



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



# MODELO FUNCIONAL PARA ESTEREOSCOPIA REMOTA MEDIANTE UN VISOR DE REALIDAD VIRTUAL

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTAN:

**JOSÉ BAÑUELOS PIECK**

**JOSÉ ALFREDO CARSI ROMERO**

DIRECTOR DE TESIS:

**M. EN A. LUIS YAIR BAUTISTA BLANCO**

CIUDAD DE MÉXICO, 2016



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Índice

Lista figuras.....	4
Lista Tablas .....	6
1. Introducción.....	7
2. Antecedentes.....	9
2.1 Estereoscopia.....	9
2.2 Realidad Virtual .....	10
2.2.1 Simulación interactiva.....	10
2.2.2 Interacción implícita.....	10
2.2.3 Inmersión sensorial .....	10
2.3 Evolución de la estereoscopia.....	11
3. Estado del Arte .....	13
3.1 Visores de realidad virtual .....	13
3.2 Mecanismos Estereoscópicos .....	15
4. Planteamiento del Problema .....	17
5. Objetivos.....	17
5.1 Objetivo General .....	17
5.2 Objetivos Específicos.....	17
6. Justificación .....	17
7. Diseño conceptual .....	19
7.1 Necesidades.....	19
7.2 Requerimientos .....	19
7.3 Especificaciones.....	19
7.4 Concepto.....	23
7.5 Soluciones.....	23
7.5.1 Propuesta 1: Motor de CD con engrane cónico recto.....	23
7.5.2 Propuesta 2: Servomotor y sistema de transmisión con rodamiento axial .....	24
8. Diseño Configuración .....	25
8.1 Selección de actuador .....	25
8.2 Selección cámaras de video .....	28
8.3 Selección visor de realidad virtual .....	32
8.4 Selección del controlador.....	33
8.5 Circuito electrónico empleado.....	34

8.6 Especificación de componentes a utilizar .....	35
8.7 Implementación de software para visión estereoscópica .....	36
8.8 Unity a Servomotor .....	37
9. Fabricación del modelo funcional .....	38
10. Pruebas y resultados.....	41
11. Conclusiones .....	49
12. Trabajo a futuro .....	50
13. Referencias.....	51
Apéndice I: Código de software implementado.....	54
Apéndice II: Planos mecánicos.....	54

## Lista figuras

Figura 1: Representación visión en el ser humano.....	8
Figura 2: Representación distancia interpupilar.....	8
Figura 3: Desarrollo tecnológico en realidad virtual.....	11
Figura 4: Oculus Rift.....	12
Figura 5: PlayStation VR.....	12
Figura 6: Hololens.....	13
Figura 7: HTC Vibe.....	13
Figura 8: Fove.....	13
Figura 9: Mecanismo CeDAR.....	14
Figura 10: Radical M Carbon.....	15
Figura 11: DJI Zen Muse X5.....	15
Figura 12: Ingresos estimados de realidad virtual al 2020.....	17
Figura 13: número estimado de usuarios de realidad virtual.....	17
Figura 14: Representación de flexión y extensión de la cabeza humana.....	19
Figura 15: Representación de rotación de la cabeza humana.....	19
Figura 16: Representación inclinación de la cabeza humana.....	20
Figura 17: Sistema de transmisión con engrane cónico recto y motor CD.....	22
Figura 18: Solución Servomotor y rodamiento axial.....	24
Figura 19: Distancia entre centros.....	25
Figura 20: Trazo de involuta.....	26
Figura 21: Tren de engranes .....	26
Figura 22: Rodamiento axial.....	27

Figura 23 Distancia interpupilar entre cámaras.....	28
Figura 24 Sujeción del rodamiento axial.....	28
Figura 25 Parte superior del mecanismo.....	29
Figura 26 Base de las cámaras.....	29
Figura 27 Rango de movimiento en flexión y extensión.....	30
Figura 28 Sujeción de las cámaras.....	30
Figura 29 Unión de parte superior e inferior mediante rodamiento axial.....	31
Figura 30 Diagrama de conexiones circuito electrónico.....	33
Figura 31 Servomotor 1501.....	34
Figura 32 Regulador voltaje LM317.....	34
Figura 33 Bluetooth HC-06.....	34
Figura 34 Cámara Lifecam Studio.....	35
Figura 35 Microcontrolador Arduino Uno.....	35
Figura 36 Planos dentro de Unity.....	36
Figura 37 Sistema de referencia en Unity.....	36
Figura 38 Modelo funcional final.....	37
Figura 39 Planos para corte láser.....	37
Figura 40 Tornillos de sujeción en el mecanismo.....	38
Figura 41 Tarjeta multiperforada de 5x5 [cm].....	38
Figura 42 Batería, microcontrolador y tarjeta multiperforada con sujeción a base.....	39
Figura 43 Partes de un rodamiento axial.....	40
Figura 44 Diseño de sujeción para rodamiento radial.....	40
Figura 45 Tren de engranes.....	41

<b>Figura 46 Centro de masa de la parte superior del mecanismo.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 47 Cálculo del par para movimiento de rotación.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 48 Estereoscopía en Unity.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 49 Posición neutral.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 50 Movimiento de rotación derecha.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 51 Movimiento de rotación izquierda.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 52 Movimiento de extensión.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 53 Movimiento de flexión.....</b>	<b>47</b>

#### **Lista Tablas**

Tabla 1 Comparativa visores de realidad virtual.....	14
Tabla 2 necesidades a requerimientos.....	18
Tabla 3 Requerimientos vs especificaciones.....	18
Tabla 4 Pruebas de velocidad angular en rotación.....	20
Tabla 5 Prueba de velocidad en flexión y extensión.....	21
Tabla 6 Prueba de velocidad en inclinación lateral.....	21
Tabla 7 Matriz de selección actuador.....	25
Tabla 8 Matriz de selección cámaras de video.....	27
Tabla 9 Matriz de selección visores de realidad virtual.....	31
Tabla 10 Características tarjeta de desarrollo.....	32
Tabla 11 Matriz de selección tarjeta de desarrollo.....	32
Tabla 12 Consumo de corriente en servomotores.....	44

## 1. Introducción

La realidad virtual y aumentada permite adentrarse en diversas áreas de estudio como en medicina, robótica, construcción, procesos educativos, entre otros, de tal forma que el usuario interactúa de manera más personal y real, permitiendo una mejor visualización y comprensión de los temas tratados.

En el presente texto se expone el desarrollo en diseño y construcción de un modelo funcional, qué mediante el uso de un visor de realidad virtual, le permite al usuario explorar un ambiente a distancia de manera que pueda percibir la profundidad de los objetos y que sea mediante tres movimientos naturales de la cabeza, rotación, flexión y extensión.

En el capítulo 2 se define el proceso de percepción de espacio en la visión humana, qué órganos interactúan y el concepto de distancia interpupilar; estas definiciones permiten entender el principio de funcionamiento de la visión estereoscópica. También se habla del desarrollo de aparatos que permiten este tipo de visión, su funcionamiento básico y como dieron paso a la creación de visores de realidad virtual. De igual manera, se define el concepto de realidad virtual y los tres elementos principales que la constituyen.

En el capítulo 3 se habla del estado del arte, donde se encuentra lo último en visores de realidad virtual y en mecanismos con visión estereoscópica. En cuanto a los visores de realidad virtual se mencionan los cinco más avanzados en resolución de pantalla, sensores y velocidad de procesamiento que se encuentran en el mercado, haciendo una comparativa en la cual se observa que tienen características muy similares. Se menciona también que los mecanismos con visión estereoscópica se han desarrollado principalmente en el área de la robótica y la estabilización de imagen.

En el capítulo 4 se plantea la problemática a resolver y se mencionan los factores que no han permitido su resolución. De igual manera, se hace mención de dispositivos que próximamente estarán disponibles de manera comercial.

En el capítulo 5 se habla de los objetivos que se quieren alcanzar mediante el diseño de un modelo funcional que tenga la capacidad de proyectar en un visor de realidad virtual un video en tiempo real de un entorno a distancia.

La justificación del proyecto se encuentra en el capítulo 6, donde se habla del crecimiento que ha tenido la realidad virtual en los últimos años, así como el número de usuarios que llegarán a ser en el 2020 y se explica cómo esta es un área de gran oportunidad para desarrollar tecnología.

A lo largo del capítulo 7 se tratará el diseño conceptual, donde se empieza con las necesidades del proyecto, que posteriormente son traducidas a requerimientos y estos a especificaciones, con las cuales se determina el concepto del modelo funcional. Partiendo de pruebas que se hicieron para determinar la velocidad angular de los movimientos de la cabeza, se determinaron las características de los actuadores. También gracias a las especificaciones, se seleccionó el tipo de cámaras a utilizar para lograr cumplir con los objetivos anteriormente planteados. Una vez seleccionados los actuadores y las cámaras, se procedieron con las soluciones

propuestas donde se mencionan las características de cada una y como se fueron descartando hasta llegar a la solución final.

El diseño de configuración es tratado en el capítulo 8, donde a partir de la solución final se plantean tablas comparativas para poder determinar los dispositivos a utilizar. Posteriormente, se abarca como se fue dando el diseño del mecanismo basándose en las especificaciones y los componentes electrónicos y mecánicos a utilizar.

Se prosigue con la fabricación del modelo funcional en el capítulo 9, donde se mencionan los materiales y el tipo de manufactura utilizado. Una vez terminado el modelo funcional se realizarán pruebas.

En el capítulo 10 se tienen las pruebas y resultados, donde a partir de la retroalimentación obtenida se determinaron cambios necesarios en el diseño y selección de componentes mecánicos debido a fallas que se obtuvieron en el modelo funcional. Se explica a detalle cada uno de los cambios y como estos llevaron al mecanismo a un funcionamiento de manera correcta.

Finalmente, encontramos las conclusiones y el trabajo a futuro, donde se habla de los resultados obtenidos y que mejoras se pueden hacer para pasar de un modelo funcional a un modelo comercial.

## 2. Antecedentes

### 2.1 Estereoscopia

La palabra *Estereoscopia* proviene del griego *stereo*: sólido y *skopein*: observar. [1] La estereoscopia tiene como principal objetivo obtener una imagen que de la sensación de las tres dimensiones.

Las personas viven en un entorno tridimensional, donde la percepción de espacio es creada principalmente por los ojos y su posterior interpretación se da por parte del cerebro. Las lentes de los ojos proyectan dos imágenes diferentes en las retinas, las cuales son transformadas en señales eléctricas y enviadas a través del nervio óptico al lóbulo occipital, el cual se encarga de procesar las imágenes, permitiendo una representación espacial de manera que se pueda distinguir la lejanía o cercanía de los objetos, como se observa en la figura 1. [2] Para que el cerebro humano pueda interpretar de manera adecuada la profundidad de un objeto, se toma una imagen desde la perspectiva del ojo izquierdo y otra del derecho, estas imágenes son superpuestas cuidando que exista una distancia de separación igual a la distancia entre centros de las pupilas del usuario; a esta medición se le denomina *distancia interpupilar*. Acorde a un estudio realizado en el Centro de Optometría de la Unidad Médico Didáctica de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, el cual se aplicó a una muestra de 100 sujetos, se obtuvo una media en *distancia interpupilar* de 63.5 [mm] como se muestra en la figura 2. [3]

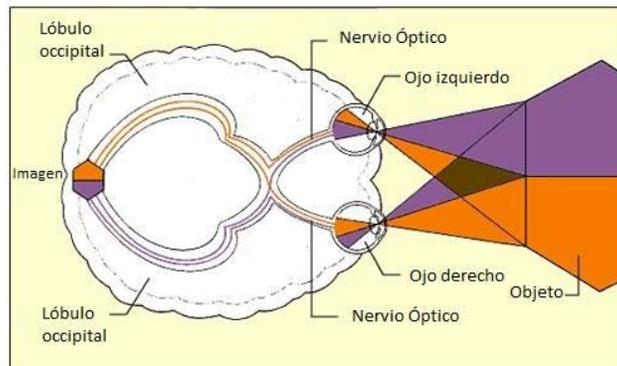


Figura 1. Representación visión en el ser humano.



Figura 2. Representación distancia interpupilar. [3]

## **2.2 Realidad Virtual**

La realidad virtual es un entorno de escenas u objetos de apariencia real, que crea en el usuario la sensación de estar inmerso en él. Dicho entorno es contemplado por el usuario a través de un dispositivo conocido como gafas o visor de realidad virtual. Este puede ir acompañado de otros dispositivos, como guantes o trajes con actuadores, que permitan una mayor interacción con el entorno, así como la percepción de diferentes estímulos que intensifican la sensación de realidad.

La aplicación de la realidad virtual, aunque centrada inicialmente en el terreno del entretenimiento y de los videojuegos, se ha extendido a otros campos, como la medicina, la arqueología, la creación artística, el entrenamiento militar o las simulaciones de vuelo.

Javier Boo, profesor de la Universidad Politécnica de Cataluña, establece que una experiencia será de realidad virtual si contiene los siguientes tres elementos [4]:

- Simulación interactiva
- Interacción implícita
- Inmersión sensorial

### **2.2.1 Simulación interactiva**

Una aplicación de realidad virtual es una simulación en el sentido de que se recrea un mundo virtual que sólo existe como una representación digital en la memoria de un ordenador. El hecho de que la simulación sea interactiva es lo que distingue la realidad virtual de una animación. En una animación, al igual que en el cine, los espectadores son individuos pasivos en el sentido que no pueden alterar el contenido de las imágenes que ven, éstas han sido grabadas previamente desde un determinado punto de vista o siguiendo una determinada trayectoria. En cambio, en un sistema de realidad virtual, el usuario puede escoger libremente su movimiento por la escena y, por tanto, sus acciones afectan de forma directa a las imágenes que verá.

### **2.2.2 Interacción implícita**

En la realidad virtual, el sistema captura la voluntad del usuario implícita en sus movimientos naturales, es decir, movimientos naturales que se realizan para llevar a cabo una acción. Por ejemplo, el control de la cámara virtual en un sistema de realidad virtual, la cámara se actualiza en función de los movimientos de la cabeza del usuario. Si el usuario quiere ver la parte de mundo virtual que tiene detrás, no tiene que utilizar ningún comando ni mover el ratón, tan solo deberá mover la cabeza de manera natural.

### **2.2.3 Inmersión sensorial**

La inmersión sensorial representa la desconexión de los sentidos del mundo real y la conexión al mundo virtual. Como consecuencia, el usuario deja de percibir el entorno que le rodea y pasa a estar inmerso dentro del mundo virtual que recrea el computador en tiempo real. De los diferentes órganos de los sentidos, la vista es el que nos proporciona una mayor cantidad de información y a la vez es la que da una mayor sensación de presencia. Por este motivo, todo sistema

de realidad virtual debe proporcionar estímulos adecuados como mínimo para el sentido de la vista, complementándose con estímulos acústicos y hápticos, los cuales permiten una retroalimentación física hacia el usuario.

Una vez explicados estos conceptos, se hablará acerca de los antecedentes que permitieron el desarrollo de la realidad virtual y visión estereoscópica. Dado que ambas áreas mantienen una estrecha relación, el desarrollo se fue dando de manera conjunta.

### **2.3 Evolución de la estereoscopía**

Los antecedentes se remontan a la época del Renacimiento, cuando Leonardo da Vinci, inspirándose en conocimientos que provienen de la antigüedad con los trabajos de Euclides y de Galiano, explicó el fenómeno de la visión binocular cuya síntesis ofrece la sensación de relieve.

El primero en idear un aparato para proporcionar la visión en relieve, fue el físico inglés Charles Wheatstone (1802-1875); el cual ideó el estereoscopio, presentado en Londres en 1838. El aparato permitía la visión correspondiente a 65 mm de distancia que hay entre los ojos.

En 1844, Sir David Brewster (1781-1868), físico escocés e inventor del caleidoscopio, se le atribuye la obtención de imágenes estereoscópicas mediante fotografías.

En 1893, surge el veráscopo de Richard, el cual fue la primera cámara manual estereoscópica comercializada, alcanzando un total de 52.000 unidades vendidas y más de 78 modelos en 60 años.

En 1961, Corneau y Bryan, empleados de Philco Corporation, construyeron el primer casco de realidad virtual. Este dispositivo permitía ver imágenes en movimiento y estaba dotado de un sensor magnético que determinaba la orientación de la cabeza del usuario.

El concepto de realidad virtual surge en 1965, cuando Ivan Sutherland declaró en un artículo llamado *The ultimate display* para la revista *Information processing techniques* lo siguiente. [5]

*“La pantalla es una ventana a través de la cual uno ve un mundo virtual. El desafío es hacer que ese mundo se vea real, actúe real, suene real, se sienta real”.*

En 1971, en el Reino Unido se comenzó a fabricar simuladores de vuelo con el uso de pantallas, pero fue un año más tarde, en 1972, cuando General Electric desarrolló el primer simulador computarizado de vuelo. Estos operaban en tiempo real, aunque los gráficos eran bastante primitivos. Y pocos años después, en 1979, los militares empezaron a experimentar con cascos de simulación.

En 1980, Andy Lippman junto con un grupo de investigadores desarrollaron el primer mapa interactivo virtual de la ciudad de Aspen, Colorado. La grabación fue realizada por medio de cuatro cámaras, tomando una foto cada tres metros y reproducidas a 30 fotogramas por segundo.

En 1985, Mike McGreevy y Jim Humphries en conjunto con la NASA, desarrollaron el sistema *Visual Environment Display System*, el cual consistió en las primeras estaciones dotadas de un campo de visión amplio, estéreo, con sensores de posición en el casco de realidad virtual; cuya utilidad estaba enfocada a los futuros astronautas en la NASA.

En 1990, surge *Virtuality*, un sistema que incluía un casco, gafas estereoscópicas y guantes con sensores de movimiento, todo dentro de una cabina.

Los fabricantes de consolas de videojuegos no quisieron quedarse atrás en la industria de la realidad virtual. En 1993 surgió el *Sega Virtual Reality*, el cual tuvo no obtuvo gran éxito debido a que provocaba fuertes mareos y malestar en el usuario. Por su parte, Nintendo crea el *Virtual Boy*, una consola que debido a sus gráficos en rojo y negro, también provocaba mareos y dolor de cabeza.

En 2012 surge *Oculus Rift*, los cuales dan inicio a la era de nuevos visores de realidad virtual al incorporar diversas mejoras, entre ellas, pantalla con mejor resolución, sensores de mayor velocidad y menor precio que los visores antiguos. [6]



*Figura 3.* (A) El estereoscopio inventado por Charles Wheatstone (1802-1875). [7] (B) El caleidoscopio de Sir David Brewster (1781-1868). [8] (C) El veráscopo de Richard. [9] (D) Ivan Sutherland y su visor de realidad virtual. [10] (E) El primer mapa interactivo virtual de la ciudad de Aspen, Colorado. [11] (F) El "Visual Environment Display System" desarrollado por la NASA. [12] (G) *Virtuality* primera cabina de realidad virtual. [13] (H) Virtual Boy de Nintendo. [14]

### 3. Estado del Arte

La realidad virtual ha presentado un gran crecimiento, se estima que 10.8 millones de personas tendrán un visor de realidad virtual y que se invertirá un aproximado de \$5.1 billones dls. durante el año 2016, esto acorde a un estudio realizado por la empresa Superdata. [15]

A continuación, se listan los 5 dispositivos, que, gracias a sus especificaciones técnicas, representan el estado del arte en visores de realidad virtual.

#### 3.1 Visores de realidad virtual

##### Oculus Rift

Éste dispositivo rastrea los movimientos de la cabeza para proveer al usuario de imágenes en 3D gracias a sus dos pantallas. A pesar de que Oculus Rift contó con dos versiones de prueba, la edición comercial saldrá en marzo de 2016 con un precio de \$599.00 dls.



Figura 4. Oculus Rift. [16]

##### PlayStation VR

PlayStation VR es la apuesta de realidad virtual de Sony, el cual comenzó con el nombre de Project Morpheus. A diferencia de Oculus Rift, no se requiere una computadora de grandes capacidades para poder correr las aplicaciones, en este caso, los usuarios lo podrán usar con la consola de videojuegos PlayStation 4.



Figura 5. PlayStation VR. [17]

## Hololens

El visor HoloLens combina las tecnologías de realidad virtual y realidad aumentada, mezclando elementos del mundo real con imágenes holográficas. Utiliza una tecnología similar a la de Kinect para el reconocimiento de gestos y comandos por voz, el visor cuenta con un campo de visión de 120 [°] y es capaz de reproducir imágenes en alta definición. No requiere conexión a una computadora ya que el dispositivo cuenta con su propia versión de Windows 10.



Figura 6. Hololens. [18]

## HTC Vive

Vive es la apuesta de realidad virtual por parte de HTC, en colaboración con Valve. Se prevé que el cuerpo del usuario podrá ser usado como control. De esta forma el aparato se encargará en marcar nuestra posición a la hora de movernos por escenarios en espacios físicos de 4.5 x 4.5 [m], lo que lo hace ideal para aplicaciones de turismo virtual.



Figura 7. HTC Vive. [19]

## Fove

Fove es una nueva propuesta financiada por medio de *Kickstarter* para otro set de realidad virtual. Su distintivo radica en que posee un sistema que permite hacer seguimiento de los ojos y con ello utilizar la mirada para manipular lo que ocurre en pantalla de otra forma. Fove hace uso de su propia plataforma de software, aunque también es compatible con los motores gráficos *Unity*, *Unreal* y *CryEngine*.



Figura 8. Fove. [20]

Tabla 1. Comparativa visores de realidad virtual					
Modelo	Pantalla	Resolución [px]	Cuadros por segundo	Campo de visión	Sensores
Oculus Rift	Oled	2160x1200	90	110 [°]	Acelerómetro, giroscopio, magnetómetro, posicionamiento 360 [°]
HTC Vibe	Oled	2160x1200	90	110 [°]	Acelerómetro, giroscopio, magnetómetro, cámara frontal
PlayStation VR	Oled	1920*1080	120	100 [°]	Acelerómetro, giroscopio, seguimiento de ojos
Fove	Oled	2560*1440	60	100 [°]	Acelerómetro, giroscopio, magnetómetro, seguimiento de ojos y cabeza

### 3.2 Mecanismos Estereoscópicos

En cuestión de mecanismos que contengan dos cámaras para lograr una visión estereoscópica, es en el área de la robótica donde se ha logrado una mayor aproximación a este tipo de sistemas; estos mecanismos son robustos y generalmente voluminosos.

Un ejemplo es el mecanismo CeDAR, que por sus siglas en inglés significa *Cable Drive Active Vision Robot* y fue realizado por la Universidad Nacional de Australia. Este mecanismo tiene un peso de 907 [g] y utiliza dos motores de corriente directa en conjunto de un sistema de poleas. [21]

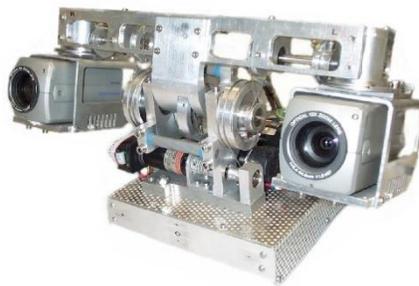


Figura 9. Mecanismo CeDAR.

También se han desarrollado diversos mecanismos para vehículos aéreos no tripulados, pero cabe destacar que estos mecanismos van enfocados al uso de una sola cámara. A continuación, se presentan los mecanismos más avanzados dentro de esta área.

Este tipo de mecanismo es llamado Gimbal y es muy común en aplicaciones que requieren estabilización de imagen al igual que la habilidad para poder manipular la posición de la cámara. En este caso se observa el modelo *Radical M Carbon Gimbal*, el cual está hecho de fibra de carbono, lo cual hace que este modelo sea muy liviano con un peso de 520 [g], sin contar la cámara a utilizar. Tiene 3 grados de libertad (GDL), cuenta con tres motores de corriente directa sin escobillas, utiliza un microcontrolador de 32 [bits] y contiene una IMU (unidad de medición inercial). Su precio es de € 1120.00 [22]



Figura 10. *Radical M Carbon*.

Otro mecanismo que representa el estado del arte dentro de este segmento es el *DJI Zen Muse X5*. Incluye una cámara capaz de grabar en 4K en conjunto con estabilización de imagen. Utiliza motores de corriente directa sin escobillas, cuenta con una IMU y su precio es de \$2200.00 dls. [23]



Figura 11. *DJI Zen Muse X5*

#### 4. Planteamiento del Problema

Existen situaciones en la vida cotidiana de las personas donde no pueden experimentar de manera presencial un fenómeno o ambiente dado que resultan inaccesibles o incluso peligrosos como explorar lugares donde exista un alto índice de radiación o lugares donde hayan ocurrido desastres naturales. Es por eso que desde hace algunos años se han inventado artefactos que le permitan al ser humano tomar mediciones u observar fenómenos a distancia, sin embargo, estos no han sido diseñados para que el operador sienta una verdadera inmersión en el ambiente que está explorando, esto debido a que se suele utilizar pantallas planas que solo permiten la interpretación en dos dimensiones y suelen dejar a un lado otros sentidos aparte de la visión.

Actualmente, existen mecanismos que presentan visión estereoscópica, desafortunadamente no han sido desarrollados para su uso comercial y no permiten que el usuario interactúe utilizando movimientos naturales de la cabeza y que aprecien la profundidad de los objetos.

#### 5. Objetivos

##### 5.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo funcional, que simule los movimientos naturales de la cabeza del usuario mediante la conexión de un mecanismo con un visor de realidad virtual, que permita explorar y apreciar la profundidad del entorno en un ambiente a distancia.

##### 5.2 Objetivos Específicos

- Lograr la sensación de visión estereoscópica mediante el uso de dos cámaras a través de un visor de realidad virtual.
- Diseñar un mecanismo que pueda ser controlado mediante movimientos naturales de la cabeza.
- Que el mecanismo sea capaz de alcanzar la posición y velocidad angular similar al movimiento natural de la cabeza humana.

#### 6. Justificación

La realidad virtual está entre las tecnologías que más oportunidades de crecimiento tienen en el futuro. Acorde al artículo *Lentes de realidad virtual*, publicado en el sitio *Business insider* [24], la realidad virtual ha sido asociada principalmente a videojuegos. Sin embargo, las aplicaciones se están diversificando a otros campos como la creación de parques de diversión temáticos, reproducción de videos y hardware, principalmente. En la figura 12, se muestra la proporción que ocupará cada segmento para el año 2020, alcanzando un valor en el mercado aproximado de \$30 billones de dls. Esto acorde a la empresa *Digi-Capital*.

Ingresos estimados de la Realidad Virtual al 2020

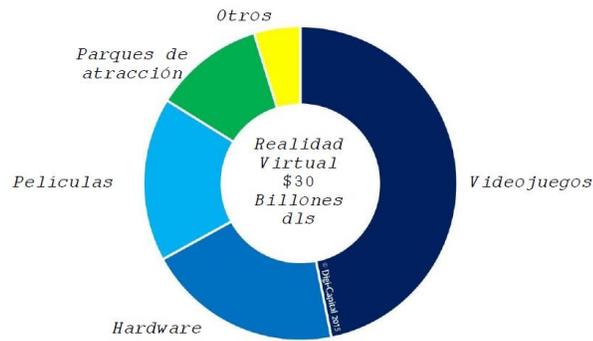


Figura 12. Ingresos estimados de realidad virtual al 2020. [25]

Acorde a un estudio realizado por la empresa Statista [26], el número de usuarios de realidad virtual comenzará a crecer de manera acelerada a partir del 2016 con los nuevos lanzamientos de visores, alcanzando un aproximado de 171 millones de usuarios al 2018. En la figura 13 se muestra el crecimiento aproximado por año y distribuido por tipo de usuario; es importante destacar que los usuarios nuevos representan en mayor proporción a este crecimiento debido a la innovación que presenta.

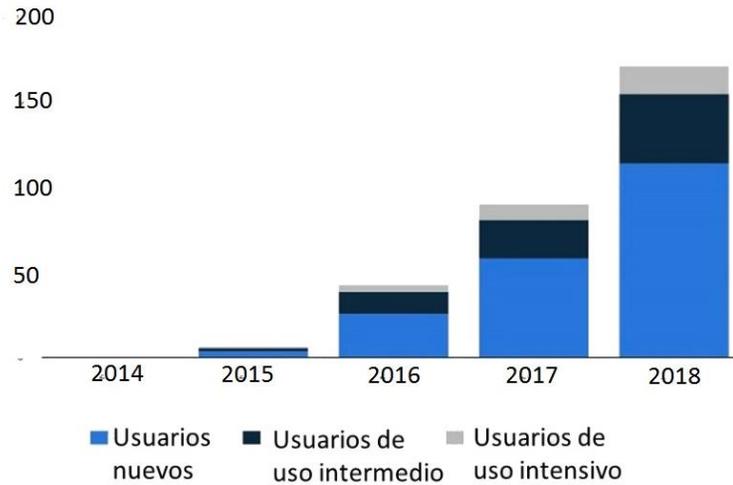


Figura 13. Número estimado de usuarios en millones. [26]

De acuerdo a la información presentada, se puede apreciar que desarrollar software y hardware en el área de la realidad virtual es una gran oportunidad para innovar y resulta ser un mercado muy lucrativo. Es por todo lo anterior que se decide desarrollar un mecanismo que combine la realidad virtual con la visión estereoscópica de las personas.

## 7. Diseño conceptual

En esta fase del diseño se dará solución a las necesidades planteadas a partir de la justificación, en la cual se habló del área de oportunidad. Posteriormente, estas necesidades serán traducidas a especificaciones y requerimientos con el objetivo de generar diferentes soluciones hasta llegar al concepto final.

### 7.1 Necesidades

- El dispositivo alcanzará el mismo rango de movimiento de la cabeza.
- El sistema de visión permitirá observar la profundidad del entorno.
- El dispositivo podrá moverse a una velocidad angular similar a la del usuario.
- El usuario sentirá inmersión visual del ambiente donde se encuentre el dispositivo.

### 7.2 Requerimientos

Una vez planteadas las necesidades, se generó la tabla 2, donde se muestra la traducción a requerimientos.

Tabla 2, necesidades a requerimientos	
Necesidades	Requerimientos
El dispositivo podrá moverse a una velocidad angular similar a la del usuario	Incorporar actuadores y mecanismo con un rango de movimiento acotado
El dispositivo alcanzará el mismo rango de movimiento de la cabeza	
El sistema de visión permitirá observar la profundidad del entorno	Implementación de cámaras de video
El usuario sentirá inmersión visual del ambiente donde se encuentre el dispositivo	Uso de sistema de video que aisle al usuario de su entorno

### 7.3 Especificaciones

Tabla 3, requerimientos vs especificaciones	
Requerimientos	Especificaciones
Incorporar actuadores y mecanismo con un rango de movimiento amplio	Actuadores con un rango de movimiento de 0° a 180° y con velocidad mínima de 0.75 [rev/s]
Implementación de cámaras de video	Cámaras de alta definición
Uso de sistema de video que aisle al usuario de su entorno	Uso de visor de realidad virtual

Los actuadores tendrán un rango de 0 a 180 [°] esto debido a que la cabeza humana presenta los siguientes movimientos. [27]

- Flexión: movimiento de la cabeza hacia el pecho. A partir de una posición neutral, es decir, la persona viendo hacia enfrente, se tiene un rango promedio de 40 a 60 [°].
- Extensión: movimiento de la cabeza hacia atrás partiendo de una posición neutral. Tiene un rango promedio de 45 a 70[°].

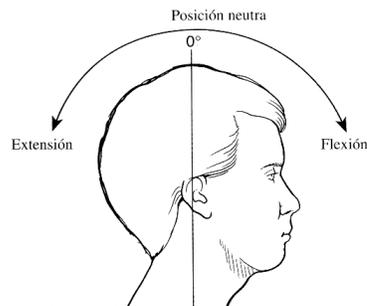


Figura 14. representación de flexión y extensión de la cabeza humana. [27]

- Rotación: movimiento giratorio de izquierda a derecha, manteniendo la vista perpendicular al suelo. Tiene un rango promedio de 0 a 180[°]

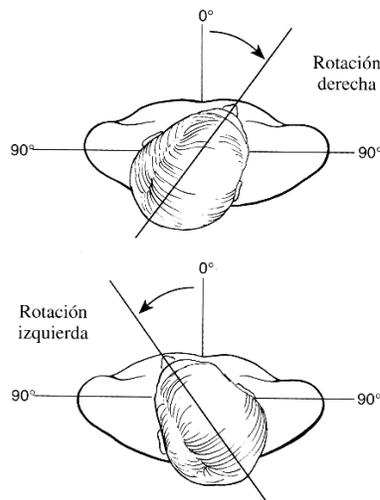
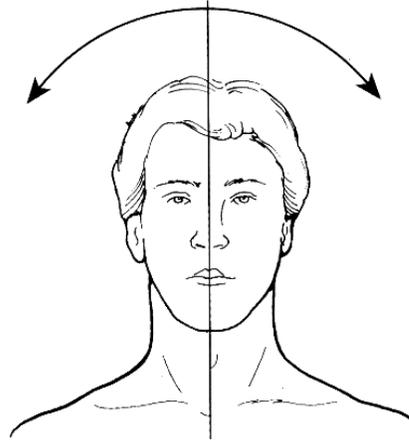


Figura 15, representación de rotación de la cabeza humana. [27]

- **Inclinación lateral izquierda y derecha:** movimiento en que se aproxima el pabellón auricular al hombro, hacia la derecha o izquierda. Tiene un rango promedio de 0 a 45[°].



*Figura 16. representación inclinación lateral de la cabeza humana. [27]*

Acorde a la información presentada, los movimientos y rotaciones de la cabeza están limitados a 180[°]. Es por esto que se justifica la elección de un actuador que cumpla con el rango de valores especificado.

Se realizaron pruebas para determinar la velocidad de cada uno de los movimientos de la cabeza. La prueba consistió en tomar el tiempo que tarda una persona en realizar cada uno de estos movimientos tan rápido como pudiese dentro del rango establecido; se tuvo una muestra de 10 personas para realizar las mediciones y se calculó la velocidad promedio. A continuación, se presentan los datos obtenidos.

<b>Tabla 4. Pruebas de velocidad angular en rotación</b>				
<b>Persona</b>	<b>Tiempo [s]</b>	<b>Grados</b>	<b>Velocidad angular [rpm]</b>	<b>[rps]</b>
<b>1</b>	<b>0.6</b>	<b>180 [°]</b>	<b>50</b>	<b>0.8333</b>
<b>2</b>	<b>0.74</b>		<b>40.5405405</b>	<b>0.6756</b>
<b>3</b>	<b>0.73</b>		<b>41.0958904</b>	<b>0.6849</b>
<b>4</b>	<b>0.6</b>		<b>50</b>	<b>0.8333</b>
<b>5</b>	<b>0.67</b>		<b>44.7761194</b>	<b>0.74627</b>
<b>6</b>	<b>0.59</b>		<b>50.8474576</b>	<b>0.8474</b>
<b>7</b>	<b>0.7</b>		<b>42.8571429</b>	<b>0.7142</b>
<b>8</b>	<b>0.72</b>		<b>41.6666667</b>	<b>0.6944</b>
<b>9</b>	<b>0.65</b>		<b>46.1538462</b>	<b>0.7692</b>
<b>10</b>	<b>0.68</b>		<b>44.1176471</b>	<b>0.7352</b>
<b>Promedio</b>				<b>0.7534</b>

En esta prueba se puede apreciar que el promedio de velocidad angular es de 0.7534 [rps].

<b>Tabla 5. Prueba de velocidad en flexión y extensión</b>				
<b>Persona</b>	<b>Tiempo [s]</b>	<b>Grados</b>	<b>Velocidad angular [rpm]</b>	<b>[rps]</b>
1	0.66	140 [°]	35.353	0.5892
2	0.92		25.362	0.4227
3	1.06		22.013	0.3669
4	1.06		22.013	0.3669
5	0.7		33.333	0.5556
6	1		23.333	0.3889
7	1.08		21.605	0.3601
8	0.8		29.167	0.4861
9	1.05		22.222	0.3704
10	0.92		25.362	0.4227
<b>Promedio</b>				<b>0.4329</b>

En esta prueba se puede apreciar que el promedio de velocidad angular es de 0.4329 [rps].

<b>Tabla 6. Prueba de velocidad en inclinación lateral</b>				
<b>Persona</b>	<b>Tiempo [s]</b>	<b>Grados</b>	<b>Velocidad angular [rpm]</b>	<b>[rps]</b>
1	0.92	90 [°]	16.3095	0.2718
2	1.11		13.5178	0.2253
3	1.18		12.7159	0.2119
4	0.93		16.1342	0.2689
5	0.7		21.4354	0.3573
6	1.2		12.5040	0.2084
7	0.78		19.2369	0.3206
8	0.72		20.8400	0.3473
9	0.94		15.9625	0.2660
10	0.93		16.1342	0.2689
<b>Promedio</b>				<b>0.2747</b>

En esta prueba se puede apreciar que el promedio de velocidad angular es de 0.2747 [rps].

Gracias a los valores obtenidos, se puede observar que la prueba de rotación presentó la mayor velocidad angular, la cual fue de 0.75 [rps]. Esto indica que el actuador seleccionado deberá tener una velocidad angular mínima del valor mencionado en condiciones de carga para que el mecanismo siga los movimientos a la par del usuario.

Se pretende el uso de un visor de realidad virtual ya que permite la inmersión dentro de un entorno a distancia, permitiéndole al usuario olvidar estímulos del ambiente en que se encuentra. De igual manera, se plantea el uso de cámaras de alta definición para obtener un mejor detalle en la imagen y evitar malestar en el usuario.

#### **7.4 Concepto**

A partir de las especificaciones y su justificación, se procede a la generación del concepto:

*Un dispositivo que permita la exploración de un ambiente a distancia, siguiendo los movimientos y velocidades angulares de la cabeza de un usuario, que, a su vez, mediante cámaras de video de alta definición, pueda apreciar a través de un visor de realidad virtual la profundidad de un entorno; provocando una inmersión visual en el ambiente donde se encuentre el mecanismo.*

#### **7.5 Soluciones**

Las soluciones se generan tomando en cuenta qué sistema de transmisión y tipo de motor serían los más adecuados. Se busca que la carga del mecanismo no esté soportada directamente en el eje del motor, de manera que el eje transmita directamente el movimiento. De igual manera, se busca diseñar un sistema de transmisión que permita tener los componentes del mecanismo balanceados para que el movimiento se dé de forma uniforme y sin vibraciones.

##### **7.5.1 Propuesta 1: Motor de CD con engrane cónico recto**

La primera propuesta para el sistema de transmisión y tipo de motor, es un tren de engranes cónicos de dientes rectos, lo suficientemente grandes para poder contener el motor y la estructura de manera que gire sobre su propio eje. Con este sistema se resuelve el movimiento de rotación del mecanismo, como se puede apreciar en la figura 17.

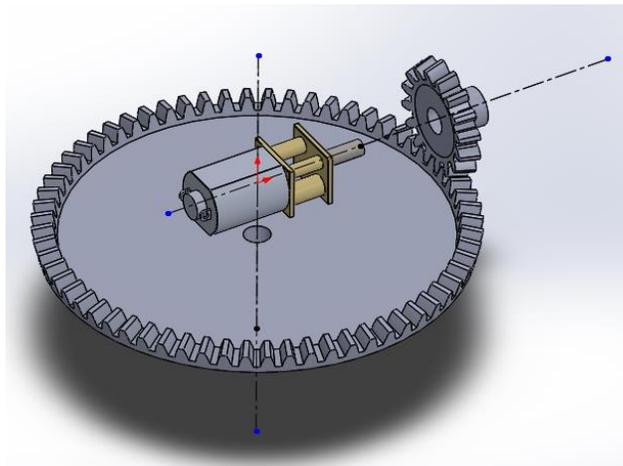


Figura 17. Sistema de transmisión con engrane cónico recto y motor de CD.

Para esta solución se seleccionó un motor de corriente directa, el cual puede tener reducciones ofreciendo diferentes pares de torsión y velocidades angulares sin tener que cambiar las dimensiones. Gracias a esto se pudo generar el concepto y al final determinar cuál sería el par necesario.

Por las características del motor de CD, se puede obtener una rotación de  $360[^\circ]$ , a pesar de que la cabeza humana tiene un rango de giro de  $180[^\circ]$ , el usuario podría girar sobre su propio eje aumentando la exploración del entorno.

La manufactura del tren de engranes cónicos tiene un alto costo debido a su complejidad y precisión requerida para que no presente ningún tipo de falla, como, por ejemplo, mal acoplamiento entre dientes. El control de posición de un motor de CD resulta más complicado que el de otro tipo de motores, teniendo que incorporar sensores que a su vez incrementa el número de piezas en el mecanismo, lo cual va en contra de mantenerlo lo más compacto posible. Debido a lo anterior, se descarta esta solución y se da inicio a la siguiente.

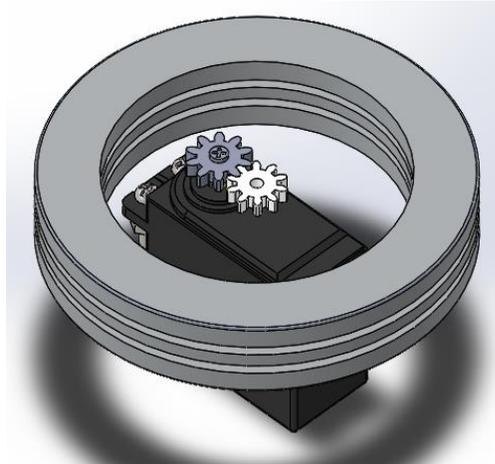
#### **7.5.2 Propuesta 2: Servomotor y sistema de transmisión con rodamiento axial**

Como se comentó en la propuesta anterior, el control del motor de CD incorpora una mayor cantidad de componentes, por lo que se propone el uso de servomotores, los cuales nos permiten controlar la posición de manera sencilla ya que cuentan con un módulo de control incorporado.

En cuanto a los movimientos de la cabeza, se redujo a rotación, flexión y extensión; esto debido a que, si se consideraban también los movimientos laterales, el mecanismo ocuparía mayor espacio al tener que incorporar otro actuador.

Como se menciona en la solución anterior, para evitar concentrar la carga del mecanismo en el eje del servomotor encargado de la rotación, se propone un tren de engranes para poder transmitir el movimiento del motor al eje central de la estructura.

En cuanto al sistema de transmisión, se propone un rodamiento axial para soportar el peso del mecanismo de tal manera que el servomotor transmita el movimiento con una baja resistencia. La forma de elegir el rodamiento no será basada en sus capacidades físicas, si no, en el tamaño que se requiera para que, tanto el servomotor como el tren de engranes estén contenidas dentro del mismo como se observa en la figura 18.



*Figura 18. Solución Servomotor y rodamiento axial*

## **8. Diseño Configuración**

De las soluciones presentadas anteriormente, se considera que la segunda es la más viable debido a que resulta más sencillo utilizar un rodamiento para la transmisión de movimiento que manufacturar un engrane cónico. De igual manera, el control de los servomotores no ocupa mayor cantidad de espacio ni requiere más conexiones, esto favorece que se pueda realizar un mecanismo más compacto.

Se comienza el diseño de configuración argumentando por qué conviene utilizar un servomotor y como se seleccionó el modelo.

### **8.1 Selección de actuador**

Para determinar qué tipo de actuador es conveniente utilizar se realizó la siguiente matriz de decisión, en la cual se comparan los siguientes tipos de actuadores.

- Motor a Pasos.
- Motor de CD.
- Servomotor.

La métrica utilizada estará dada por los siguientes tres parámetros: Alto, medio y bajo; el primero tiene un valor de 3 puntos, el segundo tiene un valor de 2 puntos y el tercero un valor de 1 punto; existe la posibilidad de acomodar los parámetros en diferente orden, pero el valor de puntos permanece acorde a la posición establecida. Posteriormente, el valor que resulte del parámetro escogido será multiplicado por el peso que se haya dado, de esta manera se tendrá la calificación para ese criterio. La suma de las calificaciones para cada criterio dará la calificación total en cada componente evaluado. Se deberá escoger el que obtenga la mayor calificación a menos que se argumente lo contrario. Todas las matrices de selección contenidas en este documento se rigen bajo esta metodología.

Tabla 7. Matriz de selección actuador								
Criterios	Métrica	Peso	Motor a Pasos		Motor CD		Servomotor	
			Pts.	Calif.	Pts.	Calif.	Pts.	Calif.
Circuito de control sencillo	Alto, medio y bajo	3	2	6	3	9	3	9
Costo	Alto, medio y bajo	2	2	4	2	4	2	4
Velocidad	Alto, medio y bajo	3	1	3	3	9	2	6
Par	Alto, medio y bajo	2	3	6	1	2	2	4
Geometría	Alto, medio y bajo	2	2	4	1	2	3	6
<b>Total</b>			<b>17</b>		<b>17</b>		<b>20</b>	

Se puede apreciar que el servomotor resulta la mejor opción. El factor determinante con respecto a los otros dos actuadores resulta ser que los servomotores ya tienen incorporado un circuito de control que simplifica la manera de posicionar el eje a un valor deseado. De igual manera, el uso de este actuador favorece realizar un mecanismo más compacto al no requerir más componentes electrónicos para la parte de control.

Para mantener un movimiento uniforme y una relación de transmisión constante se diseñó un tren de engranes, en el cual la única restricción que se tuvo fue la distancia entre centros, es decir, la distancia entre el eje del servomotor y el eje del mecanismo, la cual es de 10.25 [mm] como se observa en la figura 19.

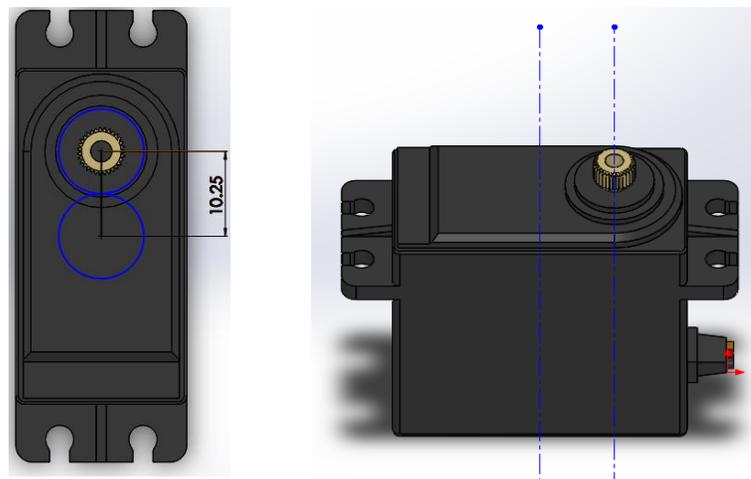


Figura 19. Distancia entre centros

Tomando en cuenta esta restricción y la geometría, se procedió con el diseño en el cual se mantuvo una relación 1:1 entre los engranes para mantener las características del servomotor ya que no era necesario incrementar la velocidad o el par.

Los dientes fueron diseñados con involuta para que el movimiento presentara menor vibración y desgaste. Para lograr una involuta con mayor resolución, se trazó una línea tangente al círculo base, cuya magnitud es igual a la longitud de arco que existe entre una referencia previamente establecida y el punto de inicio de la recta tangente cada 3[°] como se observa en la figura 20.

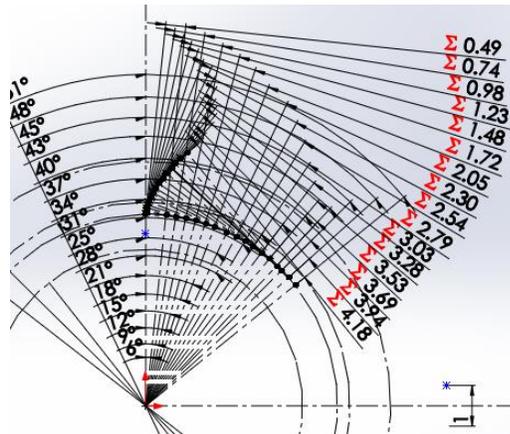




Figura 22, Rodamiento axial

## 8.2 Selección cámaras de video

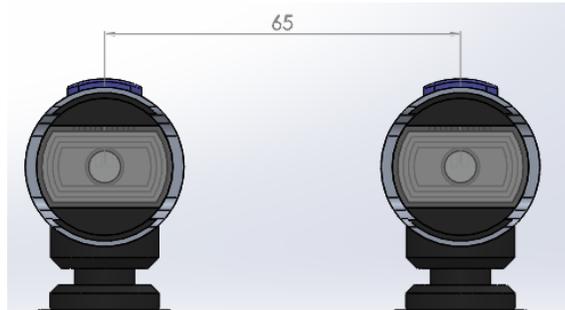
Para la selección de las cámaras de video, se contemplan tres modelos distintos, las cuales ya han sido usadas anteriormente, lo cual permite conocer sus características y también se cuenta con acceso a ellas. A continuación, se enlistan los modelos a evaluar mediante una matriz de selección.

- Microsoft, LifeCam Studio.
- Microsoft, LifeCam HD 3000.
- Microsoft, LifeCam VX 2000.

Tabla 8. Matriz de selección cámaras de video								
Criterios	Métrica	Peso	LifeCam HD 3000		LifeCam Studio		LifeCam VX-2000	
			Pts.	Calif.	Pts.	Calif.	Pts.	Calif.
Alta definición	1080p/720	5	1	5	2	10	0	0
Tamaño	Bajo, medio y alto	5	3	15	2	10	3	15
Costo	Bajo, medio y alto	2	2	4	2	4	3	6
Calidad imagen	Alta, media y baja	3	2	6	3	9	1	3
<b>Total</b>			<b>30</b>		<b>33</b>		<b>24</b>	

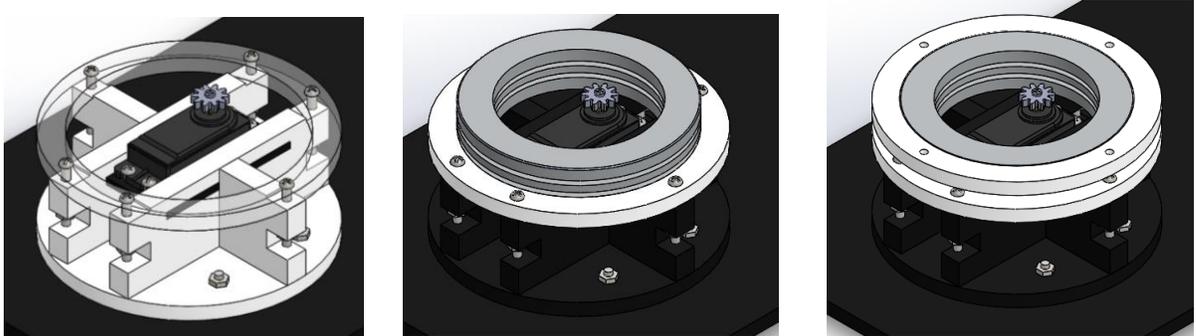
Se puede observar que el modelo con mayor puntuación es la LifeCam Studio. Esta cámara es la que presenta la mejor calidad de imagen y además incorpora imagen HD 1080p, lo cual es un parámetro importante para el funcionamiento de la vista estereoscópica en el mecanismo gracias a que las imágenes se asemejan a las reproducidas en los ojos de los seres humanos.

Como se vio en los antecedentes, la distancia interpupilar tiene un rango de 45 a 75 [mm], con un promedio de 65 [mm]. Tomando en cuenta el promedio, se mantuvo esta distancia entre centros de las cámaras establecidas.



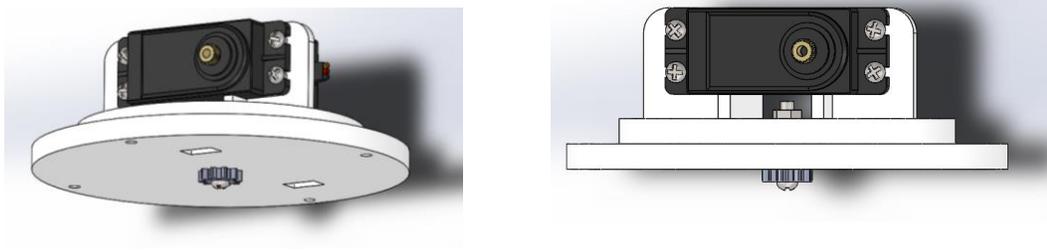
*Figura 23. Distancia interpupilar entre cámaras*

La parte inferior, la cual da soporte al mecanismo, es diseñada basándose en el tamaño del rodamiento, el cual se sujeta a la parte inferior y superior del mecanismo mediante un anillo a presión como se muestra en la figura 24. Este a su vez esta acoplado a cada base con tornillos para evitar que exista movimiento entre las piezas. En la base inferior, fue colocado el servomotor encargado de la rotación entre unas barras laterales, las cuales lo mantienen inmóvil en el centro.



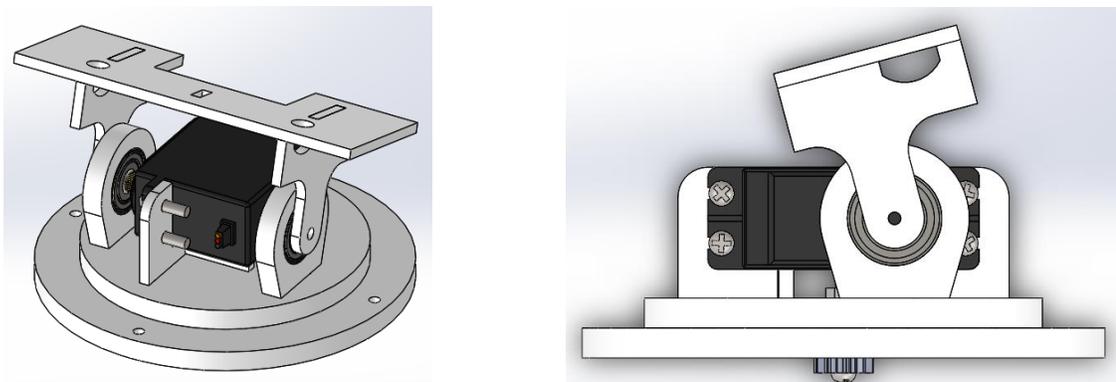
*Figura 24. Sujeción del rodamiento axial*

En la parte superior se encuentra el servomotor encargado de la flexión y extensión, el cual se encuentra atornillado a unas barras laterales que están pegadas a la base superior. En la parte inferior de la base, encontramos el engrane cuya función es transmitir el movimiento del servomotor inferior como se observa en la figura 25.



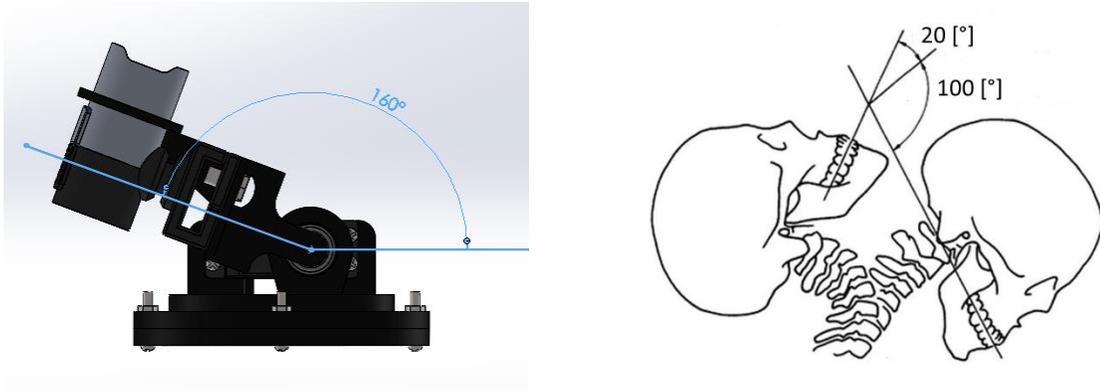
*Figura 25. Parte superior del mecanismo*

Para que el peso de las cámaras no sea soportado directamente en el eje del servomotor y que su única función sea la transmisión de movimiento, se usaron dos rodamientos, en los cuales se acoplaron los soportes para la base de las cámaras como se muestra en la figura 26.



*Figura 26. Base de las cámaras*

La base de las cámaras fue diseñada de forma que pudiera moverse en un rango de 0 a 160[°] como se muestra en la figura 27, el cual es más grande que el rango establecido en las especificaciones, el cual fue de 140 [°]. Sin embargo, se hizo para que el usuario pudiera ver el entorno no solo moviendo su cabeza si no también con la ayuda de su cuerpo.



*Figura 27. Rango de movimiento en flexión y extensión.*

Para mantener las cámaras alineadas y la distancia de separación de 65 [mm], se colocó un soporte como se muestra en la figura 28.



*Figura 28. Sujeción de las cámaras*

Finalmente, se obtiene un modelo que está compuesta por dos partes unidas mediante un rodamiento axial como se muestra en la figura 29. Cada una con una función en específico, la parte inferior se encarga de la rotación y la parte superior, de la flexión y extensión.

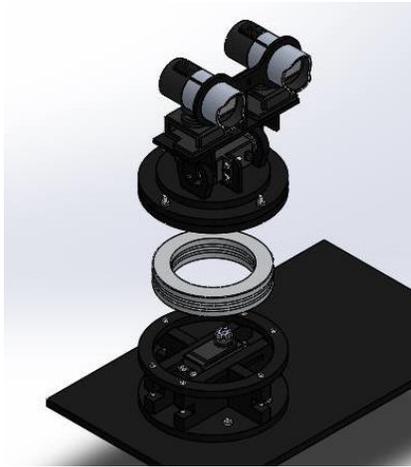


Figura 29. Unión de parte superior e inferior mediante rodamiento axial

Para que el usuario pueda visualizar el video que se transmite por las cámaras, se plantea el uso de un visor de realidad virtual, de manera que tenga una experiencia de inmersión visual en un ambiente a distancia. A continuación, se presenta la selección del visor de realidad virtual haciendo una comparativa entre los visores que están disponibles de manera comercial.

### 8.3 Selección visor de realidad virtual

Existen diversos modelos de visores de realidad virtual disponibles en el mercado por lo que resulta conveniente realizar una matriz de decisión que nos permita conocer cual se adapta mejor a las funciones que se desean desempeñar en este trabajo de estudio. Se compararon los siguientes:

- Oculus Rift DK2
- Oculus Gear
- HTC Vibe
- Fove

Tabla 9. Matriz de selección visores realidad virtual										
Criterios	Métrica	Peso	Oculus Rift DK2		Oculus Gear		HTC Vibe		Fove	
			Pts.	Calif.	Pts.	Calif.	Pts.	Calif.	Pts.	Calif.
Disponible en el mercado	Sí/No	5	1	5	1	5	0	0	0	0
Costo	Bajo, medio y alto	4	2	8	1	4	1	4	2	8
Simplicidad programación	Alto, medio y bajo	3	1	3	1	3	1	3	1	3
Velocidad imágenes	Alto, medio y bajo	2	2	4	2	4	3	6	3	6
Total			20		16		13		17	

Acorde a la matriz de decisión, se puede apreciar que la mejor opción resulta ser el Oculus Rift DK2; este modelo tiene la ventaja de estar disponible en el mercado y su programación se simplifica ya que se tiene la opción de utilizar Unity [29], una plataforma de desarrollo flexible y poderosa para crear juegos y experiencias interactivos en 3D.

Para poder transmitir los movimientos de la cabeza del usuario, se requiere de un controlador que procese los datos de posición enviados del *Oculus Rift* y envíe la señal de control a los servomotores. A continuación, se realiza la selección del controlador.

#### 8.4 Selección del controlador

La selección del microcontrolador a utilizar resulta independiente del diseño final del mecanismo y deberá cumplir con las siguientes características:

- Contar con al menos 3 salidas PWM
- Soportar niveles de voltaje de 5 [V] en pines de entrada/salida
- Contar con comunicación I2C y UART
- Posibilidad de incorporar conexión inalámbrica con computadora
- Bajo costo

A continuación, se presenta una tabla con las características antes mencionadas de diversas tarjetas de desarrollo.

Tarjeta desarrollo	Velocidad reloj [MHz]	Salidas PWM	Protocolo de comunicación	Voltaje de Operación [V]
Arduino Uno	16	6	UART, I2C, SPI	5
Nano	16	6	UART, I2C, SPI	5
Mega 2560	16	15	UART, I2C, SPI	5
TI MSP-EXP430G2	16/32	2,3	UART, I2C, SPI	3.3

En la siguiente tabla de decisión, se determinó cual tarjeta de desarrollo cumple con las especificaciones y resulta conveniente utilizar.

Criterios	Métrica	Peso	Arduino Uno		Arduino Nano		Arduino Mega		TI MSP430G2	
			Pts.	Calif.	Pts.	Calif.	Pts.	Calif.	Pts.	Calif.
Comunicación I2C y UART	Sí/No	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Costo	Alto, medio y bajo	3	2	6	2	6	1	3	3	9
Salidas PWM	Sí/No	3	1	3	1	3	1	3	0	0
Nivel de voltaje lógico	Sí/No	2	1	2	1	2	1	2	0	0
Total			13		13		10		11	

Era de esperarse que, bajo estos criterios de decisión, tanto el Arduino Uno como el Nano, recibirían la misma calificación ya que ambos cuentan con el mismo microcontrolador. La principal diferencia entre estos dos modelos es el tamaño, siendo el nano el que incorpora una tarjeta más pequeña. El Arduino Nano presenta dos desventajas: actualmente ya no se comercializa y el microprocesador utilizado es de montaje superficial, esto resulta inconveniente en caso de que se dañe; por lo que se decide utilizar el Arduino Uno.

### 8.5 Circuito electrónico empleado

La electrónica del proyecto se desarrolló bajo la idea que fuera simple y que ocupara la menor cantidad de espacio para que las dimensiones del mecanismo fueran lo más compactas posibles. A continuación, se muestra el diagrama de conexión que se utilizará. Ver figura 30.

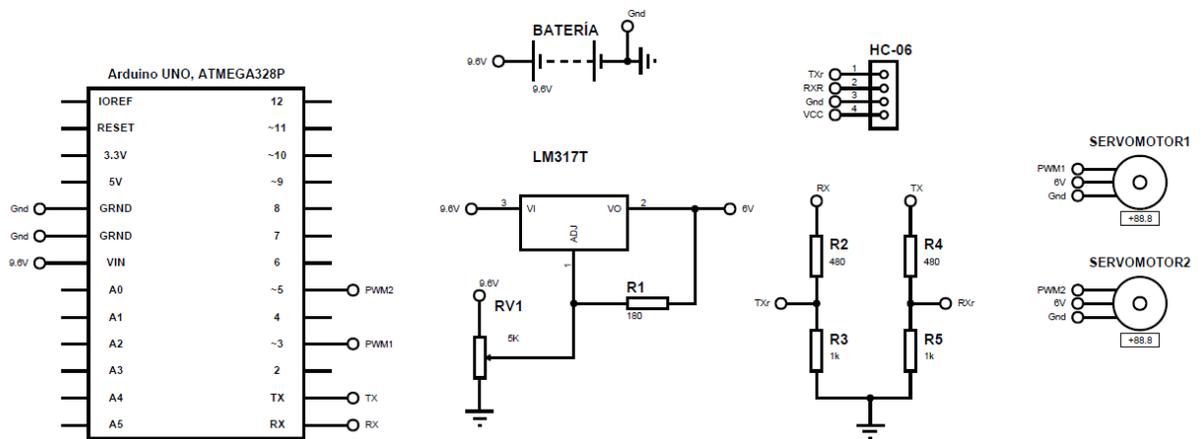


Figura 30. Diagrama de conexiones circuito electrónico

Los componentes utilizados fueron los siguientes:

- Batería 9V
- Microcontrolador Arduino Uno
- Regulador de voltaje LM317
- Trimpot 5kΩ
- 5 resistores ¼ [W]
- Módulo Bluetooth HC-06
- 2 Servomotores

## 8.6 Especificación de componentes a utilizar

### Motor

1501MG, Power HD Servomotor. [33]

- Temperatura de operación  $-10 \sim 50$  [°C]
- $4.8 \sim 6$  [V]
- Corriente de operación sin carga @6[V] 500[mA]
- Par de torsión nominal @6 [V] 17 [kg-cm]
- Movimiento  $0 \sim 180$  [°]
- Velocidad de operación sin carga @6[V] 0.14 [seg/60°]



Figura 31. Servomotor 1501

### Regulador de Voltaje LM317T. [34]

- Voltaje Regulable  $1.25 - 37$  [V]
- Corriente máxima a la salida 1.5 [A]
- Temperatura de operación  $-55 \sim 150$  [°C]
- Voltaje regulable mínimo 1.25[V]

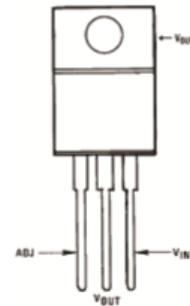


Figura 32. Regulador voltaje LM317.

### Bluetooth HC-06 [35]

- Voltaje de operación  $3.1 - 4.2$  [V]
- Corriente de emparejamiento  $30 \sim 40$  [mA]
- Corriente de comunicación 8 [mA]
- 2.4 [GHz]
- Temperatura de operación  $-25 \sim 75$  [°C]

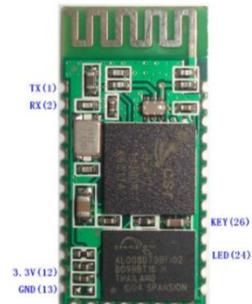


Figura 33. Bluetooth HC-06.

### Batería recargable Níquel-Cadmio [36]

- Voltaje: 9.6 [V]
- Capacidad de corriente: 700 [mAh]

### Cámara de video LifeCam Studio [37]

- Sensor de alta definición 1080p HD
- Vidrio de alta precisión
- Tecnología True Color con seguimiento de rostro



Figura 34. Cámara LifeCam Studio.

### Tarjeta de desarrollo Arduino, UNO [38]

- Temperatura de operación -40 ~ 85 [°C]
- 23 salidas/entradas programables
- Voltaje de operación 1.8 a 5.5 [V]
- Voltaje de alimentación 7 ~ 12 [V]
- Corriente por pin 20[mA]
- memoria flash 32 [KB]
- Velocidad de reloj 16 [MHz]
- 6 canales PWM



Figura 35. Microcontrolador Arduino Uno.

### 8.7 Implementación de software para visión estereoscópica

Para implementar la visión estereoscópica en el visor de realidad virtual, se utilizó el software *Unity*; este programa nos permite renderizar el video de las cámaras montadas en el mecanismo hacia el *Oculus Rift*. Para lograr el efecto de profundidad, se crearon dos planos, donde el plano derecho está programado para reproducir el video de la cámara derecha y viceversa con el plano izquierdo. Una vez programados los planos, se ajustaron de tal manera que existiera una distancia de separación entre centros igual a la distancia interpupilar determinada anteriormente la cual es de 65 [mm]. En la siguiente imagen se observan los planos dentro de *Unity*.

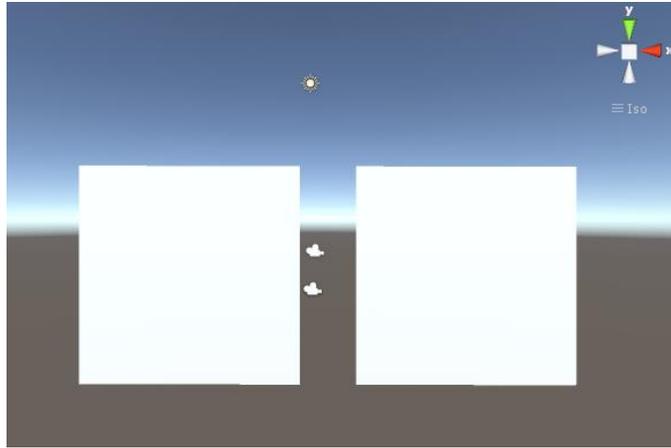


Figura 36. Planos dentro de Unity.

### 8.8 Unity a Servomotor

Para que el mecanismo se moviera de la misma manera que el usuario, se utilizaron los valores correspondientes a las rotaciones alrededor del eje coordenado “x” y “y” utilizado en *Unity*; estos valores se obtienen de la información proporcionada por el acelerómetro y el magnetómetro del *Oculus Rift*. Estos datos serán enviados de manera inalámbrica, utilizando un módulo *bluetooth*, al microcontrolador. Los datos enviados serán posiciones angulares correspondientes a la extensión, flexión y rotación de la cabeza del usuario para posicionar a los servomotores. En la figura 37 se muestra el sistema de referencia utilizado.



Figura 37. Sistema de referencia en Unity.

El diseño final estará constituido principalmente por dos sistemas, la base inferior y la base superior. Como se mencionó anteriormente, la función de la base inferior será el de imitar la rotación en la cabeza del usuario y el de la base superior estará encargado de los movimientos de flexión y extensión. En la figura 38 se muestra el CAD del diseño que se manufacturará.

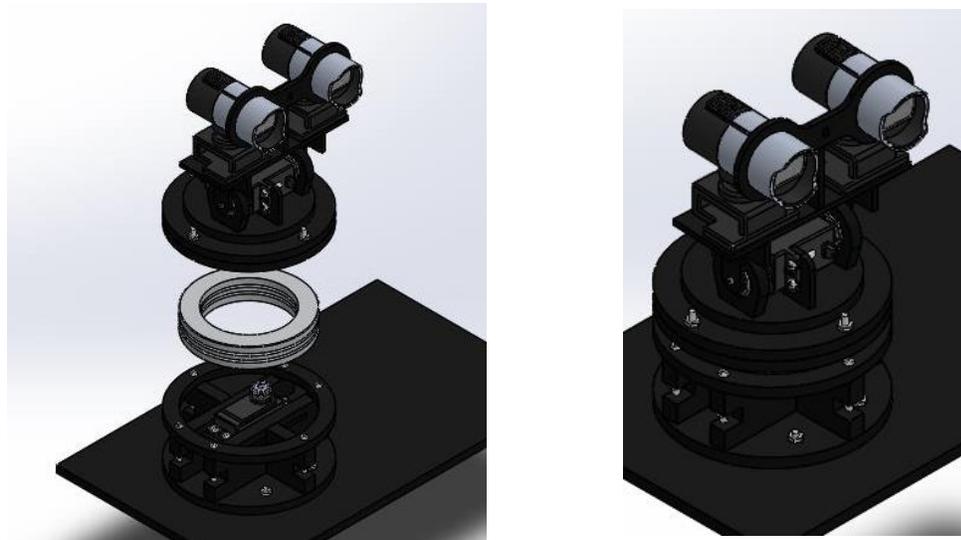


Figura 38. Modelo funcional final

### 9. Fabricación del modelo funcional

Una vez terminado el diseño de configuración, se procedió a realizar la manufactura del mecanismo. Dado que se pretende manufacturar un modelo funcional, se tomaron en cuenta principalmente dos técnicas de manufactura rápida, impresión 3D y corte láser; ambas técnicas tienen un nivel de precisión alto. Se descartó la impresión 3D debido a su costo por lo que se procedió con el corte láser, técnica en la cual se tiene un alto nivel de conocimiento gracias a que se ha utilizado en diversas ocasiones para la realización de otros proyectos.

Para poder manufacturar con corte laser se tiene que diseñar pensando en plano, es decir, en 2D, de manera que se considere el grosor del material para las ranuras o puntos donde se vayan a ensamblar. El mecanismo fue diseñado del tal forma que sea armado como un rompecabezas en el cual cada pieza ensambla en un lugar predeterminado. Las piezas que componen al mecanismo tienen los siguientes grosores 3, 6 y 9 [mm]. Como la cortadora laser ya cuenta con una precisión de corte de  $\pm 0.1$ [mm] [39] no es necesario agregar tolerancias en el diseño. Una vez que se tienen las piezas, estas son colocadas en un plano como se muestra en la figura 39, para que luego se mande a cortar.

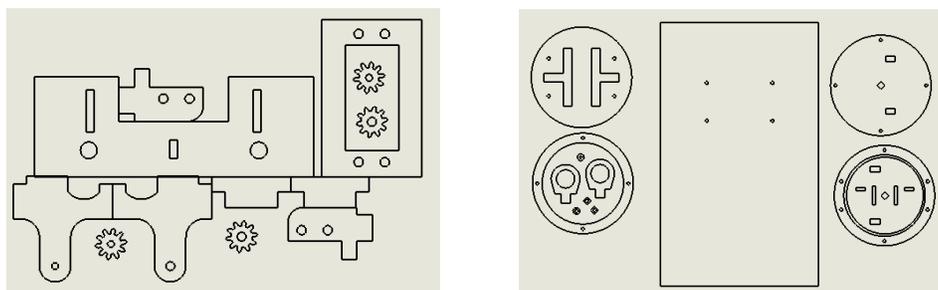
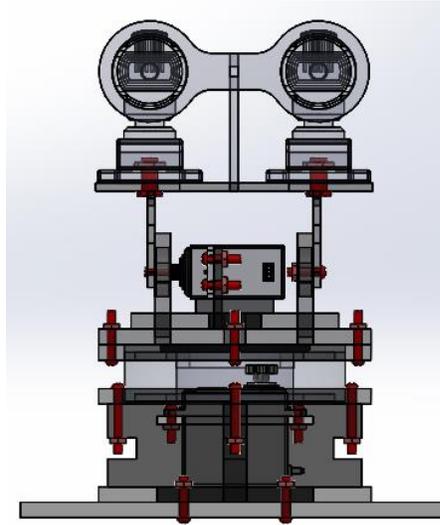


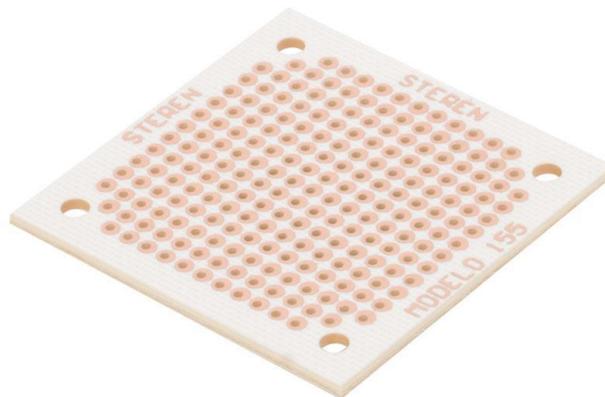
Figura 39. Planos para corte laser.

Los tornillos utilizados fueron de 1/8 [in] de diámetro con diferentes medidas de longitud, las cuales se especifican en los planos [Ver apéndice II]. Estos tornillos fueron utilizados para unir los discos que sujetan el rodamiento a presión con la parte inferior y superior. También para unir los servomotores y las cámaras con la estructura y al mecanismo con la base en la cual se encuentra la electrónica como se muestra en la figura 40. El resto de las piezas fueron unidas utilizando un pegamento especial para acrílico compuesto por cloruro de metileno.



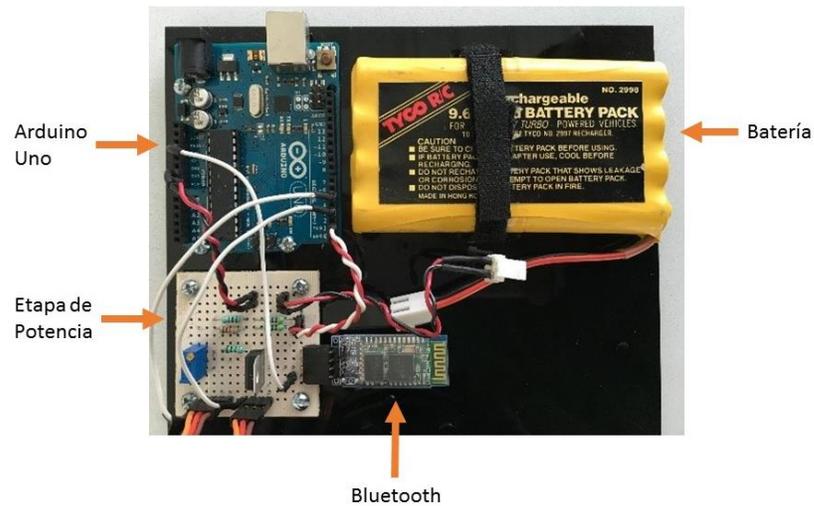
*Figura 40. Tornillos de sujeción en el mecanismo*

En el circuito electrónico se utilizó una tarjeta multiperforada de 5x5 [cm] para incluir la etapa de potencia y la transmisión de datos provenientes del microcontrolador. Este tipo de tarjeta contiene pistas de cobre en la parte inferior, en las cuales fueron soldadas las terminales de los componentes electrónicos utilizados. Ver figura 41.



*Figura 41. Tarjeta multiperforada de 5x5 [cm].*

En el microcontrolador se utilizaron 4 tornillos de 1/8 [in], con sus respectivas tuercas, para sujetarlo a la base del mecanismo; de igual manera, en la tarjeta multiperforada. En el caso de la batería se utilizó una tira de velcro para evitar que se pudiera desconectar. Ver figura 42.



*Figura 42. Batería, microcontrolador y tarjeta multiperforada con sujeción a base.*

## 10. Pruebas y resultados

A pesar de que la solución con el rodamiento axial se consideró viable, al momento de realizar pruebas surgieron problemas con el movimiento. El rodamiento al estar compuesto de tres piezas, que se encuentran sin ninguna sujeción entre sí, como se muestra en la figura 43, se pueden desplazar hacia los lados, lo cual provoca que cuando el tren de engranes gire, al no estar fija la base superior, esta se desplace evitando que los dientes se toquen parcialmente o incluso que no se toquen, evitando la transmisión del movimiento.



Figura 43. Partes de un rodamiento axial

Como solución a este problema, se propuso el uso de un rodamiento radial, el cual se compone por una sola pieza y asegura que el eje de la parte superior del mecanismo no se mueva. Para poderlo implementar se tuvo que hacer un rediseño en la manera en que se acoplaría a la parte superior del mecanismo. Para poder usar el rodamiento radial se propuso que la parte exterior estuviera fija a la parte inferior del mecanismo y que la parte superior girara sobre la parte interna del rodamiento. Para lograr esto, se cortó con láser un disco de 0.5 [mm] más grande que el diámetro interior del rodamiento, así entra a presión y a su vez, es pegado un escalón de acrílico para soportar el peso de la parte superior del mecanismo y evitar el contacto con el resto del rodamiento. En la figura 44 se muestra la configuración para contener al rodamiento.

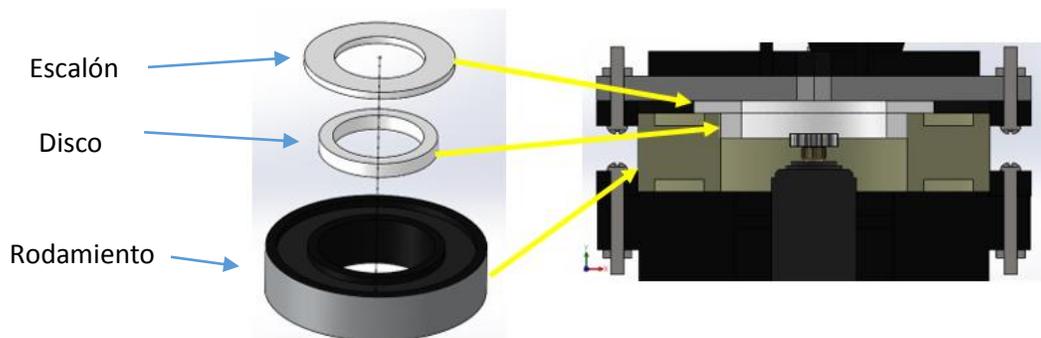
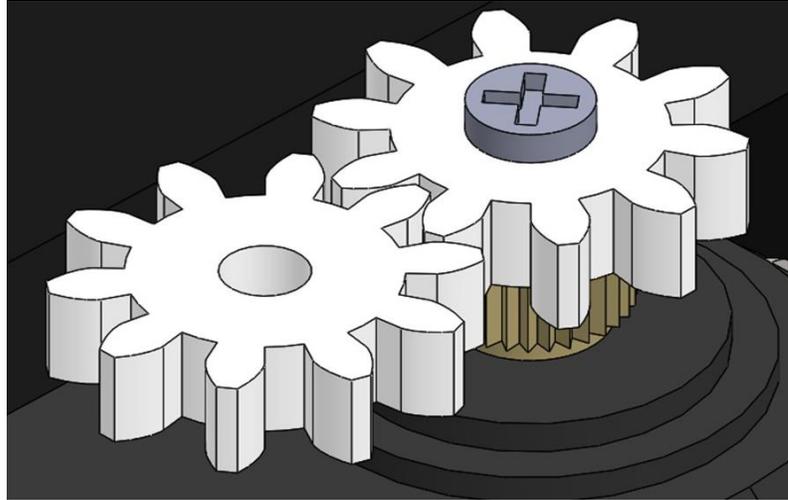


Figura 44. Diseño de sujeción para rodamiento radial

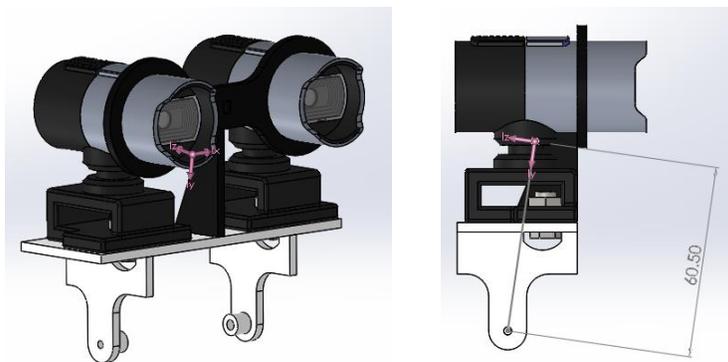
También se observó que la transmisión de potencia entre los engranes no se realizaba de manera correcta, esto debido a que el tamaño de un engrane resultó ser menor. Este error se dio debido a la tolerancia que tiene el corte laser el cual es de  $\pm 0.1$  [mm]. Para solucionar esto, se tuvo que incrementar el engrane de menor tamaño en 0.2 [mm] alrededor de su perímetro, de esta manera se solucionó la transmisión de potencia.



*Figura 45. Tren de engranes*

Como se mencionó anteriormente, el par de los servomotores utilizados es de 17 [Kg-cm]. Sin embargo, se realizaron los cálculos para determinar el par necesario de la siguiente manera.

Se determinó mediante el uso de un software especializado en diseño asistido por computadora, el centro de masa de la parte superior del mecanismo para poder conocer la distancia al eje del motor como se muestra en la figura 46. La masa de la parte superior es de 0.356 [Kg], multiplicando la distancia por el peso, obtenemos el par estático, el cual resulta 2.15 [Kg-cm], lo cual corrobora que el motor empleado cumple con el par de torsión necesario.



*Figura 46. Centro de masa de la parte superior del mecanismo*

Para la parte inferior, se calculó el par de torsión necesario para un caso crítico, en el cual se colocó el peso de manera transversal al engrane dos, representado en la figura 47 como E2. De esta manera se obtuvo el valor máximo de par necesario para poder mover al mecanismo imitando la rotación de la cabeza

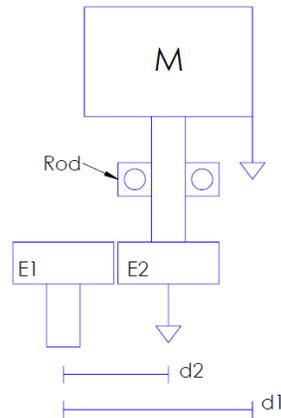


Figura 47. Cálculo del par para movimiento de rotación

A continuación, se presentan los cálculos realizados. La siguiente expresión representa el par de torsión necesario para el movimiento de rotación en el mecanismo.

$$\tau_m = (M * d1)$$

Donde:

- $\tau_m$ : Par del servomotor
- M: Masa del mecanismo
- d1: Distancia del eje del motor al extremo del mecanismo

Sustituyendo los valores, se obtiene lo siguiente.

$$\tau_m = (0.520[Kg] * 5.25[cm])$$

$$\tau_m = 2.73 [Kg * cm]$$

El par estático obtenido es de 2.73 [Kg-cm], lo cual corrobora que el motor empleado cumple con el par de torsión necesario.

Para determinar que el engrane soporta la carga, se hizo la comparación del esfuerzo en el diente contra el esfuerzo ultimo a tensión del acrílico. Como primer paso, se determinó la fuerza tangencial en el diente a partir del par del motor y el radio del circulo exterior del engrane mediante la siguiente expresión.

$$W_t = \frac{\tau_m}{d}$$

Donde:

- $W_t$  : fuerza tangencial
- $\tau_m$ : Par del servomotor
- d: radio

Sustituyendo valores se tiene que:

$$W_t = \frac{17 [Kg * cm]}{0.006 [m]} = 28.33 [Kgf] = 277.82 [N]$$

Para obtener el esfuerzo a flexión en el diente, se usó la ecuación de Lewis en unidades métricas.

$$\sigma_{de} = \frac{W_t}{m * F * y}$$

Donde:

- $\sigma_{de}$  : Esfuerzo a flexión en el diente
- $W_t$  : fuerza tangencial
- m: módulo
- F: ancho de cara
- Y: Factor de Lewis (de tablas [40])

Sustituyendo valores se obtiene lo siguiente.

$$\sigma_{de} = \frac{277.82 [N]}{1 * 0.003[m] * 0.064} = 1.45 \times 10^6 [Pa] = 210.3 [psi]$$

El acrílico utilizado presenta un valor de esfuerzo ultimo a tensión de 9600 [psi] y el valor calculado es de 210.3 [psi], mediante esta comparación, se concluye que el engrane soporta la transmisión de movimiento.

Para conocer el consumo de corriente de ambos servomotores, se realizó de la siguiente manera.

### **Corriente en servomotores**

Se realizaron pruebas de movimiento en el dispositivo para medir la corriente que consumen los dos servomotores, en las cuales los servomotores realizaban giros de 180 [°]. De esta manera se determina si la electrónica funcionará de manera adecuada y cuánto tiempo durará la batería con carga completa en condiciones de uso continuo, es decir, sin detener el movimiento.

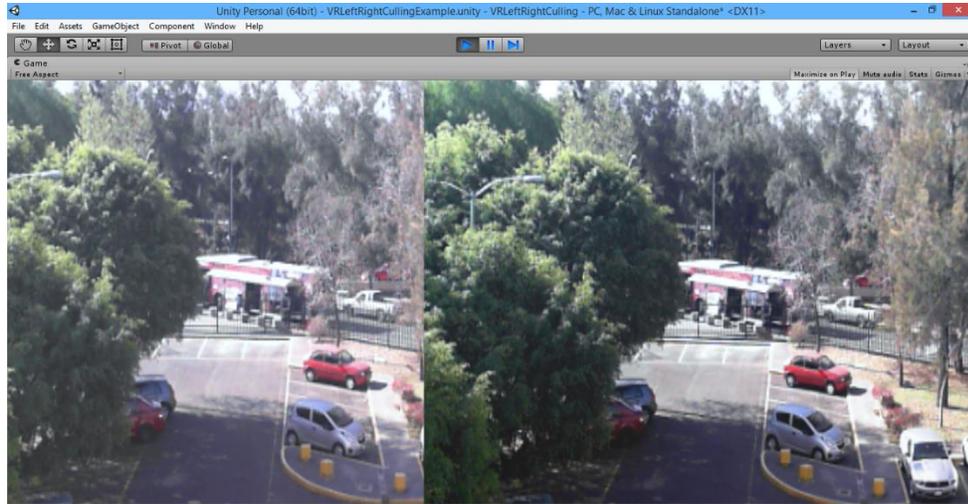
Los datos obtenidos fueron los siguientes.

<b>Tabla 12. Consumo de corriente en servomotores</b>	
<b>Prueba con desplazamiento de 180 [°]</b>	<b>Corriente [mA]</b>
<b>1</b>	<b>530</b>
<b>2</b>	<b>630</b>
<b>3</b>	<b>550</b>
<b>4</b>	<b>700</b>
<b>5</b>	<b>550</b>
<b>6</b>	<b>730</b>
<b>Promedio:</b>	<b>615</b>

El promedio de corriente resultante permite validar que el regulador de voltaje utilizado es adecuado para la aplicación y que el dispositivo puede funcionar en uso continuo por aproximadamente una hora, esto acorde a la batería utilizada, la cual entrega 700 [mAh].

### **Estereoscopía en Unity**

En la imagen 48 se muestra el video de la cámara izquierda y derecha, las cuales son visualizadas a través del *Oculus Rift* por el usuario y permiten el efecto de estereoscopía para apreciar la profundidad en los objetos.



*Figura 48. Estereoscopia en Unity*

### **Alcance angular del dispositivo**

Una vez terminado el dispositivo se hicieron pruebas para comprobar que se alcanzaban los rangos angulares. Las pruebas consistieron en que el usuario moviera el mecanismo a través del visor de realidad virtual de manera que alcanzara su límite en el movimiento angular de su cabeza.

La prueba empezó con el usuario en posición neutral como se muestra en la figura 49, junto con el mecanismo para poder observar los movimientos.



*Figura 49. Posición neutral*

Se le pidió al usuario que girara su cabeza lo más que pudiera hacia la derecha y a la izquierda como se muestra en las figuras 50 y 51, para observar si el mecanismo llegaba a los mismos rangos angulares y se movía con una velocidad similar que la del usuario.



*Figura 50. Movimiento de rotación derecha*



*Figura 51. Movimiento de rotación izquierda*

También se le pidió al usuario que hiciera los movimientos de flexión y extensión como se muestra en las figuras 52 y 53.



*Figura 52. Movimiento de extensión*



*Figura 53. Movimiento de flexión*

Con estas pruebas se pudo corroborar que el mecanismo se movía de manera correcta, es decir, alcanzaba las mismas posiciones y velocidades angulares que el usuario con movimientos suaves y sin vibraciones.

## 11. Conclusiones

Resulta importante destacar que, al haberse desarrollado un modelo funcional, las dimensiones y peso del mecanismo no representaban una restricción; la finalidad era desarrollar un dispositivo que cumpliera con la visión estereoscópica y que pudiera moverse de forma natural imitando los movimientos de rotación, flexión y extensión en la cabeza del usuario. Debido a esto, se seleccionaron componentes que, acorde a los cálculos realizados en el capítulo “Pruebas y resultados”, están sobredimensionados. Gracias a estos cálculos, se tiene información necesaria para poder seleccionar componentes que nos permitan reducir costos y realizar un diseño más compacto.

También cabe mencionar que el diseño del engrane no fue de la manera habitual, es decir, tomando como prioridad la fuerza a la que iban a estar sometidos los dientes del engrane, sino que fue diseñado tomando en cuenta la geometría, buscando que el tren de engranes se acoplara de la mejor manera. Este diseño se llevó a cabo tomando en cuenta que por la velocidad angular y la carga a la que iban a estar sometidos los dientes del engrane, no era necesario realizar cálculos puesto que las condiciones de prueba están muy alejadas de las condiciones críticas. Sin embargo, para asegurar que no sucediera esto, se obtuvo el valor del esfuerzo en el diente y la fuerza tangencial, valores que nos permitieron corroborar que no existirá un fallo por la carga.

En las pruebas se corroboró que la distancia interpupilar es un parámetro importante a tomar en cuenta, ya que de no ser la misma, se podrán percibir imágenes con poca nitidez y eso podría ocasionar que el usuario experimente mareos y náuseas.

En el momento de manufacturar se presentaron algunas fallas, entre ellas se tuvo que algunas piezas no embonaban de manera adecuada, ya fuera porque su tamaño era mayor o menor; esto se debe a la precisión de la cortadora laser, que como se mencionó anteriormente, es de  $\pm 0.1$ [mm]. Sin embargo, este error se puede evitar si el corte es programado de tal manera que se conozca la orientación del láser, ya sea hacia dentro o fuera del perímetro de la pieza que se está cortando. Una vez configurado lo anterior, se pueden hacer los planos con las tolerancias deseadas.

El acrílico resultó adecuado para la manufactura del modelo funcional. Gracias a su rigidez y bajo peso, el mecanismo quedó robusto y resulta sencillo de transportar. De igual manera, el acrílico es un material adecuado para cortar en láser, el cual permite utilizar diferentes grosores.

En el transcurso de este proyecto se realizaron diversas actualizaciones de *Unity*, software utilizado para la manipulación de visión estereoscópica e información del *Oculus Rift*, en las cuales se destaca el avance paulatino en soporte a visores de realidad virtual, donde la última versión utilizada permite el uso de esta tecnología sin tener que instalar paquetería externa, solo hace falta seleccionar la opción “Realidad virtual”. Gracias a estos avances, se simplificó el proceso de programación.

El modelo funcional final cumple con los rangos angulares deseados y gira a la misma velocidad a la que el usuario rota, flexiona o extiende su cabeza, de forma suave y sin vibraciones. También logra la sensación de profundidad de imagen, permitiéndole al usuario explorar un

ambiente remoto en tercera dimensión, creando la sensación de estar presente en el entorno donde esté situado el mecanismo. Con esto se logran los objetivos del proyecto de manera satisfactoria y se descubren varios aspectos a mejorar como trabajo a futuro.

## **12. Trabajo a futuro**

El siguiente paso es realizar un rediseño del mecanismo para reducirlo en dimensiones y peso, haciendo más sencilla su portabilidad. De igual manera, se incorporará un sistema de transmisión de video de manera inalámbrica, de esta manera el usuario podrá situar el mecanismo en cualquier lugar a distancia y acceder de manera remota. Todo lo realizado será pensado en realizar un prototipo comercial. Como siguiente paso, se desarrollará un plan de negocios para levantar capital por medio de inversionistas y comercializar el mecanismo como un producto de realidad virtual y aumentada.

En cuestión de visión se utilizarán cámaras con bajo peso, de tal manera que se ocupen motores con capacidades y dimensiones menores. Como el peso será disminuido, ya no resulta necesario utilizar un rodamiento para soportar el peso de la parte superior del mecanismo, abriendo la posibilidad de utilizar otra configuración con distintos materiales.

Se buscará que la transmisión de video sea mediante *streaming*, protocolo de transmisión de datos utilizado en servicios de video llamada como *Skype* o *facetime*. De esta manera, el usuario solamente requerirá una conexión a internet para acceder al video mostrado y que el dispositivo tenga compatibilidad estereoscópica por las cámaras del mecanismo.

### 13. Referencias

- [1] DeChile.net (2004) Etimología de Stereo [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://etimologias.dechile.net/?stereo>
- [2] SlideShare. (2013, septiembre) Lobulo Occipital [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://es.slideshare.net/aalvarezcaballero/lbulo-occipital>
- [3] Imagen Óptica. (1991) Variabilidad de la Distancia Interpupilar [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://www.imagenoptica.com.mx/pdf/revista35/variabilidad.htm>
- [4] Universidad Politecnica de Cataluña. (2014) Introducción a la Realidad Virtual [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://www.cs.upc.edu/~virtual/SGI/guions/ArquitecturaRV.pdf>
- [5] Information Processing Techniques. (1965) The Ultimate Display [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://worrydream.com/refs/Sutherland%20-%20The%20Ultimate%20Display.pdf>
- [6] Oculus Rift (2016) Oculus Rift [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <https://www.oculus.com/en-us/rift/>
- [7] Ignomini. (2002) Estereoscopio [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://www.ignomini.com/photographica/3dhandviewers.html>
- [8] BlogSpot. (2012, enero) Caleidoscopio [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://neuroniano.blogspot.mx/2012/01/fotos-para-despedir-diciembre-post-en.html>
- [9] El Inquilino Digital. (2014, diciembre) Cinco décadas de la Realidad Virtual [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://www.elinquilinodeigital.com/?p=805>
- [10] Rtve.es (2014, febrero) Historia de la Realidad Virtual [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://blog.rtve.es/webdocs/2014/02/breve-historia-nacimiento-1980-1990.html>
- [11] VisionAware. (2013) Visual Pathways [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://www.visionaware.org/info/your-eye-condition/guide-to-eye-conditions/stroke/125>
- [12] BlogSpot (2015, diciembre) Visor de realidad virtual [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://test123-destroyer77.blogspot.mx/2013/12/time-machines-nasa-goes-virtual-at-ces.html>
- [13] Whatdondoes. (2011, marzo) Virtuality [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://whatdondoes.com/blog/2011/08/03/buggyball/>
- [14] 3djuegos (2014) Virtual boy [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://www.3djuegos.com/noticia/147721/0/polarium/virtual-boy/registros-nintendo/>

- [15] Superdata, Virtual Reality Market Brief [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <https://www.superdataresearch.com/market-data/virtual-reality-market-brief/>
- [16] Oculus Rift (2016) Oculus Rift [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <https://www.oculus.com/en-us/rift/>
- [17] PlayStation (2016) PlayStation VR [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <https://www.playstation.com/es-es/explore/ps4/features/playstation-vr/>
- [18] Microsoft (2016) HoloLens [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us>
- [19] HTC Vive (2016) HTC Vive [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <https://www.htcvive.com/us/>
- [20] GetFove (2016) Fove [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://www.getfove.com>
- [21] Coletek. (2015) Engineering Department [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://engineering.coletek.org/>
- [22] Photodrone (2014) Photodrone [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://photodrone.pl/radical-m-3-axis.pdf>
- [23] Da-Jang Innovations (2016) ZenMuse X5 [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://www.dji.com/product/zenmuse-x5s/info#specs>
- [24] Business Insider (2006) Lentes de Realidad Virtual [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://gestion.pe/tecnologia/lentes-realidad-virtual-despega-mercado-nuevo-gadget-2134505>
- [25] DigiCapital (2015) Ingresos estimados de la realidad virtual [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://www.digi-capital.com/news/2015/04/augmentedvirtual-reality-to-hit-150-billion-disrupting-mobile-by-2020/#.VqpT4-7HBjJ>
- [26] Statista (2016) Usuarios de la Realidad Virtual [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <http://www.statista.com/statistics/426469/active-virtual-reality-users-worldwide/>
- [27] TraumaZaragoza (2005) La columna cervical [Online] [Fecha de consulta: Febrero, 2016] [www.TraumaZaragoza.com](http://www.TraumaZaragoza.com)
- [28] AGMA (2015) Número de dientes en engranajes [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <https://www.agma.org>
- [29] Unity (2016) Unity Engine [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016] <https://unity3d.com/es>

- [30] InvenSense (2013) MPU InvenSense 6500 [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016]  
<http://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6500/>
- [31] Toshiba () Puente de Interfaz [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016]  
<http://toshiba.semicon-storage.com/info/lookup.jsp?pid=TC358779XBG&lang=en>
- [32] ST () Microcontrolador STM32L100RB [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016]  
<http://www.st.com/web/catalog/mmc/FM141/SC1169/SS1295/LN1808/PF255679>
- [33] PowerHD () Servomotor 1501MG [Online] [Fecha de consulta: Febrero, 2016]  
[https://www.pololu.com/file/download/HD-1501MG.pdf?file\\_id=0J729](https://www.pololu.com/file/download/HD-1501MG.pdf?file_id=0J729)
- [34] Texas Instruments () Regulador de Voltaje [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016]  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm117.pdf>
- [35] Olimex () Bluetooth HC-06 [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016]  
<https://www.olimex.com/Products/Components/RF/BLUETOOTH-SERIAL-HC-06/resources/hc06.pdf>
- [36] Batteryspace () Batería Recargable [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016]  
<http://www.batteryspace.com/nicd-battery-pack-combo-9-6v-700mah-nicd-battery-packs-0-6a-compact-smart-charger.aspx>
- [37] Microsoft (2015) LifeCam Studio [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016]  
<https://www.microsoft.com/hardware/es-es/p/lifecam-studio#details>
- [38] Arduino () Arduino Uno [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016]  
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [39] CamFive () Cortadora laser [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016]  
<http://www.camfive.com/es/maquinas-de-alta-produccion/11-cfl-cma1910.html>
- [40] Ingeniería Mecánica () Factor de Lewis [Online]. [Fecha de consulta: Febrero, 2016]  
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn151.html>

## **Apéndice I: Código de software implementado**

### **Descripción programa 1**

Este programa le muestra al usuario mediante la consola, el número de dispositivos de tipo cámara web disponibles para posteriormente seleccionar la cámara que se encuentre registrada en la posición número 1. Después, se crea un objeto de la cámara seleccionada para poder renderizar en un plano el video de la cámara web seleccionada.

### **Descripción programa 2**

Se crea un objeto de la cámara seleccionada para poder renderizar en un plano el video de la cámara web seleccionada.

### **Descripción programa 3**

Este programa permite el ajuste de la posición en el espacio de un plano. Mediante las teclas "a" y "s" se puede variar esta posición hacia la derecha o hacia la izquierda, respectivamente.

### **Descripción programa 4**

Este programa permite obtener los datos del acelerómetro y giroscopio del Oculus Rift, visor de realidad virtual. Posteriormente, se distinguen los valores para la rotación alrededor del eje coordenado "y" y del eje coordenado "x" dentro del programa Unity; dependiendo de un rango previamente establecido se decide si se imprime vía puerto serial el valor o si se le hace una transformación al valor para después imprimirlo en el puerto serial. todos los valores antes mencionados los puede visualizar el usuario en consola.

### **Descripción programa 5**

Este programa permite que una placa arduino Uno reciba mediante el puerto serial los valores correspondientes a posición angular para actuar dos Servomotores distintos.

La identificación de los valores para cada Servo se realiza mediante la comparación de dos caracteres distintos. Para el primer servo se utiliza el carácter "," y para el segundo servo se utiliza el carácter "-".