

## **RAE**

**1. TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO MULTIMEDIA

**2. TÍTULO:** DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE REALIDAD MIXTA PARA EL PROTOCOLO DE DESPEGUE EN EL SIMULADOR DE VUELO EN PROGRESO

**3. AUTORES:** Miguel Stiven Sanabria Mendivelso, Daniel Felipe Guzmán

**4. LUGAR:** Bogotá, D.C

**5. FECHA:** Julio de 2021

**6. PALABRAS CLAVE:** Multimedia, realidad mixta, realidad virtual, simulador,

**7. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** El objetivo principal de este proyecto es producir un prototipo de simulador aéreo caracterizado por brindar una experiencia virtual basada en el proceso de encendido de una aeronave previo al vuelo, por medio de técnicas y elementos relacionados con la temática de realidad mixta.

**8. LÍNEAS DE INVESTIGACION:** Línea de investigación de la USB: experiencias inmersivas

**9. METODOLOGÍA:** El enfoque que se empleó en la investigación es crítico social, cuyo interés práctico es técnico ingenieril, en donde se buscará un énfasis más accesible en cuanto simuladores de vuelos asistidos de la realidad mixta.

**10. CONCLUSIONES:** Se concluye con la creación de un prototipo de simulador realizado con realidad mixta funcional y viable para la utilización de diferentes usuarios con una gran amplitud etnográfica, no obstante, se tiene un gran margen de error al momento de la sincronización por diferentes datos específicos dentro de las métricas de cada usuario, como estatura y medidas de sus extremidades.

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE REALIDAD MIXTA PARA EL  
PROTOCOLO DE DESPEGUE EN EL SIMULADOR DE VUELO EN PROGRESO

Miguel Stiven Sanabria Mendivelso  
Daniel Felipe Guzmán González

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Multimedia

Rafael Alberto Reyes Jalizev



Universidad de San Buenaventura, Sede Bogotá.  
Facultad de Ingeniería.  
Programa de ingeniería multimedia  
Bogotá D.C, Colombia

---

Citar/How to cite	[1]
Referencia/Reference	[1] M.S. Sanabria Mendivelso, y D. F. Guzmán González, “Desarrollo de un prototipo de realidad mixta para el protocolo de despegue en el simulador de vuelo en progreso.”, Trabajo de grado Ingeniería Multimedia, Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingeniería, Bogotá, 2021.
Estilo/Style: IEEE (2014)	

---

2021



Línea de investigación en.

### Bibliotecas Universidad de San Buenaventura



Biblioteca Digital (Repositorio)  
<http://bibliotecadigital.usb.edu.co>

- Biblioteca Fray Alberto Montealegre OFM - Bogotá.
- Biblioteca Fray Arturo Calle Restrepo OFM - Medellín, Bello, Armenia, Ibagué.
- Departamento de Biblioteca - Cali.
- Biblioteca Central Fray Antonio de Marchena – Cartagena.

### Universidad de San Buenaventura Colombia

Universidad de San Buenaventura Colombia - <http://www.usb.edu.co/>

Bogotá - <http://www.usbbog.edu.co>

Medellín - <http://www.usbmed.edu.co>

Cali - <http://www.usbcali.edu.co>

Cartagena - <http://www.usbctg.edu.co>

Editorial Bonaventuriana - <http://www.editorialbonaventuriana.usb.edu.co/>

Revistas - <http://revistas.usb.edu.co/>

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es dedicado a nuestros padres que ejercieron una labor de pilares ofreciéndonos una estabilidad para alcanzar nuestros objetivos, además de prestarnos constante apoyo en la vida y en el estudio, a nuestros profesores y compañeros con los cuales nos apoyamos mutuamente aprendiendo grandes valores dentro de la carrera y con los cuales cursamos un gran camino de metas y sueños en esta etapa de la vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores ofrecemos nuestra gratitud:

A nuestros padres y familiares, siempre han sido nuestra ayuda y guía a lo largo del camino de nuestras carreras y nos han apoyado en tiempos difíciles y complicados. Nos dieron la fuerza y el coraje para nunca rendirnos y realizar nuestros sueños, nos apoyaron con muchos consejos y nos dieron valor y motivación para nunca rendirnos ante las adversidades que se nos presentaron en el transcurso de la carrera y de este trabajo de grado.

Al líder de proyecto Rafael Alberto Reyes Jalizev y a la profesora Johana Carolina Martínez Ballesteros por su orientación en el desarrollo y su compromiso incondicional con este trabajo, nos ayudó a lograr las metas y desempeñar un gran desarrollo en el proyecto, aportando gran conocimiento y retroalimentado los ejercicios dentro del trabajo de grado ayudándonos a solucionar los retrocesos en el proceso de crecimiento. A nuestro compañero Juan Sebastián Gutiérrez Alvarado por su gran ayuda prestada a lo largo del desarrollo del proyecto.

A la Universidad de San Buenaventura por la oportunidad de fortalecer nuestro aprendizaje y habilidades, con su excelente plan de estudios y su elección de tutores, maestras, maestros y asesores que nos proporcionaron las herramientas necesarias para aumentar nuestra superación profesional y personal dándonos herramientas claves para afrontar la vida laboral con los más grandes estándares de calidad.

## **RESUMEN**

En este proyecto se desarrolló un prototipo de realidad mixta aplicado a un protocolo de encendido y arranque de una aeronave probando su viabilidad en la formación y capacitación de usuarios, enfocado en el proceso de encendido de una aeronave. Siendo la realidad mixta una técnica de integración de elementos virtuales en el mundo físico, generando experiencias inmersivas y en muchos casos complementarias entre sí, se debió desenvolver un enfoque esquematizado para la construcción de un apartado físico y digital con la implementación de diferentes herramientas para realizar una adecuada sincronización, para el buen funcionamiento del simulador.

Para poder justificar la viabilidad del proyecto se planteó una metodología de investigación cualitativa la cual consiste en una prueba evaluativa suministrada a usuarios que probaron el prototipo, esta prueba consiste en una serie de preguntas enfocadas a tres ejes importantes los cuales se plantearon como medición de sintomatología, evaluación de entornos virtuales y preguntas de post test. Las respuestas de los usuarios pasaron por un proceso de codificación para facilitar posteriormente su análisis, donde estas respuestas mostraron una serie de observaciones suministradas por los usuarios en cada uno de los ejes temáticos anteriormente mencionados según su experiencia personal con la manipulación del prototipo.

## TABLA DE CONTENIDO

<i>INTRODUCCIÓN</i> .....	<i>1</i>
<b>1. CAPITULO I</b>	
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>7</b>
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>1.3. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>9</b>
<b>1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>9</b>
<b>1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES</b> .....	<b>9</b>
<b>1.6. MARCO CONCEPTUAL</b> .....	<b>10</b>
<b>1.7. METODOLOGÍA</b> .....	<b>14</b>
<b>1.7.1. Fases de metodología</b> .....	<b>15</b>
<b>2. CAPITULO II</b>	
<b>DESARROLLO DE INGENIERÍA</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1. DISEÑO VIRTUAL</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2. DESCRIPCIÓN DEL USO DE SOFTWARE</b> .....	<b>18</b>
<b>2.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA</b> .....	<b>19</b>
<b>2.4. DESARROLLO Y PREPARACIÓN DEL PROYECTO</b> .....	<b>20</b>
<b>2.5. DESARROLLO ESTRUCTURAL</b> .....	<b>21</b>
<b>2.5.1. Base del acelerador</b> .....	<b>21</b>
2.5.1.1. <i>Medidas de la estructura de la base del acelerador:</i> .....	23
2.5.1.2. <i>Circuito base del acelerador:</i> .....	26
<b>2.5.2. Base del control de manejo:</b> .....	<b>27</b>
2.5.2.1. <i>Medidas de la estructura del control de manejo:</i> .....	28
<b>2.5.3. Base botonería central:</b> .....	<b>29</b>
2.5.3.1. <i>Medidas de la estructura de la botonería central</i> .....	30
<b>2.5.4. Base botonería aérea</b> .....	<b>31</b>
2.5.4.1. <i>Medidas de la estructura de la botonería aérea:</i> .....	31
2.5.4.2. <i>Circuito secuencia de inicio:</i> .....	32
<b>2.5.5. Chasis de soporte de la cabina:</b> .....	<b>33</b>

2.5.5.1. <i>Medidas de la estructura</i> .....	33
<b>2.6. PASOS DE ENSAMBLAJE DE LA CABINA:</b> .....	<b>37</b>
<b>2.7. CONSTRUCCIÓN DEL APARTADO DIGITAL</b> .....	<b>43</b>
<b>2.7.1. Desarrollo de la Escena</b> .....	<b>43</b>
2.7.1.1. <i>Incorporación de la cabina en la escena</i> .....	46
2.7.1.2. <i>Código de controles del Arduino uno a Unity:</i> .....	47
2.7.1.3. <i>Script principal de la secuencia de arranque</i> .....	49
2.7.1.4. <i>Script activación del funcionamiento de la cabina</i> .....	51
2.7.1.5. <i>Script del funcionamiento del Joystick</i> .....	52
2.7.1.6. <i>Script de la implementación del menú:</i> .....	53
<b>2.7.2. Realidad virtual:</b> .....	<b>55</b>
2.7.2.1. <i>Calibración de la realidad virtual con la realidad física</i> .....	57
<b>3. CAPITULO III</b>	
<b>ANÁLISIS DE DATOS:</b> .....	<b>61</b>
<b>3.1. Toma de requisitos:</b> .....	<b>61</b>
3.1.1. <i>Investigación etnográfica:</i> .....	62
<b>3.2. Planificación</b> .....	<b>62</b>
3.2.1. <i>Objetivo de las pruebas de usabilidad:</i> .....	63
3.2.2. <i>Metodología:</i> .....	63
3.2.3. <i>Recursos</i> .....	64
<b>3.3. Desarrollo de las pruebas de usabilidad</b> .....	<b>64</b>
3.3.1. <i>Definición de tareas para los usuarios</i> .....	64
3.3.2. <i>Realización de las pruebas:</i> .....	65
3.3.3. <i>Test evaluativo:</i> .....	66
3.3.4. <i>Procesamiento de la codificación de los datos:</i> .....	68
<b>3.4. Análisis de las pruebas de usabilidad</b> .....	<b>70</b>
3.4.1. <i>Análisis de las categorías</i> .....	73
3.4.2. <i>Análisis de las bitácoras</i> .....	75
3.4.3. <i>Análisis conclusivo</i> .....	76
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>78</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>79</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>81</b>

## TABLA DE FIGURAS

<i>Fig. 1. Elite Evolution S623T - Airbus AS - 355</i> .....	3
<i>Fig. 2. X-PLANE 11 – Boeing 787 Dreamliner XP11</i> .....	6
<i>Fig. 3. Microsoft Flight Simulator (2020)</i> .....	6
<i>Fig. 4. Periféricos de visión Oculus Quest</i> .....	13
<i>Fig. 5. Arduino Uno modelo ATmega328P</i> .....	14
<i>Fig. 6. Fases de metodología</i> .....	16
<i>Fig. 7. Fase 3: Desarrollo de software</i> .....	18
<i>Fig. 8. Modelado 3D de la cabina del Airbus 320</i> .....	21
<i>Fig. 9. Modelo 3D en detalle bajo</i> .....	22
<i>Fig. 10. Ubicación de la palanca de aceleración del modelado de alto detalle.</i> .....	23
<i>Fig. 11. Plano de la tapa lateral de la cabina</i> .....	24
<i>Fig. 12. Plano de la tapa superior del acelerador.</i> .....	25
<i>Fig. 13. Modelado de la estructura interior de la cabina.</i> .....	26
<i>Fig. 14. Diseño del circuito para la implementación de la palanca de aceleración.</i> .....	27
<i>Fig. 15. Modelado del control de manejo en la aeronave</i> .....	28
<i>Fig. 16. Plano de las medidas de la estructura de control de manejo</i> .....	29
<i>Fig. 17. Modelado de la botonería central de la aeronave</i> .....	30
<i>Fig. 18. Plano de las medidas de la estructura de la botonería central</i> .....	30
<i>Fig. 19. Modelado de la botonería aérea de la aeronave</i> .....	31

<i>Fig. 20. Plano de las medidas de la estructura de la botonería aérea.....</i>	<i>32</i>
<i>Fig. 21. Diseño del circuito para secuencia de inicio por medio de switches.....</i>	<i>33</i>
<i>Fig. 22. Medidas de la estructura del chasis de la cabina .....</i>	<i>34</i>
<i>Fig. 23. Proceso matemático aplicado en la estructura.....</i>	<i>35</i>
<i>Fig. 24. Angulo de la estructura por medio razones trigonométricas.....</i>	<i>36</i>
<i>Fig. 25. Representación 3D del chasis en su totalidad.....</i>	<i>37</i>
<i>Fig. 26. Soporte lateral derecho de la cabina .....</i>	<i>38</i>
<i>Fig. 27. Soporte lateral Izquierdo de la cabina.....</i>	<i>38</i>
<i>Fig. 28. Estructura y diseño del acelerador de la aeronave.....</i>	<i>39</i>
<i>Fig. 29. Implementación del mecanismo del acelerador con el componente electrónico (potenciómetro).....</i>	<i>40</i>
<i>Fig. 30. Tubería PVC encargada del ensamblase del chasis .....</i>	<i>40</i>
<i>Fig. 31. Tablero botonería central .....</i>	<i>41</i>
<i>Fig. 32. Tablero superior, secuencia de encendido.....</i>	<i>41</i>
<i>Fig. 33. Construcción completa de la cabina de avión .....</i>	<i>42</i>
<i>Fig. 34. Primera versión de la escena del aeropuerto .....</i>	<i>43</i>
<i>Fig. 35. Gran plano general del aeropuerto actualizado.....</i>	<i>45</i>
<i>Fig. 36. Plano general del aeropuerto actualizado.....</i>	<i>45</i>
<i>Fig. 37. Cabina 3D implementada en Unity.....</i>	<i>46</i>
<i>Fig. 38. Código de asignación de puertos en Arduino Uno .....</i>	<i>48</i>

<i>Fig. 39. Código aceleración potenciómetro y condicional switches .....</i>	<i>49</i>
<i>Fig. 40. Código inicial de la secuencia de arranque.....</i>	<i>50</i>
<i>Fig. 41. Código del funcionamiento de la secuencia y el acelerador.....</i>	<i>51</i>
<i>Fig. 42. Código de activación de los periféricos .....</i>	<i>52</i>
<i>Fig. 43. Código para el funcionamiento del Joystick.....</i>	<i>53</i>
<i>Fig. 44. Pantalla principal del simulador con su correspondiente Menú de navegación.....</i>	<i>54</i>
<i>Fig. 45. Código implementado en el menú .....</i>	<i>54</i>
<i>Fig. 46. interfaz del entorno de desarrollo de Oculus Quest.....</i>	<i>56</i>
<i>Fig. 47. Asset gratuito Oculus Integration .....</i>	<i>56</i>
<i>Fig. 48. Hand Tracking y cámara VR integrados en la escena.....</i>	<i>57</i>
<i>Fig. 49. Ubicación de la cámara VR .....</i>	<i>58</i>
<i>Fig. 50. Mapeo en el espacio físico para la calibración .....</i>	<i>59</i>
<i>Fig. 51. Wayfinding en el espacio virtual.....</i>	<i>60</i>
<i>Fig. 52. Implementación del cuestionario .....</i>	<i>67</i>
<i>Fig. 53. Proceso de categorización de las pruebas de usabilidad .....</i>	<i>71</i>
<i>Fig. 54. Tabla de códigos de categorías en Atlas ti.....</i>	<i>72</i>
<i>Fig. 55. Diagrama categórico .....</i>	<i>73</i>

## **TABLA DE ANEXOS**

<i>ANEXO 1. VIDEO DE LA IMPLEMETACIÓN DE LA CABINA.....</i>	<i>60</i>
<i>ANEXO 2. REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE USABILIDAD.....</i>	<i>65</i>
<i>ANEXO 3. RESPUESTAS EN LAS PRUEBAS DE USABILIDAD.....</i>	<i>67</i>
<i>ANEXO 4. BITACORAS DE LAS PRUEBAS DE USABILIDAD .....</i>	<i>75</i>

## INTRODUCCIÓN

El simulador de vuelo es una herramienta esencial en la capacitación de pilotos, con una mecánica práctica y formal para desarrollar en los practicantes diferentes habilidades de maniobra, de mantenimiento de sistemas, de conocimientos prácticos de navegación y entendimiento puntual de encendido de las aeronaves, con un protocolo previo de arranque, el simulador tendrá un desarrollo pragmático en la realidad mixta para una mayor inmersión dentro del avión, se realizara un procedimiento básico de encendido, con limitaciones de vuelo y manejo dentro de una pista prediseñada.

Día a día se ha incursionado en cada detalle de los simuladores de vuelo, hoy en día se realizan grandes investigaciones, como son las plataformas de movimiento que van de un grado de libertad hasta los seis; se han desarrollado nuevos instrumentos tanto de navegación, control, visualización, que hoy en día se cuenta con plataformas que pueden llegar a realizar todas las maniobras hechas por una aeronave real. [1] De esta forma en el mundo de la multimedia busca un enfoque mucho más practico al momento de la elaboración de un simulador de vuelo, se experimenta con nuevas tecnologías al alcance del usuario común, como es el caso de la realidad mixta y la realidad virtual.

La mayoría de los pilotos aprenden a volar como se viene haciendo desde hace 75 años, con las manos en los controles de un avión, en un vuelo real. En un principio quizá los acompañe un instructor, pero tan pronto sepan aterrizar sin peligro, la mayor parte del resto del entrenamiento lo harán solos. Así, a medida que han ido en aumento las prestaciones del avión y las múltiples

exigencias de atención por parte del piloto, el aprendizaje del vuelo ha presentado cada vez mayores problemas. [2]

Dentro de las advertencias de los simuladores se obstaculiza un buen sistema audiovisual y un buen ejercicio de tutoría virtual que al momento de iniciar con el aplicativo de los simuladores reemplace al rol del profesor quien, en ocasiones, se limita a ser un presentador pasivo de la tecnología. Para evitar lo comentado se sugiere la necesidad de integrar a las Tic's al currículo para que junto a todo el contenido contribuya al logro de los objetivos y fines educativos que no es otra cosa que aprender. De manera objetiva se ve práctico la investigación y la incursión de las tecnologías, en tal caso la realidad mixta como una forma paralela del extenso sistema educacional que se utiliza para diferentes pilotos y estudiantes de aeronáutica. [3]

El entrenamiento necesario para los pilotos en el presente es exigente y se requiere una gran complejidad de instrumentación sofisticada, pero para alcanzar el nivel de complejidad de los simuladores de vuelo actuales se ha recorrido un amplio camino evolutivo en la investigación de tecnologías para permitir nuevas experiencias con simuladores de aeronaves. En el aspecto de invocación muchos referentes de la creación de simuladores han estado al margen del mercado global, en ese apartado se puede encontrar simuladores como el “ELITE Evolution S623T”, el cual se puede observar en la Fig. 1, es un equipo que ha sido especialmente customizado a los requerimientos de un helicóptero bi turbina. Es un dispositivo de instrucción avanzada, cuenta con un sistema visual externo de cuatro canales y una cabina de helicóptero completamente cerrada con paneles de instrumentos y controles de piloto duales. [4]



*Fig. 1. Elite Evolution S623T - Airbus AS - 355*

Los simuladores además de ser capaces de proporcionar un entrenamiento más dinámico e intensivo permite tener un espacio controlado con bajos peligros y arriesgando lo mínimo en la parte humana como en la parte estructural de las diferentes aeronaves en situaciones reales, esto se considera como un entrenamiento económico con respecto de una operación particular para la práctica de pilotaje de un aeronave por ejemplo en términos de viáticos, como combustible y preparación de excedentes del equipo.

## **1. CAPITULO I**

### **ANTECEDENTES**

#### Simuladores De Vuelo: Una Revisión

Los autores Luis Carlos Villamil Rico, Edna Joydeth Avella Rodrigo, Jorge Antonio Tenorio Melo, en su trabajo de investigación (Simuladores De Vuelo: Una Revisión) plantean y expone los conceptos básicos para la elaboración de aplicaciones enfocadas a la simulación aérea haciendo énfasis en todos los conceptos relevantes relacionados con este tema.

En la investigación los autores definen la clasificación suministrada a los simuladores de velo completo (FFS) los cuales se caracterizan por ser un nivel de simulación bastante altos debido a las prestaciones y complejidad de estos, la Federal Aviación Administración (FAA) los clasifican en diferentes niveles según sus prestaciones y características al brindar una experiencia de simulación. Estos niveles son planteados de manera jerárquica desde el nivel A hasta el D donde los simuladores de nivel D son los simuladores más cualificados y que cuentan con más prestaciones.

La clasificación que se le otorga a los dispositivos de entrenamiento de simulación (FDT) o (FSTD) se emplean desde el nivel 4 hasta el nivel 7 (el cual es un nivel exclusivamente destinado para helicópteros) donde en cada uno de estos niveles el dispositivo cuenta con características particulares según su empleabilidad y las necesidades puntuales por las cuales están diseñados

La investigación suministra información y cifras relevantes en cuanto a los sistemas operativos orientados a computadores y su usabilidad a nivel mundial, donde se expone que Microsoft Windows cuenta con un 53%, posteriormente Ubuntu con un 39% y finalmente Mac con un 10%.

Un apartado relevante de la investigación son las diversas reglamentaciones y legislaciones a las cuales los simuladores de vuelo de entrenamiento (FSTD) están regidos. Donde el nivel de certificación la definen la regulación JAR (en Europa) y la regulación (FAR) en Estados Unidos.

[5]

## **X-PLANE 11**

El manual de X-PLANE 11 demuestra las prestaciones que este completo simulador de aviación posee en su catálogo, donde puede llegar a ser una herramienta interesante tanto para pilotos en el ámbito de entrenamiento y capacitación como una herramienta de análisis para el sector de ingeniería. El simulador cuenta con compatibilidad con sistemas operativos Windows, Mac y Linux y la instalación por defecto cuenta con un gran catálogo en cuanto a aeronaves, aeropuertos y locaciones disponibles. Cuenta con un sistema meteorológico complejo en el cuales se simulan diversos entornos y condiciones de vuelos, generando diferentes retos al usuario a la hora de manipular y controlar las aeronaves en un entorno y condición climática en específico. [6]



*Fig. 2. X-PLANE 11 – Boeing 787 Dreamliner XP11*

### **Microsoft Flight Simulator (2020)**

Microsoft Flight Simulator es la última entrega de los reconocidos títulos de simulación de Microsoft, su gran fidelidad e inmersión es lograda por sus detalladas aeronaves, entornos, sistemas y procedimientos como se observa en la Fig. 3. Las aeronaves del simulador se limitan a solo aviones, pero tienen una gran variedad, desde aviones ligeros hasta aviones a reacción, cuenta también con sistemas meteorológicos aplicados tanto de día como de noche. [7]



*Fig. 3. Microsoft Flight Simulator (2020)*

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El problema del aprendizaje sobre pilotaje o entendimiento de una cabina de una aeronave se hace altamente evidente en diferentes instituciones, escuelas o universidades que no tiene los recursos suficientes para tener presente y en forma física cabinas o complementos de avión para entendimiento de estos. Los simuladores de vuelo de aeronaves tienen un precio elevado ante recursos medidos y la asistencia a sitios específicos con aeronaves conlleva riesgos de diferentes aspectos.

Las fallas en aeronaves deben ser delimitadas, la responsabilidad de un piloto, asistente o estudiante de aeronáutica ante un avión es grande, su precisión y aprendizaje de la maquinaria debe ser la adecuada para evitar fallas técnicas y humanas. La investigación del control de una aeronave con realidad mixta nos permite recrear una simulación estándar de inicio de vuelo, con un servicio adecuado para estudiantes de ingeniería aeronáutica o practicantes de pilotaje.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

El uso de la realidad mixta es variada y amplia en rangos diferentes de investigación, aplicado en varios dispositivos de usos operacionales, con una gran capacidad en la recreación de sistemas de simulación con un gran control de seguridad al diseñar entornos viables y de uso práctico para un correspondiente desarrollo experimental.

En tiempos modernos la investigación de nuevas tecnologías como la realidad virtual y mixta ayuda a solventar necesidades en aspectos de aprendizaje como en capacitaciones de alta calidad,

además de dinamizar las soluciones a problemas recurrentes y crecientes en la industria global. El diseño y fabricación de un simulador para un protocolo de despegue de una aeronave se presta como una necesidad a partir de los requerimientos actuales para el entrenamiento práctico de estudiantes, enfocando en minimizar riesgos operaciones, de seguridad aérea y costos de operación de una aeronave real empleada para fines didácticos y de aprendizaje.

El desarrollo de una simulación de arranque de avión guiada es un aporte y mejoramiento en un ámbito tanto práctico como económico, con un énfasis didáctico y de alto aprendizaje, al diseñar a partir de realidad virtual gran parte de la cabina y el escenario envolvente de la simulación, con un desarrollo más económico en la creación de los diferentes componentes periféricos que componen específicamente al protocolo de arranque. La implementación de la realidad mixta que se emplea cuenta con la flexibilidad de cambio y actualización según la necesidad del usuario manteniendo bajos costos, el simulador contará con periféricos estándar para el protocolo básico de encendido en un ámbito físico.

***¿Es la realidad mixta un medio viable para la simulación de diversos protocolos aéreos en cuanto capacitación con una gran flexibilidad económica?***

El diseño práctico de la simulación en realidad mixta de una aeronave traerá consigo varios beneficios en la oferta práctica y estudiantil, al poder desarrollar un mecanismo más económico y de una forma más accesible tanto a ingeniero como pilotos a la par de ser altamente actualizable con diferentes tipos de aeronaves y entornos.

### **1.3. OBJETIVO GENERAL**

Producir un prototipo de simulador aéreo caracterizado por brindar una experiencia virtual basada en el proceso de encendido de una aeronave previo al vuelo, por medio de técnicas y elementos relacionados con la temática de realidad mixta.

### **1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer una metodología para calibrar la realidad virtual con la realidad física entre los sistemas mecánicos y los virtuales.
- Elaborar un diseño básico de panel de control con el fin de aplicar el protocolo de arranque y encendido de una aeronave.
- Integrar el espacio físico junto con su contraparte virtual por medio de la flexibilidad que brinda la realidad mixta, teniendo en cuenta el margen de error que existe entre los dos espacios.

### **1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES**

- Se pretende desarrollar el modo de ajuste que relaciona los sistemas mecánicos (botones, switches, interruptores, etc) con la parte digital (sonidos, imágenes, efectos, etc).
- El proyecto pretende tener un concreto margen de error, además de ser viable y accesible en cuanto a costos.
- El proyecto debe mantener una correcta continuidad en cuanto a la secuencia de encendido de acuerdo con los protocolos establecidos.

- Por la amplitud del proyecto, este mismo se limitará al desarrollo del sistema que integra los elementos mecánicos con los estímulos visuales y auditivos relacionados al protocolo de preparación previo al vuelo al despegue de la aeronave.
- No se desarrollará nada relacionado al de material estructural virtual, modelos y programas de navegación, modelos 3D, animaciones relacionadas al despegue y vuelo físicos etc.
- En cuanto estructura física de navegación de panel de control, se creará un prototipo funcional ajustado a costos y criterios propios, donde la versión final depende de la facultad de ingeniería de aeronáutica de la universidad de San Buenaventura.

## **1.6. MARCO CONCEPTUAL**

La Realidad Virtual tiene una función importante en la maquetación del entorno virtual del proyecto; se puede definir la RV como una recreación tridimensional virtual inmersiva de un entorno que nos permite tener la sensación de encontramos realmente dentro de él. Para generar dicha recreación se emplea tecnología informática de última generación desarrollada por software e interfaces sofisticadas. Para tener acceso a ella, se necesita de unos periféricos como gafas o cascos de Realidad Virtual. La simulación que hace la realidad virtual se puede referir a escenas virtuales, creando un mundo digital que sólo existe en el ordenador enfocado en mostrar lugares u objetos que existen en la realidad. [8] También permite capturar la voluntad implícita del usuario en sus movimientos naturales proyectándose en el mundo virtual que se está generando. Algunos campos en donde la RV tiene un largo recorrido, se ha prestado para desarrollar técnicas de alta precisión, como puede ser en la medicina, la educación, el ámbito militar, la industria, el arte o el sector de la aeronáutica. [9]

En combinación con la realidad virtual se implementará la realidad mixta, esto implica la creación de periféricos y herramientas para mejorar la sensación háptica de un espacio físico el cual será el acompañante de la realidad virtual. La realidad mixta va a ser una combinación de ambas realidades que supondrá la fusión del mundo físico con el mundo digital; el objetivo de la realidad mixta no es otro que el de crear objetos virtuales y modificarlos a través de la interacción con el entorno real. Esto permite, por ejemplo, ajustar diferentes componentes y objetos dentro de un espacio determinado en el ámbito virtual, de esta manera se puede plantear distribuciones o espacios y jugar con las diferentes interacciones que nos permite este tipo de unión de realidades. [10]

Consecutivamente se implementará el conocimiento previo de simuladores de aeronaves, estas son herramientas que recrean ambientes de vuelo, ya sean con movimiento o no. Generalmente son diseñados a partir de aeronaves que repiten acciones como los sonidos, movimientos, controles de vuelo y reacciones de factores externos (turbulencia, vientos, tormentas, nubosidades entre otros), estos son usados para formación, diseños u otras aplicaciones. [11]

Del mismo modo se requerirá el uso de softwares de modelado y animación 3D, el primero será MAYA, el cual es un potente programa de movimiento en tres dimensiones y efectos visuales con una gran capacidad de recrear vastos entornos y diversas secuencias cinematográficas enfocadas a la acción, ciencia ficción, arquitectura, creación de personajes, props <sup>1</sup> modelado orgánico e inorgánico, además de ser un software muy útil para la recreación de personaje y escenarios. [12]

---

<sup>1</sup> Son objetos o accesorios utilizados como complementos en escenas de animación 3D, en escenas de teatro, cine, televisión o videojuegos.

Además de ello se utilizará 3D MAX un Software de modelado, renderización y animación 3D con gran producción de animaciones, renderizaciones y modelos 3D de calidad profesional, es un software flexible y eficaz a la hora del modelado poligonal. [13]

En un apartado final se utilizará Unity, el software es una herramienta de desarrollo de videojuegos creada por la empresa Unity Technologies. Este programa computacional se ha utilizado para crear experiencias de realidad virtual interactivas e incluso miniseries; Unity es una herramienta que no engloba únicamente el renderizado de imágenes, de físicas 2D/3D, de audio, de animaciones y creación de videojuegos, sino que abarca además herramientas de networking<sup>2</sup> para multijugador y herramientas de navegación NavMesh<sup>3</sup> para inteligencia artificial incluido un gran soporte para la realidad virtual y su correspondiente experimentación con este medio. [14]

Posteriormente se realizara una inmersión virtual para ello se hará usó de un dispositivo independientemente utilizado para la inmersión, el cual es un Oculus Quest, este dispositivo puede ejecutar juegos y software de forma inalámbrica en un sistema operativo basado en Android; admite el seguimiento posicional con seis grados de libertad , utilizando sensores internos y una serie de cámaras en la parte frontal que realizan la función de sensores externos.

Las cámaras también se utilizan como parte de la función de seguridad "*Passthrough*"<sup>4</sup>, además

---

<sup>2</sup> Es una estrategia laboral que consiste en crear una red de contactos con personas que tienen intereses similares a los nuestros.

<sup>3</sup> Es el cálculo de una escena para determinar el área del terreno en el que los personajes se podrán mover se involucra implícitamente con la inteligencia artificial.

<sup>4</sup> Es una cámara externa con funcionamiento dentro del rango de uso del Oculus que permite salir temporalmente del VR para observar el entorno que te rodea en tiempo real.

de ser fundamental al momento de hacer “*Hand tracking*”<sup>5</sup> dentro de diferentes aplicaciones. El periférico como las cámaras frontales pueden ser visibles en la Fig. 4. [15]



*Fig. 4. Periféricos de visión Oculus Quest*

Para finalizar se implementará el hardware con una conexión principal con el mundo virtual apoyada de un Arduino Uno de modelo ATmega328P, el cual tiene 14 pines de entrada/ salida digital, de los cuales 6 se pueden usar como salidas, y 6 como entradas analógicas como se evidencia en la Fig. 5. Este es una plataforma de creación electrónica de código abierto, está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso. [16]

---

<sup>5</sup> Es otra función de las cámaras sensoriales de Oculus, permite hacer seguimiento de las manos sin necesidad de los controles táctiles.



*Fig. 5. Arduino Uno modelo ATmega328P*

## **1.7. METODOLOGÍA**

El enfoque que se empleó en la investigación es crítico social, cuyo interés práctico es técnico ingenieril, en donde se buscará un énfasis más accesible en cuanto simuladores de vuelos asistidos de la realidad mixta. La metodología se planteó a partir de un modelo evolutivo, el cual se regirá por diferentes etapas de avance y reconocimiento de estándares dentro del proyecto.

[17]

El presente proyecto, va de la mano de ingeniería multimedia e ingeniería aeronáutica de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá, se enfocó en el desarrollo de un prototipo de realidad mixta para el protocolo de arranque de una aeronave.

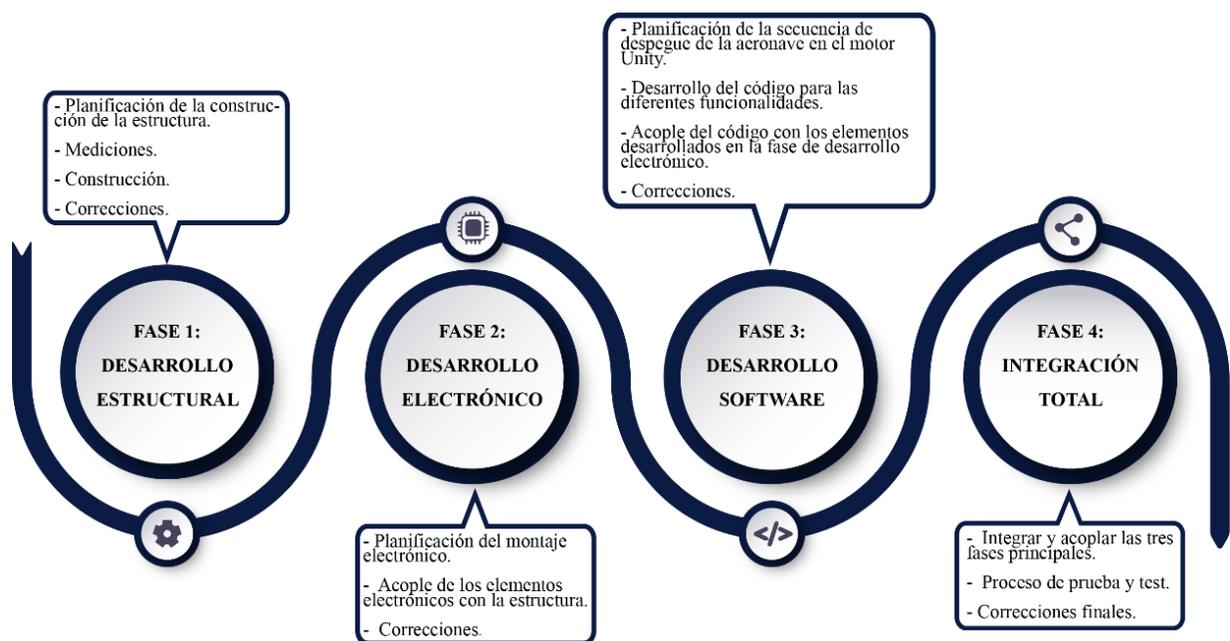
En primera instancia para el desarrollo del proyecto se realizó una amplia investigación en el campo de la realidad mixta, el uso práctico de esta en diferentes simuladores, además de la

recursividad que nos proporciona este medio en cuanto la unión de la realidad virtual y un ámbito físico. [18] Paralelamente se diseñaron los paneles de control físicos con medidas ajustadas al entorno digital para una buena manipulación, para lograr esto será un requisito contar con docentes expertos en la materia que puedan aconsejar con medidas estándar y contextualizar un margen de error en las dimensiones de estos paneles físicos ya que no serán fieles a las medidas originales de la aeronave ya que se requerirán ciertas variaciones para facilitar el acople entre el mundo físico y digital además de permitir a la cabina ser portable y de fácil creación en la parte económica.

Continuamente se realizó varias pruebas con el material de apoyo ya desarrollado y suministrado con anterioridad, como modelados en 3D de una cabina con anexos de botones, switches, palancas, timón, además de la implementación sencilla de un panel de control físico, con un desarrollo económico bajo que se adecue a las necesidades de las pruebas implícitas en la medición del ambiente virtual y físico.

### **1.7.1. Fases de metodología**

El desarrollo del proyecto se dividió en 4 fases principales, donde cada una estará centrada en un aspecto en específico. El apartado metodológico por fases se mostrará en la Fig. 6.



*Fig. 6. Fases de metodología*

Teniendo en cuenta lo anterior, el desarrollo de la fase 2 y 3 se rigió bajo el modelo de la metodología incremental, [19] la cual consiste en repartir el proceso de trabajo en iteraciones las cuales son:

- Planeación de la parte virtual con la parte electrónica simultáneamente.
- Análisis y diseño de la parte electrónica con la parte del software.
- Construcción del código y prueba de los elementos electrónicos del panel de control.
- Correcciones y testeos de la fase anterior.
- Retroalimentación y revisión de las fases anteriores.

## **2. CAPITULO II**

### **DESARROLLO DE INGENIERÍA**

#### **2.1. DISEÑO VIRTUAL**

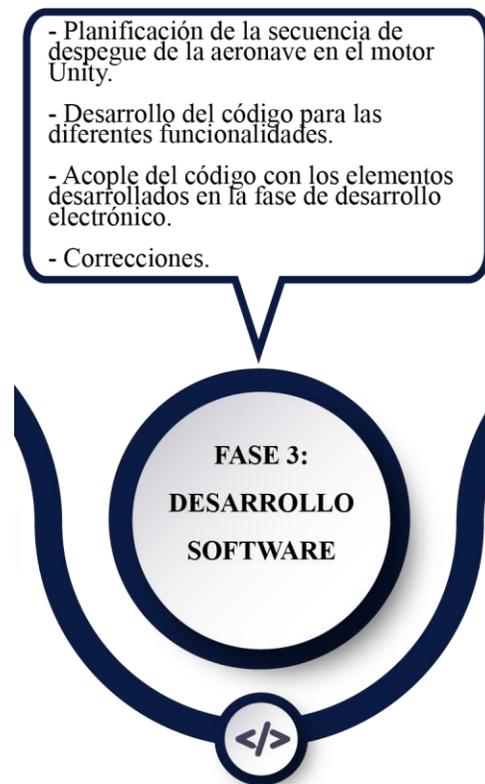
El diseño virtual contó con diferentes programas en el ámbito 3D, como lo son MAYA y 3D MAX, estos permitieron realizar diferentes modificaciones y muestreos de la cabina antes de la implementarla por completo en el mundo virtual; en un ámbito de creación de mecánicas se optó por la herramienta Unity, un motor gráfico robusto que solventaba nuestras necesidades en el aspecto de la creación del mundo y de la inmersión de la aeronave.

La medición del entorno virtual se desarrolló a partir de los programas del área 3D mencionados con anterioridad, estas medidas eran el pilar fundamental para el ensamblaje en un ámbito físico de la cabina, a partir de las métricas obtenidas en los diferentes programas se realizaron unas plantillas para la creación de las piezas que componían la cabina que se utilizaría para la realidad mixta.

El desarrollo virtual y del escenario se realizó en el motor gráfico Unity 3D, se construyó un aeropuerto virtual para usar la aeronave con la realidad virtual; para lograr el desarrollo de una réplica se utilizó diferentes props y modelados con una temática enfocada al aeropuerto.

## 2.2. DESCRIPCIÓN DEL USO DE SOFTWARE

El desarrollo del simulador se elaboró en los tres softwares anteriormente mencionados donde se emplearon a lo largo de la fase 3 del desarrollo mostrado en la Fig. 7.



*Fig. 7. Fase 3: Desarrollo de software*

Se usó 3D Max y MAYA al momento de hacer el análisis métrico del proyecto en el entorno virtual con relación a las métricas del mundo real, esta parte es fundamental a la hora de acoplar ambos entornos (real vs virtual), de esta forma se realizó un modelado estándar y básico apoyado en otro modelado de la cabina de la aeronave (Airbus A320) un modelado con alto

detalle. La métrica se desarrolló con un modelado de escala un poco más pequeño, por la necesidad de hacer la cabina física portátil y de uso personal. Paralelamente se usaron estos softwares en percances o momentos donde se presentaron errores de poligonajes o topología de los modelos obtenidos.

Asimismo, se utilizó Unity como entorno de desarrollo principal, en este software se construyó la lógica necesaria para la funcionalidad del simulador y se integró los entornos digitales importados de los programas de realización 3D con correspondientes arreglos en texturas y poligonajes y con la métrica necesaria para el buen desarrollo de la realidad mixta. Además, se desarrolló un escenario estético para recrear una inmersión mayor al momento de la simulación del protocolo de despegue de la aeronave, dentro de este escenario se construyó la realidad virtual a partir de la utilización de la herramienta Oculus.

### **2.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA**

El diseño físico de la cabina para el protocolo de arranque contó con materiales versátiles y económicos como lo es el cartón doble corrugado, el cual nos permitió realizar un modelado de cabina similar al modelado digital con una función desarmable, de fácil manejo y de transporte accesible. Se realizó un chasis de gran soporte para la cabina, el anterior se desarrolló con tubería PVC<sup>6</sup> soldada en puntos específicos para darle la sostenibilidad al cuerpo de cartón de toda la cabina, además de ello se realizaron diferentes agujeros en la tubería para pasar los cables de los

---

<sup>6</sup> PVC: material de polímero, de alta resistencia, utilizado en tubería de agua

anexos electrónicos para la simulación adecuada del protocolo de arranque de un avión. En las pruebas de ensamblaje y funcionamiento con la realidad virtual la recreación de la cabina en un ámbito físico con los diferentes elementos nombrados se mostró de una manera funcional al momento de hacer cambios drásticos de medidas y ubicación para el correcto funcionamiento de la realidad mixta.

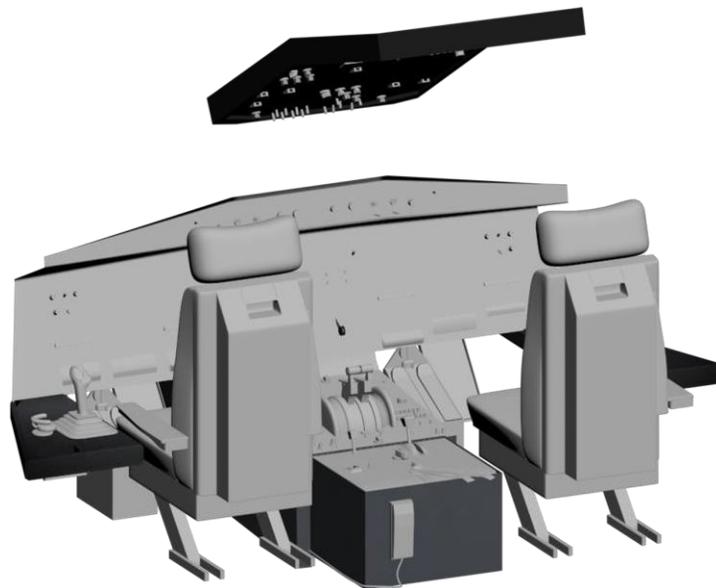
#### **2.4. DESARROLLO Y PREPARACIÓN DEL PROYECTO**

Para el proceso del desarrollo de la estructura en un espacio físico se usó como base el modelado 3D de una cabina de avión A320, se realizó un proceso de escala con métricas del programa, se usó centímetro como medida primordial basándose en la mediadas estándar de la Airbus, [20] se recreó un modelo base para la medición de la cabina además de un mapa en 3D para las diferentes vistas de esta misma, con ello se generaron diferentes planos para la construcción de la estructura.

En el planteamiento funcional se realizó una reevaluación de la secuencia completa de vuelo de la aeronave vista en diferentes manuales de vuelo, [21] este seguimiento se ajustó para dar una exactitud en la creación de unas tareas previstas para realizar futuras pruebas con la realidad mixta, de esta manera se optó por recrear tres pasos fundamentales al momento del encendido y despegue de un aeronave, los pasos preestablecidos fueron una secuencia para prender el avión, una palanca de aceleración y un joystick funcional para realizar un despegue del aeronave.

De esta forma la cabina contara con 4 partes estructurales principales que cumplirán las funciones antes previstas, el apartado estructural estará conectado entre sí para un mayor soporte, la cabina en el espacio físico se construyó a partir de la estructura principal de la estación de vuelo de la

aeronave Airbus, en la Fig. 8, se encuentra el modelado 3D de alto detalle con la se basó la construcción completa de la cabina física. Las diferentes partes se realizaron en cartón doble corrugado, por su fácil manejo y accesibilidad de precio, contiene pilares estructurales de tubería PVC de una pulgada para proporcionar un mayor soporte para el montaje de la parte electrónica y de los diferentes dispositivos como potenciómetro o switches.



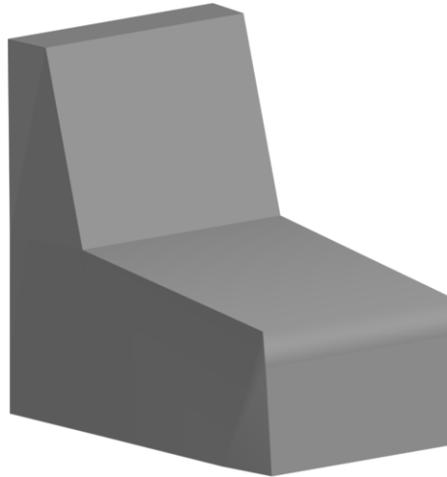
*Fig. 8. Modelado 3D de la cabina del Airbus 320*

## **2.5. DESARROLLO ESTRUCTURAL**

### **2.5.1. Base del acelerador:**

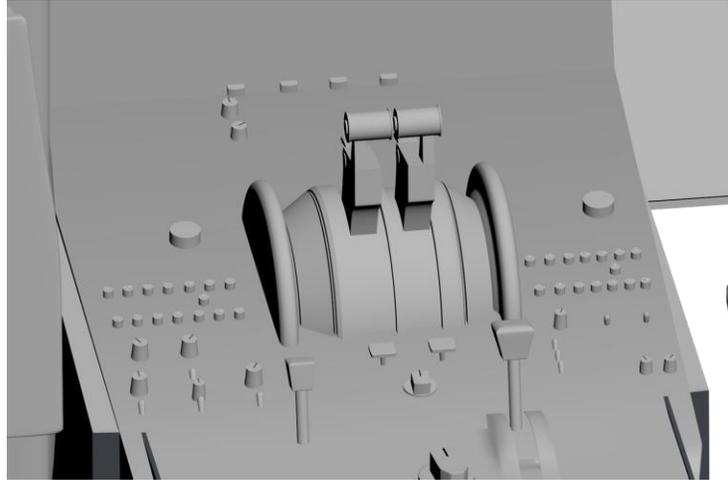
Este cuerpo estructural es el centro y la base más grande de la cabina, en esta se encuentra el acelerador el cual se realizó con diferentes potenciómetros y una palanca con resistencia para una mayor sensibilidad, la resistencia se realiza con una jeringa que se ubica en el interior y la cual genera presión. Antes de la construcción de la cabina se realizó un modelo 3D con bajo detalle

en función del cuerpo del modelado de alta calidad de la cabina de la aeronave, tal como se muestra en la Fig. 9.



*Fig. 9. Modelo 3D en detalle bajo*

En la parte superior delantera de la cabina se manejará una palanca principal, se puede observar su ubicación en la Fig. 10, su función fundamental es la aceleración del avión en el simulador, se ubicará un potenciómetro en la parte interior del soporte, este estará insertado a un tubo PVC el cual tendrá la función de rotación en pro a la aceleración o desaceleración. La palanca está diseñada con cartón corrugado de acuerdo con el modelado para similar una sensación realista y significativamente similar a la de una aeronave.



*Fig. 10. Ubicación de la palanca de aceleración del modelado de alto detalle.*

#### ***2.5.1.1. Medidas de la estructura de la base del acelerador:***

Las medidas fueron obtenidas del escalamiento del modelado 3D con las medidas estándar el Airbus, las medidas complementarias se realizaron a partir del teorema de Pitágoras<sup>7</sup>, teniendo en cuenta ello se realizó un procedimiento para hallar lados de la tapa del lateral sin una medida completamente específica, en la Fig. 11, se puede ver las medidas estándar de los resultados, esto fue necesario para mejorar la optimización de la cabina física y lograr un buen ensamblaje con el entorno virtual.

$$h^2 = a^2 + b^2$$

$$a1 = 53 \text{ cm}$$

$$b1 = 6 \text{ cm}$$

$$x1^2 = (53 \text{ cm})^2 + (6 \text{ cm})^2$$

---

<sup>7</sup> Teorema de Pitágoras: establece que, en todo triángulo rectángulo, la longitud de la hipotenusa es igual a la raíz cuadrada de la suma del área de los cuadrados de las respectivas longitudes de los catetos.

$$x1 = \sqrt{2809 \text{ cm}^2 + 36 \text{ cm}^2}$$

$$x1 = \sqrt{2895 \text{ cm}^2}$$

$$x1 = 53.338 \text{ cm}$$

Segunda ecuación para hallar x2

$$a2 = 37 \text{ cm}$$

$$b2 = 14 \text{ cm}$$

$$x2^2 = (37 \text{ cm})^2 + (14 \text{ cm})^2$$

$$x2 = \sqrt{1369 \text{ cm}^2 + 196 \text{ cm}^2}$$

$$x2 = \sqrt{1565 \text{ cm}^2}$$

$$x2 = 39.56 \text{ cm}$$

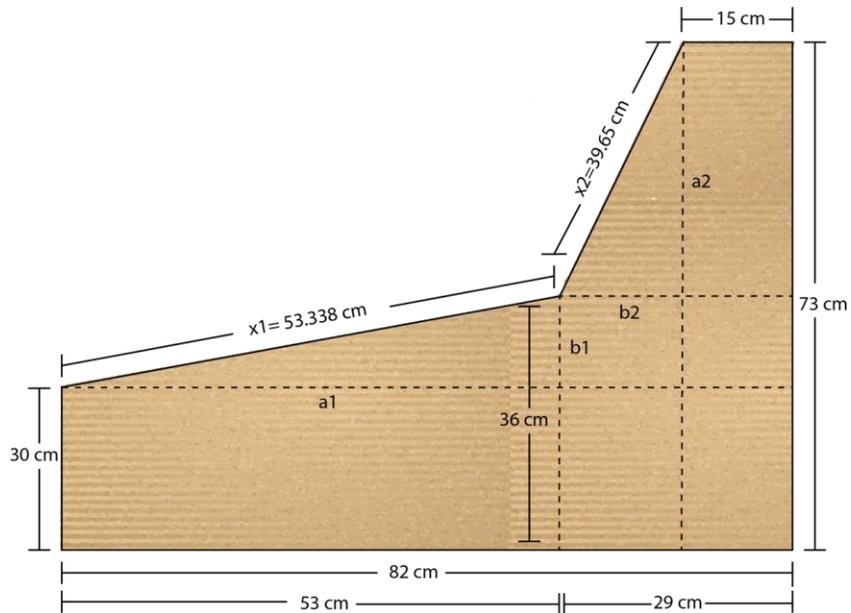


Fig. 11. Plano de la tapa lateral de la cabina

Para la tapa superior en donde se ubica la palanca de aceleración se manejó las medidas redimensionadas con un pequeño agujero en la parte central, como se muestra en la Fig. 12, allí es donde estará ubicada la palanca de aceleración y diferentes botones para una presentación más adecuada y más sensibilidad al tacto.

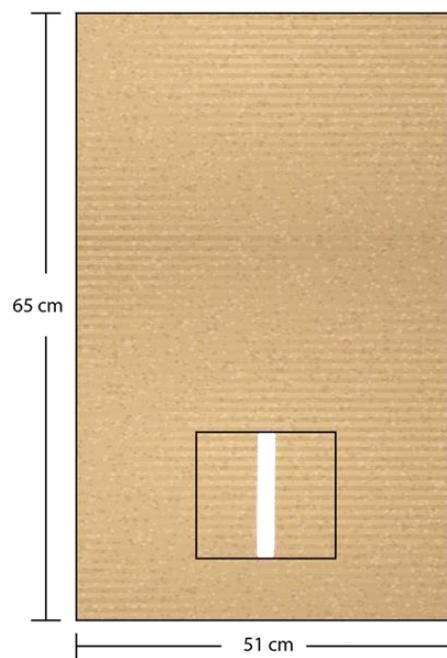
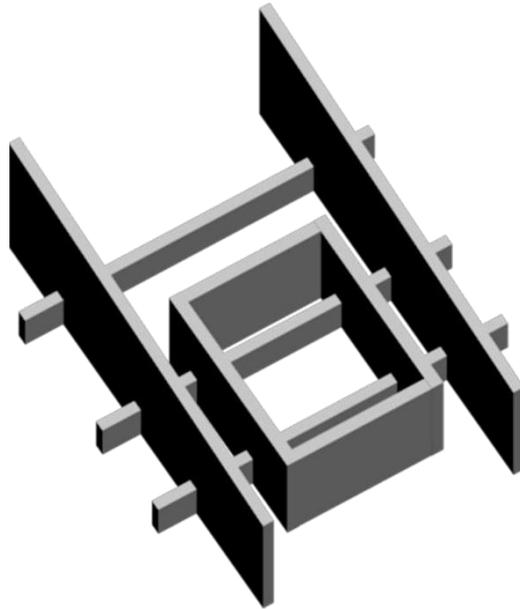


Fig. 12. Plano de la tapa superior del acelerador.

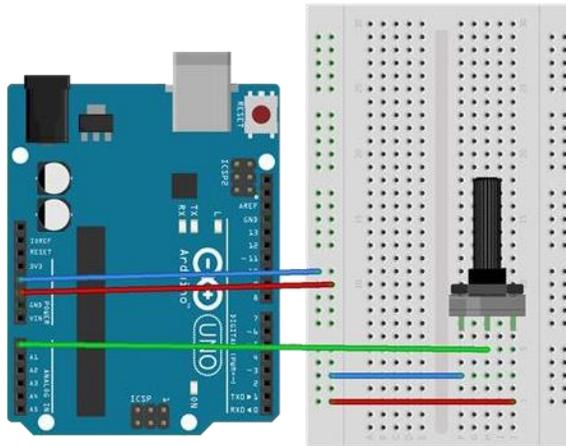
En la parte interior de la cabina se construyó un soporte para darle mucha más resistencia, ya que el material usado es frágil, se realizó diferentes intersecciones de diez centímetros por sesenta centímetros, los cuales pasan de lado a lado sujetándose de las partes laterales de la cabina, en la parte de la palanca de aceleración se construyó una caja pequeña que sirve como columna para el peso de la palanca, tal como se mira en la Fig. 13.



*Fig. 13. Modelado de la estructura interior de la cabina.*

#### ***2.5.1.2. Circuito base del acelerador:***

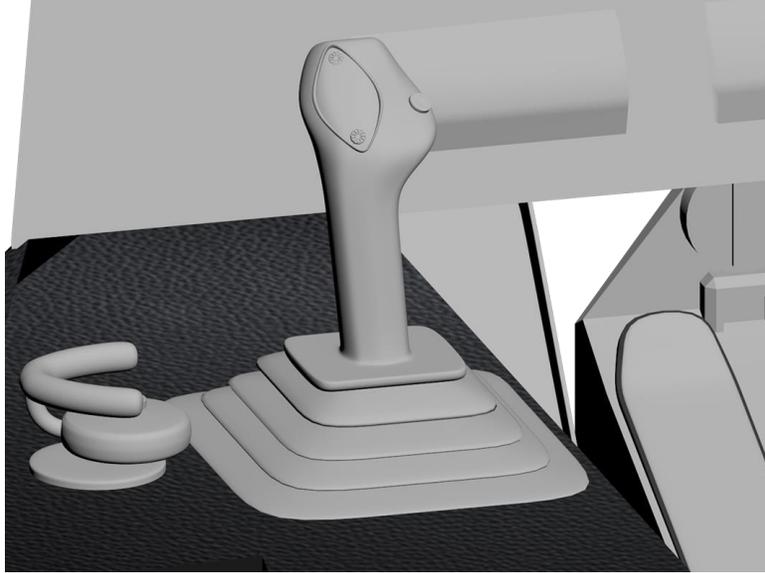
El circuito de la Fig. 14, muestra una conexión en función de la aceleración de la aeronave, el potenciómetro tiene una conexión directa al Arduino, donde este mismo le proporciona la corriente y la salida de datos. La función principal del potenciómetro es el movimiento rotatorio para el registro de los datos axiales los cuales se representarán en medidas de velocidad, aceleración y desaceleración respectivamente. A la par se realiza una sincronización en Unity con la palanca de aceleración en función de ejemplificar las interacciones de las entradas realizadas por el usuario (inputs) con sus correspondidas respuestas visuales que le brinda el programa. Esto es un fundamento del cual nos basaremos a la hora de aplicar interacciones físicas a un entorno 3D.



*Fig. 14. Diseño del circuito para la implementación de la palanca de aceleración.*

### **2.5.2. Base del control de manejo:**

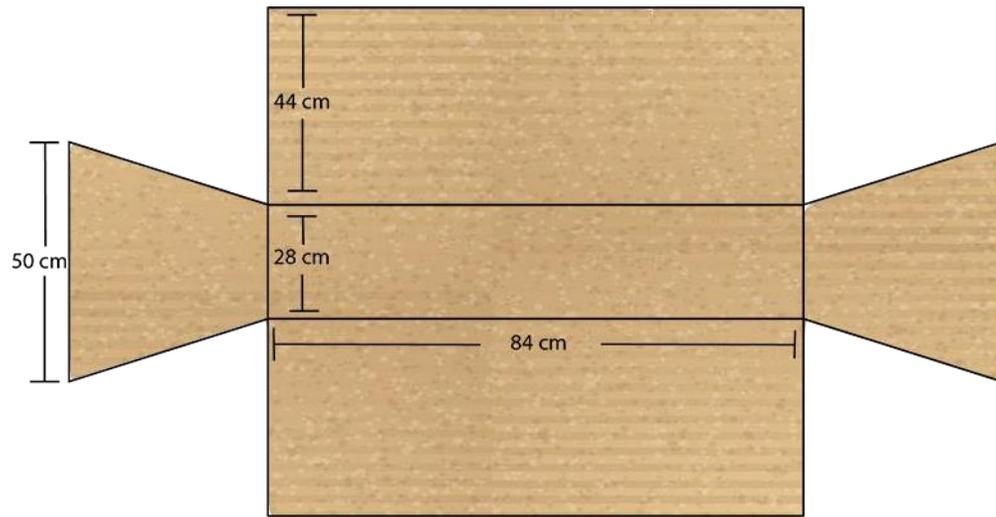
Esta estructura se construyó fundamentalmente para el soporte y sostenimiento de un joystick genérico que cumple la función de timón, este control es esencial para darle movimiento propio a la aeronave, además de otorgar exactitud en la forma del control de manejo de la aeronave dentro del ambiente virtual que se ve en la Fig. 15. El joystick cuenta con una conexión directa al computador por un puerto USB 2.0, tiene una adaptabilidad a la forma de la mano y los materiales le otorgan un aspecto de alta calidad. En cuanto a la sensibilidad es ajustable y precisa al momento de la interacción, tanto en los ejes principales (Adelante y atrás) como en eje de rotación (Z) funciona establemente y con calidad. Todo lo anterior nos permite lograr una mayor inmersión al momento de direccionar la aeronave.



*Fig. 15. Modelado del control de manejo en la aeronave*

#### ***2.5.2.1. Medidas de la estructura del control de manejo:***

La construcción de la estructura se realizó con medidas basadas en el modelado 3D, la aeronave, el plano métrico se puede observar en la Fig. 16. Tiene un cuerpo central, el cual es un chasis pequeño de tubería PVC que otorga mucho más soporte al joystick, el cual se posiciona en la parte superior del armazón, para realizar la conexión con el chasis complementario se utiliza uniones del mismo material.



*Fig. 16. Plano de las medidas de la estructura de control de manejo*

### **2.5.3. Base botonería central:**

La base de la botonería principal es una estructura que aloja siete potenciómetros, botones de funcionamiento nulo y estándar para el manejo de la aeronave, de igual forma su estructura física se desarrolló a partir de la parte semejante de la aeronave en el entorno virtual que se muestra en la Fig. 17.



*Fig. 17. Modelado de la botonería central de la aeronave*

### **2.5.3.1. Medidas de la estructura de la botonería central:**

La métrica que se utilizó en el desarrollo y construcción de la parte central de la aeronave son a partir de unas medidas escalonadas del plano métrico de la Fig.18, sacado del modelado en alto detalle geométrico de la cabina utilizada para el desarrollo completo del simulador para el protocolo de despegue de la aeronave.

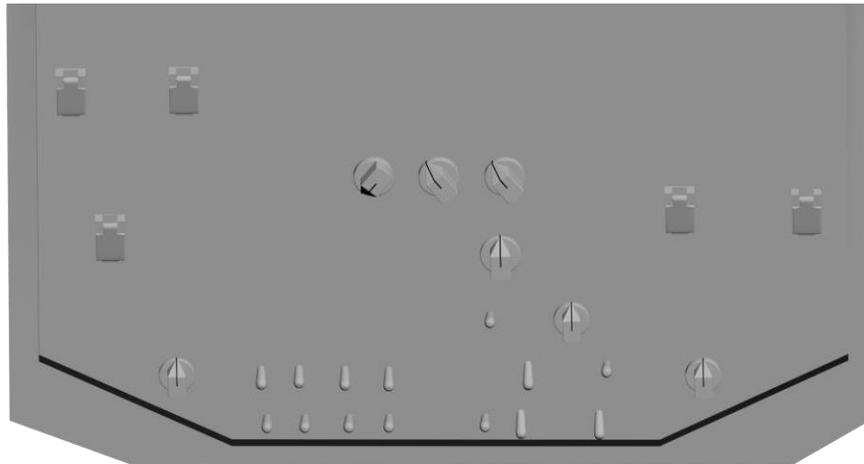


*Fig. 18. Plano de las medidas de la estructura de la botonería central.*

#### **2.5.4. Base botonería aérea:**

En la estructura superior Fig. 19, se encuentra una secuencia sencilla que aborda el encendido del avión, siendo así uno de los primeros pasos para el inicio del protocolo de despegue. La botonería está articulada por switches ubicados horizontalmente a lo largo del soporte hecho con cartón.

La secuencia de encendido se realiza con un script ubicado en el modelado de la cabina de avión importado en el motor gráfico Unity, la secuencia se conectará con un pequeño circuito con base directa en Arduino, en donde se programará una a una las diferentes entradas de datos de los switches.

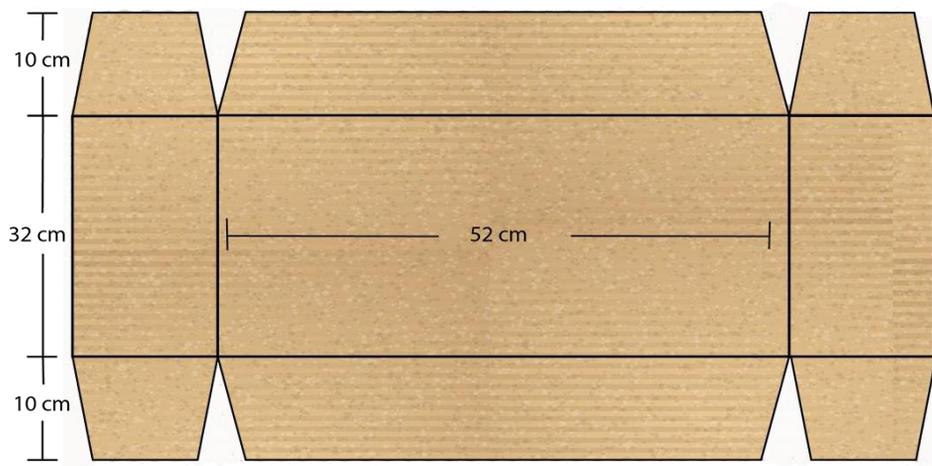


*Fig. 19. Modelado de la botonería aérea de la aeronave.*

##### ***2.5.4.1. Medidas de la estructura de la botonería aérea:***

El proceso de escalamiento métrico desde el programa de desarrollo 3D al mundo físico se sigue cumpliendo para la construcción de los planos de la estructura como se muestra en la Fig. 20, estos

son fundamentales para la correcta fabricación de la estructura enfocada en la función de la ubicación de los switches para realizar un correcto inicio al protocolo de encendido del avión. En esta maquetación se optó por reducir las medidas del modelado poligonal principal por un escalonamiento de la botonería de la parte inferior donde se ubican los botones principales obviando la botonería secundaria que se encontraba en la parte superior con funciones más específicas en el vuelo y no en el protocolo de arranque de la aeronave.



*Fig. 20. Plano de las medidas de la estructura de la botonería aérea*

#### ***2.5.4.2. Circuito secuencia de inicio:***

El circuito tiene una construcción similar al de la aceleración del timón, esta cuenta como base el mismo Arduino Uno con conexión en paralelo de una secuencia de switches. El diseño del circuito se puede observar en la Fig. 21.

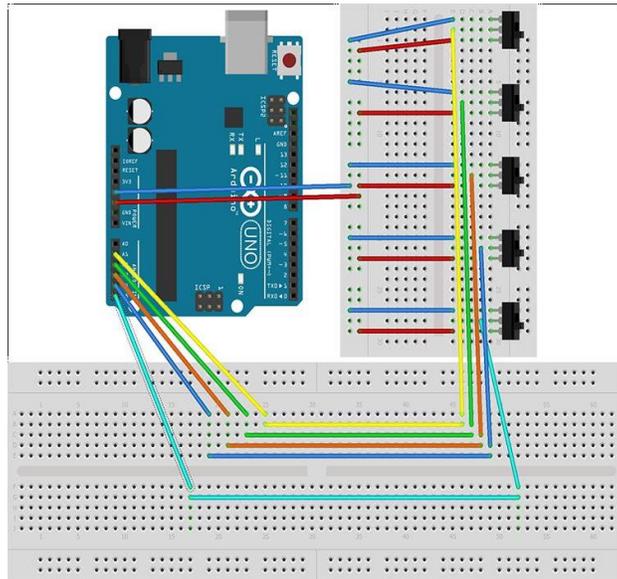


Fig. 21. Diseño del circuito para secuencia de inicio por medio de switches.

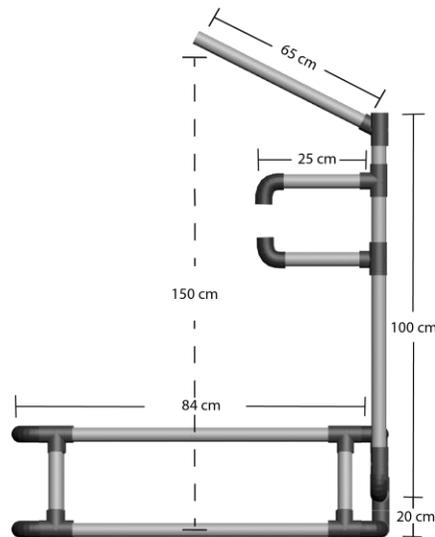
### 2.5.5. Chasis de soporte de la cabina:

Para el apoyo de la estructura de la cabina se realizó un chasis de cuerpo completo que será el soporte esquelético al momento de hacer el montaje de todo el armazón, para la construcción de este apartado se utilizó como elemento principal tubería PVC de una pulgada con diferentes complementos como T, codos o uniones además de ello se soldó algunas conexiones de tubería para que tuviera mucha más rigidez al momento del armado de la cabina.

#### 2.5.5.1. Medidas de la estructura:

El chasis al ser un apoyo fundamental para toda la cabina tuvo un proceso meticuloso de medición y de cumplimiento de estándares dentro del software 3D, ya que contó con una redimensión para que tuviera un correspondiente acople dentro del cuerpo realizado con el cartón doble corrugado; a diferencia de las diferentes piezas de la estructura realizadas en cartón con el cuerpo del chasis

se realizó un modelado 3D siguiendo los pasos de métrica en el software asignado, logrando obtener unas medidas precisas en la estructura, como se muestra en la Fig. 22, este proceso se realizó para tener un soporte digital mucho más preciso para la realización, construcción y ensamblaje del cuerpo interno a partir de la tubería PVC.



*Fig. 22. Medidas de la estructura del chasis de la cabina*

Para la anulación de la parte superior se realizó un procedimiento trigonométrico para encontrar el ángulo específico, ya que con la métrica en el software 3D no se hace exacto este tipo de mediciones. El primer paso implementado fue el teorema de Pitágoras para hallar las medidas de todos los lados de esa parte de la estructura como se observa en la figura Fig. 23.

$$h^2 = a^2 + b^2$$

$$a = 30 \text{ cm}$$

$$b = ? \text{ cm}$$

$$h = 65 \text{ cm}$$

Se desea hallar  $b$

$$b^2 = h^2 + a^2$$

$$b^2 = (65 \text{ cm})^2 + (30 \text{ cm})^2$$

$$b = \sqrt{(65 \text{ cm})^2 + (30 \text{ cm})^2}$$

$$b = \sqrt{4225 \text{ cm}^2 + 900 \text{ cm}^2}$$

$$b = \sqrt{5125 \text{ cm}^2}$$

$$b = 71,59 \text{ cm}$$

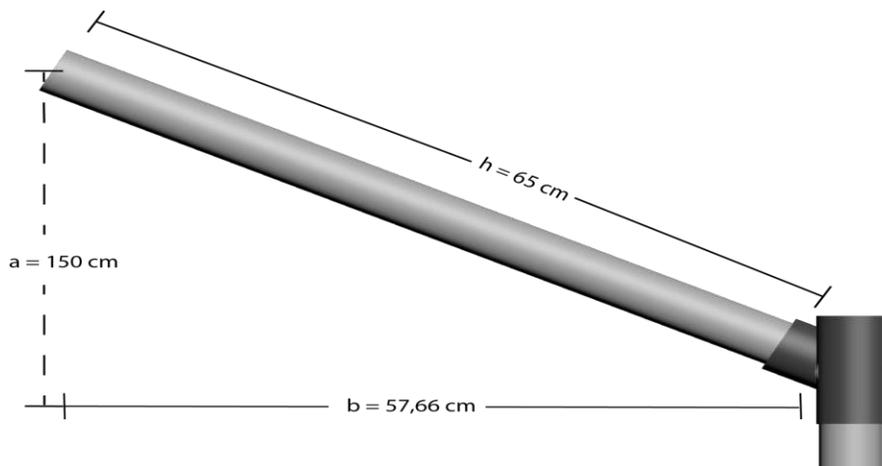


Fig. 23. Proceso matemático aplicado en la estructura.

Luego del proceso, se implementan las razones trigonométricas<sup>8</sup> para calcular el ángulo específico necesario para la construcción del chasis como se observa en la Fig. 24.

$$\tan \theta = \frac{Co}{Ca}$$
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Co}{Ca}\right)$$
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{30 \text{ cm}}{57.66 \text{ cm}}\right)$$
$$\theta = 27,73^\circ$$

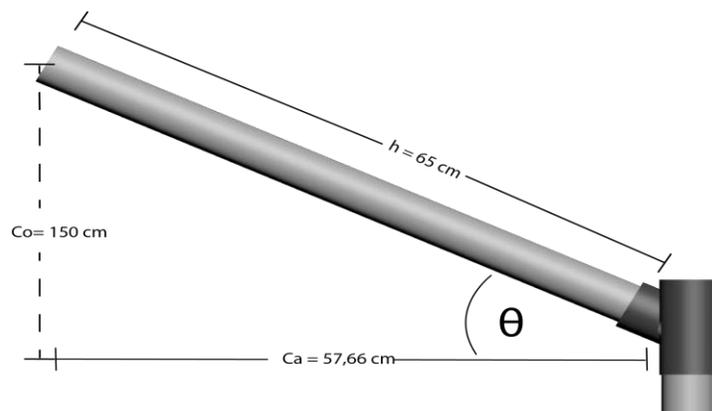


Fig. 24. Angulo de la estructura por medio razones trigonométricas

Al finalizar con la construcción se decide mantener un ángulo de 30 grados para estandarizar el modelo del chasis sin importar el margen de error de 2,27 grados de ganancia a comparación de los cálculos previstos.

<sup>8</sup> Razones trigonométricas: se usan para definir las razones seno, coseno y tangente, del ángulo diferentes ángulos correspondientes al vértice A, situado en el centro de la circunferencia.

Dado los resultados y la medición se procede a la construcción en réplica del chasis en un aspecto digital para su debida elaboración en un formato físico, como se observa en la Fig. 25, de esta manera se cumple los estándares al momento de implementar la realidad virtual.



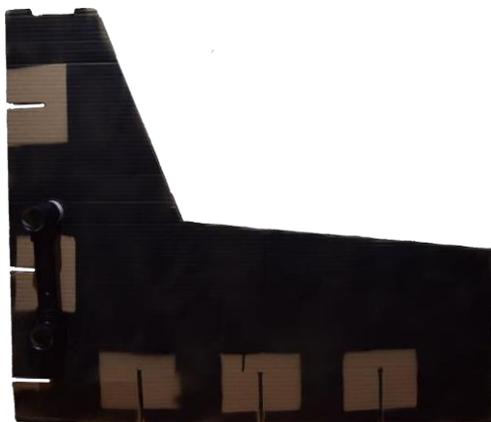
*Fig. 25. Representación 3D del chasis en su totalidad*

## **2.6. PASOS DE ENSAMBLAJE DE LA CABINA:**

En primer lugar, se debe diferenciar y seleccionar los dos principales soportes laterales de la cabina, estos están hechos en cartón, con diferentes hendiduras en la parte inferior y posterior para luego insertar soportes del mismo material como se ven en las Fig. 26 y Fig. 27.



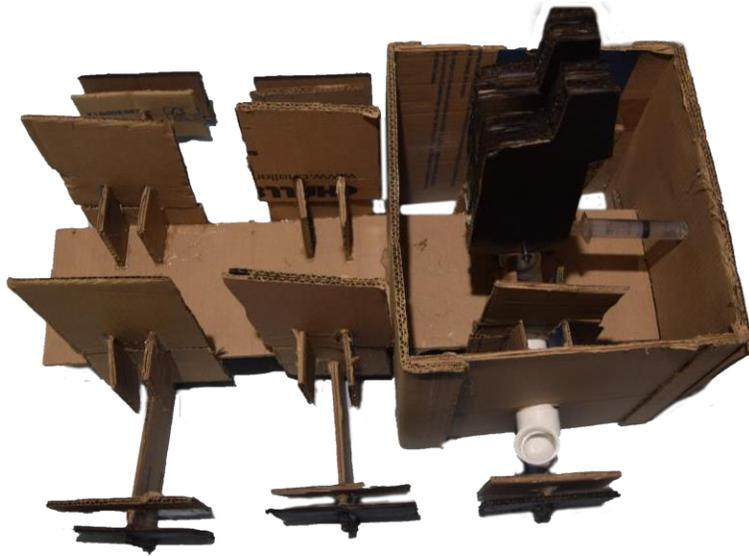
*Fig. 26. Soporte lateral derecho de la cabina*



*Fig. 27. Soporte lateral izquierdo de la cabina*

Las hendiduras de la parte inferior de los laterales encajan con un soporte interno el cual tiene como función principal servir como chasis para la palanca de aceleración del aeronave, esta se compone por un tira central de cartón el cual sostiene tres diferentes pliegues para lograr el encaje con los laterales, en la parte posterior de la tira se encuentra una caja que ejerce el trabajo de columnas para darle operatividad a la palanca, en la parte interna de la caja se encuentra una tubería

con rotación siendo esta el soporte principal de la palanqueta hecha en cartón la anterior tiene conectada una jeringa ubicada de forma horizontal para darle presión y hacer el movimiento más realista todas estas características estructurales y de diseño se puede observar en la Fig. 28, a más detalle.



*Fig. 28. Estructura y diseño del acelerador de la aeronave.*

Al borde de la tubería se le implemento de una tira de platina delgada la cual encaja con el potenciómetro representado en la Fig. 29, de esta forma el movimiento ejercido en la palanca será directamente proporcional al del implemento electrónico dando la función de aceleración en el motor gráfico.



*Fig. 29. Implementación del mecanismo del acelerador con el componente electrónico  
(potenciómetro)*

Teniendo la base principal de la palanca se procede a realizar el ensamblaje del chasis en tubería PVC, partes de la tubería se soldaron para darle soporte y estabilidad al momento del ensamble completo. La construcción de la carrocería es intuitiva, esta se conecta a través de las dos placas laterales y sobresale para ser el soporte en el tren superior como se puede observar en la Fig. 30



*Fig. 30. Tubería PVC encargada del ensamblaje del chasis*

Al realizar la construcción del chasis con la parte interior de la cabina se prosiguió en la colocación del tablero de la botonería central que se puede ver en la Fig. 31. adhiriéndolo a la parte que sobresale del chasis por encima de carcasa para el acelerador.



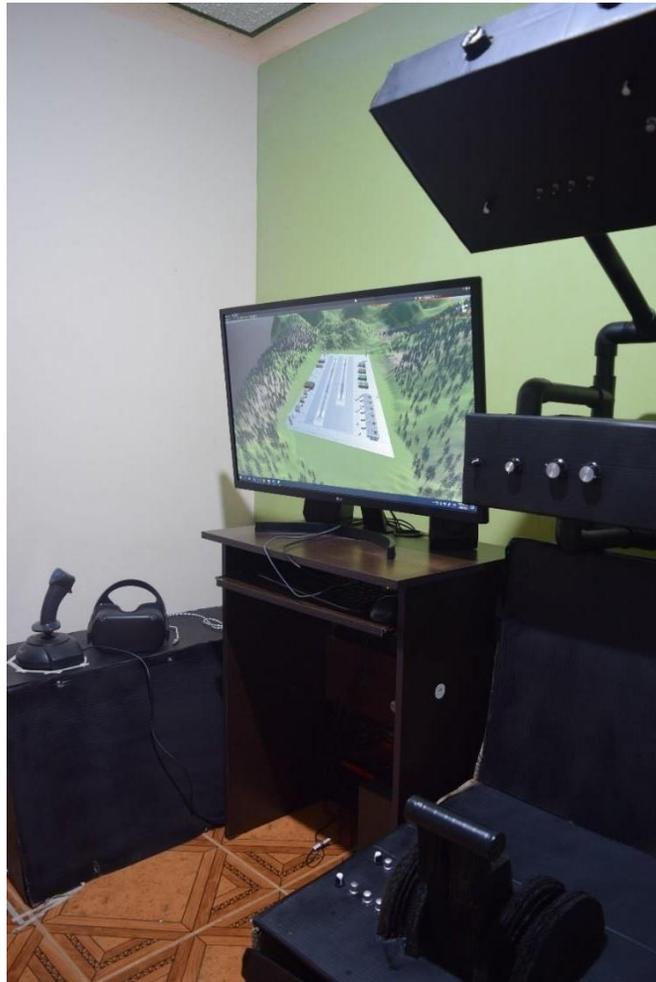
*Fig. 31. Tablero botonería central*

Como apartado final se implementó en la parte superior el soporte principal para la botonería de la secuencia de encendido, todo el chasis de este pequeño armazón se hizo con tubería PVC soldado en partes estratégicas para la estabilidad de toda la cabina. Fig. 32.



*Fig. 32. Tablero superior, secuencia de encendido*

De esta manera se realizó la construcción completa de la cabina, al momento de estar en su respectivo lugar para la utilización de esta, se efectuó una calibración análoga con respecto a la ubicación de los periféricos en el mundo virtual y el mundo físico, de esta forma la correspondiente prueba se podría llevar a cabo, la cabina completamente armada se puede ver en la Fig.33.



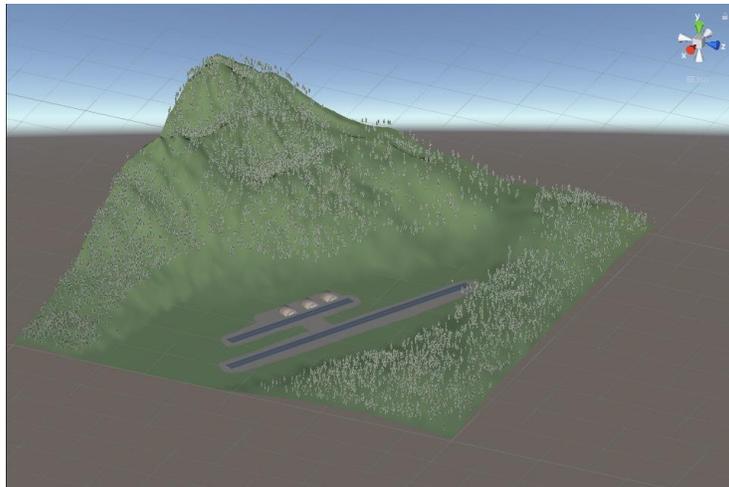
*Fig. 33. Construcción completa de la cabina de avión*

## 2.7. CONSTRUCCIÓN DEL APARTADO DIGITAL

Se desarrolló el proyecto en fases medidas y de acercamientos a puntos, avanzando meticulosamente en el contexto de desarrollo del protocolo de arranque de un avión.

### 2.7.1. Desarrollo de la Escena:

Paralelamente se desarrolló una escena principal cuyo fin es complementar la aplicación y brindar contexto al usuario, para ello se empleó UNITY de nuevo pero esta vez en un proceso artístico de diseño de un aeropuerto como representa Fig. 34.



*Fig. 34. Primera versión de la escena del aeropuerto*

Se partió con la elaboración de la topografía básica del entorno, para ello se empleó un complemento gratuito de la Assets<sup>9</sup> Store de Unity llamado **“Terrain Tools Sample Asset Pack”**

---

<sup>9</sup> Es una representación de cualquier ítem utilizado en la creación del proyecto de simulación. Un ítem podría ser un archivo creado afuera de Unity, tal como un modelo 3D, un archivo de audio, una imagen, o cualquiera de los otros tipos de archivos que Unity soporta.

[22] el cual es un pack de brochas especializado para el diseño de topología en videojuegos muy útil para la creación de terrenos más realistas y de fácil realización, en este punto se preparó un pequeño valle en el centro de la topología para ubicar el aeropuerto para finalizar con esta fase se aplicó dos texturas al terreno, una con un patrón de césped verde y otra de un patrón de tierra marrón, la cual se empleó en el contorno del aeropuerto para hacer una similitud a la intervención humana a la hora de construcción de campo aéreo con el fin de hacer la experiencia un poco más inmersiva y se concluyó con la integración de vegetación en la escena, para ello se emplearon los árboles del *“Asset Conifers [BOTD]”*. [23]

Una vez se desarrolló el terreno se prosiguió con el diseño y la ubicación del aeropuerto en el pequeño valle anteriormente mencionado, en esta fase el diseño de las pistas de aterrizaje fue la prioridad ya que estas cumplen una función práctica en la aplicación, la cual es darle una ubicación en el espacio y servir de guía para la aeronave, en esta parte se tuvo problemas en la utilización de una Asset gratuito *“EasyRoads3D Free v3”* (Asset de implementación para la creación de carreteras) [21] la topología del terreno no era 100% uniforme y al aplicar el Asset se presentaban algunos errores con respecto a la rectitud de la pista esto se solucionó posteriormente además de ello se integraron tres hangares del Asset *“Old Hangar”*. Los Assets anteriormente mencionados son gratuitos y de fácil acceso en la Asset Store de Unity.

A lo largo del desarrollo se continuó con la actualización de la escena del aeropuerto donde se implementó un recopilado de props especiales para brindarle un acabado más adecuado con respecto a la realidad como representan las Fig. 35 y Fig. 36. Esto se desarrolló con el fin de poder

suministrar un poco más de contexto e inmersión a la hora de que el usuario interactúe dentro de la cabina.



*Fig. 35. Gran plano general del aeropuerto actualizado*



*Fig. 36. Plano general del aeropuerto actualizado*



La cabina es el punto principal del simulador, en ella se incorporaron los diferentes scripts programados, metodologías de inmersión y la cámara VR para el uso del Oculus Quest como una aplicación de realidad virtual.

De acuerdo con lo anterior se emplearon varios códigos scripts desarrollados en Unity, se creó un GameObject <sup>10</sup> para ser el punto principal de la encriptación de los diferentes códigos y se tomó como un punto de partida al momento de desarrollar específicamente los controles del proyecto. Paralelamente la funcionalidad del proyecto está conformada por varios scripts los cuales se mencionarán continuación.

#### ***2.7.1.2. Código de controles del Arduino uno a Unity:***

En el inicio de la creación del script se construyó las variables para cada uno de los switches y el potenciómetro, luego de ello se le asignó a cada variable un puerto de la placa Arduino, en el caso de los switches se le asignaron cuatro puertos digitales y para el potenciómetro se le asignó un puerto análogo, [24] tal como se ve en la Fig. 38.

---

<sup>10</sup> Es cualquier objeto usado dentro del proyecto en Unity. Lo que los diferencia son las propiedades de cada uno de los Game Objects. Un Game Object, puede ser desde la cabina o algún otro elemento del escenario.

```

const int butPin1 = 7; // Conexión en el puerto digital pin 7
const int butPin2 = 6; // Conexión en el puerto digital pin 6
const int butPin3 = 5; // Conexión en el puerto digital pin 5
const int butPin4 = 4; // Conexión en el puerto digital pin 4

int AvSpeed = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(butPin1, INPUT);
  pinMode(butPin2, INPUT);
  pinMode(butPin3, INPUT);
  pinMode(butPin4, INPUT);

  pinMode(A0, INPUT);

  digitalWrite(butPin1, HIGH);
  digitalWrite(butPin2, HIGH);
  digitalWrite(butPin3, HIGH);
  digitalWrite(butPin4, HIGH);
}

```

*Fig. 38. Código de asignación de puertos en Arduino Uno*

Luego de la asignación de puertos se realizó unas líneas de código para la aceleración del potenciómetro que efectuara como palanca y se concluyó con la realización de condicionales para cada uno de los switches, como se muestra en la Fig. 39.

```

void loop() {
  num= 0;
  if(digitalRead(butPin1) == HIGH && digitalRead(butPin2) == HIGH && digitalRead(butPin3) == HIGH && digitalRead(butPin4) == HIGH) {
    num = 0;
  }

  if (digitalRead(butPin1) == LOW && digitalRead(butPin2) == HIGH && digitalRead(butPin3) == HIGH && digitalRead(butPin4) == HIGH) {
    num = 1;
  }

  if (digitalRead(butPin1) == LOW && digitalRead(butPin2) == LOW && digitalRead(butPin3) == HIGH && digitalRead(butPin4) == HIGH) {
    num =2;
  }

  if (digitalRead(butPin1) == LOW && digitalRead(butPin2) == LOW && digitalRead(butPin3) == LOW && digitalRead(butPin4) == HIGH) {
    num =3;
  }

  if (digitalRead(butPin1) == LOW && digitalRead(butPin2) == LOW && digitalRead(butPin3) == LOW && digitalRead(butPin4) == LOW ) {
    num =4;
  }

  datal = analogRead(Pin1);
  //Serial.print(datal);
  Serial.print(num);
  Serial.print(",");
  Serial.println(map(datal, 0,1023,-100,100));
  Serial.flush();
  delay(100);
}

```

*Fig. 39. Código aceleración potenciómetro y condicional switches*

### **2.7.1.3. Script principal de la secuencia de arranque:**

En el script secuencia se establece la conexión con Arduino UNO de los componentes electrónicos por medio del puerto COM5 9600, a la par se desarrolló el arreglo por medio de una variable pública para definir posteriormente la secuencia ordenada de los inputs que conforman el protocolo de encendido de la aeronave dentro de Unity. La parte inicial del código se puede ver en la Fig. 40.

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using System.IO.Ports;

public class secuencia : MonoBehaviour
{
    public int dir1;
    public int dir2;
    public int[] lsecuencia;
    public GameObject Luces; // variable Gameobject para luces de la cabina
    float timer = 0; // empezar a contar segundos
    int index = 0; // index para que el arreglo avance (posicion del arreglo)
    public bool exitojoy; //variable si la secuencia esta completa o no completada del joystick
    public bool exitoswitch; //variable si la secuencia esta completa de los switches

    SerialPort puerto = new SerialPort("COM5", 9600); // Puerto del Arduino

    public void Awake()
    {
        puerto.Open();
        puerto.ReadTimeout = 1; // tiempo contado por el puerto
        Luces.gameObject.SetActive(false);
    }

    void Update()
    {
        if (puerto.IsOpen)
        {
            try
            {
                mover(puerto.ReadLine());
            }
            catch (System.Exception)
            {
            }
        }
    }
}

```

*Fig. 40. Código inicial de la secuencia de arranque*

Después de agregar las variables públicas y la conexión con el Arduino se realizó una condicional para dar seguimiento a la lista de la secuencia en orden dada desde la placa Arduino seguido de la implementación de la aceleración a partir del potenciómetro, [25] se puede divisar el uso del código en la Fig. 41.

```

void mover(string datoArduino)
{
    string[] datosArray = datoArduino.Split(char.Parse(","));

    if (datosArray.Length == 2)
    {
        dir1 = int.Parse(datosArray[0]);
        dir2 = int.Parse(datosArray[1])/-1;
        print(dir1 + " , " + dir2);
    }

    if (dir1 == Lsecuencia[index]) // si la secuencia de arduino(switches) es igual a la lista
    {
        index++; // pasar al siguiente paso
        if (index == Lsecuencia.Length) // si la posición del array es igual al tamaño del array
        {
            timer = 0; // el tiempo y los inputs finalizan

            exitoswitch = true;
            Luces.gameObject.SetActive(true);
        }
    }
    else { timer = 5; } // si no reiniciar la cuenta a 5
}

private void OnApplicationQuit()
{
    Debug.Log("se cerro");
    puerto.Close();
}

```

Fig. 41. Código del funcionamiento de la secuencia y el acelerador

#### 2.7.1.4. Script activación del funcionamiento de la cabina:

El script de activación se empleó para garantizar la secuencia de activación previa al control de la aeronave, esto se desarrolló por medio de condicionales que verifican la activación de los componentes electrónicos de una manera ordenada y consecutiva, se desarrolló de manera complementaria para darle un correcto funcionamiento a la aceleración y al Joystick con el seguimiento de unos pasos ya previstos. La implementación del script se puede visibilizar en la Fig. 42.

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;

public class activacion : MonoBehaviour
{
    public secuencia secuencia;           // variable que llama al script de secuencia
    public Joystick joystick;           // variable que llama al script de joystick

    void Start()
    {
    }

    void Update()
    {
        //secuencia.Starttt();
        if (secuencia.exitoswitch)
        {
            // si la comprobacion de la secuencia (switch) es exitosa
            joystick.encendido = true; // se activa la variable encendido del script joystick
            secuencia.exitoswitch = false; //se activa la variable exitoswitch del script secuencia
        }
        if (Input.GetKey(KeyCode.Escape))
        {
            Application.Quit(); // si la comprobacion de la secuencia (switch) es exitosa
        }
        joystick.aceleracion = secuencia.dir2;
    }
}

```

Fig. 42. Código de activación de los periféricos

#### 2.7.1.5. Script del funcionamiento del Joystick:

En el script del funcionamiento del joystick se desarrolló el control del movimiento de la aeronave por medio del joystick físico, principalmente se implementó el movimiento lineal de la aeronave más las rotaciones en torno al eje Y, Z que conforman la dirección más su representación virtual, se restringió levemente el movimiento lateral para que la cabina tenga un movimiento constante en la misma dirección, el código utilizado se puede ver en la Fig. 43.

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class Joystick : MonoBehaviour
{
    public GameObject joystick;
    public GameObject cabina;
    public float tiltAngle;
    public float angulocabina;
    public float smooth;
    public bool encendido;
    public int aceleracion;

    void Start()
    {
    }

    void Update()
    {
        float tiltAroundZ = Input.GetAxis("Horizontal") * tiltAngle;
        float tiltAroundX = Input.GetAxis("Vertical") * tiltAngle;
        Quaternion target = Quaternion.Euler(-tiltAroundZ, 27.224f, -tiltAroundX);
        joystick.transform.rotation = Quaternion.Slerp(joystick.transform.rotation, target, Time.deltaTime * smooth);
        if (encendido)
        {
            if (aceleracion != 0)
            {
                cabina.transform.Translate(Vector3.right * Time.deltaTime * aceleracion);
                float cabi_ang_y = Input.GetAxis("Horizontal") * angulocabina;
                float cabi_ang_z = Input.GetAxis("Vertical") * angulocabina;
                Quaternion targetcabi = Quaternion.Euler(0, 30 + cabi_ang_y, -cabi_ang_z);
                cabina.transform.rotation = Quaternion.Slerp(cabina.transform.rotation, targetcabi, Time.deltaTime * smooth);
            }
        }
    }
}

```

Fig. 43. Código para el funcionamiento del Joystick.

#### 2.7.1.6. Script de la implementación del menú:

En el script MENÚ se desarrolló la lógica de cambio de escenas en la aplicación, donde por medio de el botón de jugar el usuario puede alternar entre ejecutar la aplicación interactiva de simulación, paralelamente podrá seleccionar el botón de instrucciones para iniciar el tutorial introductorio del funcionamiento de la aplicación y finalmente el usuario podrá seleccionar el botón de salir para finalizar la ejecución de la aplicación en el equipo, este apartado grafico del menú se puede observar en la Fig.44. la creación del código implementado en el menú se puede ver en la Fig. 45.



Fig. 44. Pantalla principal del simulador con su correspondiente Menú de navegación

```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4  using UnityEngine.SceneManagement;
5
6  Script de Unity | 0 referencias
7  public class menu : MonoBehaviour
8  {
9      0 referencias
10     public void iniciar()
11     {
12         Application.LoadLevel("aeropuerto"); //cambio a la escena principal de la aplicación
13     }
14     0 referencias
15     public void instrucciones()
16     {
17         Application.LoadLevel("menu 3"); //cambio a la scena de instrucciones
18     }
19     0 referencias
20     public void salir()
21     {
22         Application.Quit(); // finalizar la ejecucion de la aplicación
23     }
24
25
26

```

Fig. 45. Código implementado en el menú

### **2.7.2. Realidad virtual:**

Uno de los últimos pasos realizados fue la implementación de la realidad virtual, la creación de una cámara principal para recrear la vista en primera persona y que sirva en función de unas gafas periféricas las cuales serán el soporte principal para lograr la inmersión. Para trabajar todo ello se utilizará Oculus Quest, el cual será el dispositivo principal VR para lograr la puesta en marcha y realización de la realidad mixta.

En principio es necesario descargar el aplicativo de Oculus Quest, con esta App fue posible activar el modo desarrollador, un estado de Oculus necesario para tener permisos de usos y lograr tener libertad al momento de utilizarlo de forma práctica para diferentes ejercicios en motores gráficos como Unity 3D o Unreal Engine, un ejemplo de la página principal del dispositivo se puede ver en la Fig.46. Después de ello se descargó otro aplicativo necesario para la conexión directa de Oculus Quest con el ordenador, el cual fue Oculus Link <sup>11</sup>, con ello se tendrá la oportunidad de tener una conexión inalámbrica directa con un puerto USB 3.0.

---

<sup>11</sup> Es un software para ayuda de conexión con cable, solo se debe conectar el cable de fibra óptica del PC al dispositivo Oculus Quest.

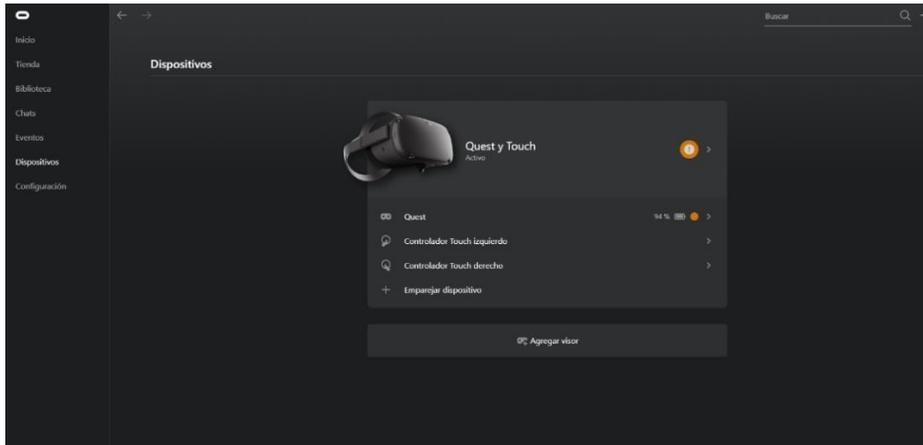


Fig. 46. interfaz del entorno de desarrollo de Quest

Para el establecimiento y funcionamiento de la realidad virtual con Oculus dentro del motor gráfico se utilizó una extensión de Unity Assets Store llamada **“Oculus Integration”** [26] como se muestra en la Fig. 47. La cual es una extensión versátil con disposición gratuita y es la ayuda fundamental al momento de la creación de la cámara y diferentes complementos dentro de la realidad virtual.

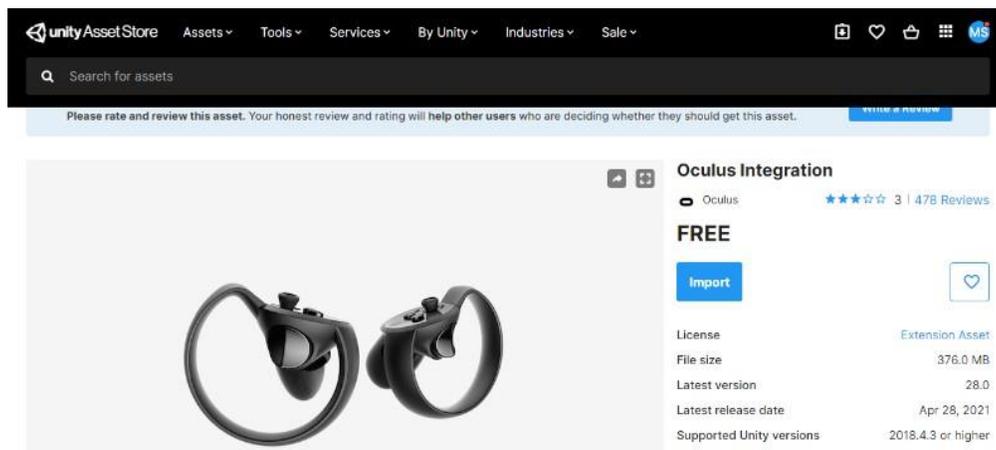


Fig. 47. Asset gratuito Oculus Integration

Para el adecuado funcionamiento de la extensión será necesario tener complementos SDK<sup>12</sup> y JDK<sup>13</sup> para una adecuada operatividad del aplicativo Android dentro del motor gráfico de esta manera la utilización del Oculus será la correcta al momento de la integración de la cámara VR y el Hand Tracking (seguimiento de manos) se observan en más detalle en la Fig. 48.



*Fig. 48. Hand Tracking y cámara VR integrados en la escena*

### ***2.7.2.1. Calibración de la realidad virtual con la realidad física***

Para lograr una correcta implementación de la realidad mixta dentro de la construcción del simulador de protocolo de vuelo se necesitó como último paso realizar una calibración entre lo maquetado durante el desarrollo de proyecto. Se realizó una unión de la realidad virtual y realidad

---

<sup>12</sup> SDK: es un conjunto de herramientas de desarrollo de software que permite a un desarrollador crear una aplicación informática para un sistema concreto, por ejemplo, ciertos paquetes de software, entornos de trabajo, etc.

<sup>13</sup> JDK: es un software que provee herramientas de desarrollo para la creación de programas en Java. Puede instalarse en una computadora local o en una unidad de red.

física a partir de parámetros estandarizados, estos parámetros fueron el resultado de la realización de diferentes pruebas de práctica y de la directa utilización del simulador con un usuario base de 175 cm de altura, en donde de modo análogo se sincronizo el mundo real con el físico, dándonos unas métricas y un estándar de ubicación de la cámara dentro de la cabina virtual como se puede ver en la Fig. 49. En su contraparte se mantuvieron unas medidas en el mundo físico real, estas medidas fueron remarcadas para tener un pequeño mapeo del escenario y su respectiva ubicación de los diferentes periféricos creados, el mapeo remarcado se puede observar en la Fig. 50.

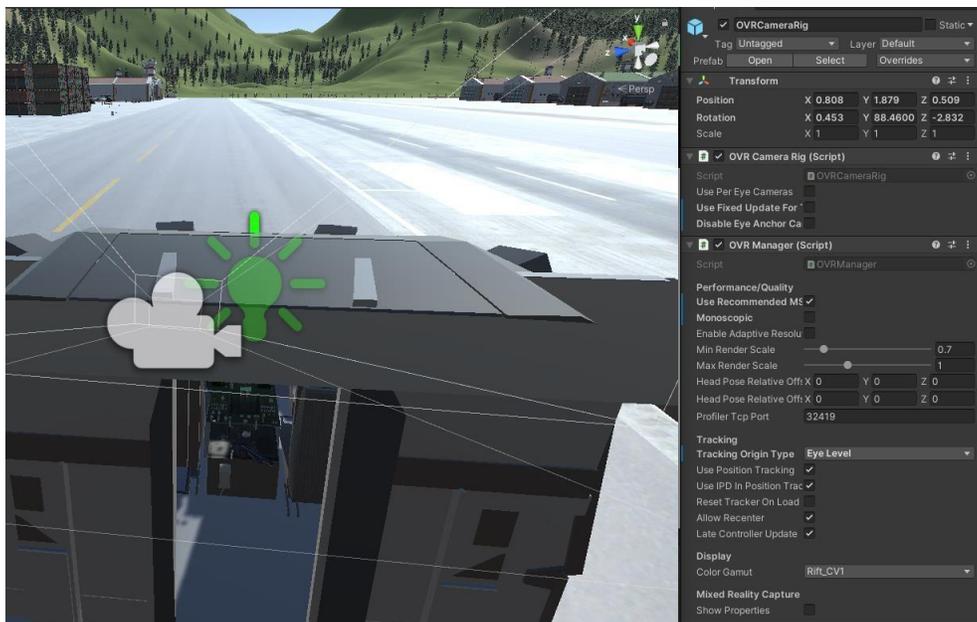
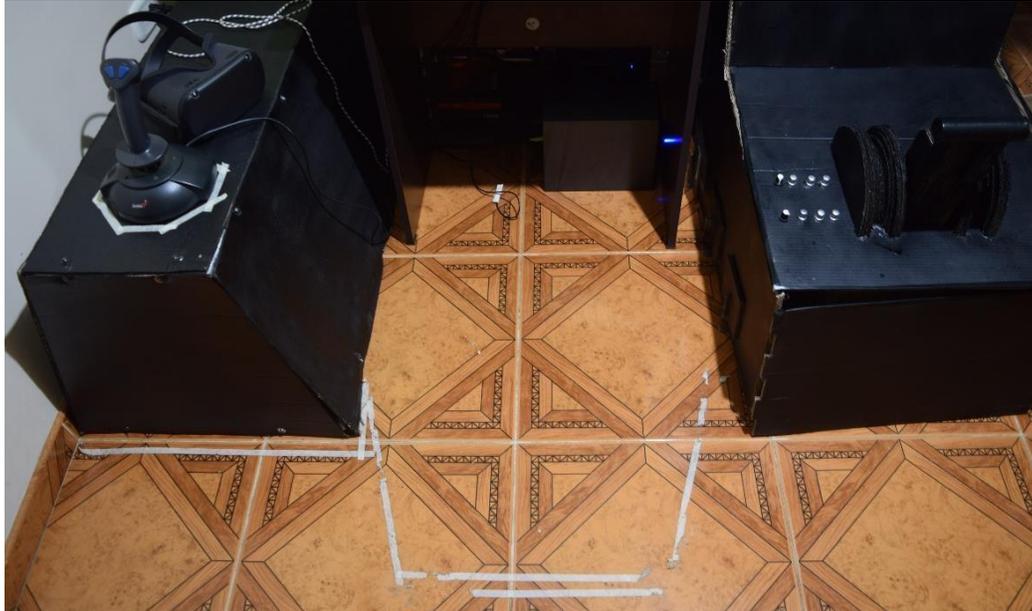
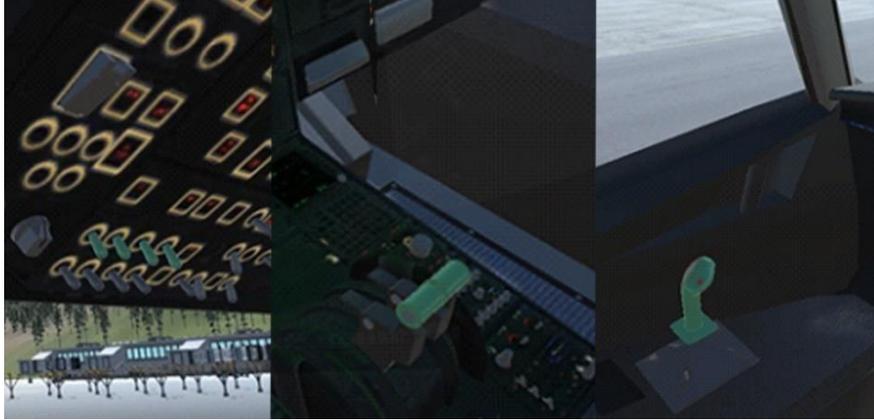


Fig. 49. Ubicación de la cámara VR



*Fig. 50. Mapeo en el espacio físico para la calibración*

Para finalizar se utilizó varias técnicas de selección dentro del espacio virtual para que sirvieran de guía al momento de utilizar el simulador en las diferentes pruebas; en primera instancia se empleó una técnica de orientación llamada “**Wayfinding**”, esta se realizó a partir de unas de unas conclusiones de pruebas de usuario al inicio de la implementación de la cabina, con la información obtenida del correspondiente análisis de las pruebas, se intuyó crear una manera entendible y de fácil guía para a los diferentes voluntarios en las pruebas de usabilidad, después de ello se prosiguió a crear un camino intuitivo para el seguimiento de los pasos del encendido del aeronave, se contorneo con un color diferentes los dispositivos de uso dentro de la cabina, además de anexarse una función de encendido de luz al finalizar satisfactoriamente la secuencia, de esta manera se delinea un proceso de búsqueda de caminos orientado en entender las funciones de la cabina con una correcta orientación espacial al darle relevancia al proceso de secuencia, [27] el proceso se puede ver en la Fig. 51.



*Fig. 51. Wayfinding en el espacio virtual*

Paralelamente se empleó la técnica de manipulación 3D conocida como **“Direct Manipulation: Virtual Hand Techniques”** donde se utilizó de manera gráfica unas manos virtuales semitransparentes las cuales tienen como objetivo orientar intuitivamente al usuario según la posición de sus manos reales, la razón de la utilización de manos transparentes es para facilitar la percepción de la profundidad del entorno físico al usuario, ya que al usar un material sólido se tiende a perder la noción de profundidad dificultando la navegación. Esta técnica de manipulación es relevante en el proyecto ya que las manos virtuales son una guía importante en la navegación del entorno y se complementan con los diferentes inputs físicos con los que cuenta el proyecto, como lo son los movimientos en los diferentes ejes del joystick, las diferentes pulsaciones de los switches y los movimientos de la palanca de aceleración. La implementación y utilización de la cabina se puede observar en, Anexo 1. video de la implementación de la cabina

### **3. CAPITULO III**

#### **ANÁLISIS DE DATOS:**

Para el desarrollo del análisis de datos se parte de lo básico en la recolección de pruebas con usuarios, se hizo utilización de un testing ya que es una de las principales técnicas del diseño centrado en el usuario, que permite descubrir qué problemas de usabilidad presenta un producto a través de la observación de como un grupo de usuarios lo utiliza.

Dentro de los entornos de usabilidad como la realidad virtual y mixta se presentan diversas pruebas de observación, en la que los usuarios participan verbalmente expresando en cada momento la emoción y el porqué de sus acciones, esto se verifico y se llevó a cabo en una serie de anotaciones en respectivas bitácoras con observaciones de usuarios al momento de realizar las pruebas. Gracias a la información recolectada se puede obtener unos datos cualitativos para poder detectar problemas de usabilidad en el proyecto, de esta forma se puede proponer mejoras y soluciones, que optimicen la experiencia de usuario. En la recolección de datos se presenta una metodología aplicada en entorno de realidad virtual. Se define en 4 fases en las que se listan las acciones a realizar en cada una de ellas. [28]

#### **3.1. Toma de requisitos:**

El proyecto comprende la producción de un prototipo de simulador aéreo caracterizado en brindar una experiencia virtual, en donde se enfocará protocolo de encendido de una aeronave, a partir de la aplicación se extraerá la información específica sobre la experiencia de cada usuario.

### ***3.1.1. Investigación etnográfica:***

La toma objetiva de las experiencias de usuarios se enfocaría en estudiantes o profesores del área de aeronáutica que desempeñen papeles enfocados al control, conocimiento y aprendizaje de aeronaves. Con fines de pruebas se especificaron usuarios jóvenes entre 18 a 30 años, no obligatorio, pero se recomendó usuarios con experiencia en aplicativos móviles o videojuegos, para un mejor desempeño y asimilación en el simulador, con una estatura estándar entre 165 cm y 175 cm.

Por problemas sociales y de pandemia los usuarios selectos fueron personas sin enfoque temático en la aeronáutica y se manejó el mínimo de usuarios exigido en las pruebas, en este caso se tuvo la oportunidad de realizar las pruebas con 5 personas que estaban dentro de lo planteado en la estatura estándar y que tuvieran un buen desempeño con la parte práctica de la realidad virtual.

Se utilizó una muestra de casos tipo en estudios cuantitativos exploratorios y en investigaciones de tipo cualitativo, en el que el objetivo es la riqueza, profundidad y calidad de la información, no la cantidad ni la estandarización. En estudios con perspectiva fenomenológica, en los que el objetivo es analizar los valores, experiencias y significados de un grupo social. [29]

### **3.2. Planificación:**

En la propuesta práctica de planificación se identificó el objetivo de las pruebas de usabilidad con los diferentes usuarios, la metodología y se realiza un esquema de los recursos necesarios.

### ***3.2.1. Objetivo de las pruebas de usabilidad:***

Evaluar la recepción de funcionalidad en usuarios sobre la realidad mixta en cuanto la integración del espacio físico y virtual en la aplicación del protocolo de despegue de una aeronave.

### ***3.2.2. Metodología:***

La metodología que se implementó en el análisis de resultados fue un proceso de investigación cualitativo apoyado en la realización de la evaluación de las pruebas de realidad virtual, se buscó desarrollar un entorno de usabilidad práctico y accesible a partir del simulador creado en función de la realidad mixta. Se obtuvo apoyo en diferentes objetivos complementarios dentro de las pruebas, como la evaluación de la aplicación con diferentes usuarios voluntarios que estuviesen en el espectro etnográfico previstamente asignado.

La investigación metódica fue cualitativa, se escogió por la directa evaluación de usabilidad que ofrecía al momento de desarrollar las pruebas y el correspondiente análisis, esta metodología permitió realizar unas pruebas versátiles y condicionadas a los pocos usuarios voluntarios que realizaron las pruebas de realidad mixta. En su contraparte la investigación cuantitativa limitaba a las pruebas en la exactitud estadística, ya que este tipo de análisis se implementa con un gran grupo de usuarios para abarcar una condición de estudio definida y estrictamente controlada en los números. [30]

### **3.2.3. Recursos:**

Las pruebas de usabilidad se ejercieron con los recursos prácticos para el correspondiente desarrollo de las evaluaciones con usuarios, se contaba con el correcto funcionamiento de los diferentes periféricos creados en el ambiente físico, se tenía a la mano un Oculus Quest para la disposición de la realidad virtual además de tener en un espacio moderado y delimitado la construcción en físico de la cabina completamente funcional para hacer uso de ella en el simulador.

### **3.3. Desarrollo de las pruebas de usabilidad:**

La ejecución de las pruebas se realizó en un orden específico para mantener una organización en los datos que permitiera extraer adecuados resultados que retroalimentaran conclusiones ya vistas en la construcción del proyecto, para llegar a ello se utilizó la observación y el análisis cualitativo de las pruebas para solventar problemas de usabilidad y generar hipótesis de operatividad en función del simulador con realidad mixta. Los pasos que se siguieron son los siguientes:

#### **3.3.1. Definición de tareas para los usuarios:**

En los pasos principales del desarrollo de las pruebas, se definió el escenario y el entorno virtual en el cual estaría inmerso el usuario, se tuvo en consideración el conocimiento y acceso del voluntario a la realidad virtual y mixta para contextualizarle de la mejor manera el significado de las anteriores para que sirvieran como pilar en el entendimiento del proyecto y en función de las

tareas a completar en el simulador. Después de ello se explicó las tareas directamente esquematizadas; inicialmente las tareas fueron comunicadas verbalmente para que el usuario tuviese una mejor asimilación del nuevo entorno. De esta manera se obtuvo cumplimiento en las tareas, adaptación y descubrimiento del nuevo entorno gráfico de cada uno de los voluntarios frente al simulador en realidad mixta. Como apartado importante a cada usuario se le dio a entender que se estaba evaluando un proyecto de realidad mixta, no las habilidades del voluntario frente al simulador, de esta manera se mantuvo una conversación constante que aportó en la retroalimentación de los análisis de las pruebas. [31]

### ***3.3.2. Realización de las pruebas:***

Se mantuvo una conversación verbal constantemente, en donde se aseguró de observar las tareas preestablecidas y de recordarlas si era necesario. Se observó con detenimiento problemas de usabilidad en la cabina física frente a su contraparte virtual. Se tomó nota de problemas encontrados en la usabilidad del simulador o de la combinación entre las dos realidades para su posterior análisis además de detectar problemas de aprendizaje del uso del dispositivo, paralelamente se le dio asistencia a los usuarios recordándoles los controles básicos y formas de interacción, teniendo en cuenta los periodos de adaptación a los entornos en la realidad virtual que habitualmente son de entre 5 a 10 minutos en promedio, dependiendo del uso frecuente de la tecnología de cada voluntario. Como evaluación final se mantuvo constante visualización del estado físico de los usuarios durante el desarrollo de las pruebas, para percibir y detectar síntomas de fatiga, sudoración, tropiezos y mala ubicación de las manos con respecto a la cabina

física, todo esto para valorar el estado de cada voluntario y estar al margen de dificultades con la realidad virtual además de tener presentes causas que provocaran estos efectos negativos en los usuarios. La realización de las pruebas se encuentra en él, Anexo 2. realización de pruebas de usabilidad.

Se debe anexar que por motivos de licencia y permisos de pago por parte de Oculus Quest no se pudo realizar el exportable de la aplicación para Windows , debido a esto la ejecución de la aplicación se debió hacer dentro del entorno de desarrollo de Unity en las diferentes pruebas y procesos de test en usuarios, el anterior inconveniente fue un soporte dentro de las realización de las mismas pruebas, ya que al momento de la realización de las anteriores se tuvo que ajustar en varias ocasiones la cámara directamente desde el aplicativo de Unity.

### ***3.3.3. Test evaluativo:***

La prueba evaluativa se desarrolló a partir del planteamiento de diferentes preguntas las cuales tuvieron un énfasis en diagnósticos y evaluaciones ya creadas para evaluar diferentes modos de uso en la realidad virtual, los cuestionarios sirvieron de inspiración para crear una encuesta propia enfocada a la evaluación de la realidad mixta. El desarrollo de las preguntas se realizó con fundamento en los tres cuestionarios que se muestran en la Fig. 52. La primera pregunta se enfoca en los diferentes malestares presentados en las pruebas, las siguientes tres hacen una evaluación del dispositivo usado evocando a la sensación, experimentación y opinión de cada encuestados, para finalizar se realizaron dos preguntas con un enfoque temático conclusivo en mejoras y adaptaciones del prototipo del simulador.



*Fig. 52. Implementación del cuestionario*

Las preguntas implementadas se mostrarán a continuación, las respuestas de cada uno de los usuarios estarán disponibles en él, Anexo 3. respuestas en las pruebas de usabilidad.

1. ¿Cómo se siente respecto a diferentes malestares como nauseas, ojos irritados, dolores de cabeza después de la utilización del simulador del protocolo de vuelo?
  
2. ¿Qué sensación tuvo al momento de realizar los pasos del protocolo de despegue con respecto a la realidad mixta (La combinación del espacio virtual y físico), se le dificulto desarrollar algún proceso en las tareas previstas, nos podría indicar puntualmente cual fue y por qué?
  
3. ¿Con anterioridad había conocido, leído o visto alguna herramienta de realidad mixta o de simuladores inmersivos con similitud presentada en el proyecto? Si es así ¿Ve esta tecnología en función para la vida cotidiana?

4. Según su opinión cómo describiría su experiencia a la hora de manipular el simulador ¿Fue una experiencia agradable, interesante, tediosa o confusa?
5. ¿Usaría el prototipo de simulador de vuelo con un mayor desarrollo en cuanto la implementación de realidad mixta y de mecánicas específicas como implementación de más botones al protocolo como una alternativa académica al momento de prácticas con aviación?
6. Teniendo en cuenta su experiencia con el simulador desarrollado, ¿Cree que la realidad mixta sea una herramienta práctica al momento de la creación de diferentes instrumentos para el aprendizaje práctico? ¿Si es así, que aspectos de mejora cree usted que se deberían considerar y replantear tanto en el apartado de calidad de diseño como el de los materiales, sin perder el foco temático de crear un protocolo de simulador de realidad mixta a bajo costos?

#### ***3.3.4. Procesamiento de la codificación de los datos:***

El uso de la codificación se implementó en referencia al proceso de fragmentación y segmentación de los datos en función de su significación para con las preguntas y objetivos de investigación. Implicó un trabajo inicial para preparar la materia prima que luego habrá de ser abstraída e interpretada. La codificación permitió condensar los datos en unidades analizables y, así, revisar minuciosamente los datos con un propósito analítico. La codificación ayudo a llegar, desde los datos, a las ideas. [32]

La creación de las categorías se generó a partir de una codificación deductiva, se realizó una categorización fundamentada en el estudio y creación del prototipo de simulador de vuelo, con

un foco temático del cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto en general, después de ello se llevaron las categorías previas al programa de análisis cualitativo “*Atlas ti*”<sup>14</sup> [33]. La creación de las 5 categorías como unidades analizables se contextualizarán y describirán, a continuación:

- **Realidad mixta:** Se enfoca en el eje temático manejado en el transcurso del proyecto, es una categoría clave siendo un punto determinante a la hora de la búsqueda del análisis categórico, en donde se mide este contexto antes, durante y después de la realización de las pruebas basadas en la realidad virtual.
- **Malestar:** Esta categoría se desprendió de un cuestionario enfocado en la realidad virtual, en donde se mide la métrica de los esquemas de salud enfocados después de la realización de dichas pruebas, el análisis de estos datos se realiza para el buen acondicionamiento de los usuarios a la utilización del prototipo de simulador.
- **Experiencia:** En el apartado categórico de la experiencia se busca un sobre análisis receptivo de los diferentes usuarios voluntarios al momento de la utilización de la realidad mixta en un simulador de vuelo, se busca conocer sensaciones y sentimientos al momento del desarrollo del experimento.

---

<sup>14</sup> Es un software que ayuda a los investigadores a descubrir y analizar sistemáticamente fenómenos complejos ocultos en datos no estructurados (texto, multimedia, geoespacial). El programa proporciona herramientas que permiten al usuario localizar, codificar y anotar hallazgos en material de datos primarios, sopesar y evaluar su importancia y visualizar las relaciones a menudo complejas entre ellos.

- **Conocer:** Con la categoría de conocer se busca palabras objetivas dentro del espacio a evaluar, el contexto de las diferentes herramientas como el del propio realizado, el entendimiento de los diferentes materiales y las pruebas que se realizaban.
- **Dificultad:** En la sección categórica de la dificultad se mide el índice receptivo de la utilización del dispositivo como una herramienta práctica de aprendizaje para el uso cotidiano de diferentes usuarios con categorías etnográficas distantes entre cada voluntario.

#### **3.4. Análisis de las pruebas de usabilidad:**

Para el desarrollo de la investigación se efectuó una categorización de las entrevistas en el respectivo programa de análisis cualitativo antes mencionado, esto se desarrolló haciendo una distinción y observación en las respuestas concretas de cada usuario enfocándose en la búsqueda de las categorías, enfocadas en frases, palabras y párrafos, el análisis en el programa se puede observar en la Fig. 53.

Usuario 01:

Juan Sebastián Sanabria Mendiveiso, edad: 18 años, Estatura: 160 cm

1. Se presento algo de irritación en los ojos, no se siente mareos ni malestares generales después de la utilización del simulador.
2. No se le dificulto casi nada, tal vez en la secuencia porque se desaparecía la mano, los otros pasos fueron sencillos y poco complejos, veo la realidad mixta como una herramienta que se puede usar para mejorar todos los ámbitos en la vida cotidiana, como mejorar el entretenimiento o hacer búsquedas de nuevas funciones
3. Si eh experimentado diferentes usos en una sala de juegos en un centro comercial, se podía subir a un juego y manejarla
4. Fue agradable y bastante fácil de entender sin complicaciones al momento de realizar los pasos previstos
5. Si usaría el simulador, porque la sensación de experiencia fue agradable e interesante además de evitar peligros mortales al momento de pruebas con aeronaves verdaderas.
6. Más realismo en los botones, que la realidad virtual sea más inmersivo considerando el escenario y la aeronave presentada.

Usuario 02

Carlos Enrique Martínez Pérez, edad 23 años, Estatura: 169 cm

1. Se presenta un poco de mareo, respecto a los ojos no se siente malestar.
2. Fue una experiencia bastante intuitiva, siguiendo los pasos no se presentan dificultad, en cuanto la experiencia virtual y física, se empareja bien estas dos realidades
3. Pues de realidad mixta no, solo realidad virtual, puede existir diferentes aspectos prácticos en la vida cotidiana ya que es una tecnología que se puede usar en lo cotidiano como personas en conducción, en entretenimiento se puede ayudar bastante, en el desarrollo de la parte medica para reducir riesgos, evitando riesgos que puedan ser perjudiciales para diferentes procedimientos
4. Pues fue agradable e interesante tuve bastante curiosidad por ver los resultados y sentir la experiencia en general se puede definir como una experiencia agradable.
5. Si lo utilizaría, sería necesario debido a que el objetivo, para que la persona tenga la experiencia lo más real posible si esto involucra más botones y un ambiente más dinámico y variado efectivamente sería necesario seguir desarrollando proyectos como este.
6. Si la realidad mixta es una herramienta practica para diferentes procesos de aprendizaje aplicables a diferentes áreas en donde se necesiten profesionales que necesiten operan con ciertas herramientas en la vida real, la estructura es adecuada para la realización de la tarea adecuada, en cuanto a los materiales, pensaría que son ideales en cuanto el mantenimiento de bajos recursos no obstante sería bueno crear una estructura un poco más solida para que el momento de interactuar se evite movimientos, evitar sensación de se esta corriendo la estructura o el lugar. Eso en cuanto a la experiencia vivida.

En la parte de la psicología se ve bastante prometedor el tema de la realidad virtual para abordar problemáticas en la clínica un ejemplo clásico es el tratamiento de algunas fobias, tratamiento de algunas situaciones que producen reacciones emocionales, dificultades en la vida cotidiana, ansiedad al público son muy amplias las posibilidades con mucho planteamiento de propuestas e hipótesis, con la disponibilidad de los recursos, tanto humanos como materiales para poder llevarlas a cabo



Fig. 53. Proceso de categorización de las pruebas de usabilidad

Después de un respectivo rastreo de las diferentes categorías realizadas con anterioridad se procede a realizar códigos nombrados como las categorías para gestionar un análisis específico en los aspectos cualitativos y contextuales que se buscaba con la generación de las diferentes categorías dentro de las entrevistas, la creación de la tabla de códigos se puede ver en la Fig. 54.

	Nombre	Enraizamien...	
●	◇ RealidadMi...		7
○	◇ Malestar		4
○	◇ Experiencia		4
○	◇ Dificultad		2
○	◇ Conocer		2

Fig. 54. Tabla de códigos de categorías en Atlas ti

Dado el resultado de la codificación de las categorías se obtuvo una deducción a priori al análisis completo de la codificación, el eje central se detectó en la realidad mixta, luego de ello se da entender que la categoría malestar es causa del uso de ello, que la experiencia es una propiedad fundamental de la experimentación de esa realidad y la dificultad es una parte en donde se fundamenta el tema objetual del proyecto, el análisis anterior se muestra en un gráfico como se puede ver en la Fig. 55. Cada categoría tiene su correspondiente relación<sup>15</sup> con respecto al análisis creado.

<sup>15</sup> Relaciones de la red de categorías: Esta asociada con (==), es parte de ([]), es causa de (=>), es una propiedad de ({\*})

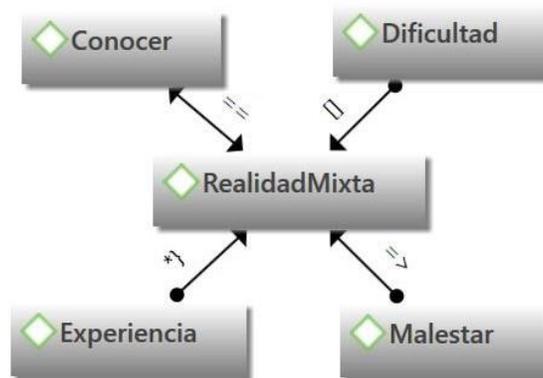


Fig. 55. Diagrama categórico

### 3.4.1. Análisis de las categorías

En el análisis de datos se recolecto los diferentes problemas encontrados en la implementación de las pruebas de usabilidad realizados de manera cualitativa con las diferentes categorizaciones obtenidas a partir de la metodología realizada para las pruebas, desarrollada específicamente para el análisis, estos problemas se enunciarán a continuación categóricamente y por grado de severidad, enfocándose es su respectivo examen y realizando una deducción de las causas de su problemática y sus hipotéticas soluciones.

**Categoría malestar:** Una de las categorías con más problemáticas presentada en la utilización del simulador fue por diferentes malestares con respecto a la utilización de las gafas de implementación RV, los diferentes usuarios, presentaron exceso de sudoración, fatiga en los ojos con respecto a usuarios que necesitaban un uso constante en gafas además de presentar leves mareos después de la utilización del dispositivo. Las causas hipotéticas del problema vienen con

el poco uso de aplicativos VR por parte de los usuarios, estas sintomatologías desaparecen con un acondicionamiento a la tecnología y un constante uso.

***Categoría experiencia:*** Dentro de este apartado se puede ver una problemática cercana a la categoría anterior, se deduce una experiencia de usuario asertiva, pero con un patrón de búsqueda de usabilidad más allá de la que proporciona el proyecto, llevando a los usuarios a ver problemáticas con un enfoque más amplio de la simulación propia de vuelo y buscando un experiencia mucho más realista y larga al momento de estar sobrevolando diferentes zonas del escenario creado, la problemática que más se resalta es la experiencia buscada por los propios voluntarios, al ser un protocolo de vuelo se limitó a la realización de una secuencia ajustada a unos pasos establecidos, la búsqueda fundamental de las pruebas era establecer un valor deductivo a la elaboración del simulador a partir de la realidad mixta.

***Categoría Dificultad:*** La dificultad se midió al momento de realizar la correspondiente sincronización de la realidad virtual y física, siendo conscientes de como respondía la realidad mixta antes las diferentes tareas dadas para el usuario. Se denota una problemática de calibración debido a las diferentes medidas de los usuarios (estatura, torso y brazos), debido a lo anterior se recalibró la realidad mixta en cada uno de los usuarios de forma analógica, lo anterior se presentó como una problemática inicial, pero al momento de tener una correcta sincronización entre el mundo real y el virtual no se presentaron inconvenientes al momento de realizar las diferentes tareas planteadas.

**Categoría conocer:** Esta categoría se enfocó en una búsqueda en el conocimiento previo y posterior de los usuarios al momento de la utilización del simulador, dentro del análisis de la categoría se deduce poco conocimiento de la realidad mixta en los voluntarios como principio del proyecto; otro aspecto de observación fue el previo entendimiento de los materiales utilizados en la creación de la cabina física para lograr concluir el asertivo manejo de los componentes utilizados con un enfoque económico.

### **3.4.2. Análisis de las bitácoras**

El respectivo análisis se llevó a cabo a partir de la retroalimentación de las bitácoras en las cuales se tomó nota del paso a paso de la intervención de cada usuario, la visualización de las respectivas bitácoras se podrá hacer en él, Anexo 4. bitacoras de las pruebas de usabilidad.

El análisis planteado de la observación y anotación de diferentes circunstancias que sucedían al momento de las pruebas de usabilidad con el protocolo de despegue da puntos de vista enfatizados en la percepción de la correcta manipulación de la realidad mixta, en este contexto se logra encontrar en las bitácoras un complemento para el análisis de las categorías, lo cual refuerza la propia investigación realizada con las preguntas anteriormente expuestas. [34]

Se dedujo fundamentos que dan fuerza y consistencia al análisis ya realizado, dentro de lo expuesto en las bitácoras se coincide con índices de malestares como la sudoración en algunos usuarios y una respectiva queja después de la utilización de la realidad virtual, como anexo se intentó plasmar la experiencia y el índice de dificultad previsto al momento de realizar las tareas asignadas, en la bitácora se logra evidenciar un margen de error en la sincronización de la

realidad virtual y física por diversos elementos como la estatura o medidas específicas de torso y extremidades de cada voluntario, además se denota una dificultad al momento de la realización de la primera tarea impuesta en las pruebas, esto se debe a varios factores, desde perspectivas mal logradas y poco sincronizadas en las dos realidades como limitaciones técnicas con el periférico utilizado, el Oculus Quest el cual no permitía representar la mano en un espacio lejanos o con pequeñas interferencias de objetos.

### ***3.4.3. Análisis conclusivo***

Para finalizar se realizó un análisis teniendo en cuenta los resultados categóricos como la investigación con las bitácoras, a partir de estos dos se dan a entender puntos en común con temas que se pueden generalizar como el malestar con la realidad virtual y la problemática de sincronización con respecto a cierto esquema de métrica en el espacio físico como virtual.

Dentro del análisis conjunto se logra observar una buena implementación de la realidad mixta enfocada en ese punto específico del encendido de vuelo, las técnicas usadas como los elementos relacionados para la creación de la cabina dieron buenos resultados al momento de dar una experiencia inmersiva y de gran impacto para el usuario en general. La realidad mixta se tomó de una manera innovadora al momento de la realización de pruebas de usuarios, teniendo en cuenta los cambios dentro del planteamiento etnográfico; La mayoría de los usuarios vieron futuras utilidades de la investigación y aportaron con ideas claras y contextuales para experimentación de este tema en otra área específicas dentro del rubro de cada uno.

Las pruebas dieron a entender la versatilidad de los materiales como algo bueno, con un buen fundamento de utilización dentro de la realidad mixta, no obstante, dentro del planteamiento analítico y la respectiva observación se llega a una idea hipotética conjunta de mejoras de los materiales, para una mejor funcionalidad al momento la utilización de la realidad, brindando mucho más soporte y rigidez a todo el apartado físico.

Para finalizar con el análisis planteado se puede concluir con una deducción en función de la utilización de este tipo de proyectos como herramientas prácticas y de investigación académica, las pruebas de usuario proporcionaron un acercamiento a diferentes problemas dentro de la utilización de la realidad mixta, contextualizando datos importantes al momento de la implementación y sincronización del mundo virtual y físico, de igual manera ofrece un acercamiento a la implementación de este tipo de realidades en espacios etnográficos abiertos y amplios sin graves problemas de utilización en usuarios. Además, se evidencio que económicamente este tipo de proyectos enfocados en realidad mixta son viables para presupuestos más ajustados, pero a la par trae a colación una serie de observaciones que se presentan a la hora de desarrollar el simulador y que son ajenos a la parte económica, con una leve afectación al apartado de la capacitación del usuario. De esta manera se observa que con la correcta implementación de materiales se puede lograr la creación de diferentes funcionalidades de manera accesible para diferentes usos como investigativos, empresariales o universitarios.

## RECOMENDACIONES

- Considerando el ámbito y la metodología de investigación realizado para el análisis de datos del proyecto se logra proponer una búsqueda mucho más amplia y específica del valor de la obtención de datos del funcionamiento, la usabilidad y la eficacia de la realidad mixta en casos específicos como la construcción estructurada de simuladores con diferentes principios funcionales.
- El desarrollo del trabajo propuesto del proyecto de grado se presta para una gran incursión de investigación enfocada en el análisis y maquetación de la realidad mixta como principio para solventar diferentes problemáticas previstas en labores específicas, el contexto conclusivo de los diferentes pruebas realizadas con usuarios da entender que la herramienta creada para implementar el protocolo de vuelo se fundamenta como un principio para el desarrollo constante del proyecto o de otros con enfoques más esquemáticos y en diferentes áreas de investigación.
- Dentro del análisis de las pruebas de usabilidad se denota que el apartado físico construido económicamente, cumplió con las metas y objetivos por las cuales fue diseñado, esto se justifica a partir de la retroalimentación brindada por los usuarios, destacando la utilización de los materiales, por consiguiente se puede plantear la utilización de materiales accesibles en la realidad mixta con diferentes enfoques investigativos, ya que cumplen con su función estructural y de soporte con eficacia, por ende la implementación y la investigación de estos materiales no tan sofisticados pueden generar un gran resultado en cuanto al desarrollo de la realidad mixta en función de proyectos investigativos en diferentes áreas.

## CONCLUSIONES

Se construyó un prototipo de un simulador de un avión caracterizado por brindar una experiencia virtual basada en el proceso de encendido de una aeronave previo al vuelo, por medio de técnicas y elementos relacionados con la temática de la realidad mixta. Donde lo más relevante de este desarrollo fue producir este proyecto con materiales de fácil acceso y bajo costo a la par de brindar una experiencia funcional, dando parámetros conclusivos al momento de integrar materiales como cartón corrugado y tubería PVC demostrando su resistencia y flexibilidad a nivel estructural. Desde el punto de vista de los elementos con mayor dificultad que se presentaron en el proyecto, uno muy puntual y relevante fue la sincronización entre los elementos físicos y virtuales debido a diversos factores como lo es la propia fisionomía de los usuarios que están interactuando con el simulador y la misma distribución en el espacio de los elementos físicos.

- Se concluye con la creación de un prototipo de simulador realizado con realidad mixta funcional y viable para la utilización de diferentes usuarios con una gran amplitud etnográfica, no obstante, se tiene un gran margen de error al momento de la sincronización por diferentes datos específicos dentro de las métricas de cada usuario, como estatura y medidas de sus extremidades.
- Con respecto a la implementación de los materiales de fabricación empleados en el apartado físico se logra concluir, que a pesar de ser materiales de fácil acceso y bajo costo cuentan con un gran potencial de manipulación, donde cumplían con los requerimientos de resistencia y flexibilidad que se necesitaba para las diferentes superficies y estructuras del proyecto, además de que con ello se logró diseñar un panel general representativo a la

cabina con una gran funcionalidad al momento del cumplimiento de las tareas pertinentemente especificadas dentro del protocolo de vuelo.

- A partir del análisis metodológico práctico para las diferentes pruebas de usabilidad se obtiene unas observaciones conclusivas en el apartado de la sincronización del mundo virtual y el físico, dando puntos claves para desarrollos futuros enfocados en solventar problemáticas enfocadas en la constante usabilidad de usuarios en ese aspecto fundamental de la realidad mixta.
- De la metodología de análisis de datos cualitativos se logra evidenciar que es una gran alternativa en estudios con pruebas a pocos usuarios, ya que al plantear diferentes categorías y codificarlas para posteriormente identificarlas en los discursos y respuestas de los usuarios pueden dar buenos resultados analíticos entorno al estudio de la viabilidad de la realidad mixta en simuladores de vuelo. Paralelamente es relevante la correcta codificación de estos datos extraídos e identificados en las respuestas de los usuarios para poder realizar un correcto proceso analítico a posteriori, transformando estos datos en información útil con finalidad de estudio.
- Con base en la experiencia adquirida en el desarrollo de este trabajo se evidenció el gran potencial que puede llegar a tener la realidad mixta aplicada en diversos sectores u oficios, donde la capacitación previa es una parte fundamental en la formación del personal generando ambientes de aprendizaje, desarrollando y mejorando el crecimiento de habilidades, brindando experiencia en procesos y entornos en un ambiente seguro y flexible al error humano.

## REFERENCIAS

- [1] E. J. A. R. J. A. T. M. Luis Carlos Villamil Rico, «Simuladores de vuelo: una revisión,» 12 2018. [En línea]. Available: <https://publicacionesfac.com/index.php/cienciaypoderaereo/article/view/606/844>.
- [2] R.N.Haber,«Simulación del vuelo,» 9 1986. [En línea]. Available: <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/simulacin-de-vuelo-184/simulacin-del-vuelo-632>.
- [3] O. B. Masafierro, «Empleo de simuladores en el entrenamiento de las fuerzas,» 06 2 2015. [En línea]. Available: [https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ\\_Spanish/Journals/Volume-27\\_Issue-2/2015\\_2\\_06\\_bahamondes\\_s.pdf](https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ_Spanish/Journals/Volume-27_Issue-2/2015_2_06_bahamondes_s.pdf).
- [4] W. Derks, «La evolución de las tecnologías de entrenamiento aéreo,» 1964. [En línea]. Available: <https://www.aeroservicio.com/elite-simulation-solutions/>.
- [5] L. A. E. T. J. Villamil, «Simuladores de vuelo: una revisión. Ciencia y poder Aéreo,» 2018. [En línea]. Available: [10.18667/cienciaypoderaereo.606](https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.606).
- [6] A. Laminar Research, «X PLANE 11 fligh simulator Manual,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.x-plane.com/support/manuals/>.
- [7] X. G. Studios, «Microsoft flight Simulator,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.microsoft.com/es-es/p/microsoft-flight-simulator-standard/9nzn8gf8n9ht?activetab=pivot:overviewtab>.
- [8] R. informatica, «Realidad virtual,» [En línea]. Available: <https://www.fib.upc.edu/retro-informatica/links.html>.
- [9] «Definición de qué es la Realidad Virtual,» 04 04 2021. [En línea]. Available: <https://revistaderobots.com/rv/definicion-de-que-es-la-realidad-virtual/>.
- [10] Editeca, «Realidad mixta – ¿Qué es y qué oportunidades nos ofrecerá esta tecnología?,» [En línea]. Available: <https://editeca.com/realidad-mixta/>.
- [11] E. J. A. R. J. A. T. M. Luis Carlos Villamil Rico, Simuladores de vuelo: una revisión, Cali, 2018.

- [12] Autodesk, «Maya: Software de renderización, simulación, modelado y animación por computadora 3D,» [En línea]. Available: <https://latinoamerica.autodesk.com/products/maya/overview?term=1-YEAR>.
- [13] Autodesk, «3DS MAX: Software de modelado y renderización 3D para la visualización del diseño, juegos y animación,» [En línea]. Available: [https://latinoamerica.autodesk.com/products/3ds-max/overview?panel=buy&AID=13955714&PID=8299320&SID=jkp\\_Cj0KCQjwkZiFBhD9ARIsAGxFX8ClptgDIAUo\\_nD\\_KHSNXYre-A5WdRCIMS4PhlDrfsauVtpWxmbUoj4aAvn2EALw\\_wcB&cjevent=c56f5827b99d11eb822cf30a0a82b836&mktvar002=afc\\_lat](https://latinoamerica.autodesk.com/products/3ds-max/overview?panel=buy&AID=13955714&PID=8299320&SID=jkp_Cj0KCQjwkZiFBhD9ARIsAGxFX8ClptgDIAUo_nD_KHSNXYre-A5WdRCIMS4PhlDrfsauVtpWxmbUoj4aAvn2EALw_wcB&cjevent=c56f5827b99d11eb822cf30a0a82b836&mktvar002=afc_lat).
- [14] Unity, «Unity pro,» [En línea]. Available: [https://unity.com/pages/unity-pro-buy-now?gclid=Cj0KCQjwkZiFBhD9ARIsAGxFX8BaiCWDVIY2QqKQkYJek7diC4XZLlnZT-\\_IHuElpmE2i3MrRbaFGWEaAvCcEALw\\_wcB..](https://unity.com/pages/unity-pro-buy-now?gclid=Cj0KCQjwkZiFBhD9ARIsAGxFX8BaiCWDVIY2QqKQkYJek7diC4XZLlnZT-_IHuElpmE2i3MrRbaFGWEaAvCcEALw_wcB..)
- [15] Oculus, «Oculus link,» [En línea]. Available: <https://www.oculus.com/accessories/oculus-link/>.
- [16] Arduino, «Descripción general del Arduino UNO,» [En línea]. Available: <https://arduino.cl/arduino-uno/>.
- [17] J. G. C. Altuzarra, «El enfoque sociocrítico: ¿una perspectiva de investigación en vía de,» *Chemical Education in Point of View*, p. 19, 2017.
- [18] Festo, «Realidad mixta,» 2021. [En línea]. Available: [https://www.festo.com/es/es/e/educacion/aprendizaje-digital/realidad-mixta-id\\_31287/](https://www.festo.com/es/es/e/educacion/aprendizaje-digital/realidad-mixta-id_31287/).
- [19] L. N. d. C. d. S. de, «Modelo de desarrollo incremental,» de *Ingeniería de Software*, Ministerio de industria, turismo y comercio de España, 2009, pp. 24-35.
- [20] AIRCRAFT CHARACTERISTICS AIRPORT AND MAINTENANCE PLANNING, FRANCE: AIRBUS S.A.S., 2005.
- [21] P. S. Software, VUELO DE ENTRENAMIENTO CON EL AIRBUS A320 PROFESIONAL, Wolfgang Schwarz, Dermont Stapleton, 2004.

- [22] U. Assets, «Terrain Tools Sample Asset Pack,» 2019. [En línea]. Available: <https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/nature/terrain-tools-sample-asset-pack-145808>.
- [23] U. A. Store, «Conifers [BOTD],» 03 2019. [En línea]. Available: <https://assetstore.unity.com/packages/3d/vegetation/trees/conifers-botd-142076#releases>.
- [24] Electroni, «Control Unity Program with Arduino,» YouTube, 29 10 2017. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=iWPU9NSC-34>.
- [25] M. A. & y Tech, «How to Make Arduino DIY Game Controller and Create Game with Unity,» Youtube, 04 02 2017. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=N9RhSa8oMD8>.
- [26] O. Developers, «Oculus Integration SDK Archive,» 29 04 2021. [En línea]. Available: <https://developer.oculus.com/downloads/package/unity-integration-archive/>.
- [27] K. M. S. Jui Lin Chen, «A Theoretical Model of Wayfinding in Virtual Environments: Proposed Strategies for Navigational Aiding,» 01 12 1999. [En línea]. Available: <https://direct.mit.edu/pvar/article/8/6/671/18266/A-Theoretical-Model-of-Wayfinding-in-Virtual>.
- [28] M. G. Sánchez, «Test de usabilidad en entornos de Realidad Virtual,» 22 01 2018. [En línea]. Available: [http://www.nosolousabilidad.com/articulos/test\\_usabilidad\\_realidad\\_virtual.htm](http://www.nosolousabilidad.com/articulos/test_usabilidad_realidad_virtual.htm).
- [29] R. H. Sampieri, «Casos tipo,» de *Metodología de la investigación*, Mc Graw Hill Education, 2014, p. 387.
- [30] R. Budiu, «Quantitative vs. Qualitative Usability Testing,» World Leaders in Research-Based User Experience, 01 10 2017. [En línea]. Available: <https://www.nngroup.com/articles/quant-vs-qual/>.
- [31] Widux, «Test de usabilidad en entornos de Realidad Virtual,» 26 02 2018. [En línea]. Available: <https://widux.es/test-de-usabilidad-en-entornos-de-realidad-virtual/>.
- [32] P. Atkinson, *Encontrar el sentido a los datos cualitativos*, Alicante: Publicaciones Universidad de Alicante, 2005.
- [33] H. S. y. Andrade, «Análisis de los datos cualitativos asistido por computadora,» de *Metodología de la investigación*, Publicado en la revista Humanitas de la Universidad Católica de Costa Rica, 2012, pp. 451-453.

[34] R. H. Sampieri, «La bitácora o diario de campo,» de *Metodología de la investigación*, México, McGraw Hill Education, 2014, pp. 373 - 376.