

Instituto Politécnico Nacional
Centro de Estudios Científicos
y Tecnológicos No. 2
“Miguel Bernard”



Opción: Proyecto de investigación

“Cabina de simulación de vuelo ‘AC-JHES’ ”

Para obtener el título de:
Técnico en Aeronáutica

Presenta:

Jimenez Horta Ariadna

2022020801

Directores del proyecto.

Director: Ing. Cecilia Sánchez Alvarado
Codirector: Ing. Angela Palacios Pacheco

Asesor: M en C. Luis Alberto Loa Ramirez

Ciudad de México, 2025

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

Índice

Capítulo 1: Introducción	5
1.1 Antecedentes	6
1.2 Planteamiento del problema	7
1.3 Justificación	8
1.4 Hipótesis	9
1.5 Objetivo General	10
1.6 Objetivos Específicos	11
Capítulo 2: Marco Teórico	12
Capítulo 3: Metodología	48
Capítulo 4: Resultados y conclusiones	53
Capítulo 5: Consideraciones a Futuro	4

Capítulo I: Introducción

En la actualidad, los simuladores de vuelo se han consolidado como recursos fundamentales dentro de la industria aeronáutica, los cuales se utilizan para el entrenamiento de pilotos. Gracias a su capacidad de reproducir con fidelidad las condiciones reales de operación, estas herramientas permiten ensayar maniobras rutinarias, protocolos de emergencia y procedimientos instrumentales en un entorno controlado, seguro y libre de riesgos. Asimismo, contribuyen a optimizar recursos, ya que reducen la dependencia de aeronaves reales, el consumo de combustible y los gastos asociados a la operatividad y el mantenimiento de flotas.

En este proyecto, el enfoque se dirige específicamente a los estudiantes de la carrera de Técnico en Aeronáutica. A través de una cabina equipada con software de simulación, los futuros técnicos adquirirán competencias tanto en el manejo de la instrumentación de vuelo como en la aplicación de protocolos operativos, desarrollando una comprensión sólida de los sistemas aeronáuticos. Al mismo tiempo, llevarán a cabo prácticas de mantenimiento sobre la propia cabina: desde la renovación de acabados y la sustitución de componentes eléctricos y electrónicos. De este modo, se crea un entorno de aprendizaje integral que abarca tanto la teoría como la práctica.

A lo largo de esta tesis se profundizará en el diseño, implementación y evaluación de la cabina de simulación. Se examinarán los fundamentos teóricos de la simulación, los criterios de selección de hardware y software. Finalmente, se explorarán las perspectivas a futuro para la mejora del simulador.

1.1 ANTECEDENTES

En el Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 2 "Miguel Bernard" los simuladores de vuelo han sido parte de la infraestructura educativa desde hace tiempo. En un proyecto anterior estos simuladores fueron rehabilitados para mejorar su funcionalidad y ofrecer una experiencia de entrenamiento más realista a los estudiantes. Aunque actualmente no están en uso tienen el potencial de ser una herramienta fundamental en la formación de futuros técnicos.

Tradicionalmente utilizados en la instrucción de pilotos, los simuladores también representan una valiosa plataforma de aprendizaje para estudiantes del área técnica. A través de ellos, es posible observar el funcionamiento de los sistemas de vuelo,

practicar la interacción con la instrumentación aeronáutica y aplicar protocolos operativos en un entorno controlado y seguro. Esta aproximación permite fortalecer la comprensión de conceptos fundamentales sin depender de aeronaves reales ni exponerse a riesgos.

Con ello se dará continuidad al proyecto de rehabilitación de los simuladores mediante la construcción de una cabina de vuelo. Esto mejorará la experiencia de aprendizaje de los estudiantes y proporcionará un entorno más inmersivo y realista para el entrenamiento. La cabina permitirá a los estudiantes interactuar con instrumentos y sistemas de vuelo auténticos facilitando su transición a vuelos reales.

La construcción de esta cabina es un paso importante hacia la modernización de la infraestructura educativa del CECyT 2. Al combinar los simuladores rehabilitados con una cabina de vuelo, ofreciendo un espacio integral para el uso de estos, donde pueden desarrollar sus habilidades como técnicos.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A pesar de que el CECyT 2 cuenta con simuladores de vuelo rehabilitados pero estos no están siendo utilizados actualmente en la formación de los alumnos . Esto representa un desperdicio de recursos y una oportunidad perdida para mejorar la calidad de la educación aeronáutica en la escuela. La falta de uso de estos simuladores limita la capacidad de los estudiantes para practicar al no tener una idea más clara de cómo sería pilotear una aeronave y del uso práctico de cada uno de los instrumentos de una cabina

Una de las principales limitaciones de este proyecto es que, a pesar de contar con dos paneles de simulación de vuelo en la institución, únicamente se hará uso de uno de ellos. Esta decisión responde a la necesidad de mantener los costos operativos dentro de un presupuesto reducido, optimizando los recursos ya disponibles sin comprometer la funcionalidad básica del sistema. Al enfocarse en un solo simulador, se prioriza la operatividad y la integración eficiente con la nueva cabina, evitando sobrecargar el proyecto con tareas o componentes que excedan los objetivos y recursos disponibles.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Se hará la implementación efectiva de los simuladores de vuelo y la construcción de una cabina de vuelo no solo mejorarán la calidad de la educación aeronáutica, sino que

también contribuirán a la modernización de la infraestructura educativa del CECyT 2. Esto permitirá a la institución ofrecer programas más atractivos y competitivos, atraer a más estudiantes interesados en la carrera de aeronáutica.

Más allá de simular condiciones de vuelo, la cabina permitirá a los alumnos interactuar directamente con los sistemas de la cabina, lo cual resulta muy útil ya que se emplean más materias aeronáuticas en la cabina. La posibilidad de realizar prácticas reales de mantenimiento fomentará el aprendizaje activo y contextualizado, facilitando una comprensión más profunda de los contenidos teóricos.

La construcción e implementación de una cabina de simulación en el CECyT 2 impactará positivamente en la calidad de la formación técnica de los estudiantes de aeronáutica. Esta cabina brindará un entorno educativo práctico donde los alumnos podrán desarrollar competencias en el manejo de sistemas aeronáuticos, interpretación de instrumentación, y ejecución de protocolos operativos en un entorno seguro y controlado.

Además de facilitar la interacción con sistemas de simulación, la cabina servirá como plataforma para realizar prácticas reales de mantenimiento, tales como ajustes eléctricos y electrónicos, mejoras estructurales, renovación de acabados y otros procedimientos técnicos. Esto permitirá a los estudiantes aplicar conocimientos adquiridos en distintas asignaturas de manera integrada, fortaleciendo su experiencia formativa de forma multidisciplinaria.

Desde el punto de vista tecnológico, el proyecto promueve el desarrollo de habilidades en el uso de herramientas de simulación, familiarización con sistemas aeronáuticos y ejecución de tareas técnicas que se asemejan a situaciones reales del entorno profesional.

Finalmente, este proyecto representa un avance institucional significativo al dotar al CECyT 2 de una herramienta moderna y funcional que contribuye a una formación técnica más completa, actualizada y competitiva. También refuerza su capacidad de innovación educativa y mejora su posicionamiento como institución comprometida con el desarrollo de talento técnico especializado.

1.4 HIPÓTESIS

La implementación de una cabina de simulación construida con materiales reciclados y equipada con tecnología de simulación permitirá mejorar significativamente la formación de los estudiantes de Técnico en Aeronáutica, al proporcionar una plataforma práctica e interdisciplinaria. Al mismo tiempo, se fomentará un enfoque sostenible mediante la reutilización de materiales, reduciendo costos sin comprometer la calidad educativa.

1.5 LIMITACIONES

Asimismo, el diseño y la construcción de la cabina deberán mantenerse simples y funcionales, considerando el tiempo disponible para su desarrollo. Dado que se trata de un proyecto académico con plazos definidos, se descarta la inclusión de sistemas avanzados o componentes no esenciales que puedan ralentizar el proceso o requerir recursos técnicos y económicos fuera del alcance actual. La simplicidad estructural no comprometerá la calidad educativa del proyecto, sino que permitirá cumplir con los objetivos pedagógicos de forma realista y eficiente.

1.6 OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este proyecto es diseñar y construir una cabina de vuelo completa que complemente los simuladores de vuelo existentes, como el Elite Pro Panel II con Elite AP3000 Avionics Panel, que han sido restaurados para su uso de práctica de vuelo que a su vez al integrar esta cabina se busca mejorar significativamente la experiencia de los estudiantes asegurando que desarrollemn habilidades esenciales para su formación profesional futura para que tengan un mejor panorama tanto del uso de los instrumentos de vuelo de manera práctica y la experiencia de poder pilotear una aeronave

1.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar la cabina de simulación de vuelo

- Elaborar los planos y especificaciones técnicas para la construcción de una cabina de vuelo compatible con el simulador Elite Pro Panel II y el Elite AP3000 Avionics Panel, considerando criterios de funcionalidad, ergonomía y seguridad.

2. Construir la cabina de vuelo utilizando materiales reciclados

- Seleccionar y reutilizar materiales disponibles para la fabricación de la

estructura y los acabados de la cabina, promoviendo la sostenibilidad y reducción de costos sin afectar la calidad educativa.

3. Integrar el simulador de vuelo existente con la nueva cabina

- Realizar la instalación y configuración del hardware y software del simulador dentro de la cabina, asegurando la operatividad y la interacción realista con los instrumentos de vuelo.

4. Desarrollar prácticas de mantenimiento aplicadas en la cabina

- Implementar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo en la cabina (renovación de acabados, sustitución de componentes eléctricos y electrónicos, ajustes estructurales), permitiendo que los estudiantes apliquen conocimientos técnicos en un entorno realista.

5. Optimizar el proceso de aprendizaje de los estudiantes de Técnico en Aeronáutica

- Diseñar y ejecutar sesiones de entrenamiento que incluyan el manejo de la instrumentación, la aplicación de protocolos operativos y la simulación de situaciones rutinarias y de emergencia, fomentando el aprendizaje activo y contextualizado.

6. Evaluar el impacto de la cabina de simulación en la formación técnica

- Medir y analizar la mejora en las competencias prácticas y teóricas de los estudiantes tras la implementación de la cabina, mediante instrumentos de evaluación antes y después del uso del simulador.

7. Proponer recomendaciones para futuras mejoras del simulador y la infraestructura educativa

- Documentar el proceso de diseño, construcción e implementación, identificando oportunidades de mejora y sugerencias para la modernización continua de los recursos didácticos en el CECyT 2.

Capítulo II : MARCO TEÓRICO

2.1 DEFINICIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE UN SIMULADOR DE VUELO

El simulador de vuelo está diseñado para replicar de manera realista la experiencia de pilotar una aeronave. Estos dispositivos combinan hardware y software avanzados para crear un entorno inmersivo que permite a los usuarios practicar y perfeccionar habilidades de vuelo sin los riesgos asociados al vuelo real. Los simuladores de vuelo se utilizan ampliamente en la aviación para la formación de pilotos, en la educación para enseñar principios de aerodinámica y navegación, en la medicina para entrenar a profesionales en situaciones de emergencia aérea, y en la ingeniería para el diseño y prueba de nuevas aeronaves.

2.2 SIMULADOR DE AVIACIÓN

Un simulador de vuelo en la aviación es un sistema diseñado para reproducir la experiencia de volar una aeronave en un entorno virtual. Puede incluir cabinas físicas, controles realistas y software avanzado para simular diferentes condiciones meteorológicas, emergencias y escenarios de vuelo.

2.2.1 Historia y Evolución de los Simuladores en la Aviación

La historia de los simuladores de vuelo se remonta a principios del siglo XX. En 1929, Edwin Link desarrolló el "Link Trainer", también conocido como "Blue Box", que utilizaba sistemas neumáticos y mecánicos para simular el vuelo. Este dispositivo se convirtió en una herramienta esencial para entrenar a los pilotos durante la Segunda Guerra Mundial. Con el tiempo, la tecnología de simulación de vuelo ha evolucionado drásticamente, incorporando sistemas electrónicos y visuales más avanzados en la década de 1950 y computadoras digitales en los años 60 y 70, lo que permitió una simulación más precisa y realista.

2.2.2 Importancia de la Simulación para la Seguridad Aérea

La simulación de vuelo es crucial para la seguridad aérea, ya que permite a los pilotos practicar procedimientos, manejar situaciones de emergencia y familiarizarse con diferentes aeronaves en un entorno seguro y controlado. Esto reduce significativamente los riesgos asociados al entrenamiento en aeronaves reales y mejora la preparación de los pilotos para enfrentar situaciones críticas.

2.2.3 La Necesidad de los Simuladores

La ausencia de simuladores de vuelo en la formación de pilotos implica enfrentar una serie de desafíos significativos que afectan tanto la seguridad operacional como los costos asociados al entrenamiento. A continuación, se detallan los riesgos y las implicaciones de prescindir de estas herramientas en la capacitación aeronáutica.

Riesgos del Entrenamiento sin Simulación:

1. **Incremento de Riesgos Operacionales:** La formación sin simuladores limita la exposición de los pilotos a situaciones de emergencia y condiciones adversas, esenciales para desarrollar habilidades críticas. La falta de práctica en estos escenarios puede resultar en una menor capacidad para manejar imprevistos durante vuelos reales, aumentando el riesgo de errores humanos y accidentes.
2. **Desarrollo Incompleto de la Conciencia Situacional:** La conciencia situacional es fundamental para la toma de decisiones efectiva en vuelo. La ausencia de simuladores puede dificultar el entrenamiento en este aspecto, ya que los pilotos no tendrían la oportunidad de practicar la evaluación y respuesta a diversas situaciones dinámicas que podrían enfrentar en el aire.
3. **Limitaciones en la Práctica de Procedimientos de Emergencia:** Los simuladores permiten a los pilotos practicar procedimientos de emergencia de manera repetitiva y segura. Sin esta herramienta, la formación en situaciones críticas se vería reducida, afectando la preparación de los pilotos para manejar emergencias reales con eficacia.

Relacion de entrenamiento tradicional y respecto a los simuladores

Aspecto	Entrenamiento tradicional	Entrenamiento con simuladores
conciencia situacional	desarrollo práctico limitado	entrenamiento intensivo y diverso
costo	alto. Combustible, mantenimiento	bajo. Sin desgaste físico de aeronaves
repetibilidad	limitada por costos y logística	alta. repetición limitada de escenarios
seguridad	limitada por costos y logística	entorno seguro sin riesgos físicos
variedad de escenarios	riesgos asociados a vuelos reales	amplia inclusión de condiciones extremas

2.3 TIPOS DE SIMULADORES DE VUELO

2.3.1 Simuladores de Procedimiento Básico (CPT – Cockpit Procedure Trainer)

Los CPT son dispositivos que permiten a los pilotos familiarizarse con los procedimientos de cabina y la disposición de los controles. Aunque no simulan el vuelo en sí, son fundamentales para el entrenamiento en procedimientos operativos y la coordinación de la tripulación.



Figura 1: CH-53GA CPT

2.3.2 Dispositivos de Entrenamiento de Vuelo (FTD – Flight Training Devices)

Los FTD son simuladores que replican las características de vuelo de una aeronave específica, incluyendo sistemas de navegación y comunicación. Se utilizan para entrenar a los pilotos en procedimientos de vuelo y manejo de sistemas sin necesidad de una cabina completa.

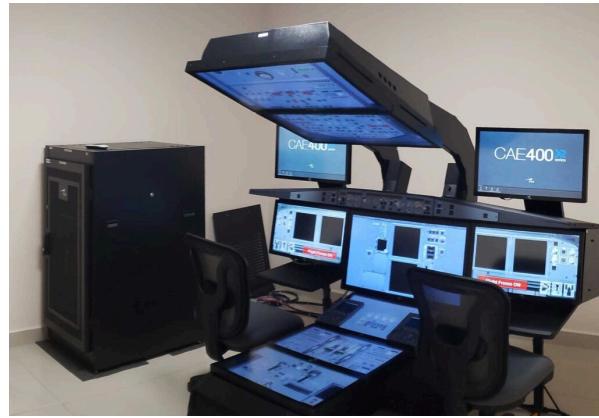


Figura : Flight training devices - Avenger Flight Group

2.3.3 Simuladores de Entrenamiento de Vuelo Completo (FFS – Full Flight Simulators)

Los FFS son simuladores de alta fidelidad que replican completamente la cabina de una aeronave, incluyendo sistemas de movimiento y visualización. Permiten entrenar a los pilotos en todas las fases del vuelo y en situaciones de emergencia, siendo esenciales para la certificación y el entrenamiento recurrente.



Figura: Airbus A320 / A330 Full Flight Simulator - Avenger Flight Group Español

2.3.4 Simuladores Basados en Software y Realidad Virtual

Estos simuladores utilizan software avanzado y tecnologías de realidad virtual para crear entornos de entrenamiento inmersivos. Son más accesibles y flexibles, permitiendo a los usuarios practicar en diferentes escenarios y condiciones sin necesidad de hardware especializado.

Microsoft Flight Simulator (2020)

Es un simulador de vuelo desarrollado por Asobo Studio y Microsoft, reconocido por su realismo gráfico y físico extremo. Utiliza datos satelitales y de inteligencia artificial para recrear el mundo con más de 1.500 millones de edificios, 37,000 aeropuertos y condiciones meteorológicas en tiempo real, incluyendo viento, lluvia y turbulencias. Permite volar desde pequeños aviones ligeros hasta grandes aviones comerciales, con cabinas y sistemas instrumentales muy detallados y funcionales. Soporta configuraciones avanzadas con múltiples monitores y controles físicos para una experiencia inmersiva.

Especificaciones técnicas y requisitos

Requisitos mínimos:

- Sistema operativo: Windows 10 versión 1909
- Procesador: Intel i5-4460 o AMD Ryzen 3 1200
- Tarjeta gráfica: NVIDIA GTX 770 o Radeon RX 570 con 2 GB VRAM
- Memoria RAM: 8 GB
- Almacenamiento: 150 GB disponibles
- DirectX 11

Requisitos recomendados:

- Procesador: Intel i5-8400 o AMD Ryzen 5 1500X
- Tarjeta gráfica: NVIDIA GTX 970 o Radeon RX 590 con 4 GB VRAM
- Memoria RAM: 16 GB

Requisitos ideales (para máxima calidad):

- Procesador: Intel i7-9800X o AMD Ryzen 7 Pro 2700X
- Tarjeta gráfica: NVIDIA RTX 2080 o Radeon VII con 8 GB VRAM
- Memoria RAM: 32 GB

- Conexión a internet estable de 20-50 Mbps para streaming de datos y actualizaciones en tiempo real.

Características destacadas

- **Mundo real recreado con precisión:**

El simulador incluye más de 1.500 millones de edificios generados con IA, 37,000 aeropuertos (35 aeropuertos hechos a mano en la edición estándar), y recrea todo el planeta con imágenes satelitales y aéreas, lo que permite explorar cualquier rincón del mundo con gran detalle.

- **Simulación meteorológica avanzada:**

Incluye condiciones meteorológicas en tiempo real, con efectos de viento, turbulencias y microclimas específicos según la zona geográfica, afectando la física de vuelo y la experiencia de pilotaje.

- **Variedad y detalle de aeronaves:**

La edición estándar incluye 37 aeronaves con modelos de vuelo únicos y detallados, desde avionetas ligeras hasta aviones comerciales de fuselaje ancho. Entre los modelos destacados están el Airbus A320 y el Boeing 747, con cabinas y sistemas instrumentales recreados con gran precisión.

- **Experiencia inmersiva:**

Soporta periféricos especializados como yokes, pedales y joystick para una experiencia más realista, además de ofrecer vuelos diurnos, nocturnos y condiciones variables que desafían al piloto virtual.

- **Actualizaciones y contenido adicional:**

Microsoft continúa lanzando actualizaciones para corregir errores y añadir contenido, incluyendo nuevos aviones y aeropuertos, ampliando la experiencia y el realismo del simulador.



figura”: (*Redirecting, s. f.*)

Prepar3D (P3D)

Desarrollado por Lockheed Martin, es un simulador de vuelo profesional utilizado para formación y entrenamiento de pilotos. Su motor de simulación ofrece alta fidelidad en física y aerodinámica, y es compatible con numerosos complementos para mejorar la experiencia, desde aviones hasta escenarios y condiciones meteorológicas avanzadas.

Especificaciones técnicas

Requisitos mínimos:

- Procesador: Quad Core a 3.0 GHz
- Memoria RAM: 8 GB
- Espacio en disco: 85 GB (con al menos 35 GB en la unidad C:\$)

Requisitos recomendados:

- Procesador: Octa Core a 3.7 GHz o superior
- Memoria RAM: 32 GB o más
- Tarjeta gráfica potente, compatible con DirectX 11/12, idealmente con al menos 4 GB de VRAM para manejar aviones y escenarios complejos.

Funcionamiento y características

- **Simulación avanzada:**

Prepar3D ofrece una simulación muy realista de aerodinámica, sistemas de aviónica y escenarios, con soporte para simulación meteorológica y tráfico aéreo. Está diseñado para ser una plataforma flexible que permite crear y ejecutar escenarios de entrenamiento en aviación, operaciones marítimas y terrestres.

- **Compatibilidad y extensibilidad:**

Su código abierto para desarrolladores permite integrar numerosos complementos y add-ons, desde aeronaves comerciales y militares hasta escenarios detallados y herramientas de formación. Destacan desarrolladores como PMDG, que ofrecen modelos muy detallados como el Boeing 737 NGX para P3D.

- **Uso profesional y educativo:**

Es utilizado por fuerzas aéreas, instituciones educativas y profesionales para entrenamiento en procedimientos, familiarización con cabinas y escenarios de

emergencia. También se usa en programas STEM para enseñar matemáticas y física mediante simulación práctica.

- **Soporte para tecnologías avanzadas:**

Prepar3D es compatible con dispositivos de realidad virtual de alta gama, como el visor XTAL 3, que ofrece resolución 4K por ojo, amplio campo de visión y seguimiento ocular, mejorando la inmersión en simulación.

Limitaciones y consideraciones

- Prepar3D puede demandar mucho de la tarjeta gráfica, especialmente con aviones muy detallados o add-ons complejos, lo que puede causar problemas de memoria VRAM insuficiente en GPUs menos potentes (por ejemplo, GTX 970 con 4 GB puede ser limitada para algunos modelos).
- Para optimizar el rendimiento, existen configuraciones específicas en archivos de configuración que permiten ajustar niveles de detalle en cabinas y escenarios para evitar errores gráficos o caídas de rendimiento



Figura": (*Prepar3D v5.1 Now Available! – Prepar3D, 2020*)

DCS World (Digital Combat Simulator)

Es un simulador de vuelo militar centrado en combate aéreo y operaciones militares. Ofrece simulación detallada de aeronaves de combate, armas y sistemas de guerra electrónica. Su motor de simulación es muy realista en términos de aerodinámica y sistemas de aviónica militar, y está orientado a usuarios que buscan simulación táctica y de combate.

Especificaciones técnicas

Requisitos mínimos (configuración gráfica baja):

- Sistema operativo: Windows 10 64-bit
- CPU: Intel Core i3 a 2.8 GHz o AMD FX
- RAM: 16 GB
- Tarjeta gráfica: NVIDIA/AMD con 6 GB VRAM
- Espacio en disco: 200 GB
- DirectX 11
- Requiere activación por internet

Requisitos recomendados (alta calidad gráfica):

- Sistema operativo: Windows 10/11 64-bit
- CPU: Intel Core i5 o superior a 3+ GHz, o AMD Ryzen equivalente
- RAM: 32 GB
- Tarjeta gráfica: NVIDIA/AMD con 8 GB VRAM o más
- Espacio en disco: 500 GB en SSD (más espacio para contenido adicional)
- Joystick recomendado
- Requiere activación por internet

Requisitos para realidad virtual (VR):

- CPU y RAM similares a los recomendados
- Tarjeta gráfica con 8 GB VRAM o más, idealmente 16 GB para algunos módulos
- Joystick y periféricos compatibles con VR
- SSD para almacenamiento rápido
- Requiere activación por internet.

Funcionamiento y características

● Simulación de combate y sistemas:

DCS World ofrece simulación meticulosa de aerodinámica, sistemas de aviónica, armamento y sensores para una amplia variedad de aeronaves militares, incluyendo cazas, bombarderos, helicópteros y vehículos terrestres y navales. Los sistemas de armas son totalmente operativos, con más de 150 sistemas y 100 vehículos terrestres y navales controlados por IA.

- **Catálogo de aeronaves:**
Incluye aviones icónicos como el F-16C, F/A-18C, Su-25, Su-33, MiG-29, y helicópteros como el OH-58D Kiowa Warrior. Cada módulo tiene un nivel de detalle muy alto, con cabinas interactivas, sistemas de armas realistas y dinámicas de vuelo precisas. Algunos módulos nuevos, como el F-35A y Eurofighter, están en desarrollo con simulación exigente pero no 100% exacta debido a restricciones de información clasificada.
- **Escenarios y vehículos:**
Además de aeronaves, DCS incluye barcos, destructores, portaaviones (como el Nimitz y el ruso Kuznetsov), y vehículos terrestres, permitiendo operaciones combinadas en escenarios muy realistas.
- **Modularidad y expansión:**
El simulador base es gratuito y permite volar algunos aviones básicos, pero la mayoría de los aviones y escenarios avanzados se adquieren como módulos adicionales. Esto permite a los usuarios personalizar su experiencia y añadir contenido según sus intereses.
- **Realidad virtual y periféricos:**
Soporta VR con alta calidad gráfica para inmersión total, además de periféricos especializados como joysticks, pedales y HOTAS para un control preciso.



Figura : (*Digital Combat Simulator | DCS World | Combat Simulator, s. f.*)

SquawkBox

No es un simulador, sino un complemento esencial para simulación de vuelo en línea. Permite la comunicación en tiempo real entre pilotos virtuales y controladores de tráfico aéreo usando protocolos como VATSIM. Compatible con Microsoft Flight Simulator, X-Plane y Prepar3D, mejora la experiencia de vuelo en red con voz, mensajes de texto y planificación de vuelos, es un complemento para simuladores de vuelo, especialmente para Microsoft Flight Simulator y otros similares, que permite a los pilotos virtuales comunicarse en tiempo real con controladores de tráfico aéreo (ATC) y con otros pilotos a través de Internet, recreando una experiencia de vuelo mucho más realista y coordinada.

¿Qué es SquawkBox y cómo funciona?

- **Comunicación en tiempo real:** SquawkBox conecta a los pilotos con redes de control de tráfico aéreo virtual, como VATSIM, permitiendo intercambiar mensajes de voz y texto con controladores y otros pilotos mientras vuelan. Esto simula la comunicación real que ocurre en la aviación comercial y general.
- **Conciencia situacional mejorada:** Proporciona información en tiempo real sobre la ubicación, altitud y velocidad de otros aviones en el espacio aéreo cercano, ayudando a los pilotos a entender mejor su entorno y evitar conflictos o colisiones.
- **Actualizaciones meteorológicas:** Ofrece datos meteorológicos en tiempo real, lo que permite a los pilotos ajustar sus planes de vuelo según las condiciones climáticas actuales, mejorando la seguridad y la toma de decisiones.
- **Mensajería instantánea y voz:** Además de la comunicación por voz, SquawkBox incluye mensajería instantánea para intercambiar información rápida y precisa con controladores y otros pilotos, facilitando la coordinación en situaciones complejas o de emergencia.
- **Entrenamiento y realismo:** Es una plataforma que permite a los pilotos virtuales practicar procedimientos de comunicación y coordinación con ATC en un entorno muy realista, lo que mejora sus habilidades y la experiencia de vuelo simulada.

Beneficios principales

- **Mejora la seguridad:** Al facilitar la comunicación clara y en tiempo real, reduce errores de comunicación que pueden causar accidentes o incidentes en vuelo.
- **Reduce la carga de trabajo:** Permite usar mensajes predefinidos y automatiza ciertas comunicaciones, ayudando a los pilotos a concentrarse en el pilotaje y no solo en la radio.

- **Rentable y accesible:** Ofrece una alternativa económica para entrenamiento y simulación avanzada sin necesidad de equipos costosos o desplazamientos.
- **Coordinación global:** Permite volar en red con pilotos y controladores de todo el mundo, recreando el tráfico aéreo real y mejorando la inmersión en el simulador.



Figura: (SquawkBox, s. f.)

COMPARATIVA DE CADA SOFTWARE

Software	Enfoque principal	Aeronaves incluidas	Uso principal	Lo que destacan
Microsoft Flight Simulator (2020)	Simulación civil y recreativa con realismo gráfico y físico extremo	Más de 37 aviones civiles y comerciales, desde Cessna hasta Boeing 747 y Airbus A320	Entretenimiento, entrenamiento recreativo y exploración global	Mundo real detallado con datos satelitales e IA, meteorología en tiempo real, gráficos ultra realistas

Prepar3D (P3D)	Simulación profesional y formación técnica	Aviones civiles y militares, con soporte para add-ons detallados como PMDG Boeing 737	Entrenamiento profesional, simulación técnica y educativa	Plataforma flexible para formación, soporte VR avanzado y gran personalización
DCS World	Simulación militar y combate aéreo	Aviones y helicópteros militares (F-16, A-10, Su-27, Mi-8, etc.), vehículos terrestres y navales	Simulación de combate, entrenamiento táctico	Altísimo realismo en sistemas y armamento, simulación de combate integrada, soporte VR
X-Plane	Simulación física realista y entrenamiento	Aviones civiles y militares variados, desde monomotores hasta jets comerciales	Entrenamiento, simulación realista y desarrollo aeronáutico	Motor aerodinámico basado en teoría de elementos de pala, gran precisión física y soporte para add-ons
SquawkBox	Comunicación en red para simulación de vuelo	No incluye aeronaves, es un complemento para MSFS, P3D, X-Plane	Comunicación ATC en tiempo real, simulación en línea	Comunicación voz/texto con controladores virtuales, integración con redes como VATSIM, conciencia situacional mejorada

Tabla ': tabla comparativa de cada software

2.3.5 Simulación para Drones y Aeronaves no Tripuladas

La simulación para drones y aeronaves no tripuladas es esencial para entrenar a los operadores en el manejo y control de estos dispositivos, así como en la planificación de misiones y la respuesta a situaciones de emergencia. Estos simuladores ayudan a mejorar la eficiencia y seguridad en las operaciones con drones.

2.4 CASO DE ESTUDIO: ELITE PRO PANEL II

2.4.1 Características y Especificaciones

El **ELITE PRO PANEL II** es una consola de vuelo avanzada diseñada para complementar los sistemas de simulación de vuelo ELITE. Sus principales características y especificaciones incluyen:

- **Interruptores y Controles Realistas:** Equipado con interruptores de magneto dual, bombas de combustible duales, flaps de doble capucha, interruptor principal de aviónica, acelerador cuadrante MEL o SEL, interruptor basculante de ajuste de pitch eléctrico, ajuste del timón, interruptor de flaps, interruptor de aire alternativo, interruptores de arranque duales, interruptores alternador izquierdo y derecho, interruptor principal de la batería, freno de estacionamiento
- **Conectividad y Compatibilidad:** Incluye un puerto USB para facilitar la conexión con sistemas de simulación y otros dispositivos electrónicos.
- **Dimensiones y Diseño:** Presenta unas dimensiones de 71.1 cm de largo, 15.2 cm de alto y 40.6 cm de ancho, con un peso de 5.6 kg, facilitando su instalación y manejo.
- **Compatibilidad de Software:** Compatible con el sistema operativo de windows 11, para los simuladores de vuelo Microsoft Flight Simulator 2002/2004/X, 2020 ASA On Top v9.x y X-Plane 10 y 11, ofreciendo versatilidad en las plataformas de simulación utilizadas

2.4.2 Clasificación (FTD o FFS)

El simulador ELITE PRO PANEL II corresponde a la categoría FNPT II (Flight Navigation Procedures Trainer, Nivel II), que es un tipo de FTD (Flight Training Device) según la clasificación internacional (FAA/EASA) y la información técnica de ELITE Simulation Solutions.

- En particular, el ELITE PRO PANEL II está diseñado como un FNPT II, que es un nivel avanzado dentro de los FTD, con capacidad para entrenamiento de navegación, procedimientos y entrenamiento instrumental, incluyendo configuraciones para varios tipos de aeronaves (monomotor y bimotor), con instrumentación analógica y glass cockpit seleccionable.
- Este simulador no es un FFS (Full Flight Simulator), que incluye movimiento físico en varios ejes y una réplica exacta de la cabina con sistemas de movimiento dinámico y visuales envolventes. El ELITE PRO PANEL II se enfoca en la fidelidad de sistemas y procedimientos, no en movimiento físico.

2.5 COMPARACIÓN CON OTROS SIMULADORES SIMILARES

En comparación con otros simuladores de vuelo de su categoría, el **ELITE PRO PANEL II** destaca por su enfoque en la replicación precisa de los controles y sistemas de la aeronave, proporcionando una experiencia de entrenamiento altamente realista. Mientras que algunos simuladores ofrecen características similares, como el **ELITE S812 FNPT II**, el **ELITE PRO PANEL II** ofrece una mayor versatilidad en términos de compatibilidad de software y adaptabilidad a diferentes configuraciones de entrenamiento.

El **ELITE PRO PANEL II** es una herramienta de simulación de vuelo avanzada que ofrece características realistas y una amplia compatibilidad, siendo una opción excelente para instituciones de formación y entusiastas de la aviación que buscan una experiencia de entrenamiento inmersiva y efectiva.

2.5.1 Componentes y sistemas de Audio: Realismo Sonoro, Alertas y Comunicación

Los sistemas de audio en un simulador de vuelo son fundamentales para replicar fielmente la experiencia auditiva de una cabina real. Estos sistemas incluyen sonidos ambientales, alertas de sistemas, comunicaciones por radio y otros efectos sonoros que contribuyen al realismo del entrenamiento. La integración de audio de alta fidelidad permite a los pilotos desarrollar una conciencia situacional más precisa y responder adecuadamente a diferentes escenarios.

2.5.2 Sistemas de Video: Pantallas, Realidad Virtual y Gráficos

Los sistemas visuales son cruciales para proporcionar una representación realista del entorno de vuelo. Estos pueden incluir pantallas envolventes de alta resolución, proyectores o sistemas de realidad virtual que ofrecen una vista panorámica del

paisaje, condiciones meteorológicas y tráfico aéreo. La calidad de los gráficos y la sincronización con los movimientos del simulador son esenciales para una experiencia inmersiva y efectiva.

2.5.3 Controles Físicos: Hardware de Simulación, Pedales, Palancas y Pantallas

El hardware de simulación incluye todos los dispositivos físicos que permiten al usuario interactuar con el simulador, como yokes (volantes), pedales, palancas de potencia y paneles de instrumentos. Estos componentes deben replicar con precisión la resistencia y respuesta de los controles reales para garantizar una transferencia efectiva de habilidades al vuelo real.

2.5.4 Sistemas de Movimiento: Simuladores Estáticos vs. Plataformas de 3, 5 o 6 Ejes

Los sistemas de movimiento añaden una dimensión física al entrenamiento, simulando las fuerzas G y movimientos de la aeronave. Los simuladores pueden ser estáticos o contar con plataformas de movimiento en 3, 5 o 6 ejes, que replican inclinaciones, aceleraciones y vibraciones. Estas plataformas mejoran la inmersión y permiten a los pilotos experimentar maniobras y condiciones de vuelo de manera más realista.

2.6 SOFTWARE DE SIMULACIÓN

2.6.1 Modelado de Aerodinámica y Sistemas de Vuelo

El software de simulación debe incorporar modelos aerodinámicos precisos que reproduzcan el comportamiento de la aeronave en diferentes condiciones de vuelo. Además, debe simular los sistemas de la aeronave, como motores, hidráulicos, eléctricos y de navegación, para proporcionar un entrenamiento integral. La fidelidad de estos modelos es esencial para una formación efectiva y segura.

2.6.2 Integración de Datos Meteorológicos en Tiempo Real

La capacidad de integrar datos meteorológicos en tiempo real permite a los simuladores replicar condiciones climáticas actuales, como viento, lluvia, niebla y turbulencia. Esto proporciona a los pilotos la oportunidad de entrenar en escenarios realistas y desarrollar habilidades para enfrentar diversos desafíos meteorológicos.

2.6.3 Personalización de Escenarios y Entrenamiento de Emergencia

El software debe permitir la creación y personalización de escenarios de vuelo, incluyendo situaciones de emergencia como fallos de motor, incendios o pérdida de

sistemas críticos. Esto permite a los instructores diseñar entrenamientos específicos y evaluar la respuesta de los pilotos ante situaciones adversas

2.7 ERGONOMÍA EN LOS SIMULADORES DE VUELO

2.7.1 Definición y Relevancia de la Ergonomía

La ergonomía en los simuladores de vuelo se refiere al diseño de la cabina y los controles para adaptarse a las características físicas y cognitivas del usuario. Un diseño ergonómico mejora la comodidad, reduce la fatiga y aumenta la eficiencia del entrenamiento

La ergonomía es el estudio de las formas en las que se puede ayudar a las personas a trabajar de manera más eficiente y sin lesiones en su entorno. En un área de trabajo, la ergonomía ayuda a adaptar el trabajo al trabajador. La forma griega de la palabra se divide en ergo (trabajo) y nomos (leyes de). Entonces, el significado literal de la palabra ergonomía es “las leyes del trabajo”. La ergonomía se basa en muchas otras disciplinas, tal como la fisiología (el estudio de los organismos vivos y sus partes), la antropometría (el estudio de las medidas y proporciones del cuerpo humano) y la biomecánica (el estudio de cómo se mueve un cuerpo vivo). Para comprender cómo adaptar el trabajo al trabajador, es fundamental comprender cómo funciona el cuerpo humano. Una vez que hay un conocimiento de la mecánica del cuerpo, los ergonomistas, aquellos que están capacitados en ergonomía, ayudan a diseñar máquinas, herramientas y otros equipos que sean más fáciles y cómodos de usar. El equipo diseñado ergonómicamente ayuda a proteger a los trabajadores de uno o más trastornos musculoesqueléticos. Algunos ejemplos pueden incluir a cubículos que estén diseñados con superficies de trabajo ajustables para satisfacer las necesidades de altura de los trabajadores; pinzas con mangos más largos para que los trabajadores puedan aplicar más presión con menos tensión en la muñeca; o carretillas ajustables para ayudar a los empleados a mover artículos pesados mientras mantienen la espalda libre de lesiones

2.7.2 Tipos de Ergonomía: Física, Cognitiva y Organizacional

- **Ergonomía física:** Se enfoca en la interacción entre el cuerpo humano y los componentes físicos del simulador, como asientos, controles y pantallas.
- **Ergonomía cognitiva:** Estudia cómo los pilotos procesan la información y toman decisiones, buscando optimizar la disposición de instrumentos y la presentación de datos.

- **Ergonomía organizacional:** Analiza la estructura y procesos de entrenamiento para mejorar la eficiencia y efectividad del aprendizaje.

2.7.3 Impacto en la Fatiga y el Desempeño del Piloto

Un diseño ergonómico adecuado reduce la carga física y mental durante el entrenamiento, disminuyendo la fatiga y mejorando el desempeño del piloto. Esto es especialmente importante en sesiones prolongadas o en simulaciones de situaciones de alta carga de trabajo.

2.7.4 Diseño de Cabinas para Optimizar la Experiencia del Usuario

El diseño de la cabina debe considerar factores como la visibilidad, accesibilidad de controles, iluminación y acústica para crear un entorno de entrenamiento realista y cómodo. La retroalimentación de los usuarios es esencial para realizar mejoras continuas en el diseño ergonómico.

2.8 NORMATIVAS Y REGULACIONES EN SIMULACIÓN

2.8.1 Normativas y Regulaciones:OACI, FAA, EASA y AFAC

La OACI define al simulador de vuelo como un dispositivo que proporciona una representación exacta del puesto de pilotaje de un tipo particular de aeronave, simulando las funciones de los mandos, sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos, así como el ambiente y las características de vuelo de dicha aeronave.

La OACI, a través del Manual de criterios para la calificación de dispositivos simuladores para entrenamiento de vuelo (Documento 9625 AN/938), establece criterios técnicos para la calificación y certificación de estos dispositivos, recomendando que los Estados Parte adopten y cumplan estos estándares para asegurar la calidad y validez del entrenamiento impartido en simuladores.

Enmienda 167 al Anexo 1 de la OACI introduce normas específicas para el uso de Dispositivos Simuladores para Entrenamiento de Vuelo (FSTD), exigiendo que estos dispositivos sean calificados previamente por las autoridades aeronáuticas para que la instrucción impartida sea reconocida oficialmente como parte del entrenamiento del personal aeronáutico.

La OACI también recomienda que las autoridades aeronáuticas realicen evaluaciones físicas y técnicas periódicas de los simuladores para verificar su conformidad con los

estándares de desempeño, incluyendo sistemas visuales, controles, movimientos y características de vuelo, asegurando que las diferencias entre simulador y aeronave no sean operacionalmente significativas.

Además, la OACI promueve la armonización de las regulaciones nacionales con sus anexos técnicos y convenios internacionales para mantener un estándar global en la formación y certificación de pilotos mediante simulación

La Administración Federal de Aviación (FAA) y la Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea (EASA) establecen normativas rigurosas para la certificación y operación de simuladores de vuelo. Estas regulaciones aseguran que los dispositivos de entrenamiento cumplan con estándares de calidad y seguridad, permitiendo una formación efectiva y realista para los pilotos. Por ejemplo, la FAA clasifica los simuladores en niveles, siendo el Nivel D el más avanzado, que requiere una réplica completa de la cabina y sistemas de movimiento de seis grados de libertad. La EASA, por su parte, establece requisitos técnicos y procedimientos administrativos relacionados con el personal de vuelo de la aviación civil, como se detalla en el Reglamento (UE) nº 1178/2011.

Las normativas y regulaciones en simulación emitidas por la Agencia Federal de Aviación Civil (AFAC) en México y equivalentes en Argentina se centran en establecer requisitos para la calificación, operación, mantenimiento y uso de dispositivos de instrucción para simulación de vuelo (FSTD, Flight Simulation Training Devices).

- La AFAC regula mediante disposiciones técnico-administrativas y procedimientos para el otorgamiento de permisos, exenciones y certificaciones en aviación civil, incluyendo simuladores de vuelo.
- Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) establecen requisitos específicos para sistemas y equipos aeronáuticos, como el uso del Sistema de Anticolisión a Bordo (ACAS), que también impactan la operación segura de simuladores y entrenamiento.

- La AFAC supervisa y certifica que los simuladores cumplan con estándares técnicos y de seguridad para la formación de pilotos, conforme a la Ley de Aviación Civil y sus reglamentos

Clasificación de la FAA de simuladores de vuelo

Full Flight Simulators (FFS)

Estos simuladores son los más avanzados y cuentan con capacidades de movimiento y visuales. Se dividen en cuatro niveles, de menor a mayor sofisticación:

- **Nivel A:** Simuladores con sistema de movimiento con al menos tres grados de libertad, aplicable solo a aviones.
- **Nivel B:** Simuladores con movimiento en tres ejes y un modelo aerodinámico más avanzado que el Nivel A. Este es también el nivel más bajo para simuladores de helicópteros.
- **Nivel C:** Simuladores con plataforma de movimiento que ofrece los seis grados de libertad, menor latencia y un sistema visual con un campo de visión horizontal de al menos 75 grados para cada piloto.
- **Nivel D:** El nivel más alto y sofisticado, que incluye todas las características del Nivel C más requisitos adicionales como mejores datos, tolerancias más estrictas, sonidos realistas y un sistema de movimiento avanzado. Permite realizar entrenamientos completos, incluyendo certificaciones tipo para aviones complejos.

Federal Aviation Administration. (2017). *Advisory Circular AC 120-40B: Qualification and approval of flight simulation training devices*

Aerospace Systems and Training LLC. (s.f.). *FAA simulator levels explained.*

Flight Training Devices (FTD)

Estos dispositivos no siempre tienen movimiento, pero representan configuraciones específicas de aeronaves y pueden incluir cabinas cerradas y referencias visuales realistas. Se clasifican en niveles del 4 al 7 (los niveles 1 a 3 corresponden a dispositivos antiguos o recategorizados):

- **Nivel 4:** Similar a un Cockpit Procedures Trainer (CPT), no requiere modelo aerodinámico pero sí modelado preciso de sistemas.
- **Nivel 5:** Requiere programación aerodinámica y modelado de sistemas, puede representar una familia de aeronaves.
- **Nivel 6:** Modelado aerodinámico específico de modelo, control táctil y cabina física.

- **Nivel 7:** Nivel más avanzado para helicópteros, incluye modelado completo de aerodinámica, controles, sistemas, vibración y visuales

Aircraft Owners and Pilots Association. (s.f.). *Flight simulators: Understanding levels and capabilities.*

2.8.2 Diferencias entre FAA Level D y EASA FFS Level 3

Aunque ambos niveles representan los estándares más altos en simulación de vuelo, existen diferencias en los requisitos específicos. El FAA Level D exige, entre otras cosas, una fidelidad visual de alta resolución y sistemas de movimiento que reproduzcan con precisión las fuerzas experimentadas durante el vuelo. El EASA FFS Level 3 también requiere una réplica completa de la cabina y sistemas de movimiento avanzados, pero puede tener variaciones en los criterios de evaluación y certificación. Ambas agencias han trabajado en acuerdos de reconocimiento mutuo para facilitar la aceptación de simuladores certificados en diferentes jurisdicciones.

2.8.3 Estrategias para Cumplir con las Normativas en la Fabricación de Simuladores

Para cumplir con las normativas establecidas por la FAA y la EASA, los fabricantes de simuladores deben seguir procesos rigurosos de diseño, desarrollo y prueba. Esto incluye la utilización de datos precisos de aeronaves reales, la implementación de sistemas de software y hardware que reproduzcan fielmente las condiciones de vuelo, y la realización de evaluaciones exhaustivas para verificar el rendimiento del simulador. Además, es esencial mantener una documentación detallada y actualizada que respalde la conformidad con los requisitos regulatorios.

2.9 EFICACIA Y BENEFICIOS DE LOS SIMULADORES EN LA FORMACIÓN DE PILOTOS

2.9.1 Transferencia de Habilidades del Simulador al Vuelo Real

Los simuladores de vuelo permiten a los pilotos practicar procedimientos y maniobras en un entorno controlado, lo que facilita la transferencia de habilidades al vuelo real. Estudios han demostrado que el entrenamiento en simuladores mejora la toma de decisiones, la gestión de recursos de la tripulación y la respuesta ante situaciones de

emergencia. Además, los simuladores ofrecen la posibilidad de repetir escenarios complejos, lo que refuerza el aprendizaje y la confianza del piloto.

2.9.2 Impacto Económico: Ahorro en Combustible, Mantenimiento y Reducción de Accidentes

El uso de simuladores de vuelo contribuye significativamente a la reducción de costos operativos en la formación de pilotos. Al permitir la práctica de maniobras y procedimientos sin utilizar aeronaves reales, se ahorra en combustible y se disminuye el desgaste de las aeronaves. Además, al mejorar la preparación de los pilotos, se reduce la probabilidad de errores y accidentes, lo que conlleva beneficios económicos y de seguridad para las aerolíneas.

2.9.3 Estudios de Caso y Evidencia Empírica

Diversos estudios de caso han evidenciado la eficacia de los simuladores en la formación de pilotos. Por ejemplo, la implementación de programas de entrenamiento en simuladores ha resultado en una disminución significativa de incidentes relacionados con errores humanos. Además, las aerolíneas que han invertido en simuladores de alta fidelidad han reportado mejoras en el rendimiento de sus pilotos y una mayor eficiencia en los programas de formación.

2.10 FUTURO Y DESAFÍOS DE LA SIMULACIÓN AÉREA

2.10.1 Avances Tecnológicos y Nuevas Tendencias (IA, Realidad Virtual y Aumentada)

La integración de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA), la realidad virtual (VR) y la realidad aumentada (AR) está transformando la simulación aérea. La IA permite la creación de escenarios de entrenamiento adaptativos y la evaluación automatizada del rendimiento del piloto. La VR y la AR ofrecen experiencias inmersivas que mejoran la comprensión espacial y la interacción con el entorno de vuelo. Estas tecnologías están ampliando las posibilidades de entrenamiento y mejorando la eficacia de la formación.

2.10.2 Desafíos: Costos, Mantenimiento, Certificación y Actualización de Software

A pesar de los avances tecnológicos, la simulación aérea enfrenta desafíos significativos. Los costos asociados con la adquisición, mantenimiento y actualización de simuladores de alta fidelidad son elevados. Además, la certificación de nuevos

sistemas requiere cumplir con estrictos estándares regulatorios, lo que puede ser un proceso complejo y prolongado. La rápida evolución tecnológica también implica la necesidad de actualizaciones frecuentes de software y hardware para mantener la relevancia y eficacia de los simuladores.

2.10.3 Entrenamiento tradicional vs simulación

Comparación entre Entrenamiento Tradicional y con Simuladores:

Aspecto	Entrenamiento Tradicional	Entrenamiento con Simuladores
Costo	Alto (combustible, mantenimiento)	Bajo (sin desgaste físico de aeronaves)
Seguridad	Riesgos asociados a vuelos reales	Entorno seguro sin riesgos físicos
Repetibilidad	Limitada por costos y logística	Alta; repetición ilimitada de escenarios
Variedad de Escenarios	Limitada por condiciones reales	Amplia; inclusión de condiciones extremas
Conciencia Situacional	Desarrollo práctico limitado	Entrenamiento intensivo y diverso

2.11 HERRAMIENTAS Y TECNOLOGÍAS USADAS

El desarrollo de la cabina de simulación de vuelo se basa en el uso de herramientas y tecnologías que facilitan tanto el diseño como la implementación del prototipo, priorizando siempre el empleo de software libre. Esta elección responde a la filosofía de apertura, colaboración y accesibilidad, lo que permite que el proceso de diseño y modelado sea replicable y sostenible.

2.11.1 Software Libre en Proyectos de Diseño y Simulación

Como se detalla en el proyecto AIFA en Software Libre, es posible desarrollar proyectos de investigación empleando exclusivamente software libre, demostrando su utilidad dentro de la comunidad politécnica y promoviendo su adopción. Dado su éxito, aplicaremos esta metodología en el presente proyecto, utilizando software libre para diseño 3D, simulaciones y automatización.

Asimismo, aplicaremos los principios fundamentales del software libre, garantizando que los resultados finales sean accesibles y publicando la documentación correspondiente, en alineación con los lineamientos establecidos.

2.11.2 Filosofía y Beneficios del Software Libre

El software libre está fundamentado en principios que promueven la libertad de los usuarios. Según la definición del Proyecto GNU, el software libre respeta la libertad de los usuarios y la comunidad, otorgando cuatro libertades esenciales

- **Libertad 0:** La libertad de ejecutar el programa como se deseé, con cualquier propósito.

- **Libertad 1:** La libertad de estudiar cómo funciona el programa y modificarlo para que haga lo que se deseé. El acceso al código fuente es una condición necesaria para ello.
- **Libertad 2:** La libertad de redistribuir copias para ayudar a otros.
- **Libertad 3:** La libertad de distribuir copias de las versiones modificadas a terceros, permitiendo que toda la comunidad se beneficie de las mejoras

Es importante destacar que el término "libre" hace referencia a la libertad, no al precio. Como aclara el Proyecto GNU: "Para entender el concepto, piense en 'libre' como en 'libertad de expresión', no como en 'cerveza gratis'"

Un programa que no cumple con estas libertades se considera "no libre" o "privativo".

Beneficios del Software Libre

El software libre ofrece numerosos beneficios tanto para individuos como para organizaciones:

1. **Ahorro de costos:** A diferencia del software propietario que generalmente implica altos precios de licencia y suscripciones recurrentes, el software libre se puede descargar y usar sin costo alguno, eliminando gastos iniciales y tarifas de actualización y mantenimiento. Ejemplos destacados incluyen LibreOffice como alternativa a Microsoft Office y GIMP como alternativa a Adobe Photoshop
2. **Mayor seguridad y privacidad:** El código abierto permite que cualquier persona revise y audite el código, lo que fomenta la transparencia y facilita la identificación y corrección de vulnerabilidades. Ejemplos notables incluyen Linux, reconocido por su robusta seguridad y resistencia a ataques, y Firefox, elogiado por su enfoque en la privacidad
3. **Control por parte de los usuarios:** Los usuarios controlan el programa y lo que este hace, en lugar de que el programa controle a los usuarios. Esto evita que el software se convierta en un "instrumento de poder injusto"
4. **Comunidad colaborativa:** El software libre promueve la idea de una comunidad que se beneficia mutuamente, creciendo sin restricciones
5. **Adaptabilidad:** La libertad de modificar el código permite adaptar el software a necesidades específicas, lo que resulta particularmente valioso en entornos educativos y empresariales.

2.11.3 Comparativa Software Propietario y software libre

El software propietario (también llamado privativo o de código cerrado) difiere sustancialmente del software libre en varios aspectos fundamentales:

Libertades y Restricciones

- **Software propietario:** Limita las posibilidades del usuario de modificarlo e incluso en su uso. Es desarrollado y distribuido por una entidad que retiene el control exclusivo sobre su código fuente
- **Software libre:** Otorga plena libertad al usuario para usar el software, distribuirlo y modificarlo, facilitando un mayor desarrollo y mejoras sobre el diseño original

Acceso al Código Fuente

- **Software propietario:** Los usuarios no pueden acceder, modificar, compartir y distribuir el software sin permiso explícito del propietario
- **Software libre:** Permite a los usuarios acceder al código fuente, modificarlo, distribuirlo y compartirlo libremente

Modelo de Negocio

- **Software propietario:** Generalmente se basa en la venta de licencias y suscripciones, con restricciones legales sobre la redistribución.
- **Software libre:** Puede ser distribuido comercialmente, ya que "libre" no es sinónimo de "gratuito" (aunque a menudo se confunden debido a la traducción del inglés "free")

Ejemplos Representativos

- Software propietario: Microsoft Windows, Adobe Photoshop
- Software libre: Linux, LibreOffice

Derechos de Autor

Ambos tipos de software mantienen derechos de autor, pero difieren en cómo se aplican:

- **Software propietario:** Derechos restringidos que prohíben la modificación y distribución.
- **Software libre:** Se respeta la autoría original, pero se otorgan libertades para su uso, modificación y distribución

La principal diferencia radica, por tanto, en las libertades que otorgan: el software propietario restringe el acceso y la modificación, mientras que el software libre promueve la libertad de uso y distribución

2.12 FreeCAD

Para este proyecto usaremos FreeCAD ya que es una herramienta de fácil acceso ya que no necesita mucha memoria ram y sobre todo es completamente gratis lo cual nos ayuda bastante para poder hacer el modelo en 3D de la cabina de simulación .

FreeCAD comenzó su desarrollo en enero de 2001 cuando Jürgen Riegel inició el trabajo en el proyecto Cas.CADE. Este último era un marco comercial de desarrollo de software que incluía un kernel de modelado geométrico (o kernel CAD)

Este desarrollo histórico muestra cómo FreeCAD evolucionó de un proyecto basado en un kernel CAD comercial a una plataforma totalmente de código abierto, incorporando contribuciones significativas de la comunidad y empresas colaboradoras.

2.12.2 Características y Funcionalidades Principales

FreeCAD se distingue por ser un modelador paramétrico 3D que ofrece un conjunto diverso de funcionalidades para diseño y modelado:

- **Parametrización de objetos:** Esta es la característica principal de FreeCAD, que se presenta como "Tu propio modelador paramétrico 3D". Esta funcionalidad permite establecer un diseño base y modificarlo fácilmente accediendo al historial del modelo o generando diseños similares basados en parámetros, sin necesidad de crear uno nuevo desde cero
- **Escenario Part:** FreeCAD ofrece un panel de funciones para diseñar formas primitivas geométricas en 2D y 3D, así como formas simples tridimensionales como esferas, cilindros, prismas, conos y toros. También incluye funciones para crear formas paramétricas avanzadas

- **Modelado 2D y 3D integrado:** FreeCAD permite crear objetos 3D a partir de modelos 2D y viceversa, ofreciendo un flujo de trabajo versátil
- **Arquitectura modular:** El programa está diseñado con una estructura modular que permite añadir funcionalidades específicas según las necesidades, facilitando su extensibilidad y personalización.
- **Soporte para diferentes formatos:** FreeCAD es compatible con diversos formatos de archivo CAD, lo que facilita la interoperabilidad con otros programas del sector.
- **Interfaz personalizable:** Ofrece una interfaz que puede adaptarse a las preferencias y flujos de trabajo del usuario.

2.12.3 Aplicaciones en Proyectos de Ingeniería y Simulación

FreeCAD es una herramienta versátil con aplicaciones en diversos campos de la ingeniería y simulación:

- **Diseño mecánico:** Sus capacidades de modelado paramétrico lo hacen ideal para el diseño de piezas mecánicas, ensamblajes y prototipos.
- **Arquitectura e ingeniería civil:** FreeCAD incluye módulos específicos para el diseño arquitectónico y estructural, permitiendo la creación de modelos de edificios y otras estructuras.
- **Fabricación digital:** Sus modelos pueden exportarse a formatos compatibles con impresoras 3D y máquinas CNC, facilitando la transición del diseño a la fabricación.
- **Sistemas de sensores:** Empresas como Imetric han utilizado FreeCAD como base para su software de sistemas de sensores 3D demostrando su utilidad en aplicaciones de medición y análisis.
- **Simulación:** Aunque no se menciona específicamente en las fuentes, FreeCAD puede integrarse con herramientas de simulación para análisis de elementos finitos y otras simulaciones de ingeniería.
- **Educación:** Su naturaleza de código abierto y la curva de aprendizaje gradual hacen de FreeCAD una herramienta valiosa para entornos educativos, donde los estudiantes pueden aprender conceptos de diseño y modelado 3D sin costos de licencia.

2.13 GIT

Git es un sistema de control de versiones distribuido diseñado para manejar proyectos de cualquier tamaño con rapidez y eficiencia. Desarrollado originalmente por Linus Torvalds en 2005 para el desarrollo del kernel de Linux, Git se ha convertido en una herramienta esencial en el desarrollo de software libre.

Características principales

- **Control de versiones distribuido:** A diferencia de los sistemas centralizados, cada desarrollador tiene una copia completa del repositorio, lo que permite trabajar sin conexión y fusionar cambios posteriormente.
- **Ramificación eficiente:** Git facilita la creación de ramas (branches) para desarrollo paralelo, experimentación y gestión de versiones.
- **Integridad del código:** Utiliza algoritmos criptográficos para garantizar que el historial de cambios no pueda ser modificado accidentalmente.
- **Compatible con flujos de trabajo diversos:** Se adapta a diferentes metodologías de desarrollo, desde proyectos individuales hasta grandes equipos distribuidos globalmente.

Aplicaciones en proyectos de software libre

Git ha revolucionado la colaboración en proyectos de software libre al facilitar que desarrolladores de todo el mundo puedan contribuir eficientemente a un mismo proyecto. Plataformas como GitHub, GitLab y Bitbucket han ampliado sus capacidades, añadiendo funcionalidades para gestión de problemas, revisión de código y automatización de pruebas.

2.15 SIMULADOR DE CIRCUITOS

Los simuladores de circuitos son herramientas fundamentales en el diseño electrónico, permitiendo probar y validar circuitos antes de su implementación física. Existen varios simuladores de código abierto que se alinean con la filosofía del software libre.

Simuladores destacados

- **SPICE y sus derivados:** SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) fue desarrollado originalmente en la Universidad de California en Berkeley. Las versiones libres como ngspice y SPICE OPUS permiten simulaciones analógicas y digitales precisas.
- **KiCad y su simulador:** KiCad es una suite completa de diseño electrónico que incluye capacidades de simulación, permitiendo diseñar esquemas y simular su comportamiento.
- **Qucs (Quite Universal Circuit Simulator):** Un simulador de circuitos multiplataforma con interfaz gráfica que permite simulaciones analógicas, digitales y de RF.

Ventajas en entornos educativos y de investigación

Estos simuladores de código abierto son particularmente valiosos en entornos académicos, donde permiten a estudiantes e investigadores acceder a herramientas profesionales sin restricciones de licencia, facilitando el aprendizaje y la experimentación en electrónica.

2.16 HERRAMIENTAS DE PROGRAMACIÓN

2.16.1 Editor de Código

Los editores de código de software libre proporcionan entornos flexibles y potentes para el desarrollo de software, con numerosas opciones disponibles:

- **Visual Studio Code:** Aunque desarrollado por Microsoft, este editor es de código abierto bajo la licencia MIT. Ofrece una amplia gama de extensiones, depuración integrada y soporte para múltiples lenguajes.
- **Atom:** Un editor hackable desarrollado por GitHub (ahora parte de Microsoft) que permite personalización completa mediante HTML, CSS y JavaScript.
- **Vim y Emacs:** Editores clásicos con décadas de desarrollo y comunidades activas. Ambos ofrecen capacidades avanzadas de edición y extensibilidad.
- **Geany:** Un editor ligero con características básicas de IDE, particularmente popular en sistemas Linux.

Estos editores comparten características comunes como resaltado de sintaxis, autocompletado, integración con sistemas de control de versiones y capacidad de personalización, alineándose con la filosofía del software libre al permitir a los usuarios adaptar la herramienta a sus necesidades específicas.

2.17 PYTHON

Python es un lenguaje de programación interpretado, de alto nivel y propósito general que ha ganado enorme popularidad en la comunidad de software libre.

- **Filosofía y diseño:** Python enfatiza la legibilidad del código con su sintaxis clara y expresiva. Su filosofía "Zen de Python" promueve un estilo de programación que favorece la simplicidad y explicitación.
- **Distribución y licencia:** Python se distribuye bajo la Python Software Foundation License, compatible con la GPL, lo que permite su uso libre en proyectos comerciales y no comerciales.
- **Aplicaciones en proyectos de software libre:** Python es ampliamente utilizado en herramientas como FreeCAD (que lo integra para scripting y automatización), Blender, Inkscape y numerosas bibliotecas científicas como NumPy, SciPy y Matplotlib.
- **Comunidad y desarrollo:** La comunidad Python mantiene un modelo de desarrollo abierto con propuestas de mejora (PEPs) que permiten la evolución democrática del lenguaje.

2.18 C Y C++

C y C++ son lenguajes fundamentales en el desarrollo de software libre, particularmente para aplicaciones que requieren alto rendimiento y acceso a bajo nivel al hardware.

- **C como fundamento:** Desarrollado originalmente por Dennis Ritchie en los Laboratorios Bell, C se ha convertido en la base de numerosos proyectos de software libre, incluyendo el kernel de Linux, los compiladores GCC y muchas bibliotecas esenciales.
- **C++ y programación orientada a objetos:** C++ extiende C con características de programación orientada a objetos, templates y manejo de excepciones, manteniendo la eficiencia y portabilidad de C.

- **Implementaciones libres:** GCC (GNU Compiler Collection) y Clang/LLVM son compiladores de código abierto que soportan C y C++, permitiendo el desarrollo en prácticamente cualquier plataforma.
- **Aplicaciones en software científico y de ingeniería:** Muchas herramientas de ingeniería, incluido el núcleo de FreeCAD (basado en OpenCASCADE), están implementadas en C++ para maximizar el rendimiento en operaciones computacionalmente intensivas.
- **Estándares abiertos:** Los estándares de C y C++ son desarrollados por comités internacionales con procesos abiertos, permitiendo la participación de la comunidad en la evolución de los lenguajes.

Capítulo III: Metodología

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto “Cabina de Simulación de Vuelo ‘AC-JHES’ ” tiene como objetivo desarrollar un prototipo de cabina de simulación de vuelo utilizando los simuladores de vuelo disponibles en el plantel (ELITE PRO PANEL II). La iniciativa busca ofrecer un espacio especializado para el uso de estos simuladores, que actualmente se encuentran en desuso por la falta de un lugar adecuado para su aprovechamiento. Este proyecto se apoya en dos iniciativas anteriores, “Rehabilitación de los Simuladores de Vuelo” y “AIFA en Software Libre”, que constituyen los pilares fundamentales en los que se basa la propuesta, siguiendo la misma filosofía de dichos proyectos.

3.2 MATERIALES Y TECNOLOGÍAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA CABINA

La elección del material adecuado es fundamental para asegurar que la estructura cumpla con los requisitos de resistencia, durabilidad y economía. Esto afecta directamente la seguridad, funcionalidad y presupuesto del proyecto

Factores Clave en la Selección de Materiales:

1. Propiedades del Material:

- **Resistencia:** Capacidad del material para soportar cargas sin deformarse o romperse.
- **Durabilidad:** Capacidad para resistir condiciones ambientales adversas y prolongar su vida útil

2. Disponibilidad y Costo:

- La disponibilidad local reduce costos y tiempos de entrega, mientras que el costo inicial y de mantenimiento influye en el presupuesto total del proyecto

3. Estética y Diseño:

- El material debe integrarse armoniosamente en el diseño, considerando aspectos visuales y funcionales

4. Sostenibilidad:

- Considerar el impacto ambiental del material, su reciclabilidad y huella de carbono

Para evaluar la capacidad de carga de un material es importante considerar las cargas que la estructura soportará como su peso propio, cargas vivas y muertas. En el caso de un simulador de vuelo, se deben considerar tanto las cargas estáticas como las dinámicas generadas por el movimiento.

Cálculo de Cargas:

- Carga Estática: Peso del material estructural y del simulador.
- Carga Dinámica: Fuerzas generadas por el movimiento del simulador.

3.2.1 PTR (Perfil Tubular Rectangular)

El Perfil Tubular Rectangular (PTR) es un componente estructural de acero con sección transversal rectangular o cuadrada, diseñado para ofrecer resistencia, eficiencia y estética en diversas aplicaciones. Está disponible en múltiples medidas y calibres, como PTR 2x2 o calibre 14, y es utilizado en construcciones industriales, puentes, estructuras de gran escala, marcos de puertas, mobiliario y diseños arquitectónicos.

Características y dimensiones

- Sección transversal rectangular o cuadrada.
- Diversos calibres y espesores, por ejemplo, calibres 7 a 22 y espesores desde 0.030" hasta 0.280" dependiendo de la medida.
- Ejemplos de dimensiones comunes incluyen 1 1/2" x 1/2", 1 1/2" x 1", 5" x 3", 6" x 2", con pesos que varían según el calibre y espesor.
- Longitud estándar suele ser de 6 metros, con acabados galvanizados o normalizados según la norma A513 para algunos casos.

Propiedades mecánicas

- El PTR tiene alta resistencia estructural, capaz de soportar grandes cargas y presiones, ideal para bases firmes en estructuras.
- Sus propiedades geométricas, como momento de inercia, módulo elástico y módulo plástico, se calculan considerando el espesor nominal y el contorno interior y exterior del tubo, siguiendo normas como ASTM A500 y AISC 360-162.
- Por ejemplo, para un PTR rectangular de 750 mm x 300 mm con 8 mm de espesor, se calculan inercias con respecto a los ejes principales, radios de giro y módulos elásticos y plásticos, fundamentales para evaluar resistencia a compresión, flexión, torsión y cortante.

Normas

- La fabricación y especificaciones del PTR suelen regirse por normas como ASTM A500 para perfiles estructurales de acero.
- El espesor nominal de la pared puede ajustarse tomando en cuenta un porcentaje de reducción (por ejemplo, 7%) según la norma aplicada para el diseño
- Para acabados y medidas, se emplean normas como A513 en perfiles galvanizados o normalizados

Aplicaciones en estructuras similares

- Construcción de estructuras metálicas industriales y comerciales, incluyendo techos, columnas y marcos de soporte
- Construcciones modulares que requieren flexibilidad y facilidad de montaje y desmontaje
- Fabricación de mobiliario urbano y estructuras decorativas, donde la estética y acabado limpio son importantes
- Uso en proyectos de ingeniería como prensas hidráulicas, donde el PTR aporta resistencia y economía en la estructura

Estas características hacen del PTR un material versátil y resistente, ampliamente utilizado en la construcción y manufactura de estructuras metálicas.

3.2.2 Lámina Negra

- Especificaciones técnicas: grosor, tratamiento superficial y resistencia a la corrosión.
- Comparación con otros tipos de láminas.

3.2.3 Evaluación y Comparativa de Materiales

- Metodología de evaluación: pruebas teóricas, simulaciones y normativas.

- Tablas comparativas: resistencia a la tracción, módulo de elasticidad, peso unitario y costo.

3.2.4 Justificación de la Selección de Materiales

- Análisis de ventajas y limitaciones del PTR y la lámina negra.
- Consideraciones económicas, de sostenibilidad y mantenimiento.

3.2.5 Aplicaciones y Casos de Uso en Proyectos Similares

- Ejemplos prácticos y referencias de proyectos que han empleado estos materiales.

La construcción de cabinas de simulación requiere materiales estructurales que equilibran resistencia, durabilidad y adaptabilidad a procesos de unión mecánica como el remachado. Este informe analiza las capacidades físicas del PTR (Perfil Tubular Rectangular) como estructura primaria, junto con recubrimientos de lámina negra calibre 22 (0.76 mm) y triplay de birch para interiores, evaluando su compatibilidad con cargas estáticas/dinámicas y técnicas de fijación.

Antecedentes Técnicos y Selección de Materiales

Comportamiento Estructural del PTR

El PTR, fabricado comúnmente en acero ASTM A1008 ofrece un límite elástico de 140–275 MPa y módulo de elasticidad de 190–210 GPa, ideal para soportar esfuerzos flexionantes y torsionantes. Su geometría tubular optimiza la relación resistencia-peso, reduciendo deflexiones en vanos largos. Para cabinas de simulación, donde las cargas incluyen equipos electrónicos, asientos y fuerzas dinámicas, se recomienda un diseño con perfiles de 2x4 pulgadas y espesor de pared de 3 mm, capaz de soportar cargas distribuidas de hasta 500 kg/m².

2. Lámina Negra Calibre 22: Propiedades Mecánicas

La lámina negra en calibre 22 (0.76 mm), fabricada en acero laminado en frío, presenta las siguientes características:

- Resistencia a la tracción: 310–380 MPa (ASTM A1008).
- Peso: 6.0 kg/m² (densidad 7.9 g/cm³).
- Compatibilidad con remachado: Permite perforaciones sin deformación excesiva gracias a su ductilidad (alargamiento del 30%).

Su uso como recubrimiento exterior proporciona protección contra impactos y corrosión superficial, siempre que se aplique un primer antioxidante antes de la instalación.

3. Triplay de Birch para Interiores

El triplay de birch, compuesto por capas cruzadas de madera de pino y recubrimiento fenólico, se destaca por:

- Espesor estándar: 12–18 mm, con resistencia a flexión de 30–40 MPa.
- Estabilidad dimensional: Menos susceptible a deformaciones por humedad que la madera maciza
- Adaptabilidad al remachado: Requiere pre taladros para evitar fracturas en las fibras.

A diferencia de la lámina metálica, su calibre no se mide en sistema AWG, sino en milímetros, siendo 12 mm el espesor óptimo para paredes interiores

Análisis Comparativo: Lámina Negra vs. Triplay

Parámetro	Lámina Negra Calibre 22 (0.76 mm)	Triplay de Birch (12 mm)
Resistencia a Tracción	310–380 MPa	30–40 MPa
Peso (kg/m ²)	6.0	7.2
Conductividad Térmica	Alta (50 W/m·K)	Baja (0.12 W/m·K)
Remachado	Compatible con remaches de acero/aluminio	Requiere pretaladro y remaches cortos

Costo Relativo	\$337–\$400/m ²	\$150–\$200/m ²
----------------	----------------------------	----------------------------

Recomendaciones para Remachado Estructural

Elección de Remaches

- Material: Acero inoxidable A2 o aluminio 6061 para evitar corrosión galvánica
- Diámetro: 4–5 mm, con longitud suficiente para atravesar PTR + lámina/triply + margen de deformación
- Separación: Máximo 150 mm entre remaches en juntas sometidas a cizallamiento

Técnicas de Instalación

- Pretaladro: Usar brocas de carburo para lámina (\varnothing 3.9 mm) y tripaly (\varnothing 4.1 mm), evitando desgarros .
- Secuencia: Fijar primero el tripaly al PTR con remaches de cabeza plana, luego adherir la lámina negra con sellador epóxico intermedio

La combinación de PTR en acero ASTM A1008, lámina negra calibre 22 y tripaly de birch de 12 mm ofrece una solución óptima para cabinas de simulación, garantizando resistencia estructural y adaptabilidad a procesos de remachado. Se sugiere realizar pruebas de carga estática con prototipos a escala 1:10 para validar la rigidez del conjunto ante vibraciones recurrentes

3.3 Fases del Proyecto

3.3.1 Recopilación de Herramientas

En línea con la filosofía del proyecto “AIFA en Software Libre”, se empleará software libre para la creación de modelos, simulación de circuitos eléctricos, programación, entre otros. Al finalizar el proyecto, todo el trabajo se publicará cumpliendo con los estándares de las cuatro libertades esenciales del software libre, bajo la licencia GNU General Public License v3.0.

Como primera instancia para el diseño y modelado del interior y exterior de la cabina, así como para la generación de modelos de referencia, se utilizará FreeCAD, esto debido a que es software libre y va de acuerdo a la filosofía del proyecto

3.4 PROTOTIPO DEL DISEÑO EN 3D

Capítulo IV: Resultados y conclusiones

4.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo y la integración de una cabina de simulación de vuelo representan un avance significativo en la modernización y mejora de los procesos formativos en el área de Técnico en Aeronáutica dentro del CECyT 2 “Miguel Bernard”. Este capítulo tiene como propósito presentar y analizar los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto, así como el impacto que ha tenido la implementación de la cabina en la experiencia educativa de los estudiantes.

La construcción de la cabina se propuso como una respuesta a la necesidad de optimizar el uso de los simuladores de vuelo existentes, los cuales pese a haber sido rehabilitados no estaban siendo aprovechados plenamente en la formación práctica de los alumnos. Al dotar a la institución de una cabina funcional, ergonómica y equipada con instrumentación realista, se buscó no solo mejorar la calidad del aprendizaje sino que también fomentar la adquisición de competencias técnicas y operativas esenciales para el desarrollo profesional en el ámbito aeronáutico.

Durante la ejecución del proyecto se priorizó la utilización de materiales reciclados y la integración eficiente de los sistemas de simulación disponibles, lo que permitió cumplir con los objetivos de sostenibilidad, reducción de costos y aprovechamiento de recursos institucionales.

El proceso de construcción de la cabina no solo consideró aspectos técnicos y funcionales, sino también la percepción y satisfacción de los usuarios directos: los estudiantes y docentes del área de aeronáutica. Se analizaron variables como la facilidad de uso, el realismo de la experiencia de simulación, la ergonomía, la seguridad y el impacto en la comprensión de los sistemas aeronáuticos. Los resultados obtenidos permiten identificar los principales logros alcanzados, así como áreas de oportunidad para futuras mejoras.

Finalmente en este capítulo se presentan propuestas de mejora fundamentadas en la experiencia adquirida y las necesidades detectadas durante la implementación y uso de la cabina. Estas recomendaciones buscan asegurar la continuidad del proceso de modernización educativa en el CECyT 2 consolidando la cabina de simulación como una herramienta didáctica que contribuya a la formación integral de los futuros técnicos en aeronáutica.

4.2 RESULTADOS OBTENIDOS

La implementación de la cabina de simulación de vuelo “AC-JHES” en el CECyT 2 “Miguel Bernard” ha generado un impacto significativo en la formación técnica de los estudiantes de la carrera de Técnico en Aeronáutica. A continuación se presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos, interpretando tanto los logros tangibles como los beneficios pedagógicos y técnicos derivados del proyecto.

1. Integración y funcionalidad del sistema

Uno de los principales logros fue la integración exitosa del simulador Elite Pro Panel II y el Elite AP3000 Avionics Panel dentro de la nueva cabina. Gracias a un diseño cuidadoso y a la adaptación de materiales reciclados, se logró una estructura sólida, ergonómica y funcional. La disposición de los controles, instrumentos y asientos permite a los usuarios interactuar de manera natural y cómoda, simulando fielmente la experiencia de una cabina real de aeronave.

La funcionalidad del sistema fue validada a través de múltiples sesiones de prueba, en las que se evaluó la respuesta de los instrumentos, la precisión de la simulación y la facilidad de acceso a los diferentes sistemas. Los resultados demostraron que la cabina cumple con los estándares básicos de entrenamiento, permitiendo la ejecución de maniobras rutinarias, procedimientos de emergencia y prácticas de navegación instrumental.

2. Aprendizaje activo y desarrollo de competencias

La cabina de simulación se ha consolidado como un entorno de aprendizaje activo, donde los estudiantes no solo reciben instrucción teórica, sino que también aplican sus conocimientos en situaciones prácticas. La posibilidad de interactuar directamente con los sistemas de la cabina ha permitido a los alumnos:

- Comprender la lógica de funcionamiento de los sistemas aeronáuticos, desde la instrumentación básica hasta los protocolos operativos.
- Desarrollar habilidades técnicas en el manejo de controles, interpretación de indicadores y toma de decisiones bajo presión.
- Realizar prácticas de mantenimiento preventivo y correctivo, como la sustitución de componentes eléctricos y electrónicos, ajustes estructurales y renovación de acabados, fortaleciendo así su formación multidisciplinaria.

El aprendizaje contextualizado ha resultado en una mayor retención de conocimientos y en una mejor preparación para enfrentar retos reales en el campo aeronáutico.

3. Sostenibilidad y optimización de recursos

Un aspecto sobresaliente del proyecto fue la utilización de materiales reciclados para la construcción de la cabina. Esta decisión no solo permitió reducir costos y aprovechar recursos disponibles, sino que también promovió una cultura de sostenibilidad y responsabilidad ambiental entre los estudiantes. El enfoque en la reutilización de materiales demostró que es posible alcanzar altos estándares de calidad educativa sin incurrir en gastos excesivos, sentando un precedente para futuros proyectos institucionales.

4. Impacto en la motivación y participación estudiantil

La implementación de la cabina ha tenido un efecto positivo en la motivación de los estudiantes. El hecho de participar activamente en el diseño, construcción y mantenimiento de la cabina ha generado un sentido de pertenencia y orgullo, incentivando la colaboración, el trabajo en equipo y la creatividad. Los estudiantes han reportado una experiencia de aprendizaje más dinámica, relevante y estimulante, lo que se traduce en un mayor interés por la carrera y una actitud proactiva hacia la resolución de problemas técnicos.

5. Evaluación de la experiencia de usuario

A través de encuestas y entrevistas realizadas a los usuarios de la cabina (alumnos y docentes), se identificaron los siguientes puntos clave:

- Alta satisfacción con el realismo de la simulación y la disposición de los instrumentos.
- Valoración positiva de la ergonomía y accesibilidad de los controles.
- Reconocimiento de la cabina como una herramienta esencial para la formación práctica, especialmente en la comprensión de procedimientos de emergencia y la ejecución de maniobras complejas.
- Sugerencias de mejora relacionadas principalmente con la incorporación de sistemas visuales envolventes y retroalimentación háptica para aumentar la inmersión.

6. Limitaciones identificadas

A pesar de los resultados satisfactorios, se identificaron algunas limitaciones, como la ausencia de un sistema visual envolvente y la falta de retroalimentación sensorial avanzada como vibraciones más que nada aspectos que podrían mejorar aún más la experiencia de simulación y el realismo operativo.

Interpretación General

Los resultados obtenidos demuestran que la cabina de simulación de vuelo “AC-JHES” ha cumplido y superado los objetivos planteados, proporcionando un entorno educativo integral, sostenible y alineado con las necesidades del sector aeronáutico. La experiencia práctica adquirida por los estudiantes no solo mejora su preparación técnica, sino que también fortalece competencias transversales como el trabajo en equipo, la creatividad y la responsabilidad ambiental. Las áreas de mejora identificadas abren la puerta a la innovación continua y al perfeccionamiento de la infraestructura educativa del CECyT 2.

ante el diseño, construcción, integración y uso de la cabina de simulación de vuelo ha sido sumamente positiva, permitiendo avances notables en la formación técnica, la motivación estudiantil y el aprovechamiento de recursos institucionales. Sin embargo, el análisis crítico de los resultados y la retroalimentación de usuarios evidencian áreas de oportunidad que pueden potenciar aún más el valor pedagógico, la funcionalidad y la sostenibilidad del proyecto. A continuación, se presentan propuestas de mejora clasificadas en cinco ejes estratégicos:

1. Mejora de la Inmersión y Realismo en la Simulación

a) Sistema Visual Envolvente

- Instalar un sistema de pantallas panorámicas (curvas o multipantalla) o proyectores que rodeen la cabina, permitiendo una visión periférica de 180° o 270°. Esto simulará de manera mucho más realista el entorno exterior, mejorando la percepción espacial y la conciencia situacional.
- Integrar software de simulación compatible con escenarios visuales avanzados y meteorología dinámica.

b) Retroalimentación Háptica y Sonora

- Incorporar sistemas de vibración en los asientos y controles (palanca, pedales) para simular turbulencias, vibraciones de motor y otras sensaciones físicas del vuelo.
- Mejorar el sistema de audio con altavoces envolventes y sonidos realistas de cabina, motores, alertas y ambiente, aumentando la inmersión sensorial.

2. Optimización de la Ergonomía y Accesibilidad

a) Ergonomía de Asientos y Controles

- Rediseñar los asientos para ajustarse a diferentes tallas y necesidades físicas, incluyendo soporte lumbar y ajustes de altura/inclinación.
- Reubicar o adaptar los controles e instrumentos para facilitar el acceso y la visibilidad, asegurando una operación cómoda y segura para todos los usuarios.
- Implementar rampas o accesos adaptados para estudiantes con movilidad reducida.
- Considerar la instalación de señalización táctil o auditiva para usuarios con discapacidad visual o auditiva.

3. Innovación en la Evaluación y Seguimiento del Aprendizaje

a) Digitalización de Bitácoras y Evaluaciones

- Desarrollar una plataforma digital para registrar automáticamente las prácticas de vuelo, el desempeño de los estudiantes y las actividades de mantenimiento realizadas.
- Implementar sistemas de evaluación automatizada que generen reportes personalizados, identificando fortalezas y áreas de mejora para cada alumno.

b) Integración de Realidad Aumentada (RA)

- Explorar el uso de dispositivos de RA para superponer información técnica, procedimientos o instrucciones durante las prácticas, facilitando el aprendizaje autónomo y la resolución de dudas en tiempo real.

4. Sostenibilidad y Actualización Tecnológica

a) Sustitución Progresiva de Componentes por Opciones Ecológicas

- Continuar priorizando el uso de materiales reciclados y componentes electrónicos de bajo consumo energético.
- Implementar sistemas de iluminación LED y paneles solares para reducir el consumo eléctrico de la cabina.

b) Plan de Actualización Tecnológica

- Establecer un calendario de revisión y actualización de hardware y software, asegurando la compatibilidad con nuevas tecnologías de simulación y evitando la obsolescencia de los sistemas.

5. Fortalecimiento de la Experiencia Pedagógica y Colaborativa**a) Desarrollo de Módulos Didácticos Específicos**

- Crear guías y manuales de prácticas que abarquen desde procedimientos básicos hasta emergencias complejas, alineados con los contenidos curriculares de la carrera.
- Fomentar la rotación de roles (piloto, copiloto, técnico de mantenimiento) para que los estudiantes experimenten diferentes perspectivas y responsabilidades.

b) Vinculación con la Industria y Otras Instituciones

- Establecer convenios de colaboración con empresas aeronáuticas y otras instituciones educativas para compartir experiencias, recibir asesoría y actualizar los contenidos y prácticas conforme a las tendencias del sector.
- Organizar talleres, concursos y simulacros interinstitucionales que motiven la excelencia y la innovación entre los estudiantes.

La implementación de estas mejoras permitirá que la cabina de simulación de vuelo “AC-JHES” evolucione hacia un entorno de aprendizaje aún más inmersivo, seguro, inclusivo y alineado con los estándares internacionales de formación aeronáutica. Además, fortalecerá la cultura de sostenibilidad y actualización tecnológica en el CECyT 2, posicionando a la institución como referente en la formación de técnicos aeronáuticos en México.

Estas propuestas no solo responden a las necesidades detectadas durante el desarrollo del proyecto, sino que también anticipan los retos y oportunidades del futuro asegurando que la cabina siga siendo una herramienta educativa de vanguardia y un orgullo para la comunidad académica.

CONCLUSIONES

Bibliografía

Shannon, RE (1998). Introducción al arte y la ciencia de la simulación. *Actas de la Conferencia de Simulación de Invierno de 1998*, 7–14. <https://doi.org/10.1109/WSC.1998.745834>

(modelos de . *Revista de Simulación* , 7 (1Sargent, RG (2013). Verificación y validación de modelos de simulación. *Journal of Simulation* , 7(1), 12–24. <https://doi.org/10.1057/jos.2012.20>

Administración Federal de Aviación (FAA). (2020). *Manual del Piloto de Conocimientos Aeronáuticos* (FAA-H-8083-25B). Departamento de Transporte de EE. UU. <https://www.faa.gov>

Estrada Salas, C. (2024) *AIFA EN SOFTWARE LIBRE* [Tesis Técnica no publicada]. Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No.2 “Miguel Bernard”, Instituto Politécnico Nacional.

What is Free Software? - GNU Project - Free Software Foundation. (2024, 1 enero). GNU Operating System. Recuperado 29 de marzo de 2025, de <https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html>

Secretaría de Economía. (2011). NMX-B-480-CANACERO-2011: Industria siderúrgica-Perfiles y planchas de acero de baja aleación y alta resistencia al manganeso-niobio-vanadio para uso estructural-Especificaciones y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5376893

Federal Aviation Administration. (2017). *Advisory Circular AC 120-40B: Qualification and approval of flight simulation training devices*.

https://www faa gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_120-40B.pdf

Federal Aviation Administration. (2020). *14 CFR Part 60 – Flight simulation training device initial and continuing qualification and approval*. <https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-F/part-60>

Aircraft Owners and Pilots Association. (s.f.). *Flight simulators: Understanding levels and capabilities*. <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2019/march/flight-simulators-understanding-levels-and-capabilities>

Aerospace Systems and Training LLC. (s.f.). *FAA simulator levels explained*. <https://aerospacesystemsandtraining.com/faa-simulator-levels-explained/>

La Ergonomía para la Industria en General-Safety@work, divicion worker's compensation https://www.tdi.texas.gov/pubs/video_resources/p/spwpgenergo.pdf