figura 79.



Figura 79 Pruebas de sistema solar en dispositivo completo

El manejo mediante comando de voz funciona correctamente, generando un control de los escenarios virtuales adecuados. La respuesta y muestra del reconocimiento de audio se muestra en la Figura 80, en donde el usuario dijo “deseo conocer el sistema solar”, después el aplicativo mostró la palabra solar, la cual indica el cambio de escena hacia el sistema solar.

```

holograma@Holograma: ~
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Pestañas Ayuda
holograma@Holograma: ~ x holograma@Holograma: ~ x
warning: scene Sky already exists, not added!
deseo conocer el sistema solar
solar
warning: scene Sky already exists, not added!
solar
warning: scene Sky already exists, not added!
ALSA lib pcm_dsnoop.c:618:(snd_pcm_dsnoop_open) unable to open slave
ALSA lib pcm_dmix.c:1052:(snd_pcm_dmix_open) unable to open slave
ALSA lib pcm.c:2495:(snd_pcm_open_noupdate) Unknown PCM cards.pcm.rear
ALSA lib pcm.c:2495:(snd_pcm_open_noupdate) Unknown PCM cards.pcm.center_lfe
ALSA lib pcm.c:2495:(snd_pcm_open_noupdate) Unknown PCM cards.pcm.side
ALSA lib pcm_dmix.c:1052:(snd_pcm_dmix_open) unable to open slave

```

Figura 80 Reconocimiento de audio

La animación para entretenimiento cuyo tema es tres en raya, trabaja de forma correcta generando las animaciones en cada recuadro durante la partida, además su control es exacto y preciso debido a su parecido a una matriz de 9x9. La cual es controlada por el numpad (teclado numérico) del teclado normal. En la Figura 81 y Figura 82 se muestra el holograma proyectado del juego tres en raya.



Figura 81 Juego tres en raya proyectado holográficamente



Figura 82 Disposición del tablero de juego

En la Figura 83 se muestra la secuencia de simulaciones que puede presentarse durante el funcionamiento del sistema, indicando de izquierda a derecha, y de arriba a abajo, el orden

de presentación de las animaciones según las pruebas de funcionamiento del software. Se observa que de forma inicial presenta una pantalla principal, en la cual se indica a cuál animación desea continuar, siendo de selección el sistema solar, donde se puede proceder a seleccionar cualquier planeta existente en el sistema mediante comandos de voz. Posterior se regresa a la escena principal para tener la opción de seleccionar la animación del juego tres en raya, donde después de terminar el juego indica si hay un ganador o un empate.

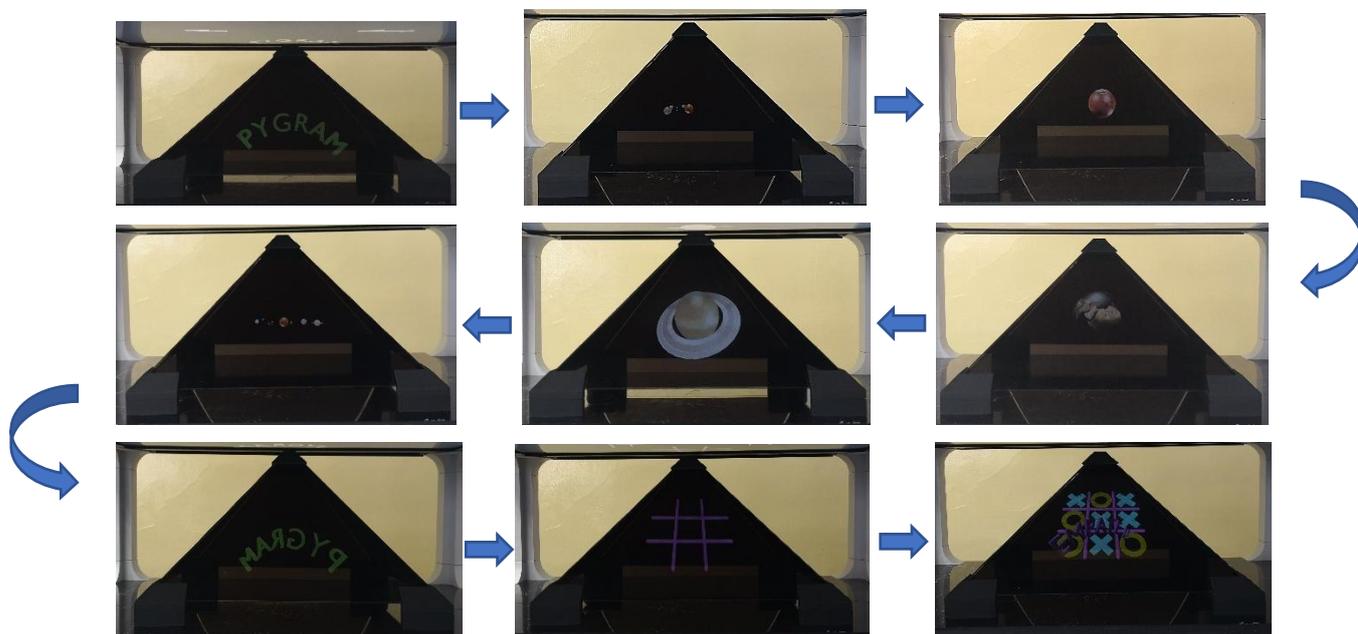


Figura 83 Secuencia de funcionamiento del prototipo

4.6. Resumen

El proceso de fabricación del dispositivo se realizó a través del diseño CAD y basado en los requerimientos del cliente, como primera instancia se fabricó el bastidor del dispositivo, el cual es conformado por postes y cubierta. Los postes fueron fabricados mediante impresión 3D en material de ABS y la cubierta en acrílico de 4 mm de espesor mediante corte laser. El bastidor se encuentra conformado por 23 piezas de las cuales 12 corresponden a los postes de apoyo y 11 a la cubierta.

Posterior se realizó el ensamble del bastidor, para luego fabricar la pirámide de proyección la cual es conformada por 4 caras de vidrio y 5 binchas fabricadas mediante impresión 3D. También, se implementó el display para realizar pruebas de visualización del holograma sobre la pirámide de proyección.

Para la elaboración de las animaciones se realizó de forma independiente los temas requeridos para el proyecto, generando un total de 9 escenas para el sistema solar, de las cuales una es del sistema general y 8 por cada planeta. Para el juego de tres en raya solo se generó 4 escenas, de las cuales una es la escena principal donde se podrá jugar mediante teclado y 3 serán para la indicación de quien gano o si empataron.

Dentro de las pruebas de los subsistemas se realizó el ensayo de compresión a una sección de la columna para comprobar si resistía el peso de la televisión, teniendo un resultado positivo, debido a que la sección resistió 2064 [kgf]. También se realizó una prueba geométrica a la pirámide, debido a que se necesita corroborar que tiene el ángulo correcto para la proyección, donde se comprobó que el error máximo es de 1.57% siendo un valor aceptable.

Para las animaciones elaboradas en Blender se fue probando una por una en el dispositivo, primero se generó el holograma inicial del sistema solar, para posteriormente probar cada escenario de los planetas, al terminar se realizó la prueba con el juego de tres en raya. Una vez corroboradas cada escena individualmente se procedió a probar todas ya interconectadas mediante el control de voz y teclado, obteniendo pruebas positivas, ya que el sistema fluyó normalmente, pese al gran uso de recursos que tiene la computadora.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1. CONCLUSIONES

Se construyó un prototipo de pirámide de proyección holográfica, cuyas dimensiones son: 833 mm de ancho, 533 mm de largo y 435 mm de alto, y es basada en el método de proyección “Fantasma de Pepper”, el cual funciona en base a la ley de reflexión de luz para la elaboración de hologramas, en un dispositivo de realidad aumentada clasificado como dispositivo creador de imágenes volumétricas estático. El cual presenta la imagen sobre una pirámide de vidrio de cuatro vistas, generando un efecto visual que se muestra como un holograma, el cual se encuentra ubicado en el centro de la pirámide.

Se diseñaron las partes que conforman el bastidor del dispositivo, el cual es conformado por postes de apoyo y cubierta del dispositivo. Los mismos que fueron fabricados en material ABS y acrílico respectivamente. El bastidor se encuentra conformado por 22 piezas de las cuales 12 son elaboradas mediante impresión 3D y 10 piezas elaboradas mediante corte laser.

Se diseñó una pirámide de proyección de 4 caras, la cual fue fabricada en vidrio de 2 mm con un polarizado medio para la reflexión de las imágenes, el ángulo diseñado para la pirámide se encuentra basado en el ángulo de percepción del observador, es decir, el observador debe ver horizontalmente para tener una apreciación total de la animación holográfica, con lo cual se calculó el ángulo de inclinación de la pirámide, dando como resultado un valor de 45° de inclinación de las caras de la pirámide.

En base al ángulo de inclinación de 45° de la pirámide se calcularon las dimensiones óptimas de las caras de la pirámide, resultando en un triángulo truncado de dimensiones: base de 400 mm, altura de 282.84 mm y ángulo de 54.74° . La forma diseñada se puede apreciar en la Figura 31.

Se diseñaron binchas de sujeción para el ensamble de una pirámide de proyección, los cuales aseguran el ángulo de 45° de inclinación calculado para una perspectiva horizontal por parte del usuario. Las binchas diseñadas fueron 5 en total (4 para la base y 1 para la parte superior de la pirámide) y fabricadas mediante impresión 3D en material de ABS, logrando otorgar la forma y precisión requeridas para la construcción de la pirámide.

Se diseñó una animación tridimensional en el software Blender para la muestra de las imágenes holográficas a proyectarse, en el cual el tema de diseño fue un sistema solar para el ámbito educativo y un juego de “Tres en Raya” para entretenimiento. Los cuáles serán manipulados mediante comandos de voz y control por teclado.

La animación del sistema solar presenta los 8 planetas del sistema solar y el sol, con una serie de información relevante de cada planeta, la cual el usuario podrá acceder de forma verbal. Para la animación del juego “Tres en Raya” se podrá jugar en pareja (2 jugadores) y tendrá todas las reglas pertinentes, el juego será controlado a través del teclado.

Se generó un sistema de gestor de diálogo, basado en un reconocimiento de audio y un convertidor de texto en audio, con el cual el usuario dará el comando de voz y el equipo

reconocerá lo escuchado para y dar la orden de control a la animación, posterior se genera la respuesta en texto y mediante el convertidor de texto en audio se emitirá la respuesta al usuario.

Se realizó el análisis de selección de un dispositivo de proyección para presentar las imágenes del holograma, del cual se escogió como apropiado una pantalla TV de 32 pulgadas full HD de 1080p de resolución. Lo cual incrementa la resolución de la imagen holográfica, garantizando la calidad requerida por el usuario.

5.2. RECOMENDACIONES

Para una mejora del sistema se debe realizar un análisis de rediseño, buscando la reducción del tamaño y optimización del display. Debido a que no existe un display completamente cuadrado del tamaño requerido, lo cual genera un espacio desperdiciado en el campo de proyección.

Para el bastidor construido se recomienda mejorar la forma de sujeción eliminando elementos y formas innecesarias en la construcción de cada una de ellas. Además, se recomienda la realización de probetas a diferentes porcentajes de relleno de material, para optimizar la eficiencia y resistencia del material evitando desperdicios.

Durante el proyecto se evidenció el gran costo computacional requerido, por lo cual es necesario mejorar el hardware de procesamiento tanto de información como de gráficas que posee el dispositivo. De tal manera que se genere una respuesta más natural por parte de las animaciones holográficas.

El sistema de gestor de diálogo implementado es gratuito por lo cual funciona mediante conexión a internet, por lo cual es limitado para su libre manipulación y limitado en la voz de reproducción de respuesta. Lo que se recomienda ser mejorado o reemplazada por algún software pagado para garantizar la adquisición y reconocimiento de audios y generar diálogos de respuesta más naturales.

Se sugiere la posibilidad de reemplazar el display actual con tecnología de display nueva como por ejemplo displays de grafeno, generando una reducción en el espacio ocupado por el display, y mejorando su calidad.

5.3. TRABAJOS FUTUROS

Para trabajos futuros se presenta como posibilidad el reemplazo del prisma de proyección, que en el proyecto es una pirámide por una forma diferente como puede ser un cilindro o un cono, generando una imagen proyectada en 360° de circunferencia. Eliminando discontinuidad en el holograma proyectado. También, la implementación de un sistema de visión artificial para reconocimiento, generación de imágenes 3D a partir de una imagen 2D, para proyección en un dispositivo holográfico. Por último, la implementación de sensores Leap-Motion para el control de animaciones holográficas.

REFERENCIAS

- A. Beléndez, I. P. (1991). Holografía: Conceptos básicos, materiales de registro y aplicaciones. *Revista Española de Física* 5., 46-66.
- Azuma, R. T. (1997). *A Survey of Augmented Reality*. Malibú: Hughes Research Laboratories.
- Beato, A. (2011). *Affonso Beato*. Obtenido de Understanding Comfortable Stereography: http://www.affonsobeato.com/Affonso_Beato/Understanding_Comfortable_Stereography.html
- Beltrán Guerrero, D., & Basañez Villaluenga, L. (2008). *Técnicas y algoritmos para la adquisición*. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Blender. (2018). *Blender*. Obtenido de Blender: <https://www.blender.org/>
- Breazeal, C. (2004). Social Interaction in HRI: The Robot View. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, 181-186.
- Brooker, J. (2007). Pepper's Ghost, Metempsychosis and the Magic Lantern at the Royal Polytechnic Institution. *Early Popular Visual Culture*, 189-206.
- Calderón, J. (2011). *Proyector de imágenes virtuales en dos y tres dimensiones*.
- Cossairt Oliver S., J. N. (2007). *Occlusion-capable multiview volumetric three-dimensional display*.
- de la Horra Villacé, I. (2016). Realidad Aumentada, una evolución educativa. *Revista de Educación Mediática y TIC*, 9-22.
- Dodgson, N. (2005). Autostereoscopic 3D Displays. *Ultimate Display Technologies*, 31-36.
- Dolhoff, G. (1997). Real-Depth imaging: a new 3-D imaging technology with inexpensive direct-view (no glasses) video and other applications. *SPIE Vol. 3012*, 282-288.
- Duarte, H. A. (2007). *Montana Patente nº ES200703175A*.
- Enrique Yacuzzi, F. M. (2003). *UCEMA*. Obtenido de <https://ucema.edu.ar/publicaciones/download/documentos/234.pdf>
- Espinosa, C. P. (2015). Realidad aumentada y educación: Análisis de. *Pixel-Bit Revista de Medios y Educacion N° 46*, 187-203.
- Fombona, J., Pascual, M. S., & Madeira, M. A. (2012). Realidad aumentada, una evolución de las aplicaciones de los dispositivos móviles. *Revista de Medios y Educación*, 197-210.
- Game Programming. (26 de Septiembre de 2012). *Game Programming*. Obtenido de Game Programming: <https://howtofoldandotherstuff.wordpress.com/2012/09/26/day-1-working-with-nyar4psg-library/>
- Gatebox Inc. (Diciembre de 2016). *About Gatebox*. Obtenido de Gatebox: <https://gatebox.ai/about/>

- HOLOMAX. (2018). *H+Technology*. Obtenido de H+Technology: <https://hplustech.com>
- Ideses, I., & Yaroslavsky, L. (2004). New Method to Produce High Quality Color Anaglyphs for 3-D Visualization. *Image Analysis and Recognition ICIAR* , 273 - 280.
- Konica Minolta. (27 de Octubre de 2016). *Datos & Cifras Realidad Aumentada (AR)*. Obtenido de Business Innovation Centre: https://www.konicaminolta.es/fileadmin/content/es/Business_Solutions/Company/KM-AugmentedReality-FactsFigures-PT-ES.pdf
- Lg y Wikitude. (9 de Mayo de 2011). *androidcentral*. Obtenido de androidcentral: <https://www.androidcentral.com/lg-and-wikitude-team-launch-3d-augmented-reality-browser>
- Magic Leap, Inc. (20 de Diciembre de 2017). *Welcome to Magic Leao*. Obtenido de Magic Leap: <https://www.magicleap.com/>
- Martin, S. (22 de Octubre de 2011). *Envisioning your future in 2020*. Obtenido de Designmind: <http://designmind.frogdesign.com/blog/envisioning-your-future-in-2020.html>
- Media Markt. (2015). *MediaTrends*. Obtenido de MediaTrends: <https://www.mediatrends.es/a/45571/la-publicidad-3d-sin-gafas-de-regreso-al-futuro-ya-es-real/>
- Microsoft. (2018). *Microsoft*. Obtenido de Microsoft: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>
- Mohr, P., Kerbl, B., Donoser, M., Schmalstieg, D., & Kalkofen, D. (2015). Retargeting Technical Documentation to Augmented Reality. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (págs. 3337-3346). Seoul: ACM.
- Niantic Inc. (2016). *Pokémon Go*. Obtenido de Niantic Labs: <https://www.nianticlabs.com/>
- ROS Organization. (2014). *About ROS*. Obtenido de ROS: <http://www.ros.org/about-ros/>
- RULLENT, M. L. (2001). *España Patente nº ES02783013T*.
- Sexton, I., & Surman, P. (1999). Stereoscopic and Autostereoscopic Display Systems an In-Depth Review of Past, Presente, and Future Technologies. *IEEE Signal Processing Magazine*, 85-89.
- Spectre Hologram. (2016). *Spectre*. Obtenido de Spectre: <http://www.spectrehologram.com/spectre-smartphone-hologram.php>
- Tinoco, R. G. (31 de Agosto de 2012). *Blogthinkbig.com*. Obtenido de Blogthinkbig.com: <https://blogthinkbig.com/en-que-consiste-la-realidad-aumentada>
- Traub, A. C. (1967). Stereoscopic Display Using Rapid Varifocal Mirror Oscillations. *Applied Optics Vol 6*, 1085-1087.

Ulrich, K. T. (2013). *Diseño y Desarrollo de productos*. Mexico: Mc Graw Hill.

Youlalign. (21 de Julio de 2017). *Youlalign*. Obtenido de Youlalign:
<http://youlalign.com/es/3d-piramide>