Sistema inmersivo e interactivo para evaluar el campo visual en aspirantes a pilotos de las Fuerzas Armadas del Ecuador

Rosero Casa, Gabriela Stefanía y Yánez Lucero, Fernando Esteban

Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera de Ingeniería de Sistemas e Informática

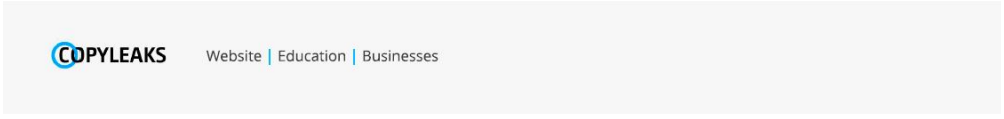
Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Sistemas e Informática

Ph.D. Cárdenas Delgado, Sonia Elizabeth

07 de febrero del 2022

Análisis de Copyleaks

Identical Words	0
Words with Minor Changes	0
Paraphrased Words	0
Ommited Words	1571



Firmado electrónicamente por:
SONIA ELIZABETH
CARDENAS DELGADO

.....

Ph.D. Cárdenas Delgado, Sonia Elizabeth

C. C. 1713261160

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "**Sistema inmersivo e interactivo para evaluar el campo visual en aspirantes a pilotos de las Fuerzas Armadas del Ecuador**" fue realizado por la señorita **Rosero Casa, Gabriela Stefanía** y el señor **Yánez Lucero, Fernando Esteban,** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 07 de febrero de 2022

Firmado electrónicamente por:
SONIA ELIZABETH
CARDENAS DELGADO

……

Ph.D. Cárdenas Delgado, Sonia Elizabeth

C. C. 1713261160

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Rosero Casa, Gabriela Stefania y Yánez Lucero, Fernando Esteban**, con cédulas de ciudadania n° 1725347866 y n° 1724024052, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Sistema inmersivo e interactivo para evaluar el campo visual en aspirantes a pilotos de las Fuerzas Armadas del Ecuador,** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 07 de febrero de 2022

Rosero Casa, Gabriela Stefania

C.C.: 1725347866

Yánez Lucero, Fernando Esteban

C.C.: 1724024052

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, Rosero Casa, Gabriela Stefanía y Yánez Lucero, Fernando Esteban, con cédulas de ciudadanía n° 1725347866 y n° 1724024052, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Sistema inmersivo e interactivo para evaluar el campo visual en aspirantes a pilotos de las Fuerzas Armadas del Ecuador,** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 07 de febrero de 2022

Rosero Casa, Gabriela Stefanía

C.C.: 1725347866

Yánez Lucero, Fernando Esteban

C.C.: 1724024052

Dedicatoria

A Dios por ser mi fortaleza y templanza durante todo este trayecto lleno de incertidumbre y miedo que me llevaron a aprender y valorar los instantes de la vida.

A mis padres por ser mi ejemplo de superación, manteniendo siempre su amor y confianza infinita en mis decisiones que me ayudaron a construir una versión más fuerte de la mujer que soy.

Rosero Casa Gabriela Stefanía

Este trabajo se lo dedico a Dios porque sin su guía nada de esto sería posible.

A mis padres quienes me han motivado a salir adelante y han sido el motor de mi vida dándome su amor incondicional.

Finalmente, se la dedico a mis amigos que han estado conmigo siempre en cada paso de la carrera.

Yánez Lucero Fernando Esteban

Agradecimientos

A Dios por darme sabiduría sobre todo en los momentos más complicados y cuando he querido rendirme, por cuidar de mí y poner a las personas correctas en los momentos indicados de mi vida.

A mi madre, por enseñarme que siempre se puede aprender y rectificar desde el amor y los valores. Por ser mi ejemplo de mujer, agradecida y trabajadora.

A mi padre, por creer en mí y alentarme a seguir mis metas, porque de él me mantengo aprendiendo el valor de la paciencia y el perdón.

A Jacqueline y Daniela, por apoyar mis ideas, cuidarme y ser mi ejemplo de superación.

A mis cuñados por ser como hermanos, quienes me han brindado su ayuda y enseñanzas.

A mis sobrinos por ser mi alegría y razón cada día para seguir adelante.

A mis amistades por los momentos compartidos y alentarme en este arduo camino.

A Fernando por su esfuerzo y experiencia para lograr desarrollar y cumplir una de nuestras metas.

A la Ing. Sonia Cárdenas y el Ing. Mauricio Loachamín, por todo su conocimiento y apoyo durante mi carrera; y desarrollo de este trabajo.

Rosero Casa Gabriela Stefanía

Agradecimientos

A Dios por ser mi fuerza y permitirme sobrellevar las adversidades del camino.

A mi familia, en especial a mis padres por ser el pilar fundamental de mi vida y creer en mí.

A Gaby por ser mi compañera y apoyarme en la elaboración de este trabajo.

A la Ing. Sonia Cárdenas y el Ing. Mauricio Loachamín por su apoyo incondicional y brindarme sus conocimientos en cada paso de este reto.

Yánez Lucero Fernando Esteban

Índice de Contenidos

Análisis de Copyleaks 2
Certificación 3
Responsabilidad de Autoría 4
Autorización de Publicación 5
Dedicatoria 6
Agradecimientos 7
Índice de Contenidos 9
Índice de Figuras 11
Resumen 13
Abstract 14
Capítulo I 15
Introducción 15
Antecedentes 15
Planteamiento del Problema 18
Justificación 19
Objetivos 20
Objetivo General. 20
Objetivos Específicos 20
Alcance 20
Hipótesis de Trabajo 22
Capítulo II 23
Fundamento Teórico 23
Metodología de Desarrollo 23
Metodología de Kaur. 23
Marco Teórico 24
Red de Categorías. 24
Herramientas para el Desarrollo 30
Software 30
Hardware 31
Capítulo III 33
Desarrollo 33
Fase de Requerimientos y Análisis 33
Definición de Requerimientos. 33
Definición de los Componentes del Entorno Virtual. 35

Definición de las Interacciones de los Componentes. 35
Fase de Diseño 35
Arquitectura 36
Diseño de Mapa Conceptual. 37
Diseño de Interacciones. 37
Diseño de Componentes. 39
Fase de Implementación 44
Construcción de los Componentes. 44
Integración de los Componentes. 45
Capítulo IV 50
Fase de Pruebas y Validación 50
Protocolo de Validación 50
Ejecución del Protocolo. 51
Procedimiento Previo. 51
Tarea Virtual. 54
Procedimiento Final. 55
Análisis de Resultados 56
Cuestionario de Mareo. 56
Cuestionario de Usabilidad. 56
Análisis de Aciertos y Errores 57
Capítulo V 59
Conclusiones y Recomendaciones 59
Conclusiones 59
Recomendaciones 60
Bibliografía 60

Índice de Figuras

Figura 1 *Fases y tareas de la metodología de Kaur* 24

Figura 2 *Red de categorías* 25

Figura 3 *Evaluación de agudeza visual* 27

Figura 4 *Exploración del campo visual* 28

Figura 5 *Test de Bangolini modificado* 29

Figura 6 *Mapa de puntos del campo visual* 30

Figura 7 *Prueba de agudeza visual* 34

Figura 8 *Prueba de campimetría* 34

Figura 9 *Arquitectura* 36

Figura 10 *Mapa conceptual* 37

Figura 11 *Esquema del prototipo* 38

Figura 12 *Tarea virtual* 39

Figura 13 *Formulario de registro de datos* 40

Figura 14 *Creación de objetos 3D* 41

Figura 15 *Entorno de habituación* 42

Figura 16 E*ntono de entrenamiento* 42

Figura 17 *Entorno de evaluación* 43

Figura 18 *Terreno* 43

Figura 19 *Cielo* 44

Figura 20 *Interfaz de registro de datos* 45

Figura 21 *Configuración de los componentes* 46

Figura 22 *Entorno de habituación integrado* 47

Figura 23 *Entorno de entrenamiento integrado* 47

Figura 24 *Entorno de evaluación integrado* 48

Figura 25 *Integración de los componentes* 49

Figura 26 *Protocolo de validación* 50

Figura 27 *Colocación de equipos en el área de pruebas* 51

Figura 28 *Hoja Informativa* 52

Figura 29 *Consentimiento informado* 52

Figura 30 *Protocolo de bioseguridad* 53

Figura 31 *Desinfección de equipo de RV* 54

Figura 32 *Indicaciones del tesista* 54

Figura 33 *Tarea virtual* 55

Figura 34 *Procedimiento final* 55

Figura 35 *Diagrama de cajas y bigotes del cuestionario de usabilidad* 57

Figura 36 *Diagrama de cajas y bigotes de aciertos en la evaluación* 57

Figura 37 *Diagrama de cajas y bigotes de errores en la evaluación* 58

Resumen

El trabajo desarrollado presenta un sistema interactivo e inmersivo para evaluar la amplitud del campo visual. El desarrollo del prototipo del sistema se ha realizado aplicando la metodología de Kaur. Se diseñó una tarea virtual para la cual se crearon tres entornos virtuales: habituación, entrenamiento y evaluación. Cada entorno incluye los componentes y objetos en 3D acordados con los especialistas. El prototipo fue desarrollado usando herramientas de software libre Unreal Engine y Blender. El software fue integrado con dispositivos de realidad virtual para la visualización e interacción que permiten la ejecución de la tarea virtual. El sistema fue evaluado siguiendo el protocolo de validación definido. En las pruebas participó personal militar que fue seleccionado como grupo control. Los resultados del cuestionario de mareo reflejan que el prototipo no causó efectos secundarios al momento de la inmersión en la tarea virtual. Los resultados del cuestionario de usabilidad alcanzaron una media de 4.57/5 en percepción, 4.67/5 en interacción y 4.75/5 en satisfacción. También, los resultados obtenidos en la medición del campo visual fueron validados por el especialista y se concluye que fueron satisfactorios en la muestra del grupo control que participó en las pruebas. Esto evidencia que el sistema inmersivo e interactivo desarrollado podría ser una herramienta útil para contribuir en una de las pruebas visuales que forman parte del proceso de selección de aspirantes a pilotos de las Fuerzas Armadas.

Palabras clave:

- **CAMPO VISUAL**
- **REALIDAD VIRTUAL**
- **TAREA VIRTUAL**
- **PRUEBA VISUAL**

Abstract

The developed work presents an interactive and immersive system to assess the amplitude of the visual field. The development of the prototype of the system has been carried out applying the Kaur methodology. A virtual task was designed for which three virtual environments were created: habituation, training and evaluation. Each environment includes the components and 3D objects agreed with the specialists. The prototype was developed using the free software tools Unreal Engine and Blender. The software was integrated with virtual reality devices for visualization and interaction that allow the execution of the virtual task. The system was evaluated following the defined validation protocol. Military personnel participated in the tests and were selected as a control group. The results of the dizziness questionnaire reflect that the prototype did not cause side effects at the time of immersion in the virtual task. The results of the usability questionnaire reached an average of 4.57/5 in perception, 4.67/5 in interaction and 4.75/5 in satisfaction. Also, the results obtained in the measurement of the visual field were validated by the specialist and it is concluded that they were satisfactory in the sample of the control group that participated in the tests. This shows that the immersive and interactive system developed could be a useful tool to contribute to one of the visual tests that are part of the selection process for aspiring pilots in the Armed Forces.

Keywords:

- **VISUAL FIELD**
- **VIRTUAL REALITY**
- **VIRTUAL TASK**
- **VISUAL TEST**

Capítulo I

Introducción

Este capítulo describe las secciones que permiten conocer los antecedentes, el planteamiento del problema, los objetivos y el alcance del proyecto.

Antecedentes

La visión es uno de los procesos más complejos en el ser humano, que permite interpretar los detalles que están a nuestro alrededor gracias a la capacidad sensorial. Para su completo funcionamiento se requiere un sinnúmero de estructuras que permiten percibir la información de los objetos en el infinito. Este sentido puede presentar diversas alteraciones a nivel ocular que impiden captar esa información por lo que el cerebro no las puede mostrar y debido a esto las personas no logran ver claramente y presentan síntomas que pueden alterar la vida cotidiana y actividades profesionales (Kumagai y otros, 2005).

En Aeronáutica la visión constituye el sentido más importante de los sentidos y su seguridad depende de la habilidad del piloto para procesar eficientemente la escena visual, puesto que se requiere que los pilotos tomen decisiones rápidas, donde situaciones como la luz y oscuridad limitan el alcance visual y reducen el tiempo para responder a una situación crítica (Nakagawara et al., 2006). Para pilotar aeronaves se requieren cumplir cualidades de la visión como la agudeza visual, percepción de colores en un ambiente operativo, amplitud del campo visual y profundidad visual (Dirección general de Aviación Civil, 2020).

A inicios del siglo XX con la fabricación de los primeros aviones para el Ejército Americano, se produce la necesidad de que el personal militar pilote aeronaves, en ese momento sin tener un proceso definido, la autoselección era la única manera para cumplir esta tarea. Debido a los avances en aeronáutica, a los accidentes que se han producido y a la demanda de candidatos, se han creado criterios selectivos para pilotos

de aviación. La selección de personal se realiza mediante la aplicación de diferentes métodos, técnicas y protocolos de evaluación que se han ido adaptando y mejorando con el paso del tiempo de acuerdo a los nuevos requisitos del rol, a la configuración y diseño de las modernas aeronaves (Kuzmin, 2018).

Del año 1950 a 1980 la selección de pilotos tenía como principal objetivo la evaluación de capacidades perceptivo motrices que garantizan el control y maniobrabilidad de las aeronaves. Actualmente, con los avances tecnológicos y la automatización de las cabinas, los pilotos han pasado a ser controladores de sistemas, esto conlleva a que además de la medición de las aptitudes perceptivas, espaciales, motoras, se ha incorporado la evaluación de otros factores como los humanos relacionados con los sentidos visuales y auditivos, entre otros que contribuyen en la resolución de problemas y toma de decisiones, sin descuidar las habilidades interpersonales y de comunicación (Novis, 1998).

En Estados Unidos y la Comunidad Europea se aplican protocolos de selección de pilotos que incluyen diferentes y diversos tipos de pruebas, una de ellas es la evaluación visual. En varios países de la región se disponen de colegios de pilotos de aviación, comités de evaluación y su respectiva reglamentación, esto permite realizar la selección de pilotos basada en la evaluación de diferentes factores, y llevar a cabo un adecuado entrenamiento y examinación (Bardera et al., 2004).

En el Ecuador la Dirección General de Aviación Civil como parte de sus regulaciones cuenta con la normativa para el otorgamiento del certificado médico aeronáutico, específicamente en el apartado 67.210 se consideran los requisitos visuales. Por otra parte, la Dirección General de Sanidad de las Fuerzas Armadas y el Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas han establecido entre los requisitos para el aspirante a oficial de arma piloto que debe tener el campo de visión enmarcado dentro de lo normal (Comando Conjunto de las FF.AA., 2019).

El campo visual permite percibir los diferentes estímulos que pueden ser vistos cuando se tiene la mirada fija en un punto central. Esta capacidad visual es necesaria en pilotos para localizar e identificar aeronaves y el terreno sobre el que vuela, por lo tanto, medir el campo visual en el personal de aspirantes a pilotos previo al ingreso a las escuelas de aviación es indispensable, caso contrario, se podrían ocasionar accidentes durante las sesiones de entrenamiento y en el cumplimiento de sus funciones (Zito et al., 2015).

Actualmente existen varios métodos de medición visual tanto cualitativos como cuantitativos que permiten evaluar las diferentes capacidades visuales. También, existen pruebas tradicionales y pruebas que utilizan equipos que por lo general son grandes y costosos (Barrionuevo et al., 2020). Para medir el campo visual se utilizan algunos métodos de exploración campimétricos como el método de confrontación cinético, el perímetro cinético y cualitativo de Goldman o el campímetro visual computarizado. Estos instrumentos permiten detectar alteraciones del campo visual (Medrano, 2007).

Las Fuerzas Armadas del Ecuador requiere implementar protocolos y herramientas tecnológicas que permitan evaluar al personal aspirante a pilotos en forma integral previo al ingreso a las escuelas de aviación. En este sentido, la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y el Hospital de Especialidades de FF.AA N1 llevan a cabo un proyecto de investigación para implementar herramientas tecnológicas que permitan evaluar las cualidades visuales a los aspirantes a pilotos y fortalecer el proceso de selección. En este contexto, se propuso contribuir con el desarrollo y validación de una de las pruebas visuales requeridas, específicamente la evaluación de la amplitud del campo visual.

Planteamiento del Problema

Para llegar a ser piloto aeronáutico se requieren las mejores puntuaciones en los exámenes oftalmológicos estipulados a nivel internacional y nacional (Dirección general de Aviación Civil, 2020).

Es necesario fortalecer el proceso de selección del personal militar que decide ingresar en las escuelas de aviación de las Fuerzas Armadas del Ecuador. El proceso incluye un conjunto de pruebas en distintos aspectos para calificar como personas aptas para desempeñar las actividades que debe cumplir un piloto en su rol. Una de estas pruebas es la medición del campo visual, capacidad que es necesaria para que los pilotos puedan localizar e identificar aeronaves y el terreno sobre el que deben aterrizar.

La normativa de aviación exige que el campo visual de un piloto se debe enmarcar dentro de los parámetros establecidos, con el fin de mitigar los posibles accidentes que se puedan ocasionar en el cumplimiento de sus funciones operativas y tácticas (Dirección general de Aviación Civil, 2020).

La información presentada por la División de Investigación de Accidentes Aéreos muestra que los accidentes aeronáuticos frecuentemente son causados por pilotos que vuelan fuera de sus propios límites personales o debido a deficiencias en factores humanos visuales o cambios en el medio ambiente (Hardie & Brennan, 2020). Por lo que es necesario disponer de herramientas tecnológicas y/o mejorar los procesos de selección para evitar errores por factores humanos.

Se requiere estandarizar los procesos de selección en las escuelas de aviación de las Fuerzas Armadas, con el fin de que no todo el personal seleccionado cumpla con las mismas cualidades y capacidades requeridas para pilotar aeronaves.

Según la literatura relacionada, las pruebas visuales que se realizan en los aspirantes a pilotos en las diferentes escuelas de aviación de las Fuerzas Armadas, en algunos casos no se evalúa el campo visual y cuando se evalúa se lo realiza con

métodos tradicionales, o mediante un equipo de alto costo. Ante esta situación se apoyó en el desarrollo de herramientas tecnológicas para contribuir en el fortalecimiento y estandarización del proceso de selección a nivel nacional.

Las Fuerzas Armadas del Ecuador no disponen de nuevas herramientas tecnológicas que permitan evaluar las principales cualidades visuales requeridas en el personal aspirante a pilotos previo al ingreso a las escuelas de aviación. Para contribuir a esta necesidad, la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en conjunto con el Hospital de Especialidades de FF. AA Nro.1 y los técnicos de las Escuelas de Aviación llevan a cabo un proyecto de investigación que propone contribuir con el desarrollo y validación de un sistema integral que incluirá diferentes pruebas visuales tecnológicas y clásicas para mejorar dicho proceso de selección. Específicamente en este trabajo, se propuso realizar un sistema inmersivo e interactivo que permita evaluar la amplitud de campo visual en los aspirantes a pilotos.

Justificación

El trabajo propuesto aporta en la mejora y fortalecimiento del proceso de selección de aspirantes a piloto, específicamente en las pruebas del campo visual y a futuro podría ser parte del proceso de selección de aspirantes a pilotos.

Las escuelas de aviación de las Fuerzas Armadas del Ecuador pueden disponer de una nueva herramienta tecnológica. Dicha herramienta podría ser incluida en la batería de pruebas visuales que se realizan durante el proceso de selección de aspirantes a pilotos en las tres escuelas de aviación.

La herramienta propuesta permitió evaluar la amplitud del campo visual mediante un sistema inmersivo e interactivo utilizando Realidad Virtual y diferentes dispositivos de visualización e interacción.

Además, el desarrollo de este sistema contribuye en el desarrollo del proyecto de investigación que llevan a cabo la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, el

Hospital de Especialidades de FF. AA N°1, y especialistas en aviación de las Fuerzas Armadas.

Objetivos

Objetivo General. Implementar un sistema inmersivo e interactivo que permita evaluar la amplitud del campo visual en aspirantes a pilotos de las Fuerzas Armadas para contribuir en el proceso de selección previo al ingreso a las escuelas de aviación.

Objetivos Específicos

- Realizar un estudio exploratorio para conocer e identificar las técnicas para la evaluación del campo visual, tipos de pruebas y la tecnología que se utiliza.
- Desarrollar un sistema inmersivo e interactivo que permita evaluar la amplitud del campo visual, usando la metodología de Kaur, mediante la construcción de componentes visuales e integrando dispositivos de interacción.
- Realizar pruebas y validar el sistema en un grupo de aspirantes a pilotos en la escuela de aviación de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, de acuerdo al protocolo establecido y aprobado por el comité de bioética del Hospital de Especialidades de FF. AA N°1.

Alcance

Se realizó un estudio acerca de las herramientas tecnológicas y técnicas que se aplican para evaluar el campo visual.

Se realizaron reuniones con los investigadores del proyecto, especialista en oftalmología del Hospital de Especialidades de FF. AA N°1, técnicos aeronáuticos y pilotos de profesión, con el fin de conocer el proceso de evaluación del campo visual. Además, en las reuniones de trabajo se afinaron los requerimientos del sistema y se logró definir la tarea virtual que los participantes realizaron mientras son evaluados.

En este trabajo se presenta un sistema inmersivo e interactivo para evaluar el campo visual. Este sistema podría ser utilizado como herramienta tecnológica de apoyo

para el proceso de selección de aspirantes a pilotos previo al ingreso a las escuelas de aviación.

El desarrollo del sistema inmersivo e interactivo incluye tres entornos virtuales habituación, entrenamiento y evaluación. Cada entorno contiene los componentes y objetos en 3D acordados con los especialistas. Los objetos 3D fueron modelados en Blender. Los entornos fueron configurados y programados con Unreal Engine, C# y los SDKs que cada dispositivo utiliza. Los objetos 3D principales en los entornos fueron: cielo, paredes, hierba, globos aerostáticos y cuadros.

Se integró el software desarrollado con diferentes dispositivos de visualización e interacción. La disponibilidad de los dispositivos permitió realizar varias pruebas de integración y determinar los más idóneos de acuerdo a los requerimientos, calidad y precisión en las diferentes fases de ejecución de la tarea.

La tarea virtual para el participante consistió en 3 fases, cada una con sus instrucciones específicas según su objetivo. En la primera fase se realizó una habituación con los equipos de interacción y la visualización en las gafas de realidad virtual. En la segunda fase se realizó el entrenamiento para la manipulación de los equipos de interacción. Y en la fase final, se evaluó el campo visual en un ambiente similar al de entrenamiento y se registraron los resultados de la tarea virtual. Estos resultados fueron grabados en el sistema para lo cual se realizó el seguimiento de la mirada del participante durante el desarrollo de la tarea virtual.

Se creó un repositorio para registrar los datos personales de los participantes, y se implementó una interfaz para su registro, previo a realizar la tarea. Los datos guardados de la tarea fueron: tiempos en las fases de la tarea, objetos vistos, aciertos y errores.

Para validar el sistema se realizaron pruebas en personal militar seleccionado para formar un grupo control. Se aplicaron los respectivos protocolos de validación que

incluyen los consentimientos informados para el estudio experimental y los cuestionarios ampliamente utilizados en la evaluación de este tipo de proyectos.

Finalmente, se analizaron todos los resultados obtenidos en el estudio para obtener las conclusiones y recomendaciones.

Hipótesis de Trabajo

El uso de un sistema inmersivo e interactivo permitirá evaluar el campo visual con métodos no tradicionales en aspirantes a pilotos para contribuir en una de las pruebas visuales dentro del proceso de selección para el ingreso a las escuelas de aviación de las Fuerzas Armadas del Ecuador.

Capítulo II

Fundamento Teórico

En el presente capítulo se describen las bases teóricas y fundamentos que sustentan el trabajo, la metodología de desarrollo, la tecnología aplicada en sistemas inmersivos e interactivos, así como la conceptualización del campo visual y su contribución para el sistema desarrollado.

Metodología de Desarrollo

Se describe a continuación la metodología de Kaur seleccionada para el desarrollo del proyecto.

Metodología de Kaur. Para el presente trabajo, se seleccionó la metodología de Kaur para el desarrollo del sistema inmersivo e interactivo. Esta metodología consiste en una serie de tareas para cada fase de desarrollo. Esta metodología resalta las fases de análisis y diseño, a su vez, propone para el producto final una prueba de usabilidad. Las fases y sus correspondientes tareas son:

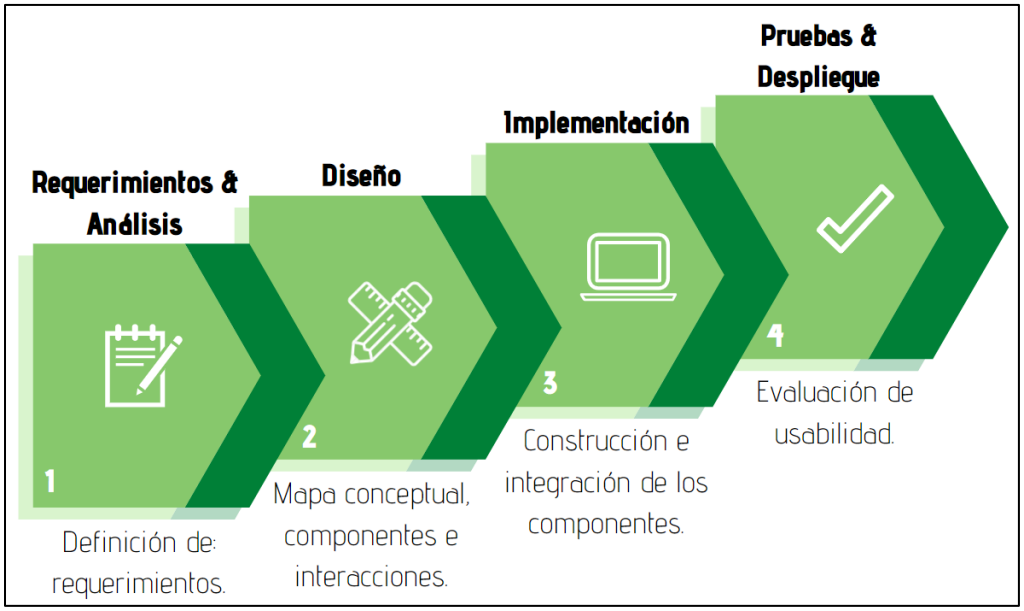
- Requerimiento y análisis: Definición de requerimientos, componentes e interacciones.
- Diseño: Diseño de mapa conceptual, interacciones y componentes.
- Implementación: Construcción e integración de los componentes.
- Pruebas y Despliegue: Evaluación de usabilidad.

Se considera la aplicación de entornos virtuales como un tipo de interfaz para la interacción humano-computador. Su característica es ofrecer una experiencia 3D de situaciones en la vida real, en la que el usuario navega e interactúa utilizando interacciones naturales con los componentes visuales (Valero & Bravo, 2009).

A continuación, se detallan las tareas distribuidas en las fases de desarrollo del sistema (ver Figura 1).

Figura 1

Fases y tareas de la metodología de Kaur



Nota: Se describe cada fase de la metodología de Kaur con sus respectivas tareas.

Marco Teórico

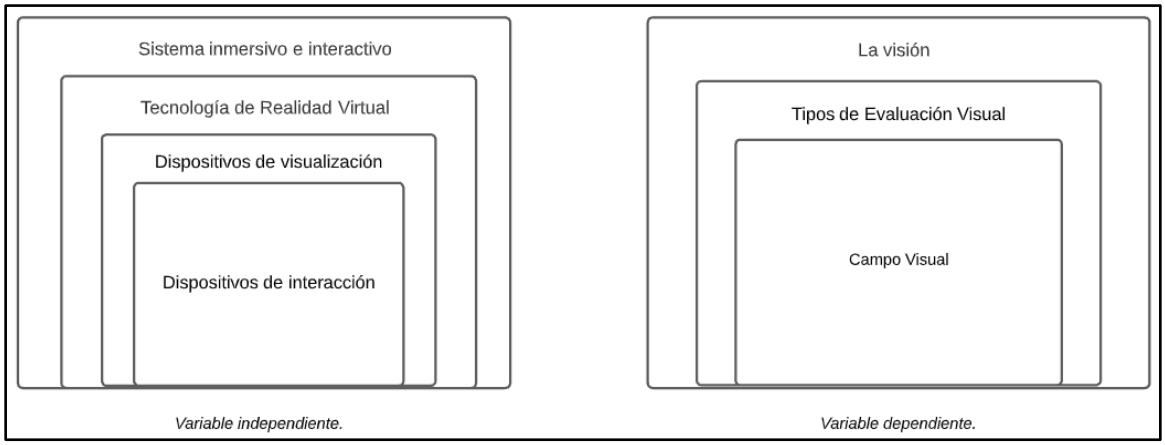
A partir de la hipótesis planteada en el capítulo I, se definen las variables dependiente e independiente. Las variables son las siguientes:

- Variable Independiente: Sistema inmersivo e interactivo.
- Variable Dependiente: Evaluación del campo visual en aspirantes a pilotos.

Red de Categorías. Se define una red de categorías como sustento al marco teórico, se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Red de categorías



Nota: En la figura se describen la red de categorías por la variable dependiente e independiente.

Sistema Inmersivo e Interactivo. Un sistema inmersivo e interactivo utiliza la realidad virtual como una interfaz humano-máquina de forma avanzada permitiendo que el usuario experimente de manera multisensorial. Se trata de una simulación computarizada de interacción y en tiempo real. En el proceso cognitivo asistido por esta herramienta destacan dos factores principales: los aspectos sensoriales (visual, auditivo y táctil) en la percepción del mundo virtual (inmersión) y la forma de interacción del usuario con él. Este sistema tiene como objetivo realizar la integración técnica de equipos de recopilación de información, de visualización y software gráfico (Hidalgo et al., 2014).

***Tecnología de Realidad Virtual*.** El desarrollo de esta tecnología actual permite una mejor y más auténtica interacción entre los medios y los seres humanos. Utilizando la realidad virtual, los usuarios pueden disfrutar entregando información de una forma más práctica e interesante. La realidad virtual hace que los usuarios se sientan como si estuvieran entrando directamente en un mundo nuevo. El uso de múltiples sensores juega un papel fundamental en la implementación de la realidad virtual, la existencia de

múltiples sensores hace que los usuarios de Internet sean más reales, porque cada acción que realiza el usuario puede ingresar al mundo virtual. Esta tecnología requiere de dispositivos periféricos clasificados en dispositivos de salida y dispositivos de interacción, juntos logran la comunicación entre el usuario y el entorno virtual (Pradifta et al., 2020).

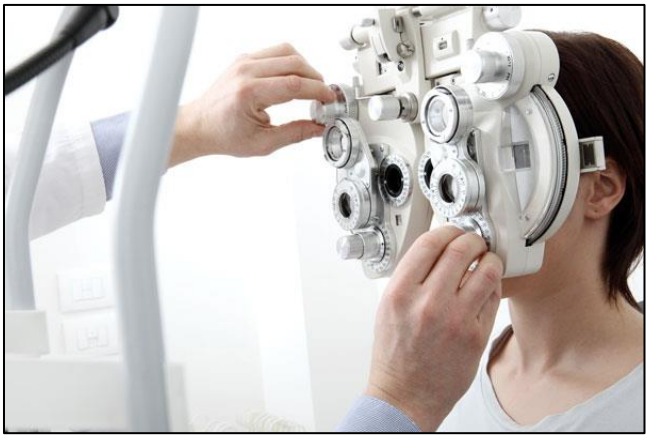
- Dispositivos de visualización: Este último tiene la función de convertir señales de audio, video y otros derivados informáticos en estímulos para los sentidos del usuario en el entorno virtual; aquí se puede identificar dispositivos como pantallas basadas en: proyector (CAVE), plataformas móviles, sistemas de audio, parlantes y otros (Lara et al., 2019).
- Dispositivos de interacción: Son los encargados de capturar las acciones de los usuarios en los entornos virtuales y dirigirlos hacia la computadora; como parte de estos dispositivos se encuentran: trackers (sistemas de rastreo), guantes, micrófonos, ratones, andadores y plataformas de observación (Lara et al., 2019).

Tipos de Evaluación Visual. La buena visión se refiere a obtener buenos resultados en diversas pruebas funcionales como y utilizar una buena iluminación en los lugares donde se realizan las actividades (Sánchez, 2012).

Agudeza visual. Como punto de partida para una evaluación oftalmológica es evaluar la agudeza visual. La mayoría de pacientes no ponen todo su esfuerzo en realizar esta prueba. Dar un buen estimulo y dedicarle tiempo suficiente a la prueba tiende a entregar resultados más acertados. La agudeza visual se puede medir con los propios lentes del paciente puesto o sin ellos. Si los pacientes no llevan sus lentes, se hace uso de un refractor estenopeico como se puede observar en la Figura 3 (Khazaeni, 2019).

Figura 3

Evaluación de agudeza visual



Nota: La figura representa la evaluación de la agudeza visual con un refractor estenopeico. Tomado de *Pruebas Oftalmológicas, 2017, Clínica Rahhal.*

Campo Visual. Se considera campo visual a la percepción global producida por la estimulación de toda la retina en un determinado momento. Esta cualidad visual es la cantidad de espacio que un ojo puede percibir manteniendo la mirada en un determinado punto. El campo visual normal es de 50 ° en el área superior, 60 ° en el área nasal, 70 ° en el área inferior y 90 ° en el área temporal.

Las enfermedades de la retina y algunos nervios ópticos pueden provocar una disminución del campo visual. Si es común e intensa, se suele llamar visión en túnel, y si es bilateral, se llama visión en cañón de escopeta.

Existe variedad de técnicas que se pueden utilizar para detectar defectos del campo visual. La más común es la perimetría por computadora, sin embargo, este tiene serias desventajas para los pacientes con baja visión, muchos de los cuales tienen serios problemas de fijación (Begoña et al., 2015).

a) Exploración del campo visual: La prueba del campo visual realizada con un campímetro como puede ser observado en la Figura 4, puede determinar si hay un punto ciego, también llamado escotoma, en su campo de visión y la

ubicación del punto ciego. El tamaño y la forma del punto ciego pueden mostrar cómo las enfermedades oculares o cerebrales afectan su visión. Por ejemplo, si tiene glaucoma, esta prueba puede ayudar a mostrar una posible pérdida de la visión lateral (periférica) debido a la enfermedad (Boyd, 2021).

Figura 4

Exploración del campo visual

Nota: Paciente realizando la evaluación del campo visual en un campímetro. Tomado de *Campimetría Visual, 2013, Institut de la Mácula.*

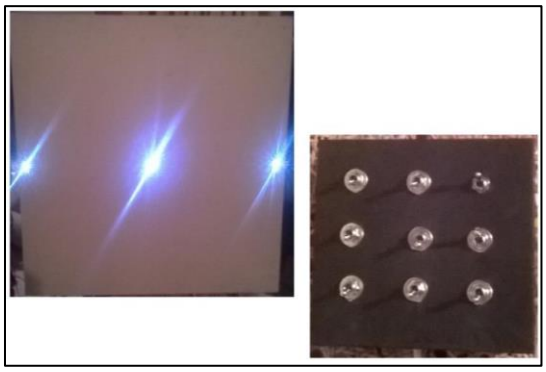
b) Ángulos del campo visual: Los ángulos varían conforme la edad del paciente, van en decremento. El campo de visión monocular de una persona normal se extiende hasta 60 grados en la capa superior y 75 grados en la capa inferior. Horizontalmente, se extienden hasta 60 grados hacia la nariz y hasta 100 grados en el tiempo. Teniendo en cuenta ambos ojos, los dos campos de visión se complementan entre sí, dando como resultado un área estereoscópica que se extiende aproximadamente 120 grados en horizontal (Ramírez & Velasco, 2015).

c) Técnicas de evaluación del campo visual: para evaluar el campo visual se han utilizado a lo largo del tiempo diferentes pruebas como lo son el test de bangolini, por confrontación y la campimetría computarizada.

El Test de Bangolini modificado consta de 9 bombillas de 2,5 V separadas 37,5 cm; el tablero tiene 3 filas de espaciado equidistante. Los puntos donde se encuentran las 9 bombillas representan las 9 posiciones de fijación. Estos se pueden activar individualmente o simultáneamente en cualquier combinación. Por lo general, pruebe con 3 luces intermedias en una línea horizontal o vertical como se observa en la Figura 5 (Hirai et al., 1998).

Figura *5*

Test de Bangolini modificado

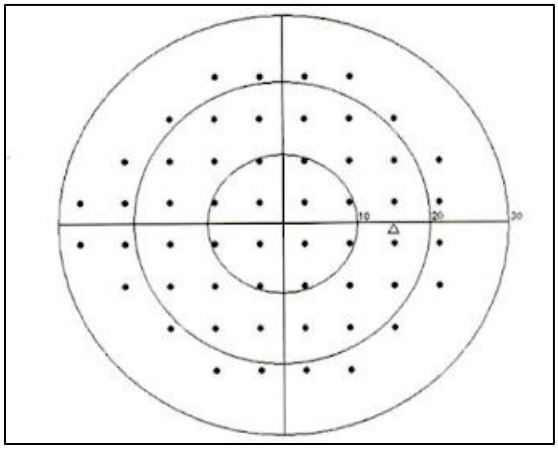


Nota: La figura representa la serie horizontal y la distribución de las bombillas. Tomado de *Test de Bagolini modificado y su evaluación en la medición del campo visual binocular frente a la campimetría visual computarizada, 2015, Ciencia Unisalle.*

Por otro lado, la campimetría es una prueba no invasiva de exploración funcional de la sensibilidad del campo visual. Los resultados obtenidos por equipo comerciales se basan en puntos o estímulos proyectados que siguen una serie de patrones programados por algoritmos en sus sistemas. Cada fabricante de periféricos tiene su propio sistema, que incluso puede variar según el modelo y versión del dispositivo. El equivalente conceptual es definir el plano de sensibilidad de campo que el ojo puede percibir enviando estímulos a cada zona como se observa en la Figura 6.

Figura 6

Mapa de puntos del campo visual



Nota: Mapa de puntos de estudio 24-2 del campo visual. Tomado de *Interpretación de Campo Visual, 2017, Tecnología médica en oftalmología.*

Herramientas para el Desarrollo

Se describen las herramientas de software y hardware utilizadas en el desarrollo de este trabajo.

Software

Unreal Engine. Fue creado en 1998 a partir de juegos en primera persona. Unreal Engine combinó una serie de sistemas que incluyen detección de colisiones, renderizado, inteligencia artificial, visibilidad, redes, secuencias de comando y administración de archivos. La popularidad de Unreal Engine incrementó debido al diseño modular de la arquitectura del motor y la inclusión de un lenguaje de scripting basado en C++ (Sanders, 2017).

Android SDK. Android es un software destinado al desarrollo para dispositivos móviles. Su SDK es un kit de desarrollo para software y hardware específicos que incluye diversas herramientas y complementos para el desarrollo de aplicaciones para su sistema operativo y mantiene en su repositorio todas las versiones por si el desarrollador requiere enfocarse en un dispositivo antiguo (Linux for You, 2008).

Blender. El software es un entorno para desarrollar modelos de malla poligonal 3D. Esta es la base para crear funciones adicionales utilizando distintos componentes, incluidos los complementos disponibles externamente y prometidos. En el proceso de lanzamiento de cada versión nueva de software, las funciones nuevas o complejas optimizan las funciones adicionales (Tsankova et al., 2017).

C#. También conocido como, C Sharp, es un lenguaje de programación orientado a objetos por el cual permite en el desarrollo crear diferentes tipos de aplicaciones seguras que se ejecutan en .NET. Este lenguaje ofrece construcciones de lenguaje para apoyar estos conceptos siendo un lenguaje natural para crear soluciones de software, sus inicios se encuentran en la familia de lenguajes C por lo que resulta un lenguaje bastante familiar entre programadores (Microsoft, 2021).

Hardware

Computador. El computador recomendado para el desarrollo de este trabajo necesita los siguientes requerimientos mínimos: sistema operativo Windows 10, memoria RAM de 8GB para garantizar la respuesta eficiente en el procesamiento de datos, procesador Quad-core Intel o AMD de 2.5 GHz o superior, tarjeta de video NVIDIA GeForce 470 GTX o AMD Radeon 6850 HD y puerto USB 3.0 para la visualización alámbrica en el ordenador y el Oculus Quest simultáneamente.

Oculus Rift y controladores. Es un visor ligero alámbrico de realidad virtual que consume los recursos del computador. Se han lanzado dos versiones del kit de desarrollador, a saber, la versión 1 del kit de desarrollador (DK1) y la versión 2 del kit de desarrollador (DK2). El DK2 es una versión más avanzada del Oculus Rift en comparación con DK1. Los kits de Oculus Rift vienen con tres juegos de lentes: A, B y C. El par de lentes A debe ser utilizado por personas que tienen una excelente visión de largo plazo, ya que la grieta se enfoca en el infinito. Los pares B y C deben ser utilizados por personas que tienen problemas de miopía, aunque no pueden ser

utilizados por todos, especialmente por personas con complicaciones importantes de la vista (Rajesh et al., 2014).

Oculus Quest 2 y controladores. Es un dispositivo inalámbrico de realidad virtual (VR) de Meta, lanzado en 2020. Similar a su predecesor Oculus Quest, se ha utilizado principalmente en la industria de videojuegos. Oculus Quest 2 tiene la capacidad de ejecutarse como un headset independiente de 6GB de RAM, con su sistema operativo basado en Android y el software VR compatible con Oculus que se ejecuta en un ordenador de escritorio cuando se conecta con USB o Wi-Fi. Este dispositivo cuenta con 2 controladores táctiles intuitivos como parte de la interacción y navegación en el sistema inmersivo (Robinson, 2021).

Capítulo III

Desarrollo

En este capítulo se describen las fases de la metodología de Kaur, desde el levantamiento de requerimientos con el especialista, la definición del diseño, el desarrollo del sistema inmersivo e interactivo y su implementación.

Fase de Requerimientos y Análisis

Para identificar los requerimientos del sistema se realizaron reuniones de trabajo con el grupo de investigadores del proyecto y especialistas del Hospital de Especialidades de FF. AA N°1.

Definición de Requerimientos. Para entender los requisitos necesarios del aplicativo se realizaron visitas al Hospital de Especialidades de FF. AA N°1 y múltiples reuniones virtuales con el especialista. Durante la primera visita se realizó una evaluación del campo visual a los estudiantes tesistas de este estudio. Esto permitió conocer los aspectos más relevantes de esta prueba visual. La explicación fue dada por parte de uno de los especialistas en optometría y el médico oftalmólogo. Inicialmente se llevó a cabo un examen de agudeza visual con un auto refractómetro como se muestra en la Figura 7, en el que el estudiante tesista colocó su quijada en un punto de apoyo y observó dentro de la máquina un punto fijo definido por una casa a lo lejos, el auto refractómetro permite obtener de forma automática la graduación de cada ojo. Posteriormente se realizó la evaluación del campo visual usando un campímetro computarizado marca Humphrey/Zeiss como se muestra en la Figura 8. El equipo permite evaluar la amplitud del campo visual del paciente a partir de luces aleatorias repartidas en un plano cóncavo, estas se encienden dentro del campímetro y por medio de un disparador el paciente debe notificar las luces que ha visto. Debido a la antigüedad de las máquinas, todo el procedimiento toma alrededor de 15 a 20 minutos, por lo que siempre deben realizarlo en horas de la mañana para evitar la fatiga visual.

Esto ocasiona que se puedan producir falsos positivos o incluso posponer el examen visual.

Figura 7

Prueba de agudeza visual

Nota: Se evidencia tesista participando en la prueba de agudeza visual realizada por el optometrista.

Figura 8

Prueba de campimetría

Nota: Optometrista explicando el proceso de la prueba de campimetría.

Definición de los Componentes del Entorno Virtual. Al finalizar las pruebas se llevó a cabo una reunión con el médico oftalmólogo, el cual especificó y explicó cada uno de los componentes que se encontraron dentro de la evaluación, las mediciones que se deben cumplir y como realizar el estudio adecuadamente para que los resultados sean lo más precisos posibles. La propuesta de diseño incluye tres entornos virtuales con sus respectivos objetos en 3D que permiten simular las acciones previstas en la evaluación del campo visual de forma interactiva e inmersiva, y sobre todo en menor tiempo para evitar la fatiga visual. Se ha definido una tarea virtual que consta de tres fases: habituación, entrenamiento y evaluación.

Definición de las Interacciones de los Componentes. Para cumplir con la función de un sistema inmersivo e interactivo se utilizaron dispositivos de visualización e interacción. Para la visualización se utilizó un equipo de gafas de realidad virtual para permitir al participante sentir un entorno inmersivo. La interacción se realizó mediante los controladores del kit de las gafas de RV con el fin de que el participante pueda interactuar con los componentes del entorno y realizar la tarea. Se tuvo a disposición dos modelos de gafas de RV, se instalaron y probaron los dos equipos, luego en base a las prestaciones y facilidades fue seleccionado el Oculus Quest 2 debido a que permite que el sistema sea portable, low cost y ofrece libertad de movimiento al participante.

Fase de Diseño

El sistema desarrollado consta de 2 secciones. La primera sección consiste en la interfaz que corresponde al Evaluador, quien registra los datos del participante. La segunda sección consiste en una tarea virtual que incluye tres entornos virtuales por medio de los cuales el participante interactúa en primera persona.

Arquitectura

Para el desarrollo del sistema inmersivo e interactivo se consideró seguir una arquitectura como se representa en la Figura 9, conformada por: complementos, plataforma y despliegue.

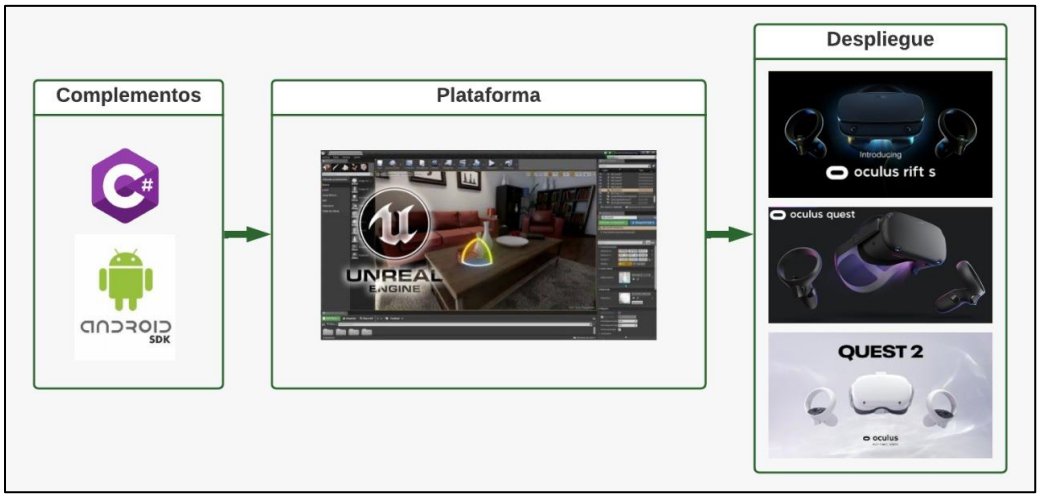
Como complementos implementados fueron: C# y Android SDK los cuales permitieron integrar la plataforma de Unreal Engine con los dispositivos de visualización e interacción, además de desarrollar un módulo complementario para el registro de datos.

En el motor Unreal Engine se procedió a establecer las interacciones entre los objetos 3D y el entorno, para ello se utilizaron nodos, o también conocidos como blueprints, propios del motor la cual permitió crear e implementar las interacciones entre objetos 3D como su desaparición y el movimiento.

Para el despliegue del prototipo se hicieron pruebas con varios visores 3D con el fin de probar su visualización y funcionamiento seleccionando a Oculus Quest 2 como el más adecuado.

Figura 9

Arquitectura

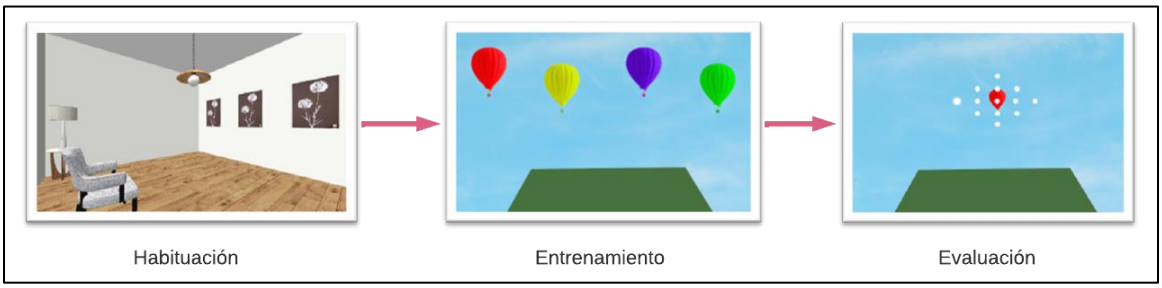


Nota: La figura detalla la arquitectura del prototipo.

Diseño de Mapa Conceptual. Este diseño representa la unión de los conceptos: realidad virtual y mundo real. El primero requirió que se creen dos fases de habituación y entrenamiento para asegurar previamente que el participante se adapte a la realidad virtual. Y una tercera fase se creó tomando en consideración los requerimientos del especialista que consistió en realizar la evaluación del campo visual ahora en realidad virtual, contemplando el mapa de puntos conformado por 54, dicha evaluación se debe realizar en cada ojo. En conjunto estas 3 fases conformaron el concepto de tarea virtual como se puede observar en la Figura 10, a cada fase le corresponde su entorno virtual junto con sus objetos 3D y terreno que se definieron en la fase de creación.

Figura 10

Mapa conceptual

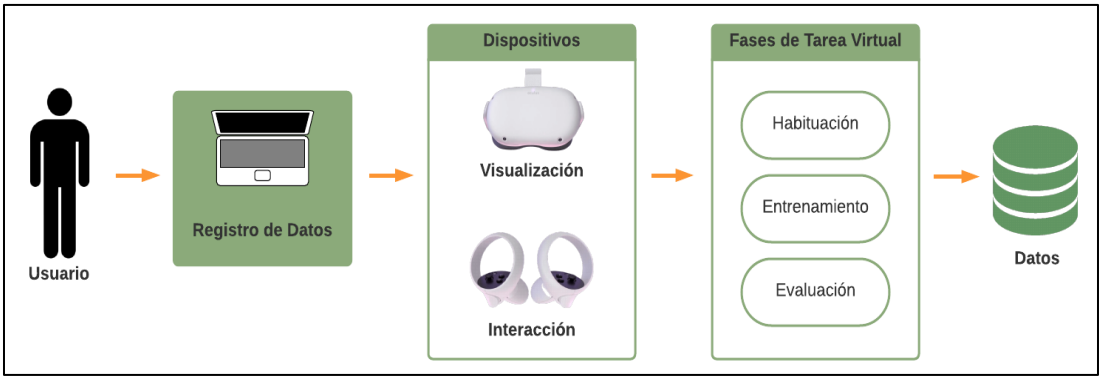


Nota: La figura describe los conceptos de las tres fases que conforman la tarea virtual.

Diseño de Interacciones. El diseño de las interacciones consistió en establecer las acciones del participante a través del dispositivo Oculus Quest y su controlador touch con los entornos del diseño del mapa conceptual que se creó previamente.

Figura 11

Esquema del prototipo



Nota: Diagrama de interacción y visualización del usuario con el prototipo.

Creación de la tarea virtual. Como se definió en el diseño del mapa conceptual, la tarea virtual consta de las siguientes tres fases:

- Fase de habituación: en esta fase el participante está localizado en una habitación, la misma contiene tres cuadros colgados en la pared, una mesa con una lámpara en una esquina y una ventana por la cual se puede observar un árbol en el exterior. El participante escuchará las instrucciones en las que le indica que por medio del controlador touch debe desaparecer los cuadros para avanzar.
- Fase de entrenamiento: en esta fase el participante está localizado sobre un terreno con césped, detrás se encuentran árboles y por delante tiene 4 globos aerostáticos de diferentes colores en el cielo. Después de escuchar las instrucciones respectivas, tiene que desaparecer con el controlador touch todos los globos para avanzar.
- Fase de evaluación: en esta última fase, el participante se encuentra sobre el terreno con césped y árboles, por delante solo se encuentra un globo aerostático en el cielo de color rojo. El participante escucha las instrucciones donde se le

indica que debe fijar su mirada en el globo y no retirarla durante toda la fase, paralelamente con el controlador touch debe presionar, sin apuntar, cada que vea una luz en el cielo.

Figura 12

Tarea Virtual

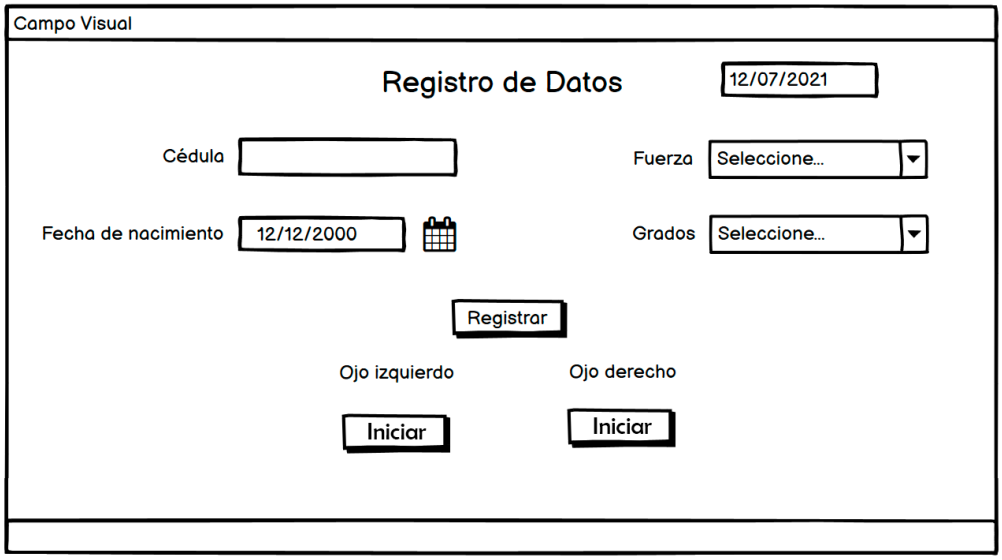
Nota: La figura describe los conceptos de las tres fases que conforman la tarea virtual.

Diseño de Componentes. Se describen los objetos 3D y elementos multimedia que se utilizaron para el desarrollo del sistema inmersivo e interactivo desde el registro de datos generales del participante hasta la creación de la tarea virtual.

Módulo Complementario. Para el registro de datos se crea un módulo complementario, cuya interfaz fue diseñada y programada en lenguaje C#. En la Figura 13, se muestra el diseño de la interfaz de registro de datos del participante y de evaluación con los campos definidos con el especialista. Los campos del participante son: cédula, fecha de nacimiento, fuerza y grado militar. Los campos de la evaluación son: aciertos y errores, tanto del ojo izquierdo como del ojo derecho.

Figura 13

Formulario de registro de datos



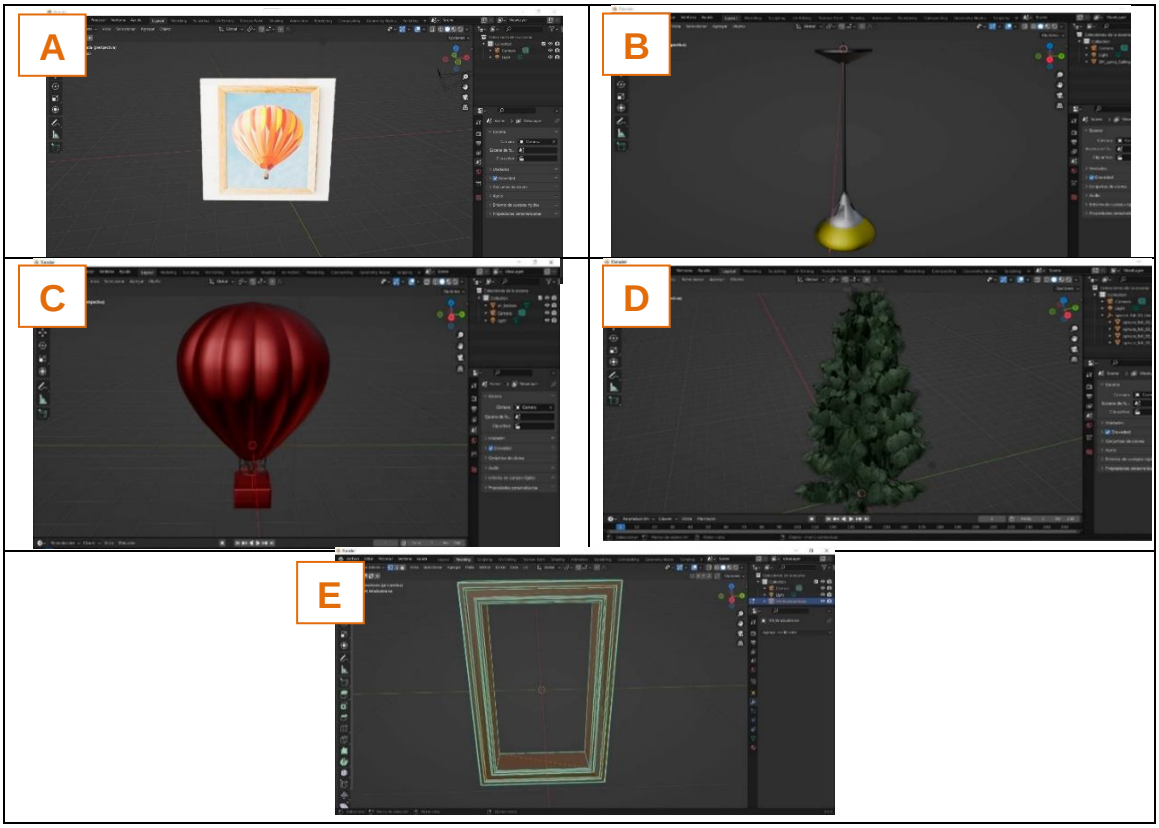
Nota: Diseño de los campos de registro previos a las tareas del entorno virtual.

Objetos 3D. Se modelaron y refinaron los objetos 3D haciendo uso de la herramienta Blender a partir de imágenes de referencia para cada proyección sobre los ejes x,y,z. Los objetos fueron definidos previamente por los especialistas del proyecto.

En la Figura 11, se describen los objetos 3D creados para cada uno de los entornos de la tarea virtual. Los cuadros fueron creados en base a 524 triángulos y 274 vértices (ver Figura 14 (a)). La lámpara de techo fue creada en base a 2.442 triángulos y 1.217 vértices (ver Figura 14 (b)). El globo aerostático con 118.702 triángulos y 65.017 vértices (ver Figura 14 (c)). El árbol con 12.899 triángulos y 14.196 vértices (ver Figura 14 (d)). La ventana consta de 176 triángulos y 96 vértices (ver Figura 14 (e)). Finalmente, el sillón consta de 958 triángulos y 523 vértices (ver Figura 14 (f)).

Figura 14

Creación de objetos 3D



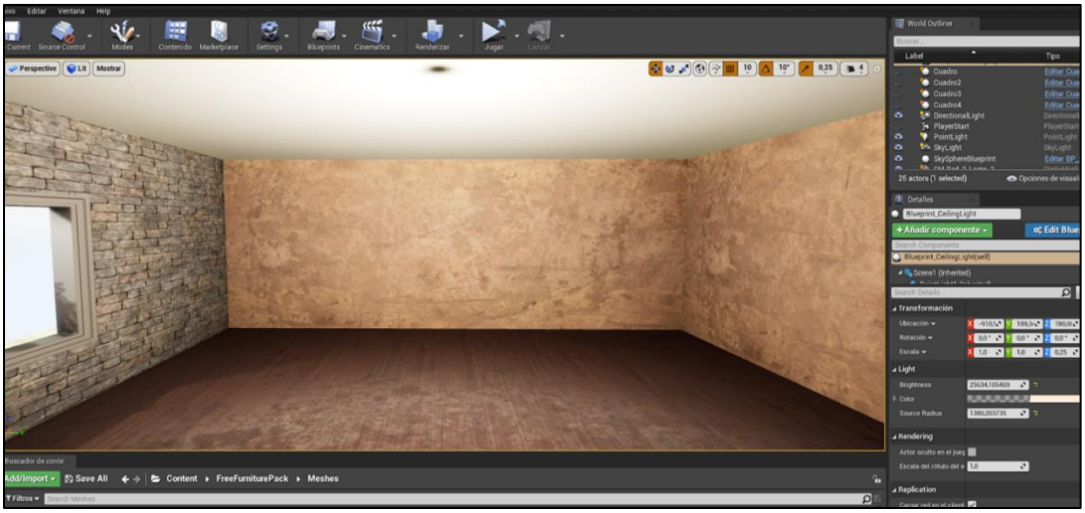
Nota: Objetos 3D modelados en Blender.

Entornos. La creación de los entornos se realizó en el motor Unreal Engine considerando una escala del 1 al 100 para los 3 entornos: habituación, entrenamiento y evaluación.

- Habituación: El entorno consiste en una habitación montada sobre el terreno, se construyó el piso y las paredes con el componente plane. Se definió una textura de madera para dar el estilo al suelo y una textura de piedra para las paredes.

Figura 15

Entorno de habituación

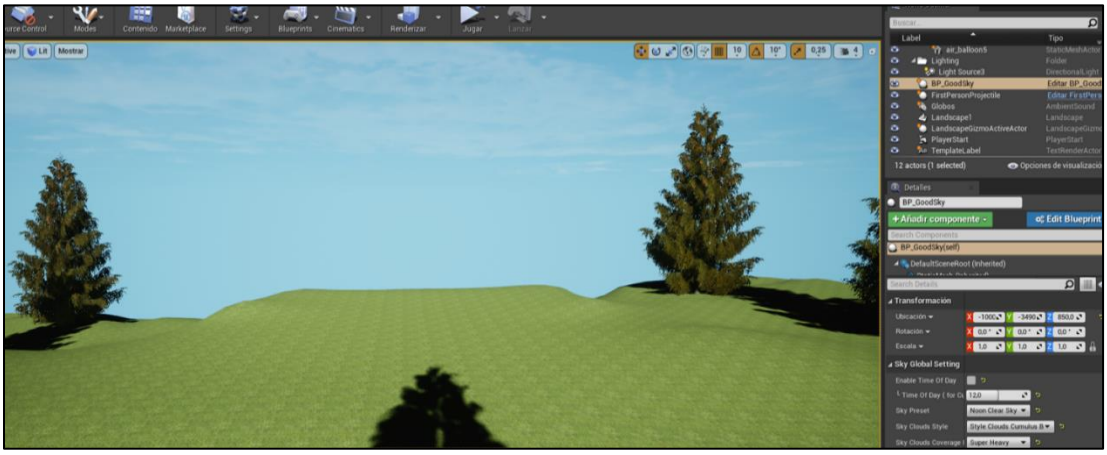


Nota: Creación del entorno de habituación en Unreal Engine.

- Entrenamiento: Se creó un entorno abierto con el componente terrain de 50 x 50 en el cual se modelaron las elevaciones con la herramienta de Unreal Engine y una textura para asemejar el césped.

Figura 16

Entorno de entrenamiento



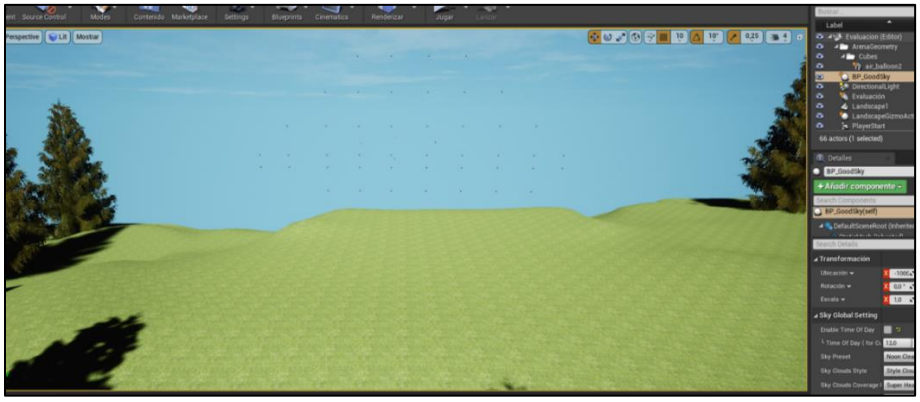
Nota: Creación del entorno de entrenamiento Unreal Engine.

- Evaluación: Se creó otro entorno abierto con el componente terrain de 70 x

70 en el cual se modelaron diferentes elevaciones con la herramienta de Unreal Engine y la textura para asemejar el césped.

Figura 17

Entorno de evaluación

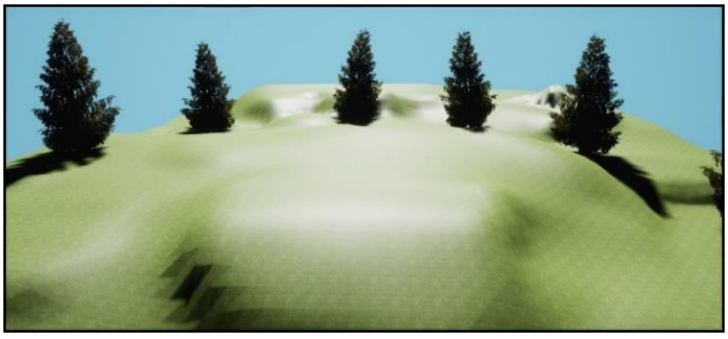


Nota: Creación del entorno de evaluación en Unreal Engine.

Terreno. Fue modelado con el mismo motor de Unreal Engine 4.26.2 en una dimensión de 40 x 40 con el componente landscape que permitió otorgarle una textura con características de césped. Para los entornos de entrenamiento y evaluación se modelaron elevaciones para asemejar un terreno con montañas.

Figura 18

Terreno



Nota: Terreno creado en Unreal Engine.

Cielo. Se incorporó el componente “SkyGood” propio de Unreal Engine, el cual permitió definir permanentemente un cielo de mediodía con nubes y sol.

Figura 19

Cielo

Nota: Cielo creado en Unreal Engine.

Audios. Se grabaron diferentes audios con las instrucciones dirigidas al participante para cada fase de la tarea virtual. Su formato es .wav de onda de 16 bits en una frecuencia de 44100Hz para compatibilidad con Unreal Engine.

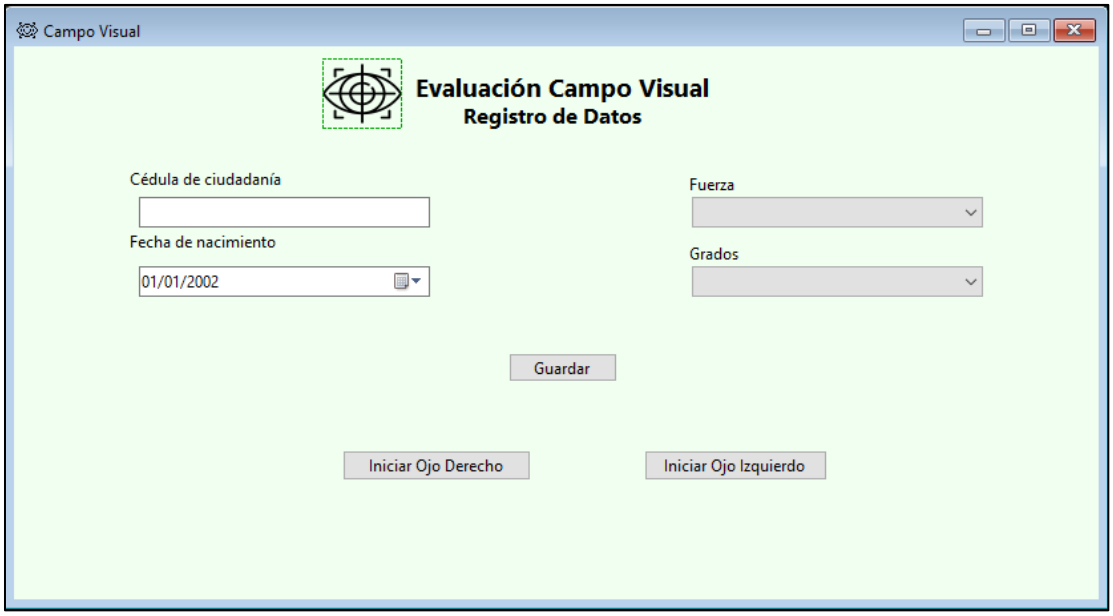
Fase de Implementación

La implementación consiste en la construcción e integración de los componentes del sistema inmersivo e interactivo, utilizando el motor Unreal Engine en su versión 4.26.2 y el Oculus Quest 2 como componente de visualización e interacción.

Construcción de los Componentes. Se construyó en la primera sección bajo el lenguaje de programación C# una interfaz intuitiva de registro de los datos generales del participante, solo cuando estos son guardados se despliegan los campos para registrar los resultados de la evaluación basado en el diseño establecido con el especialista, se puede observar la pantalla final en la Figura 18. Otros datos como los tiempos de evaluación son registrados de forma automática.

Figura 20

Interfaz de registro de datos



Nota: La interfaz presenta todos los datos a almacenarse del participante y de la tarea virtual.

Integración de los Componentes. Para realizar la integración de los componentes del sistema inmersivo e interactivo con el motor Unreal Engine, se requirió activar la función de modo desarrollador en la aplicación móvil de Oculus. El Oculus Quest 2 y sus controladores touch al obtener permisos de desarrollador, fueron conectados al computador por medio de su función AirLink que es una conexión inalámbrica que se mantiene por WiFi (la distancia al router WiFi debe ser menor a 6 m) entonces instalar la aplicación directamente en el Oculus Quest 2.

Figura 21

Configuración de los componentes

Nota: Tesista configurando el equipo de RV con el sistema de Unreal Engine.

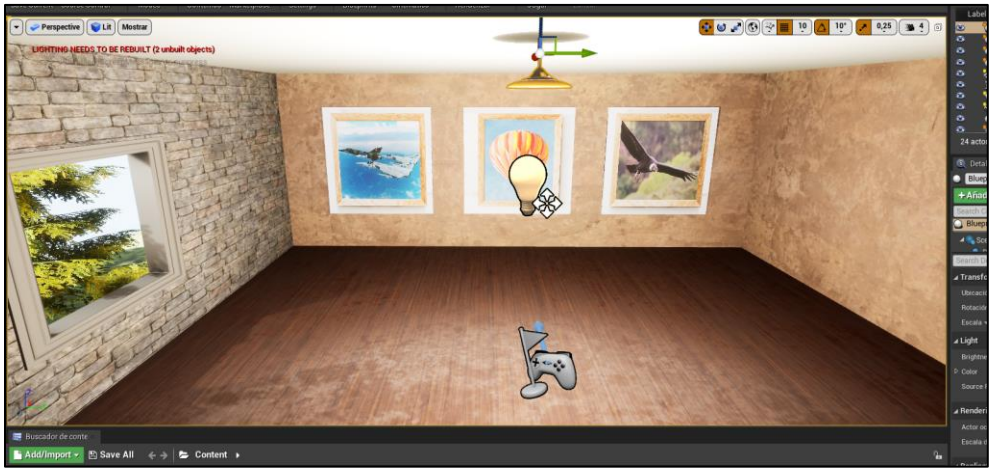
El Oculus Quest 2 y sus controladores touch permiten al participante visualizar los entornos virtuales, controlar los movimientos con su cabeza y las interacciones con los objetos 3D durante la tarea virtual.

Entornos. Junto con el especialista se definieron los objetos 3D finales para integrar en cada uno de los 3 entornos: habituación, entrenamiento y evaluación.

- Habituación: En el interior de la habitación creada se localizó en la pared frontal 3 cuadros, en la pared lateral izquierda una ventana por la cual se observa un árbol en el exterior, en la pared posterior se encuentra una lámpara de mesa y en el techo una lámpara colgante.

Figura 22

Entorno de habituación integrado



Nota: Objetos ubicados en el entorno de habituación en Unreal Engine.

- Entrenamiento: Se localizaron en el cielo cuatro globos aerostáticos de diferentes colores: amarillo, morado, rojo y verde, a una distancia del eje x de 10 y del eje y de 18 respecto al terreno.

Figura 23

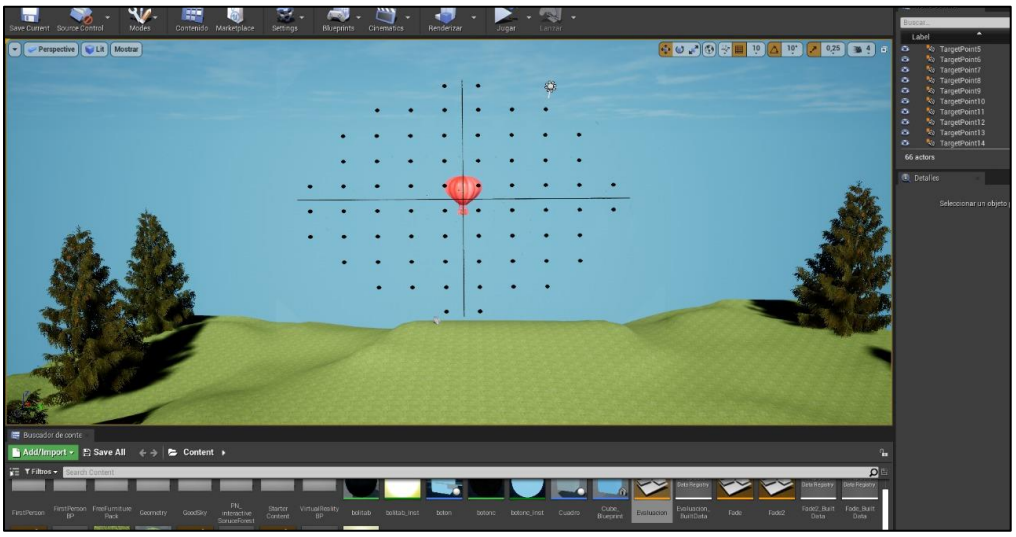
Entorno de entrenamiento integrado

Nota: Objetos ubicados en el entrenamiento Unreal Engine.

- Evaluación: Se colocó en el cielo un globo aerostático de color rojo, a una distancia del eje x de 10 y del eje y de 18 con respecto al terreno. Y luces que se prenden cada 0.3 segundos siguiendo la distribución del mapa de campo visual conformado por 54 puntos.

Figura 24

Entorno de evaluación integrado



Nota: Objetos ubicados en el entorno de evaluación en Unreal Engine.

A través de Oculus Casting, se transmitió en tiempo real en el computador la tarea virtual como se puede observar en la Figura 22.

El registro de los datos generales es realizado directamente en el computador previa y posterior a que el participante realice la tarea virtual, de esta forma quedan almacenados en el computador para el futuro procesamiento de datos.

Figura 25

Integración de los componentes

Nota: Usuario utilizando los componentes de realidad virtual.

Capítulo IV

Fase de Pruebas y Validación

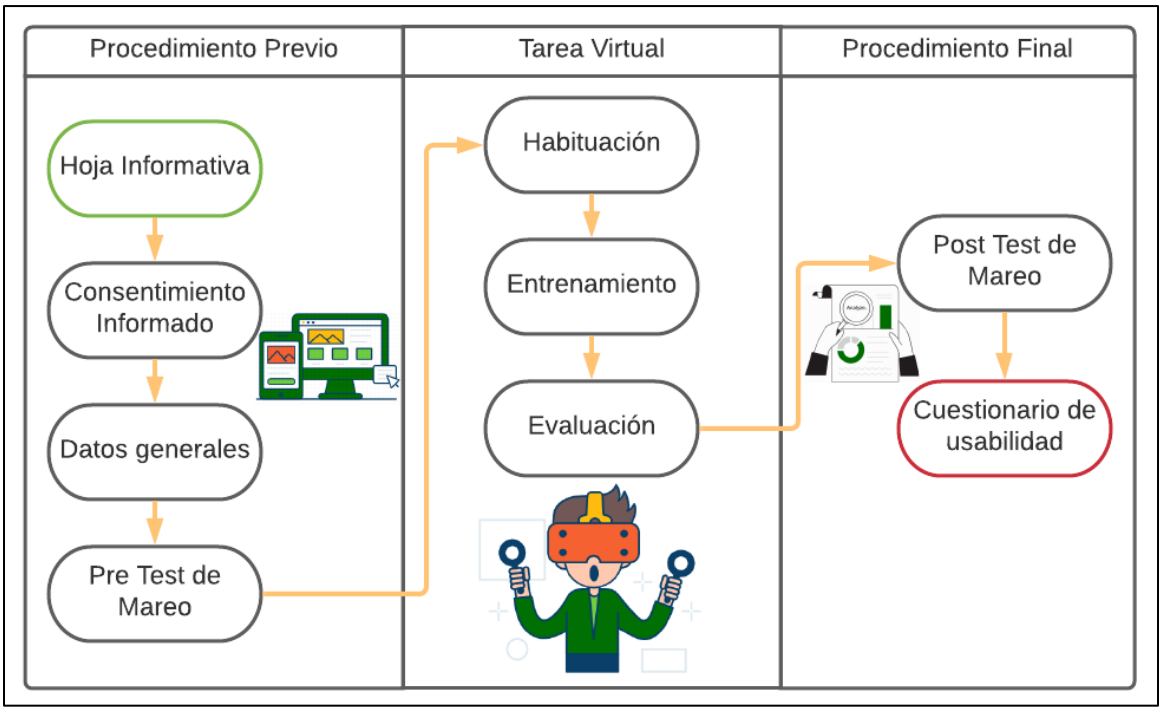
En esta fase se describen las pruebas que se realizaron en un grupo control seleccionado por el especialista. El grupo de participantes estuvo conformado por personal militar.

Protocolo de Validación

El protocolo de validación consistió en el flujo que se representa en la Figura 26 conformado por: procedimiento previo, ejecución de la tarea virtual y procedimiento final.

Figura 26

Protocolo de validación



Nota: Se representa el flujo establecido en el protocolo de validación por cada participante.

Ejecución del Protocolo. Cumpliendo con el protocolo de validación se utilizaron las instalaciones del CICTE, específicamente el área CAVE. Las pruebas se realizaron el 21 de enero del 2022 desde las 9H00 hasta las 12H00. Se obtuvo la respectiva autorización por parte del Director del CICTE.

Durante el proceso de pruebas se aplicaron medidas de bioseguridad para prevenir posibles contagios, en participantes, tesistas, especialistas e investigadores. En el área CAVE se instalaron los equipos y se utilizó la estructura creada para el efecto como parte de las evaluaciones visuales. Se incluyó un proyector para visualizar desde fuera las acciones del participante. La computadora del proyecto aloja el sistema y se guardan las acciones del participante durante la tarea.

Figura 27

Colocación de equipos en el área de pruebas

Nota: Tesista conectando y configurando equipos en el área de pruebas.

Procedimiento Previo. Antes de la tarea virtual se les entrega a los participantes una hoja informativa con el fin de dar a conocer los objetivos del proyecto, las acciones que involucra la tarea y se les informa que es un estudio experimental y que en ningún caso puede ser un diagnóstico o evaluación médica. Luego, recibe un consentimiento informado para que lea, se informe y en caso de aceptar su participación firme dicho documento.

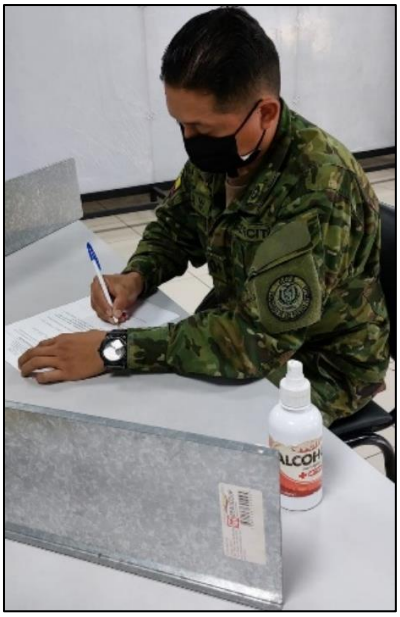
Figura 28

Hoja Informativa

Nota: Participante recibiendo hoja informativa.

Figura 29

Consentimiento informado



Nota: Participante firmando hoja de consentimiento.

A continuación, se aplicó el cuestionario que permite evaluar 16 síntomas acerca del mareo, como dolor de cabeza, visión borrosa, vértigo, nausea, sudoración, falta de concentración entre otros.

Después, se procede a desinfectar las manos del participante con alcohol, se le provee un gorro desechable, se desinfectan los controladores y las gafas de RV. Se le pide al participante que se siente en el sillón que dispone la estructura de pruebas, se le indica el uso físico de los controladores.

Figura 30

Protocolo de bioseguridad

Nota: Participante colocándose gorro desechable en cumplimiento al protocolo de bioseguridad.

Figura 31

Desinfección de equipo de RV

Nota: Tesista desinfectando Oculus Quest 2.

Finalmente, se ingresa en la aplicación y mediante la interfaz desarrollada se registran los datos personales del participante, se colocan las gafas se entregan los controles de interacción e inician la tarea.

Tarea Virtual. La tarea consta de tres fases habituación, entrenamiento y evaluación. En cada una de las fases se guardan datos como aciertos, errores, hora de inicio y fin de la evaluación para posteriormente proceder con el análisis de resultados en conjunto con el especialista.

Figura 32

Indicaciones del tesista

Nota: Participante escuchando indicaciones sobre el uso del equipo de RV.

Figura 33

Tarea virtual

Nota: Participante realizando la tarea virtual.

Procedimiento Final. Al finalizar la tarea virtual, el participante permanece con los ojos cerrados para evitar marearse con el cambio de percepción del entorno virtual al mundo real; se retira el controlador touch de sus manos y se quitan las gafas Oculus Quest 2. Se dirige al participante contestar el cuestionario de mareo (Philipp et al., 2020) y así conocer los posibles efectos que pudiera causar la tarea virtual realizada. Además, responden a un cuestionario de usabilidad que incluye aspectos de la interacción, experiencia y satisfacción (Tcha-Tokey et al., 2016).

Figura 34

Procedimiento final

Nota: Participante contestando el cuestionario de usabilidad.

Análisis de Resultados

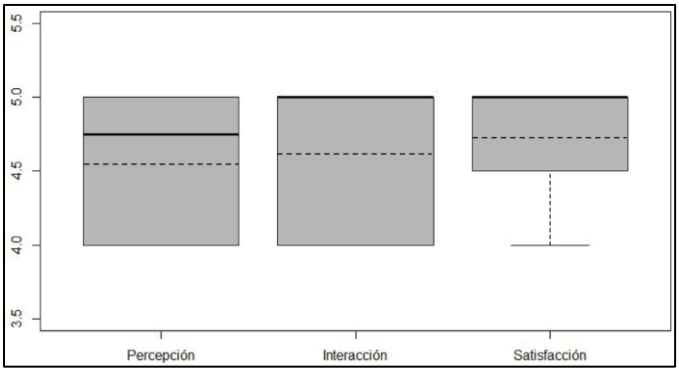
Cuestionario de Mareo. Al comparar los resultados de los cuestionarios aplicados antes y después de la tarea virtual, se encontró que el estado inicial de los participantes se mantuvo igual después de la tarea, es decir, que ninguno sintió síntomas de mareo. La aplicación y los dispositivos no causaron malestar en los participantes. Este resultado evidencia que la aplicación desarrollada puede ser una herramienta útil para evaluar el campo visual.

Cuestionario de Usabilidad. El cuestionario de usabilidad evalúa tres aspectos: percepción, interacción y satisfacción del participante.

- Percepción: La puntuación media alcanzada por los participantes respecto a este aspecto fue de 4.57/5. Según el resultado obtenido, los participantes se sintieron inmersos durante la ejecución de la tarea. Esta calificación determina que los participantes pudieron observar los objetos 3D y sus características durante la tarea virtual gracias al dispositivo de visualización. A los participantes no se les permitió mover la cabeza y se les solicitó fijar la mirada, lo que podría ser la razón por la que su evaluación no alcanzó la mayor puntuación máxima en este aspecto.
- Interacción: La media de la evaluación alcanzada en este aspecto fue de 4.67/5. Lo que evidencia que el manejo de los dispositivos de interacción, es decir, los controladores del Oculus Quest 2, fueron adecuados para interactuar con los objetos 3D y navegar en el entorno.
- Satisfacción: Respecto a la satisfacción de los participantes en la experiencia virtual, la media fue de 4.75/5. Lo que quiere decir, que los participantes realizaron una tarea virtual que les pareció divertida, fácil de utilizar, y sobre todo que todos los participantes manifestaron que volverían a utilizar el sistema.

Figura 35

Diagrama de cajas y bigotes del cuestionario de usabilidad



Nota: Diagrama de cajas y bigotes de los resultados del cuestionario de usabilidad realizado en R.

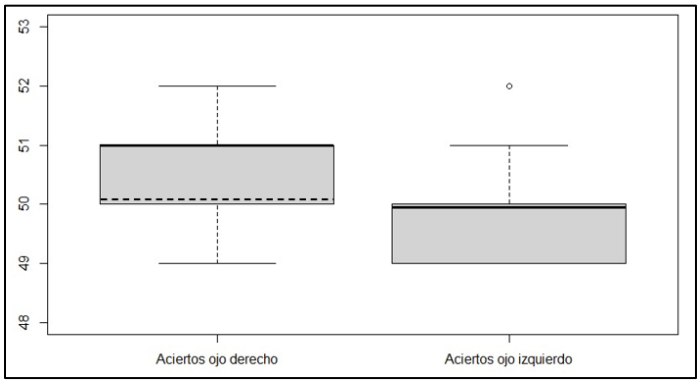
Análisis de Aciertos y Errores

Los participantes fueron evaluados en las mismas condiciones. Por cada ojo se evaluó su capacidad visual usando el mapa de puntos.

El grupo de control mostró una tendencia medía de aciertos en el ojo derecho de 50.78/54 con una desviación estándar de 0.97 y en el ojo izquierdo de 49.89/54 con una desviación estándar de 1.05, determinando que los datos registrados no se encuentran dispersos respecto a la media.

Figura 36

Diagrama de cajas y bigotes de aciertos en la evaluación

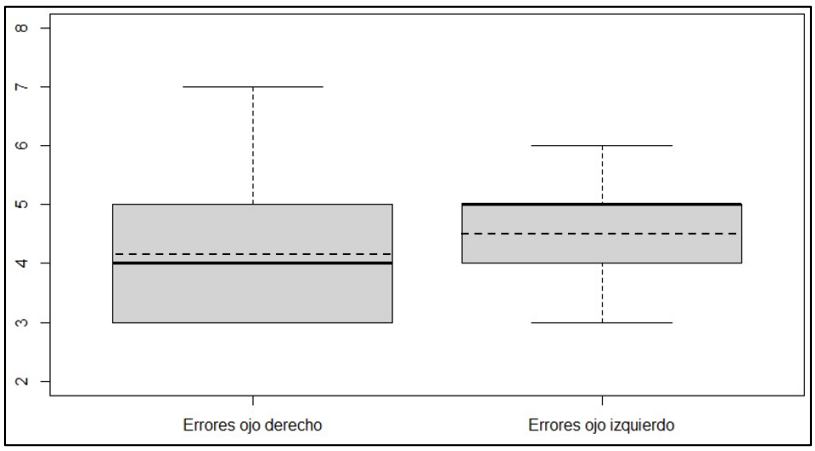


Nota: Diagrama de cajas y bigotes de aciertos por cada ojo realizado en R.

Por otro lado, la media de errores en el ojo derecho es de 4.22 y en el ojo izquierdo de 4.67 incluyendo no detecciones y desviación de mirada.

Figura 37

Diagrama de cajas y bigotes de errores en la evaluación



Nota: Diagrama de los resultados de errores por cada ojo realizado en R.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Este capítulo detalla las conclusiones más relevantes y recomendaciones obtenidas a lo largo del trabajo, con el objetivo de que se pueda dar seguimiento al proyecto.

Conclusiones

- Se lograron identificar los requisitos necesarios del especialista a partir de reuniones y visitas al Hospital Militar de Especialidades de FF. AA N°1, para definir el diseño de los componentes y creación del sistema inmersivo e interactivo.
- Se logró desarrollar el aplicativo con base en las fases de la metodología planteada por Kaur.
- Los detalles de los objetos 3D y los entornos virtuales lograron mejorar la experiencia de los participantes que sintieron una mayor inmersión al realizar la tarea virtual.
- El Oculus Quest 2 y su kit de interacción facilitó la visualización, la interacción a la instalación de aplicaciones en su mismo hardware, permitiendo que el sistema inmersivo e interactivo sea portable y cómodo para el participante.
- Los resultados obtenidos en el proceso de pruebas y la media global de 4.75/5 evidencia que el prototipo de sistema inmersivo e interactivo desarrollado podría ser una herramienta útil para contribuir en una de las pruebas visuales que forman parte del proceso de selección de aspirantes a pilotos de las Fuerzas Armadas.

Recomendaciones

- Se recomienda continuar realizando validaciones y mejoras al aplicativo desarrollado con el fin de alcanzar precisión y garantizar una evaluación que pueda ser correlacionada con los resultados que ofrecen los equipos de campimetría.
- Es recomendable seguir los lineamientos ya estipulados por el comité de bioética de la entidad de salud respectiva para garantizar la salud del participante.

Bibliografía

Bardera, P., Gallardo, P., Chacártegui, A., Martínez, I., & Sieiro, J. (2004). Una experiencia en la selección de pilotos aéreos. *Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones, 20*(2), 249-261. Obtenido de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231317999007

Barrionuevo, A., González, N., & Ortiz, S. (2020). Desempeño de una pantalla de bjerrum modificada. *Ciencias de la Visión e Innovación Óptica*, 93. Obtenido de http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2336

Begoña, M., Herrera, J., & Cuadrado, R. (2015). *Manual de Baja Visión y Rehabilitación Visual.* España: Médica Panamericana.

Boyd, K. (2021). Prueba de campo visual. *American Academy of ophthalmology*. Obtenido de https://www.aao.org/salud-ocular/consejos/prueba-de-campo-visual

Comando Conjunto de las FF.AA. (2019). Directiva CC.FF.AA.-DIGSFA. *Dirección general de sanidad de las fuerxas armadas y salud*, 51. Obtenido de https://es.scribd.com/document/444515093/normativa-medica-2019

Dirección general de Aviación Civil. (2020). Normas para el otorgamiento del certificado médico aeronáutico. *Regulaciones Técnicas*, 53. Obtenido de

https://www.aviacioncivil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/10/RDAC-67-Nueva-Edicio%CC%81n-Rev.-2-23-06-2020-1.pdf

Hardie, J., & Brennan, A. (2020). The personal limitations checklist: human factors insights from air accidents to reduce intraoperative harm. *British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery, 59*(8), 853-857. https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2020.12.007

Hidalgo, C., García, R., Morales, A., Escoto, M., Mejía, C., Amador, J., & Zuñiga, J. (2014). Sistema de realidad virtual inmersivo para el entrenamiento de conductas asertivas. *Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico*, 7. Obtenido de http://hdl.handle.net/20.500.11799/94268

Hirai, T., Arai, M., & Ato, M. (1998). Modified bagolini starlight test: clinical aplication of starlight test in binocular visual field screening. *British Journal of Ophtalmology*, 1288-1293. https://doi.org/10.1136/bjo.82.11.1288

Khazaeni, L. (2019). Evaluación del paciente oftalmológico. *Manual MSD. Versión para profesionales*. Obtenido de https://www.msdmanuals.com/es-ec/professional/trastornos-oft%C3%A1lmicos/abordaje-del-paciente-oftalmol%C3%B3gico/evaluaci%C3%B3n-del-paciente-oftalmol%C3%B3gico

Kumagai, J., Williams, S., & Kline, D. (2005). Vision Standards for Aircrew: visual acuity for pilots. *Inview Medical*, 3. Obtenido de http://www.inviewmedical.pl/wp-content/uploads/2015/08/Vision-Stds-for-Aircrew.pdf

Kuzmin, Y. (2018). The numerical history of airplane manufacturing in XX century. *31th ICAS Congress*, 9-14. Obtenido de https://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2018/data/papers/ICAS2018_0705_paper.pdf

Lara, G., Santana, A., Lira, A., & Peña, A. (2019). El Desarrollo del Hardware para la Realidad Virtual. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*, 12.

Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7036890

Linux for You. (2008). A developer's first look at Android. *Developer Android*, 48-50. Obtenido de https://www.academia.edu/2537177/What_is_Android

Medrano, S. (2007). Fundamentos del campo visual. *Ciencia y tecnología para la salud visual y ocular*, 85-92. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/950/95000811.pdf

Microsoft. (2021). A tour of the C# language. *Microsoft Docs*. Obtenido de https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/tour-of-csharp/

Novis, M. (1998). Los cuestionarios de personalidad en la selección de pilotos de línea aérea. *Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones*, 113-128. Obtenido de https://journals.copmadrid.org/jwop/files/42352.pdf

Philipp, J., Göbel, Y., Mostajeran, F., & Steinicke, F. (2020). The cybersickness susceptibility questionnaire: predicting virtual reality tolerance. *MuC '20: Proceedings of the Conference on Mensch und Computer*, 115-118. https://doi.org/10.1145/3404983.3410022

Pradifta, A., Suryana, A., Mahmud, M., & Asian, J. (2020). Practical Learning Application Program to Enhance Online Course Using Oculus Quest Virtual Reality. *6th International Conference on Computing Engineering and Design (ICCED)*, 4. https://doi.org/10.1109/ICCED51276.2020.9415791

Programa de Meteorología Aeronáutica del IDEAM. (2021). Factores que afectan a la visibilidad. *Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales*, 12. Obtenido de http://bart.ideam.gov.co/infgen/visibilidad.htm

Rajesh, P., Pooja, N., Deepak, K., & Mehta, K. (2014). A Review Paper on Oculus Rift-A Virtual Reality Headset. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 5. https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V13P237

Ramírez, L., & Velasco, J. (2015). Test de Bagolini modificado y su evaluación en la

medición del campo visual binocular frente a la campimetría visual computarizada. Estudio piloto. *Ciencia Unisalle*. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1034&context=optometria

Robinson, A. (2021). Facebooks Oculus begins rolling multi user support beginning with the Oculus Quest 2. *The Verge*. Obtenido de https://hitechglitz.com/facebooks-oculus-begins-rolling-out-multi-user-support-starting-with-quest-2/

Sánchez, M. (2012). La importancia de la buena visión. *Revista Eletrônica Gestão & Saúde*, 1224-1234. https://doi.org/10.18673/gs.v3i3.23072

Sanders, A. (2017). *An Introduction to Unreal Engine.* Florida: Taylor & Francis Group.

Tcha-Tokey, K., Loup-Escande, E., Christmann, O., & Richir, S. (2016). A Questionnaire to Measure the User Experience in Immersive Virtual Environments. *VRIC '16: Proceedings of the 2016 Virtual Reality International Conference, 16*, 6. https://doi.org/10.1145/2927929.2927955.

Tsankova, K., Atanasov, T., & Velikova, G. (2017). Computer parametric designing in Blender software for creating 3D paper models. *Annual Journal of Technical university of Varna, 1*(1). https://doi.org/10.29114/ajtuv.vol1.iss1.44

Valero, J., & Bravo, R. (2009). Desarrollo de entornos virtuales: una definición de directrices a partir de las mejres prácticas de metodologías que soportan la construcción de sistemas de realidad virtual. *Programa de Ingeniería Informática*, 99. Obtenido de https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/407/TIS00567.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Zito, G., Müri, R., Mosimann, U., Nyffeler, T., & Nef, T. (2015). Higher visual functions in the upper and lower visual fields: A pilot study in healthy subjects. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*.

https://doi.org/10.1109/EMBC.2015.7318905