



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Estudio de Viabilidad de la Aplicación de la Realidad Virtual
y Aumentada al Mantenimiento Aeronáutico

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica

AUTOR/A: Muñiz Guzmán, Juan de Dios

Tutor/a: Rodas Jordá, Ángel

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Resumen

En este trabajo se realizará un estudio en profundidad del estado actual, así como de la implementación y desarrollo de la aplicación de la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada al mantenimiento aeronáutico. Dichas técnicas se pueden aplicar, tanto para training de técnicos y mantenimiento en remoto, como para mejorar y agilizar el tratamiento de documentación aeronáutica (manuales, órdenes de ingeniería, tarjetas de trabajo, etc.).

Cada una de estas tecnologías se explicarán y compararán para entender su funcionamiento y aplicación. Se analizarán y presentarán distintos modelos y software desarrollados, junto al ámbito de aplicación correspondiente, así como ventajas e inconvenientes de los mismos. Se tratará de estudiar la forma de optimizarlos para facilitar con ello su implementación práctica paliando los inconvenientes y limitaciones que puedan ofrecer; y aprovechando al máximo las ventajas y mejoras que aportan.

Finalmente, se analizará lo presentado previamente y se discutirá, junto con la viabilidad actual o futura, su puesta en práctica en las empresas de mantenimiento.

Abstract

In this report, we will carry out an in-depth study of the current state, as well as the implementation and development of Virtual and Augmented Reality with application to aeronautical maintenance. These technologies can be applied to remote maintenance and technician training, as well as to improve and speed up the processing of aeronautical documentation (manuals, engineering orders, task cards, etc.).

Each of these technologies will be explained and compared in order to understand their operation and application. Different models and software developed will be analysed and presented, together with the corresponding field of application, as well as their upsides and downsides. The aim will be to study how to optimize them in order to facilitate their practical implementation, alleviating the disadvantages and limitations they may offer, plus making the most of the advantages and improvements they provide.

Finally, what has been previously presented will be analysed and discussed, together with the current or future feasibility of their implementation in maintenance companies.

Índice general

1. Introducción y Objetivos	1
1.1. Situación Actual	3
1.2. Sector del Mantenimiento Aeronáutico	5
1.3. Objetivo y Alcance del Trabajo	5
2. Realidad Virtual VS Realidad Aumentada	7
2.1. Realidad Virtual	7
2.1.1. Definición	7
2.1.2. Historia de la Realidad Virtual	8
2.1.3. Tipos y Características	9
2.2. Realidad Aumentada	13
2.2.1. Definición	13
2.2.2. Historia de la Realidad Aumentada	14
2.2.3. Tipos y Características	15
2.3. Realidad Mixta	19
2.3.1. Definición	19
3. Ámbitos de Aplicación y Modelos Implementados	21
3.1. Administración de Documentación Aeronáutica	21
3.2. Fiabilidad	26
3.3. Entrenamiento y Formación de Personal	27
3.4. Mantenimiento en Tierra o Remoto	31
3.5. Logística y Adquisición de Productos	36
4. Ventajas e Inconvenientes	39
4.1. Ventajas	39
4.2. Inconvenientes	40
5. Optimización	43
6. Conclusión	49
6.1. Líneas Futuras	51
7. Anexos	53
7.1. Pliego de Condiciones	53
7.2. Presupuesto	54

Índice de figuras

1.1.	Evolución del mercado de la Realidad Virtual [3]	3
1.2.	Predicción de mercado para 2025 de la Realidad Virtual y Aumentada aplicada a diferentes sectores [5]	4
2.1.	Comparación del primer estereoscopio con gafas de RV actuales [14]	8
2.2.	Triángulo de la Realidad Virtual [16]	10
2.3.	Ejemplo de Sistemas inmersivos [14]	11
2.4.	Ejemplo de Sistema semi-inmersivo [14]	12
2.5.	Ejemplo de Sistemas no inmersivos [14]	13
2.6.	Ejemplos de dispositivos de RA y RV actuales [13]	14
2.7.	Ejemplos de marcadores de RA [10]	17
2.8.	Ejemplo de sistema de geolocalización para RA	18
2.9.	Diagrama de Paul Milgram y Fumio Kishino [17]	19
2.10.	Comparación de Realidades [13]	20
3.1.	Diagrama de bloques del modelo para reducir texto de la documentación [18]	23
3.2.	Capturas del sistema SAMR de Blockchain [19]	25
3.3.	Esquema del modelo empleado para Fiabilidad [20]	27
3.4.	Esquema del proceso de implementación del sistema [9]	30
3.5.	Ejemplo práctico de uso de la Realidad Virtual y Aumentada al mantenimiento aeronáutico [23]	31
3.6.	Válvula del Sistema Anti-hielo [24]	32
3.7.	Interacción con el sistema Anti-hielo del ala en un entorno RV [24]	33
3.8.	Captura del resultado final de la aplicación de RV [24]	33
3.9.	Representación del helicóptero [25]	34
3.10.	Esquema del helicóptero con vista de planta [25]	34
3.11.	Modelo físico para apoyar la simulación virtual [25]	35
3.12.	Comparación de los tiempos de ejecución de las 11 tareas de mantenimiento [25]	36
3.13.	Esquema del modelo empleado para Fiabilidad [26]	38
5.1.	Movimientos posibles de la bacteria [28]	44
5.2.	Esquema del modelo propuesto para optimización [29]	45
5.3.	Esquema de un autoencoder [30]	46

Índice de Tablas

3.1. Propiedades de los Algoritmos Hash	25
3.2. Descripción de las tareas realizadas en el mantenimiento del helicóptero . . .	35
7.1. Coste del Material empleado en la realización del TFM	55
7.2. Coste de las licencias del Software empleado en la realización del TFM . . .	55
7.3. Coste de las horas empleadas por el personal en la realización del TFM . . .	55
7.4. Coste total en la realización del TFM	56

Nomenclatura

<i>2D</i>	Dos dimensiones
<i>3D</i>	Tres dimensiones
<i>AD</i>	Directiva de Aeronavegabilidad
<i>AR</i>	Augmented Reality
<i>CAD</i>	Computer-Aided Design
<i>CAVE</i>	Computer Automatic Virtual Environment
<i>CNL</i>	Controlled Natural Languages
<i>CPM</i>	Critical Path Method
<i>FAA</i>	Federal Aviation Administration
<i>GPS</i>	Global Positioning System
<i>HMD</i>	Head-Mounted Display
<i>IoT</i>	Internet of Things
<i>MBSE</i>	Model-Based Systems Engineering
<i>MR</i>	Mixed Reality
<i>MRO</i>	Maintenance, Repair, and Overhaul
<i>PERT</i>	Program Evaluation and Review Technique
<i>PMU</i>	Physical Mock-Up
<i>PSO</i>	Particle Swarm Optimization
<i>PSS</i>	Product-Service System
<i>QR</i>	Quick Response Barcode
<i>RA</i>	Realidad Aumentada
<i>RFID</i>	Radio Frequency Identification
<i>RHEA</i>	Realistic Human Ergonomic Analysis
<i>RM</i>	Realidad Mixta
<i>RV</i>	Realidad Virtual
<i>SAMR</i>	Secure Aircraft Maintenance Records
<i>STE</i>	Simplified Technical English
<i>SysML</i>	Systems Modeling Language
<i>UWB</i>	Ultra-Wideband
<i>VR</i>	Virtual Reality
<i>WCA</i>	Wasp Colony Algorithm
<i>Wi-Fi</i>	Wireless Fidelity
<i>WoW</i>	Window On World

Capítulo 1

Introducción y Objetivos

Actualmente, en nuestro día a día, observamos cómo cada proceso, desde lo más banal a lo más complejo, se va digitalizando y/o automatizando. Esto es consecuencia de un mundo que está en constante evolución, y más aún y con más rapidez, cuando hablamos de la tecnología aplicada a mejorar la calidad de vida de las personas, haciéndonos ahorrar tiempo y optimizando el resultado de cualquier proceso.

Podemos ver cómo las empresas son las primeras en aplicar estas mejoras, pues es parte de lo que se denomina transformación digital [1], concepto que se ha ganado la completa atención en todos los sectores de la industria. Consiste en un proceso evolutivo en el cual las distintas compañías emplean el desarrollo de la tecnología para aumentar la eficiencia, conseguir un mejor desempeño y alcance en la actividad de la misma. En muchas ocasiones es confundido en términos de marketing, pero no se queda simplemente ahí. Es un cambio más notorio en la forma de plantear la organización de la empresa, y situar en el centro a la tecnología, lo que implica grandes esfuerzos en gestión. Sin embargo, es una decisión que tendrá un impacto beneficioso para la empresa y sus empleados.

De hecho, es la última etapa de un proceso tecnológico conformado por otras dos etapas: la digitación y la digitalización. En otras palabras, la transición de emplear información analógica a una digital para, con ello, almacenar y administrar esa información de una manera más segura, fiable y eficiente. Incluye conceptos como el Internet of Things (IoT), Big Data, Blockchain, Fabricación Aditiva (Additive Manufacturing), Inteligencia Artificial, Deep Learning, Realidad Aumentada, Realidad Virtual, etc. Lo principal a conseguir es reducir los costes y mejorar la productividad y rendimiento de los empleados; teniendo como más importantes obstáculos a batir la necesidad de formar al empleado para usar esa tecnología y las dificultades técnicas que pueden venir de la mano de su uso.

La transformación digital es parte de la revolución tecnológica, o Revolución Industrial 4.0, la cual se halla en pleno apogeo. El comienzo de las revoluciones industriales han sido provocadas por innovaciones como lo fueron las máquinas de vapor para la primera, la producción en masa gracias a la aplicación de la electricidad a la industria y a la vida cotidiana para la segunda, la introducción de la electrónica y las tecnologías de la información y comunicación en el mundo laboral para la tercera, permitiendo esto poder automatizar ciertos procesos simples; y, por último, para la cuarta, la dotación a los componentes y productos

físicos de capacidades de computación y comunicación entre sí, otorgándoles así cierta inteligencia [1].

La Industria 4.0 es un concepto que aglutina el uso polivalente de la tecnología en el proceso de fabricación de cualquier tipo de producto facilitando la conexión y relación entre las distintas máquinas, piezas y operarios que componen una determinada producción. En definitiva, es amplia la cantidad de ventajas y oportunidades de crecimiento que esta revolución ha traído a las empresas. Sin embargo, esto requiere la adquisición, estudio y evolución de ciertas nuevas técnicas y tecnologías para poder dar pie al desarrollo de esta nueva revolución, lo que puede conllevar una gran inversión inicial.

Cuatro pilares definen esta citada revolución [2]:

- Interoperabilidad (*Interoperability*): Lo que se conoce, y que hemos mencionado previamente, como Internet Of Things (IoT). Es usada para conectar gente, sistemas, máquinas y robots a través de una red que permite la comunicación constante entre ellos con el objetivo de automatizar. IoT consiste en tres elementos fundamentales: sistemas de hardware como sensores, dispositivos de comunicación y actuadores; nube de componentes para procesamiento de datos y almacenamiento en línea; y herramientas de interpretación y visualización en línea.
- Transparencia en la Información (*Information Transparency*): Esta infinidad de datos ha de gestionarse de forma específica y no como tradicionalmente empleando el concepto de Big Data.
- Asistencia Técnica (*Technical Assistance*): El apoyo a los operadores en cuestión para visualizar y tratar la información cuando sea necesitado con, por ejemplo, la Inteligencia Artificial o Realidad Virtual.
- Decisiones Descentralizadas (*Decentralized Decisions*): Se propone el uso de máquinas inteligentes capaces de tomar decisiones de una forma automática y hacer así más simple el trabajo a realizar convirtiendo al operador en un supervisor.

Implementar estos cuatro fundamentos no es sencillo para una empresa, lo que nos lleva a encontrarnos con tres perspectivas desde donde ver las dificultades a abarcar: tecnológica, industrial, y empresarial [1]. Hace unos años no eran muchas las compañías que decidían implementar la tecnología que recoge la Industria 4.0, sin embargo, de dos años atrás en adelante, se están aprovechando, sino todas, gran parte de estas tecnologías como la Fabricación Aditiva, la Simulación, la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada.

1.1. Situación Actual

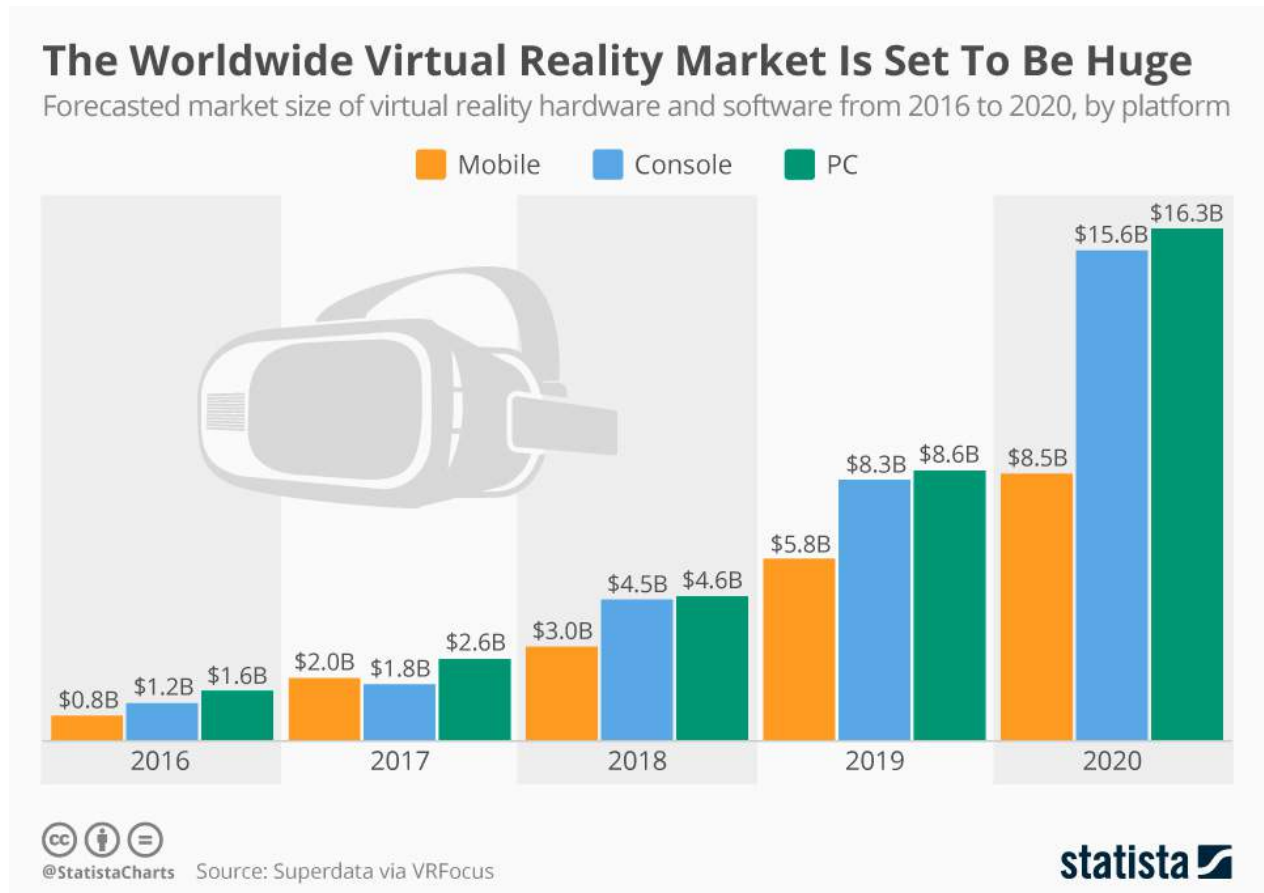


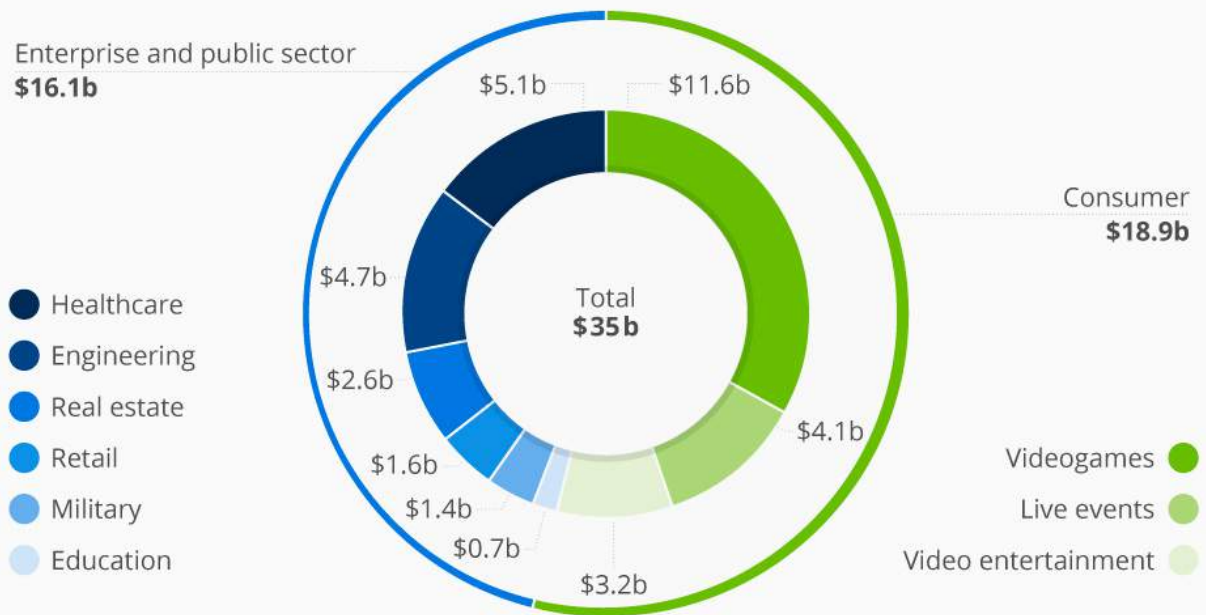
Figura 1.1: Evolución del mercado de la Realidad Virtual [3]

En concreto, el mercado muestra cómo la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada son dos de las principales tecnologías más prometedoras del momento, pues el actual y constante lanzamiento de nuevos productos (tanto software como hardware) para facilitar y agilizar la implementación de estas tecnologías es notable como vemos en la Figura 1.1, que conforme avanzan los años va aumentando la inversión en este mercado con un ritmo exponencial; y es que en tan solo en los dos últimos años se ha triplicado el consumo de este, y no tiene intención de quedarse ahí.

Según un estudio de la consultora ABI Research [4], el crecimiento anual del uso de la Realidad Virtual será del 106% en los próximos cinco años y gran parte de este crecimiento será para uso empresarial. Observamos en la Figura 1.2 la predicción de mercado para 2025 de la Realidad Virtual y Aumentada aplicada a diferentes sectores para estudiar el potencial de la aplicación de dichas tecnologías. En una primera observación, tenemos que la cantidad que el consumidor empleará será ligeramente superior a la mitad del dinero total invertido, comparándolo con las empresas y el sector público. Además, se puede vislumbrar de manera clara que la ingeniería, la salud y los videojuegos coparían el mercado; resultado que apoyaría lo explicado anteriormente.

The Diverse Potential of VR & AR Applications

Predicted market size of VR/AR software for different use cases in 2025*



* Base case scenario
 @StatistaCharts Source: Goldman Sachs Global Investment Research

statista

Figura 1.2: Predicción de mercado para 2025 de la Realidad Virtual y Aumentada aplicada a diferentes sectores [5]

Últimas adquisiciones que pueden enumerarse son las conocidas *Google Glass*, la gran compra de *Oculus* por parte de Facebook, las *HoloLens* de Microsoft..., entre otras [6]. A colación de la Figura 1.1, IDC pronostica que los ingresos invertidos en productos de este sector ascenderán a los 160.000 millones de dólares, lo que se traduciría en un 180% de aumento de mercado en los próximos años. Este dato sería mayor al otorgado por la referencia del apartado anterior, lo que puede deberse a la diferencia de fecha de cada uno de los estudios. Ya que, a pesar de tratarse de un año, en ese año se ha podido observar como ese crecimiento se augura aún mayor si cabe.

Son muchas las empresas que ya cuentan con este nivel de tecnología, y son más las que están en proceso de implementarla, entre ellas las pertenecientes al sector aeronáutico. No obstante, en estas últimas, se emplea con más reticencia que en el resto debido a la complejidad del área en cuestión.

1.2. Sector del Mantenimiento Aeronáutico

A pesar de que en la última década el avión se ha considerado el medio de transporte más óptimo, lo que ha causado que se mejore y se invierta en el sector del mantenimiento aeronáutico, éste aún emplea tecnología anticuada para gestionar la documentación aeronáutica. Una gestión eficiente que garantice la seguridad y la precisión demandadas por este sector para mantener la flota aeronavegable es primordial en esta industria en expansión [7]. Estudios recientes [8] muestran que el desembolso debido al mantenimiento de las aeronaves va a superar los treinta mil millones de dólares en la próxima década. Es por ello, que las operadoras aéreas y empresas de mantenimiento deben apostar por una tecnología innovadora que les permita afrontar estos gastos. Una tecnología que, en primer lugar, tenga en cuenta la complejidad del sistema (por ejemplo, el sistema incluiría varias aeronaves, varios tipos de aeronaves, distintos materiales, piezas distintas, horarios e inspecciones que cumplir, etc.). En segundo lugar, que optimice el tiempo disponible de la aeronave para su uso, esto es, se reduzca el tiempo que permanece en mantenimiento. Y, finalmente, que quede constancia de cada movimiento, reparación, inspección y más, teniendo la documentación de cada aeronave actualizada hasta el último detalle [7].

Hay varios tipos de mantenimiento: las comprobaciones e inspecciones rutinarias, para asegurarnos de la fiabilidad de diversas partes del avión; e inspecciones más minuciosas que se llevan a cabo cada cierto número de horas de vuelo, lo que se denomina Mantenimiento Programado. Asimismo, nos encontramos que existe el mantenimiento correctivo y el preventivo. El primero de ellos se realiza tras la ocurrencia de un fallo, mientras que el segundo, se realiza de manera proactiva anticipándose a un posible fallo [7].

Otra cuestión a tener en cuenta y que prima en este sector es la experiencia y conocimiento de los técnicos y mecánicos, lo cual solamente se puede adquirir con el propio trabajo real. Además, es un sector que aglutina diferentes especialidades de trabajo, lo que no ayuda al aprendizaje y formación de la labor concreta. Métodos como los manuales de entrenamiento o el *Job Shadowing* (“aprender mirando”) acaban no siendo efectivos y llevando más tiempo para el mismo resultado [9].

De este modo, se podrían aplicar tanto la Realidad Virtual como la Realidad Aumentada al mantenimiento aeronáutico para la administración de documentación del mantenimiento de la aeronave, para el entrenamiento y formación de técnicos, mecánicos y operarios, para la realización propia del mantenimiento en tierra, para un posible mantenimiento en remoto previo contacto con un experto, para el diseño y adquisición de productos, para analizar la fiabilidad de los componentes de la aeronave y programar así el mantenimiento preventivo, para reducir los errores propios del mantenimiento y reducir los accidentes...

1.3. Objetivo y Alcance del Trabajo

Este trabajo consiste en una investigación del estado actual de tecnologías tales como la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada, además de su posible y potencial aplicación al

ámbito del Mantenimiento Aeronáutico. Se estudiarán ambas tecnologías desde su definición, su historia y funcionamiento hasta diversas aplicaciones y usos. Se presentarán y analizarán las ventajas e inconvenientes de las mismas aplicadas al entorno aeronáutico. Se plantearán diversas formas de optimizar las tecnologías con el objetivo final de facilitar con ello su implementación práctica, y sea así viable su puesta en funcionamiento por parte de la empresa.

Con este trabajo se tendrá una amplia y clara visión de las tecnologías estudiadas siendo capaz de valorar y discutir la viabilidad de su aplicación al mundo del mantenimiento aeronáutico. Se ofrece información suficiente dentro de este ámbito para poder desarrollar un amplio sistema que cubra las distintas ramas propuestas definiendo las limitaciones e identificando así las mejoras que se podrían realizar de cara a su aplicación.

Capítulo 2

Realidad Virtual VS Realidad Aumentada

Como hemos visto en el anterior capítulo, la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada son dos de las tecnologías que, pertenecientes a la Industria 4.0, más interés están despertando desde el punto de vista empresarial, y es por ello, que las desarrollaremos en este trabajo. En este capítulo se pretende desarrollar los aspectos teóricos de ambas tecnologías de la misma manera que conocer su historia, sus tipos y sus características.

2.1. Realidad Virtual

2.1.1. Definición

La Realidad Virtual se trata de un concepto tan amplio que tiene muchas definiciones, y dependiendo del área en que se esté tratando, esta se centra en uno u otro aspecto de la misma. Vamos a enumerar ciertas definiciones y las analizaremos en consecuencia:

- La Realidad Virtual es una tecnología que sumerge al usuario en un mundo generado por ordenador, reemplazando su percepción del mundo real por un mundo totalmente artificial [10].
- La Realidad Virtual es un sistema informático utilizado para crear un mundo artificial en el que el usuario tiene la impresión de estar en ese mundo con la capacidad de navegar por él y manipular los objetos del mismo [11].
- Se conoce como Realidad Virtual a los sistemas de comunicación hombre-computador, como el guante de datos y el casco de visualización estereoscópica, que garantizan al usuario la ilusión de trasladarse a un lugar real o imaginario, pero fuera de su ubicación física [12].
- La Realidad Virtual, a veces también denominada “Realidad Artificial”, o “Ciberespacio”, es un entorno de escenas u objetos de apariencia real, que crea en el usuario la sensación de estar inmerso en él. Es una realidad digital, simulada, de tal manera que las aplicaciones de realidad virtual sumergen al usuario en un entorno artificial, generado

por ordenador, que simula la realidad mediante el empleo de dispositivos interactivos, que envían y reciben información, mediante el empleo de sensores y actuadores [13].

En definitiva, y teniendo en cuenta las definiciones previas, podemos definir la Realidad Virtual como una tecnología que crea un entorno de escenas y objetos de apariencia real, generado mediante tecnología informática, que provoca en el usuario la sensación de estar inmerso en él con la capacidad de navegar por él y manipular los objetos del mismo. Dicho entorno se contempla a través de un dispositivo conocido como gafas o casco de Realidad Virtual.

2.1.2. Historia de la Realidad Virtual

La mayoría de personas se pensará que la Realidad Virtual es una tecnología actual y moderna que ha surgido en pleno siglo XXI, y nada más lejos de la realidad, ya que fue en la primera mitad del siglo XIX cuando se tienen los primeros vestigios de este concepto, aunque aún no se denominó como tal. Comenzando por el siglo XIX, en 1838, fue diseñado el primer estereoscopio, Figura 2.1, unas gafas con las que se pretendía crear una imagen en tres dimensiones colocando dicha fotografía de forma distinta en cada ojo.



Figura 2.1: Comparación del primer estereoscopio con gafas de RV actuales [14]

En 1929, ya en el siglo XX, se desarrolló el primer *Link Trainer*, primer simulador de vuelo mecánico con el cual se instruyó a miles de norteamericanos. No es hasta 1958 que surge por primera vez el término de Realidad Virtual, junto con el primer casco. Con este casco se consiguió que con los propios movimientos de la cabeza del usuario se realizarán los desplazamientos. Tan sólo 9 años después, en 1967, se desarrolló el primer programa informático de Realidad Virtual del que gran parte del concepto de esta tecnología proviene. Se trató de un programa que trataba de representar un mundo virtual con el uso de imágenes en tres dimensiones, aceleradores y datos almacenados.

En la década del 1970 se creó el sistema *Grope II*, el cual permite la visualización de moléculas complejas, lo que supuso la incorporación de esta tecnología a otro tipo de sector, como lo es la salud. A finales de esta década, 1979, es cuando surgió el primer simulador de vuelo desarrollado exclusivamente con tecnología informática. En 1982, Jaron Lenier presenta el guante de datos que permitía realizar el desplazamiento por los mundos virtuales, más cómodo, según qué uso, que el propio movimiento de la cabeza [13] [14].

En el año 1992, en el Laboratorio de Visión Electrónica de Chicago, se inventó el sistema *CAVE* (Computer Automatic Virtual Environment). Este sistema inmersivo está basado en la proyección de imágenes sobre las paredes, usadas como pantallas de retroproyección, y empleando el concepto de visión estereoscópica (imágenes en 3D) para dar sensación de profundidad, de forma que varias personas son capaces de interactuar entre ellos dentro del entorno virtual creado. Esto nos enlaza a lo que podríamos denominar como la actualidad de la Realidad Virtual, en la que, cualquier persona tiene en su mano un smartphone. El cual mediante el uso de giróscopos detecta el movimiento del mismo y permite visualizar contenidos virtuales en la pantalla. También se cuenta con gafas, que como dispositivo puede permitir el movimiento de la misma manera que con el smartphone pero en un ordenador [15].

2.1.3. Tipos y Características

Generalmente, la tecnología de la Realidad Virtual que posibilita que el usuario interactúe con el propio entorno virtual cuenta con los siguientes elementos [15]:

- **Sensores:** Para obtener la información a usar por el sistema.
- **Aplicación:** Para procesar toda la información y ejecutar lo correspondiente.
- **Procesador:** Se trata del hardware que ejecuta todo el procesamiento.
- **Actuadores (periféricos):** Son los elementos que envían los controles al sistema.
- **Display:** Para mostrar al usuario el entorno con el que se propone interactuar.
- **Cascos de RV:** Actúa como periférico, para captar y transmitir el movimiento, y visualizar de una forma más realista el mundo virtual.

Características de la Realidad Virtual

La Realidad Virtual presenta tres principales características [16], que se conocen como las “3 I”, las cuales forman el triángulo de la Realidad Virtual. Como vemos en la Figura 2.2, este triángulo está formado por:

- **Inmersión:** Es la pérdida del sentido de la realidad al percibir únicamente los estímulos del mundo virtual. El nivel de inmersión dependerá del contacto que éste posea con el entorno real.
- **Imaginación:** Es la exteriorización de lo que el usuario desea hacer dando lugar a la posibilidad de concebir y percibir realidades no existentes.

- Interacción: Es la interacción del usuario con el mundo virtual por medio de los dispositivos y la obtención de una respuesta a través de sus sentidos generando emociones. La interacción está muy ligada al concepto de *en tiempo real*, ya que permite distinguir, por ejemplo, de una fotografía 3D tomada en tiempo real pero que no se puede interactuar, o viceversa.

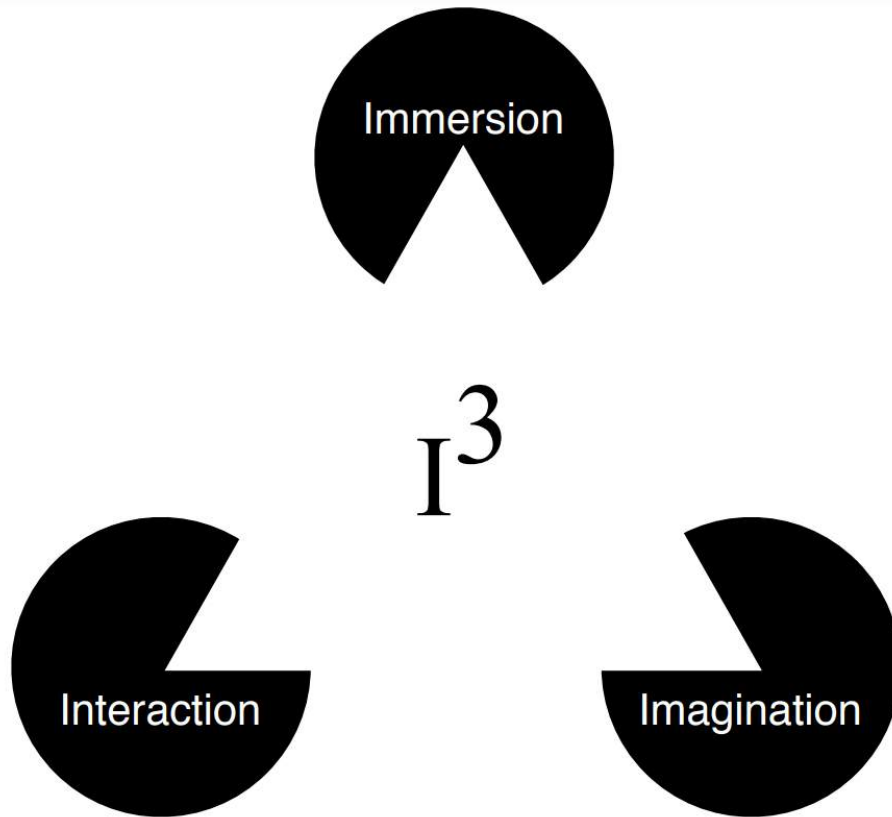


Figura 2.2: Triángulo de la Realidad Virtual [16]

Una de estas tres cualidades de la Realidad Virtual nos permitirá definir, como vemos a continuación, una clasificación de la misma. Previamente, estableceremos diferentes sistemas de Realidad Virtual en función del tipo de hardware empleado [15], que como veremos presentará similitudes con la siguiente clasificación.

Sistemas Window On World (WoW)

Se caracteriza por mostrar en un monitor o pantalla de proyección una imagen 2D ó 3D. Es el caso de la mayoría de los videojuegos y de uso doméstico, en los que el usuario se encuentra en primera persona.

Realidad Virtual en Segunda Persona

El usuario es un integrante del mundo virtual, por tanto, se ve a sí mismo y se sitúa dentro de la escena como proyección en un fondo o ambiente.

Sistemas de Telepresencia

Emplea dispositivos de grabación y dispositivos táctiles, permitiendo controlar de forma remota ciertos robots experimentados en forma virtual. Se denomina telepresencia debido al hecho de manifestarse en un mundo virtual como un ente presente.

Sistemas de Inmersión de Realidad Virtual

Este tipo sumerge al usuario en el mundo virtual haciéndole formar parte de dicho mundo utilizando sistemas visuales como CAVE, con sensores de posición y movimiento.

Tipos de Realidad Virtual

La Realidad Virtual se puede clasificar en tres distintos tipos [14]: Sistemas inmersivos, semi-inmersivos y no inmersivos.

Sistemas inmersivos

Estos sistemas permiten al usuario sentirse parte del mundo virtual sin tener contacto ninguno con la realidad. Se precisaría portar necesariamente una serie de dispositivos como gafas de RV para smartphone o para ordenador para que el usuario logre sumergirse por completo en ese mundo virtual. Con esto, el resultado principal que se consigue es que la persona o usuarios se sientan que realmente son parte de ese mundo.



Figura 2.3: Ejemplo de Sistemas inmersivos [14]

- (a) Montaña rusa que utiliza RV para simular una aventura espacial (b) Aplicación móvil que simula una montaña rusa sin movimiento corporal

Sistemas semi-inmersivos

También conocidos como sistemas de proyección. En este tipo de sistema, la línea que distingue el mundo real del virtual se vuelve más difusa para el usuario. Se trata de una proyección en cuatro pantallas situadas en disposición de cubo (tres en las paredes y otra en

el suelo), rodeando al usuario. Para interactuar con las diferentes pantallas, es necesario el uso de unas gafas que permita el seguimiento del movimiento de la cabeza.

Este tipo de sistemas tiene en común con los sistemas inmersivos que es necesario los dispositivos para interactuar con el mundo virtual, sin embargo, se diferencian en el desarrollo tecnológico y en la experiencia de usuario:

- Desarrollo tecnológico: hay sectores que no cuentan aún con la tecnología suficiente para la introducción de los sistemas inmersivos, lo que causa que aún queden algunos problemas por resolver. Uno de ellos es la cinetosis, esto es, la aparición de náuseas, vómitos y síntomas producidos por la no coordinación de la vista y el oído durante una experiencia virtual con mucho movimiento. Dicho de otro modo, la vista envía una señal de movimiento al cerebro mientras que el oído interno percibe que no existe ningún movimiento, por lo que envía al cerebro una señal de que el cuerpo se encuentra total o parcialmente parado.
- Experiencia de usuario: Los sistemas inmersivos alteran los sentidos del usuario y lo expulsa de la realidad en la que se encuentra actualmente. Los sistemas semi-inmersivos, en cambio, no sumergen totalmente al usuario en un mundo virtual, sino que permiten que éste mantenga un contacto mínimo con la realidad.



Figura 2.4: Ejemplo de Sistema semi-inmersivo [14]

Sistemas no inmersivos

Llamados también sistemas de escritorio, ya que lo único que se precisa es la pantalla de un ordenador, y la interacción se consigue con sistemas básicos como el teclado, el ratón, etc. Se le define como no inmersiva porque el usuario tiene mayor conciencia de que está en una realidad simulada. Las empresas suelen utilizar este tipo de sistemas para el entrenamiento y la formación de empleados a través de la simulación de las situaciones respectivas según la función de la empresa. Con ello, es a la hora de ofrecer entretenimiento cuando son los más utilizados.



Figura 2.5: Ejemplo de Sistemas no inmersivos [14]

(a) Persona con accesorios básicos de un ordenador para RV (b) Persona ante tres pantallas de ordenador

2.2. Realidad Aumentada

2.2.1. Definición

Con la Realidad Aumentada ocurre como con la Realidad Virtual, presenta muchas definiciones según el área de conocimiento que la desarrolle al ser un concepto tan extenso. De nuevo, enumeremos algunas de ellas y analicemos:

- La Realidad Aumentada es una tecnología emergente que permite disfrutar de experiencias en las que se añade contenido digital a nuestro mundo real, aumentando la percepción que tenemos del mismo [10].
- El uso de gafas transparentes en las que un ordenador muestra datos para que el espectador pueda ver simultáneamente escenas generadas por ordenador y del mundo real es lo que se puede conocer como Realidad Aumentada [11].
- La Realidad Aumentada es cuando una persona escoge fiarse del mundo real como franja de referencia pero utiliza una presentación transparente (y no opaca) u otros medios no intrusivos para aumentarla, por ejemplo, una superposición esquemática del motor de un automóvil [12].
- La realidad aumentada designa a una representación de la realidad, visualizada a través de un dispositivo tecnológico, con información digital añadida por éste. Se combinan elementos físicos tangibles con elementos virtuales, creándose así una realidad aumentada (enriquecida) en tiempo real [13].

Finalmente, consideramos las definiciones previas, para definir la Realidad Aumentada como una tecnología que representa la realidad de una forma totalmente inmersiva con un entorno construido de manera artificial a través de imágenes, sonidos, etc. lo que permite añadir contenido adicional aumentando y enriqueciendo nuestro mundo real. Esto es, nuestro propio mundo se convierte en el soporte para colocar objetos, imágenes o similares.

2.2.2. Historia de la Realidad Aumentada

Se tiene el erróneo pensamiento de que la Realidad Aumentada, al igual que la Realidad Virtual, es una tecnología actual. Esta empieza a desarrollarse casi un siglo después, ya que no es hasta 1962 que aparece el primer instrumento que refleja esta tecnología. Fue con *Sensorama* de Morton Heilig, prototipo que ampliaba la experiencia del espectador con cortometrajes por medio de los sentidos con imágenes tridimensionales, vibraciones, sonidos e incluso olores. En 1992 fue ideado el término de Realidad Aumentada por Tom Caudell junto con los sistemas *HMD* (Head-Mounted Display) que permitió a los ingenieros ensamblar complejos cableados en las aeronaves.

Desde entonces se fueron desarrollando nuevos modelos y aplicaciones con esta tecnología, y el periodo de mayor auge ha sido realmente en el mismo siglo XXI. En 1999 vino de la mano de Hirokazu Kato, un gran avance en el desarrollo de esta tecnología, y fue *ARToolkit*, una gran biblioteca de herramientas para crear aplicaciones de Realidad Aumentada, haciendo más accesible esta para investigadores y desarrolladores. A partir del 2006 y gracias al mundo de los videojuegos, se empezaron a mejorar las tarjetas gráficas y procesadores computacionales dando lugar a experiencias de Realidad Aumentada cada vez más complejas. En 2009 comenzó la implementación de la tecnología a smartphone y se empieza a explotar de forma publicitaria [10] [14].













			
HTC Vive Pro Eye	Oculus Quest	Google Cardboard	Valve Index
			
Dcooler VR	Recon Jet	Microsoft HoloLens 2	Oculus Go
			
Epson Moveiro BT-300	Zeiss VR Plus One	DJI Goggles Racing	Google Glasses

Figura 2.6: Ejemplos de dispositivos de RA y RV actuales [13]

Actualmente, se sigue desarrollando gracias a la revolución de la que hemos hablado al principio de este trabajo, la Industria 4.0, con dispositivos como las *Oculus Rift* de Palmer Luckey en 2012, las *HoloLens* de Microsoft en 2015, las *Google Glass*, lanzadas en 2017, y así hasta hoy [13].

2.2.3. Tipos y Características

Por su parte, la tecnología de la Realidad Aumentada necesita disponer de los siguientes elementos [15]:

- Sensores: Para obtener la información a usar por el sistema.
- Aplicación: Para procesar toda la información y ejecutar lo correspondiente.
- Procesador: Se trata del hardware que ejecuta todo el procesamiento.
- Actuadores (periféricos): Son los elementos que envían los controles al sistema.
- Display: Para mostrar al usuario el entorno con el que se propone interactuar.
- Cámara: Para obtener las imágenes del mundo real.
- Marcadores: Para indicar al sistema en qué momento y lugar dentro del entorno virtual colocar la correspondiente información.
- Dispositivos *HMD* (cascos o gafas): Tienen la misma función que los cascos de RV, y pueden tener pantalla incorporada.

Características de la Realidad Aumentada

Como primera distinción dentro de Realidad Aumentada, podemos diferenciar distintos displays dependiendo del método de proyección entre cerrados, o *Closed-view*, que no permiten observar el mundo real; y abiertos, o *See-through*, que sí posibilitan observarlo [15]:

- Dispositivos de vídeo: Recogen la imagen del mundo real con una cámara, se combina la imagen virtual y se proyecta la representación completa en un casco HMD, por ejemplo.
- Dispositivos ópticos: Permiten la visión del mundo real a través una pantalla transparente, y en él se proyecta la información virtual, como unas gafas.
- Sistema basado en monitores: Funciona similar que los dispositivos de vídeo, solo que la proyección se realiza en una pantalla de un ordenador.

Para realizar una aplicación de Realidad Aumentada, se han de emplear distintas tecnologías de seguimiento: basadas en sensores, basadas en visión por computador o híbridas [17].

Tecnologías de seguimiento basadas en sensores

Este tipo de tecnología, como el *Wi-Fi*, el *Bluetooth*, *UWB*, *RFID*, y más, eran, hace más de una década, las predominantes en cuanto a seguimiento y localización. Ahora, se siguen empleando, pero junto con otras técnicas de visión que mejoran los resultados y prestaciones de estos. Estas técnicas de seguimiento requieren de gran inversión en una infraestructura de soporte, si no se cuenta con ella, ya que se basan en la comunicación entre un transmisor y un receptor.

Además, son altamente empleadas en posicionamiento indoor o en interiores, dónde se consigue gran precisión, mientras que en exteriores, esta precisión es menor conforme mayor es la distancia. Una desventaja de esta solución, es la reflexión y/o absorción de las ondas electromagnéticas en pantallas o láminas de materiales metálicos (fenómeno de apantallamiento), lo cual para el caso que nos ocupa, que es el entorno aeronáutico con aeronaves de fuselajes metálicos, sería un gran inconveniente.

Tecnologías de seguimiento basadas en visión por computador

Este otro tipo se basa en la captación de imágenes (o marcadores como veremos en el siguiente apartado). Si bien las imágenes pueden ser códigos de barras, QR o Bidi, que son fáciles de reconocer debido al mayor contraste entre los elementos que le rodean y conlleva poco procesamiento; o bien pueden ser objetos físicos de la propia escena, lo que hace más compleja la percepción.

Tecnologías de seguimiento híbridas

Por último, estas tecnologías, acompañan las técnicas de visión con otras como el GPS, giróscopos, o acelerómetros y así obtener la posición sin necesidad de procesamiento de imagen.

Tipos de Realidad Aumentada

Se proponen dos tipos de Realidad Aumentada [14]: la Realidad Aumentada basada en marcadores y la Realidad Aumentada basada en geolocalización.

Realidad Aumentada basada en marcadores

Un marcador es una pieza gráfica que la cámara puede detectar, este puede ser una imagen, un logo, o cualquier objeto que pueda ser distinguido por la cámara. Los marcadores pueden clasificarse según su complejidad [10] [13]:

- Nivel 0: Hiperenlaces en el mundo físico (como los códigos QR). Es la Realidad Aumentada más básica, en la que al escanear un código bidimensional, accedemos desde el mundo real a información muy variada.

- Nivel 1: Imágenes en blanco y negro. Se trata de la forma más popular de Realidad Aumentada, en la que en lugar de escanear códigos, se emplean símbolos impresos sobre los que se localiza la información digital al ser reconocidos por el software.
- Nivel 2: Se usa directamente el GPS y la brújula. En esta no se emplean marcadores como tal, sino que se reconocen imágenes en sí mismas y es considerada el futuro de la Realidad Aumentada.
- Nivel 3: Visión aumentada con gafas o lentillas biónicas facilitando una experiencia personal e inmersiva. Se define como el siguiente paso en esta tecnología.

Su finalidad es activar la RA para lo que necesita de los siguientes elementos:

- Activadores: Se trata de las imágenes, objetos, códigos QR, etc. que activarán la aplicación para ejecutar el resultado final.
- Dispositivo de captura: La cámara, como hemos comentado, de un smartphone, o similar.
- Dispositivo de proceso: Una aplicación desarrollada que ejecute la información demandada por el activador.
- Dispositivo de proyección: Una pantalla donde se proyectará la información que aporta el activador.

El procedimiento es simple, en primer lugar se ha de definir y situar el marcador. Seguidamente, reconocerla con alguna aplicación, la cual ejecutará automáticamente la cámara de fotos y escaneará el marcador. Finalmente la aplicación ejecutará la correspondiente y mostrará lo demandado por el marcador en la ubicación designada por el mismo.



Figura 2.7: Ejemplos de marcadores de RA [10]

Realidad Aumentada basada en geolocalización

Para el funcionamiento de este tipo de Realidad Aumentada el usuario ha de activar la función de la ubicación de su smartphone. Recientemente se han desarrollado y lanzado diferentes aplicaciones conocidas como navegadores de Realidad Aumentada, las cuales se utilizan por los usuarios para encontrar y superponer información acerca de los puntos de interés que se localizan en su entorno. Para la normal utilización de estos navegadores, es necesario emplear tanto la cámara, la pantalla, y el procesador, así como, el hardware de geolocalización del dispositivo:

- GPS: calcula y obtiene la ubicación del usuario.
- Acelerómetro: calcula y obtiene la actitud del dispositivo.
- Brújula: muestra la dirección en la que apunta la cámara del dispositivo.



Figura 2.8: Ejemplo de sistema de geolocalización para RA

2.3. Realidad Mixta

2.3.1. Definición

En la Figura 2.9 vemos el diagrama de Paul Milgram y Fumio Kishino con el que se plantea el concepto de Realidad Mixta. Esta Figura muestra la transición entre el mundo real y el mundo virtual, y cómo en el espacio medio surge la Realidad Mixta. De hecho, la Realidad Mixta se define como una combinación entre Realidad Virtual y Realidad Aumentada que permite la creación y representación de espacios en los que tanto objetos y personas reales como virtuales interactúan entre sí. El usuario se sumerge en una realidad mixta que combina elementos del mundo real con elementos creados de forma digital, permitiéndole diferenciar una realidad de la otra. Esta se subdivide en dos partes: la parte de la realidad más próxima a un entorno real (Realidad Aumentada) y la parte de la realidad más cercana a un entorno virtual (Realidad Virtual) [13] [14].



Figura 2.9: Diagrama de Paul Milgram y Fumio Kishino [17]

Se emplean cascos y gafas, pero no ocurre como en las aplicaciones de Realidad Virtual, que aíslan al sujeto del mundo real, sino que le permiten recibir estímulos simultáneamente de ambos ambientes. Se añaden objetos reales en el entorno creado virtualmente, y objetos virtuales en el entorno real. Esta adición de elementos reales en el entorno virtual se realiza registrando en tiempo real el ente físico real, a través de la interfaz informatizada. Por otro lado, la introducción de elementos virtuales en entorno real se hace por medio de marcadores, como hemos visto con la Realidad Aumentada.

Se consigue asimismo hacer indistinguibles las fronteras entre el usuario, su entorno, y la información que intercambian. Además, la realidad mixta no solo posibilita la interacción del usuario con el entorno virtual, sino también que objetos físicos del mundo real sirvan como elementos de interacción dentro del mismo entorno virtual. En definitiva, podemos entender la Realidad Mixta como una mejora de la Realidad Aumentada [13].

A modo de resumen, podemos establecer la siguiente comparativa enumerando las siguientes diferencias y similitudes (ver Figura 2.10) [13]:

- En RV la inmersión del usuario es total, y en RA y RM la inmersión no es absoluta.
- En RV se crea una nueva realidad que es plenamente virtual, mientras que en RA y RM simplemente se modifica la realidad, mezclando así lo real con lo virtual. De forma

que, RV no presenta contextualización ninguna, RA presenta una contextualización limitada y RM dispone de una ambientación completa.

- RV necesita de mayor potencia de procesamiento y, por tanto, mayor gasto en tecnología, que RA y RM.
- En RA es suficiente con una aplicación para poder emplear esta tecnología, sin embargo, con RV y RM hace falta dispositivos propiamente desarrollados para ello.
- Como hemos visto, RA y RV se pueden unir dando lugar a RM, luego hay compatibilidad entre las tecnologías.

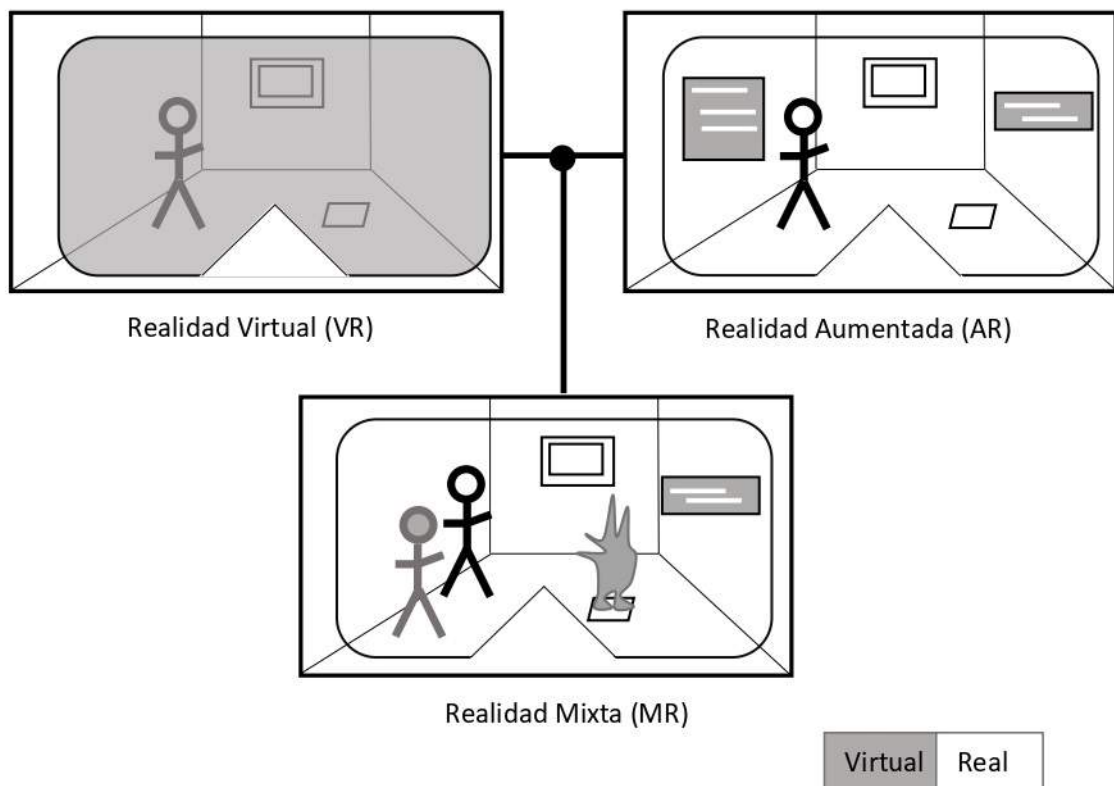


Figura 2.10: Comparación de Realidades [13]

Capítulo 3

Ámbitos de Aplicación y Modelos Implementados

Tras tener un amplio concepto con el capítulo anterior de cómo funcionan las tecnologías a emplear y sus características pasamos a conocer su aplicabilidad dentro del sector del mantenimiento aeronáutico. En este capítulo se presentará un compendio de los distintos usos más destacados en los diferentes ámbitos de aplicación de estas tecnologías con los modelos y software aplicados para resolver las diversas complicaciones que pueda presentar cada uso.

El ocio y el entretenimiento ha sido el uso más empleado de estas tecnologías, pero a día de hoy, la variedad de aplicaciones está en continuo crecimiento. La Realidad Virtual fue la pionera, mientras que la Realidad Aumentada está en su punto más alto actualmente debido a la facilidad de hardware que ofrece.

3.1. Administración de Documentación Aeronáutica

La transformación digital mencionada incluida dentro de la Industria 4.0, también atañe a la documentación técnica. Se propone la digitalización de la misma, empleando nuevos manuales digitales que se vayan introduciendo de forma progresiva en las empresas; en las que, por supuesto, seguirán usándose los manuales en papel, al menos hasta que se afiance esta conversión. La mejor tecnología para implementar esto parece ser la Realidad Aumentada, ya que presenta una alta efectividad en cuanto a presentación de información en asistencia remota y detección y localización de puntos determinados para realizar el mantenimiento o inspección [18].

Modelo 1: De Documentación en Papel a Documentación RA

Este modelo propone un método para reducir el texto en la documentación técnica por medio de la introducción de manuales basados en Realidad Aumentada. Ya que, de hecho, la mayor parte de esta documentación se trata de planos, gráficas, instrucciones, etc. El método se basa en el análisis de los verbos de acción utilizados en las *Task Cards* (Tarjetas de

Trabajo), y hace uso del Inglés Técnico Simplificado (STE) para el resto de las instrucciones para hacerlas más simples. Además, separa entre instrucciones a seguir con ayuda de objetos visuales, e instrucciones a seguir con únicamente texto.

En muchas de las metodologías implantadas para resolver esta problemática, basan el uso de la Realidad Aumentada meramente en la representación de modelos 3D sobre el entorno real. Además, según la complejidad que tenga la tarea, como hemos comentado, se necesitarán instrucciones más desarrolladas con aspectos visuales, mientras que otros con solamente texto sea suficiente. Es por ello, que este modelo sugiere la conversión de la documentación técnica tradicional a una mucho más visual y enteramente digital, teniendo en mente la creación de una documentación técnica de Realidad Aumentada [18].

Este proceso no es simple, y conllevaría muchos recursos y tiempo invertido, por lo que hacerlo de forma gradual es lo sugerido. El método comienza el cambio con el análisis de la información ya disponible en los manuales, se procesan y se obtienen en el nuevo formato (*Augmented Text*). El siguiente paso sería empezar desde cero la documentación y darle una vuelta de hoja añadiendo contenido visual como imágenes o vídeos que apoyen el poco texto que sea necesario (*Augmented Images*) con la consecuente reducción de texto. Finalmente, el último paso (*Augmented Reality*) consistiría en usar esto anterior y apoyarlo con modelos en 3D o gráficos en 2D sobre la escena real. Sin embargo, esto último no sería tan inmediato, al no haber un procedimiento estandarizado a seguir.

Así, se procede a mejorar la legibilidad de los manuales con el primer paso descrito en el párrafo anterior mediante el uso de CNL, o *Controlled Natural Languages*. Esto es, se usa una versión restringida del lenguaje elaborada específicamente para el propósito en concreto. La elegida es la diseñada para la industria aeroespacial, ya comentada previamente, y es la versión STE. Como se dijo al inicio de este apartado, se tendrán en cuenta los verbos de acción, aunque el número de estos verbos es excesivo si se plantea relacionar cada uno con determinados aspectos visuales. Se diferencia, debido a esto, en dos tipos de verbos: de bajo y alto nivel; los segundos no se relacionarán con ningún aspecto visual por simplificar. La distinción usada se basa en el número de significados o de aplicaciones que pueda tener el verbo en cuestión. Si es un verbo con poca capacidad de confusión, por ejemplo, abrir, se establecerá como de bajo nivel; mientras que i.e., mover, que puede tener más variedad de posibilidades, se considera como de alto nivel [18].

El procedimiento propuesto a seguir queda recogido en el diagrama de bloques de la Figura 3.1 y consistiría, resumiendo en:

1. Leer las instrucciones y separarlas por acciones.
2. Comprobar si los verbos usados cumplen reglas del STE (por ejemplo, en inglés: *loosen* es verbo STE, y *unscrew* no lo es, aunque signifiquen lo mismo).
3. Seleccionar los verbos de acción que cumplan las reglas del STE.
4. Reemplazar los verbos anteriores de bajo nivel por su correspondiente aspecto visual.

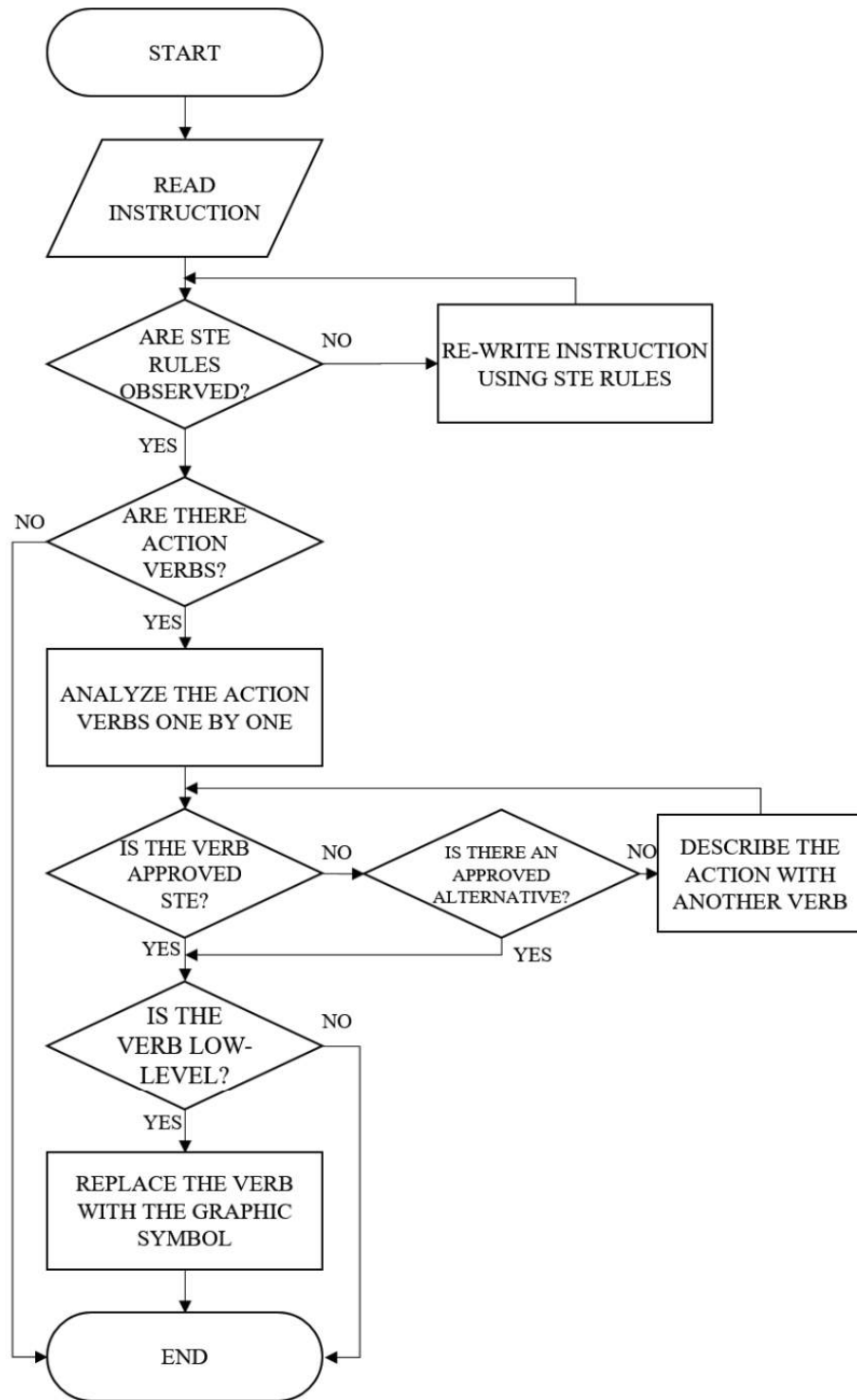


Figura 3.1: Diagrama de bloques del modelo para reducir texto de la documentación [18]

De esta manera, se asegura que con este modelo se asientan las bases para que en un futuro se implemente el resto del proceso descrito y se tengan manuales 100% basados en Realidad Aumentada.

Modelo 2: Tecnología Blockchain para Documentación Aeronáutica

La necesidad de mejorar y ampliar la integridad y la transparencia de la información referente a los registros de mantenimiento de una aeronave es primordial para el avance del sector. En este modelo se estudia el empleo de la tecnología de Blockchain, o cadena de bloques. Un registro físico tiene altas probabilidades de extraviarse o ser dañado, lo que causa que la aeronave se declare como no aeronavegable. Con este modelo se pretende desarrollar un sistema de seguridad Blockchain que almacene todos los registros e información de la aeronave relacionados con su mantenimiento en una especie de librería digital.

Otro aspecto a añadir sería a la hora de la compraventa del avión. Un registro incompleto o inexistente por pérdida hace que el precio del mismo se devalúe hasta un 50%, ya que el comprador se sentirá inseguro a la hora de adquirirlo debido a la falta de documentación que pueda recoger el historial de dicho avión (horas de vuelo y ciclos de vuelo), el tiempo de cada componente, motor y sistemas de la aeronave, y el cumplimiento con cada Directiva de Aeronavegabilidad (AD).

La FAA tiene unas directrices, pautas y regulaciones muy estrictas en cuanto a los registros de la información de la aeronave se refiere. Sin embargo, no indica nada acerca del método de almacenamiento de la misma, y es aquí, donde entra el siguiente modelo. Se propone un sistema de seguridad Blockchain llamado *Secure Aircraft Maintenance Records* (SAMR), para almacenar información de las aeronaves de forma transparente, segura y eficiente. Se ejecuta con un servicio de código abierto como es *Hyperledger*, de Linux. Emplea una estructura de datos de forma que todos los participantes y las partes autorizadas tienen la capacidad de ver toda la información con lo que se promueve la fiabilidad, la transparencia, la flexibilidad y el cumplimiento de la FAA, características necesarias a cumplir de la documentación aeronáutica [19].

La integridad de los datos se consigue con el uso de *hash*. Mediante el uso de hashes, se consigue verificar que la cadena de bloques no ha sido manipulada o alterada. El término de *hashing* se define como la creación de una huella digital que convierte una entrada de cierta longitud en salidas cortas y de longitud fija. Cada bloque de la cadena de bloques computa un valor hash en lo que se conoce como función *digest*, o función resumen. Esta función es la prueba que hace al usuario ver que los datos en el bloque son seguros y su integridad sigue siendo válida. Bitcoin y la cadena de bloques SAMR utilizan dos métodos similares de hash de datos, pero que son diferentes en el cálculo de la función digest.

Existen diferentes algoritmos que implementan funciones similares pero con sus peculiaridades, como SHA-224, SHA-256, SHA-384, SHA-512, etc. Por ejemplo, Bitcoin usa el SHA-256, mientras que SAMR usa el SHA-512. Podemos observar las diferencias de ambos algoritmos en la Tabla 3.1, el algoritmo SHA-512 dobla en tamaño requerido para emplear la función digest que el SHA-256, a cambio de una pequeña ventaja en la velocidad de procesamiento según el tipo de arquitectura del software [19].

Algoritmo	Tamaño del mensaje	Tamaño del bloque	Tamaño del Digest
SHA-256	264	512	256
SHA-512	2128	1024	512

Tabla 3.1: Propiedades de los Algoritmos Hash

Para desarrollar este modelo se ha empleado concretamente la versión 16.04 de Ubuntu, junto con Python 3.5. Tanto el desarrollo de la aplicación como la implementación del Blockchain se han realizado con el lenguaje de programación Python, que es originario de Hyperledger Sawtooth.

Con el objetivo de demostrar su correcto funcionamiento, se plantea el siguiente escenario ficticio: un hombre, Charlie, que es propietario de una aeronave Cessna 172S del 2015 con matrícula N12345, que empieza a notar durante un vuelo que la puerta vibra más de lo usual. Tras inspeccionarlo por Mike de la empresa de mantenimiento Aero Aviation, resulta que un tornillo debe reemplazarse por encontrarse dañado. Mike, tras realizar la reparación y haciendo uso del sistema estudiado, introduce los siguientes datos mostrados en la Figura 3.2a. Tras un proceso de verificación, aceptación y validación de la orden enviada por Mike, esta queda almacenada en el sistema encriptada y segura; para que, cuando sea necesario rescatar dicha información, esté disponible al momento en un formato más amigable para la vista como se muestra en la Figura 3.2b.

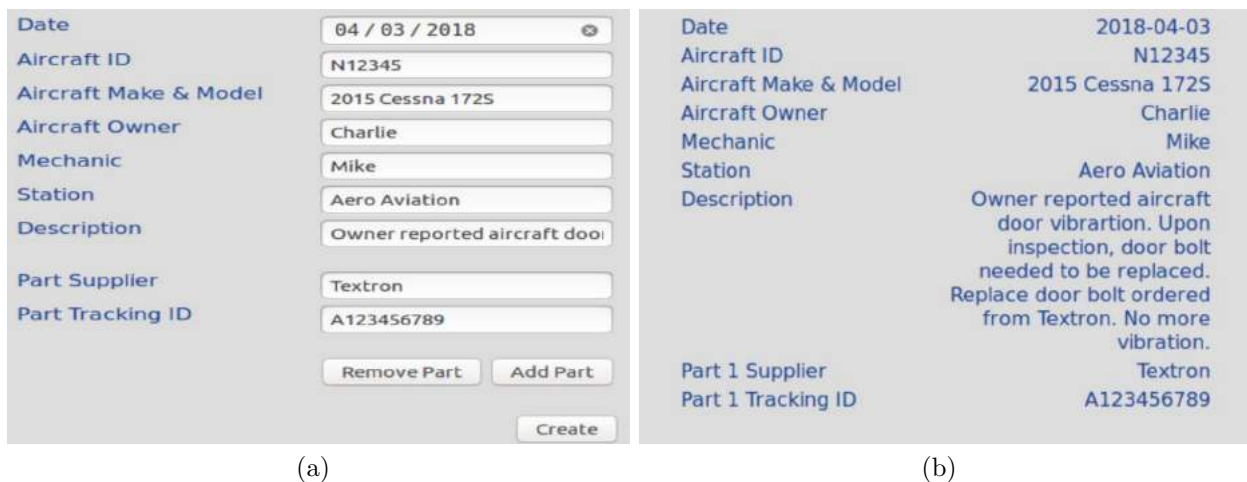


Figura 3.2: Capturas del sistema SAMR de Blockchain [19]

(a) Introducción de datos al sistema (b) Visualización de la información del sistema

Como vemos, se trata de un sistema robusto para almacenar los registros del mantenimiento de aeronaves, y que cumple con las especificaciones demandadas por la FAA con las siguientes características:

- Contenidos Requeridos: se añaden todos los campos demandados por la FAA típicos de un registro de aeronave, pudiendo añadir todos los necesarios.

- Capacidad de añadir nuevo contenido: si más adelante hiciera falta seguir añadiendo contenido por demanda directa de la Autoridad Competente, el sistema lo permite, pudiendo almacenar información de manera indefinida.
- Continuidad de los Registros: en caso de quedar sin internet, el sistema es capaz de almacenar la última versión de la información antes del suceso, y recuperarla cuando vuelva a haber conexión.

3.2. Fiabilidad

En el marco del mantenimiento aeronáutico, no solo es importante, como hemos estudiado, la administración de la documentación pertinente. También prima el buen uso y análisis de esta para reducir el tiempo de las tareas de mantenimiento e inspecciones para que el avión esté disponible lo antes posible. Todo esto, además, garantizando la mayor seguridad para ello en todo momento. Este concepto va ligado al de mantenimiento preventivo, y es lo que conforma el término de fiabilidad. La fiabilidad consiste en hacer un estudio estadístico de los componentes críticos de la aeronave o aquellos componentes que hayan ocasionado fallos o retrasos, para anteponerse al fallo y actuar antes de que ocurra. Con ello se consigue, una operación más segura, eficiente, reducir los errores y los accidentes.

Modelo: Realidad Mixta aplicada al Mantenimiento Aeronáutico

El modelo que se propone en este estudio a analizar [20] pretende implantar la Realidad Mixta para abordar la mejora de este concepto con la integración de tres sistemas: sistemas propios de RM, modelos CAD y sistemas predictivos de mantenimiento (Intelligent Maintenance System).

Se plantean varios problemas que surgieron al hacer el estudio:

1. El dispositivo de visualización utilizado, ya que si se emplea HMD, este puede ser demasiado invasivo para el mecánico u operario, y reducir la movilidad del mismo.
2. La transferencia de datos puede ser un potencial problema si la información que se desea compartir es demasiado grande.
3. Por último, la disponibilidad para la operadora de esta información durante todo el proceso de mantenimiento.

La idea de la integración de los tres sistemas aspira a solucionar algunos de los retos encontrados. A través de los modelos CAD del equipamiento y herramientas necesarias superpuestos sobre el equipamiento y componentes reales, posibilitan una fácil identificación y localización de los elementos de la parte en cuestión. Con los sistemas predictivos de mantenimiento se puede predecir monitorizando los componentes y sistemas de la aeronave cuando estos pueden ocasionar un potencial fallo, permitiendo así organizar una tarea para solucionar el incidente. Los sistemas de Realidad Mixta relacionarán los modelos CAD de cada

componente con su análisis realizado por el sistema predictivo, y mostrará toda la información necesaria sobre el entorno real de mantenimiento.

El modelo esquemático se puede ver en la Figura 3.3 y las herramientas empleadas para el desarrollo de este modelo son:

- *Watchdog Agent*, como sistema predictivo de mantenimiento.
- *Solidworks*, como software para el modelado en 3D.
- *ARToolKit* para capturar el entorno real, realizar la localización y seguimiento de los elementos, y superponer la información virtual sobre ellos.
- Dispositivo de visualización.

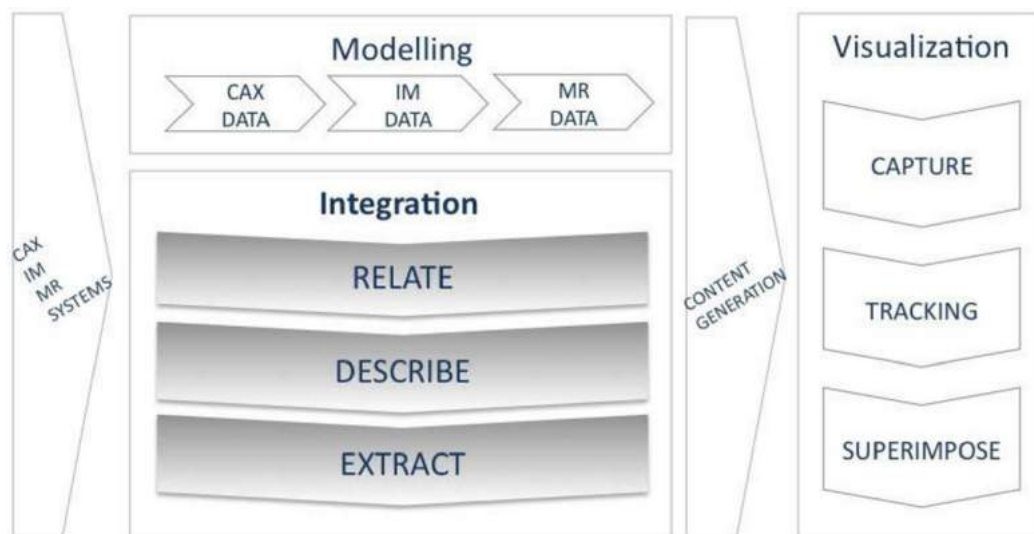


Figura 3.3: Esquema del modelo empleado para Fiabilidad [20]

A pesar de que aún hay ciertos inconvenientes y que, por tanto, existe margen de mejora, se puede comprobar como la aplicación mejora la accesibilidad de la información y reduce el tiempo de mantenimiento.

3.3. Entrenamiento y Formación de Personal

El entrenamiento y formación profesional del personal es una de los ámbitos de aplicación en los que mayor repercusión tiene la aplicación de la Realidad Aumentada, ya que es capaz de reproducir entornos y situaciones reales de trabajo proporcionando la consiguiente mejora en la comprensión de las actividades de formación práctica, ayudando y apoyando así al usuario. Así, la Realidad Aumentada podría brindar la posibilidad de interactuar con todo tipo de maquinaria sobre la que se muestre una capa de datos que aporte información adicional sobre su uso y de esta forma mejore la formación de los técnicos reduciendo los

posibles errores en el mantenimiento.

En este ámbito además, la Realidad Aumentada puede convertirse en una herramienta para facilitar el aprendizaje práctico en procesos de formación virtual, o *e-learning*. El desarrollo de una plataforma de formación a distancia de Realidad Aumentada permitirá replicar entornos de trabajo a medida y sobre la situación real, con el objetivo de proporcionar una formación más práctica y subsanar las carencias de la formación on-line [10].

Mediante el uso de dispositivos de esta tecnología, se puede ayudar y guiar a los mecánicos, mostrando paso a paso la secuencia de operación determinada, con las correspondientes instrucciones a seguir, hasta identificando las herramientas a utilizar. Permite asimismo la posibilidad de la asistencia en remoto con el uso de etiquetas digitales y comentarios sobre el propio modelo real y dar lugar al aprendizaje de operarios con menor formación sin estar directamente en la aeronave ahorrando en coste y tiempo. Por último, los técnicos utilizan estas herramientas para ayudar a mejorar los procesos de gestión de calidad, identificando y documentando acerca de los posibles fallos mediante anotaciones y fotografías, además de obtener una verificación visual para confirmar que las operaciones se han realizado correctamente o para determinar si se requiere un reajuste [17].

Modelo 1: Entornos Virtuales para Formación en Mantenimiento

El primer modelo diseñado para este ámbito se plantea para aumentar la interactividad y la flexibilidad de las herramientas de aprendizaje así como para ofrecer la capacidad de diseño y creación de estas herramientas. Se destacan tres principales componentes que conforman el entorno de entrenamiento [21]:

- La herramienta como tal: una de las partes más importantes a la hora del desarrollo de la aplicación al ser crucial para una buena formación que esta funcione correctamente.
- El escenario: es, en resumen, todo lo que rodeará virtualmente al usuario y que apoyará al mismo en su tarea. Este concepto permite la flexibilidad, pues cada tarea o actividad tendrá su propio escenario.
- El usuario: se trata de la forma de interactuar y del manejo de los objetos en el entorno virtual.

Este software es singular debido a que es capaz de adaptarse al conocimiento y formación del usuario, por lo que presenta cuatro modos distintos en los que se va avanzando en interactividad con el entorno virtual. De esta forma, en un primer momento, el sistema solo mostrará los pasos a realizar sin que el usuario tenga que hacer prácticamente nada, hasta que finalmente, la persona en formación realice todas las interacciones posibles con el entorno. A continuación se presentan los siguientes cuatro modos [21].

Modo de Presentación

Como se ha comentado previamente, este es el primer modo en el cual se requiere la menor interacción por parte del usuario. Este podrá detener en cualquier momento lo repre-

sentado y moverse e interactuar con el entorno para poder ver, por ejemplo, con más detalle o desde otra perspectiva algún paso del proceso descrito. Normalmente, se emplea para los usuarios menos experimentados para que se familiaricen con el entorno en concreto, ya que partirá desde un problema a solucionar, e irá desarrollando paso a paso la solución hasta la subsanación de la problemática.

Modo Guiado

Una vez completado el primer modo con suficiente éxito, o si ya se cuenta con cierta experiencia, es hora de pasar al siguiente modo. En este otro modo, depende del autor de dicho escenario cuál será la involucración del propio del sistema. Esto irá desde presentar al inicio un resumen de los pasos a realizar, y vaya indicando al inicio de cada uno lo que hay que ejecutar de forma secuencial; o, simplemente aportar comentarios y/o imágenes que vayan apoyando las tareas pendientes.

Modo Libre

Este modo proporciona un escenario completamente real, en el que el usuario se encuentra con la situación en la que no tienen ningún tipo de asistencia por lo que tienen que realizar todas las acciones por sí mismos, aunque, de ser necesario, se pueden aportar información y detalles puntuales.

Modo de Descubrimiento

El último modo se emplea para un entrenamiento individual en el que no hay nada que resolver pero se puede interactuar con todo lo que haya planteado en el escenario dando pie a investigar cómo hacer tareas anteriores de formas distintas para alcanzar el mismo resultado.

Modelo 2: Realidad Virtual para Entrenamiento y Formación

Este segundo modelo aplica la Realidad Virtual para asistir en el proceso de formación y entrenamiento. Generalmente la empresa opta por el entrenamiento tradicional por facilidad y cercanía con el caso real, sin embargo, con este modelo, se conseguiría tanto la fácil accesibilidad que proporciona como la presencia en un entorno virtual que se asemeja al real [9].

El proceso de implementación de este sistema de entrenamiento se divide en cuatro pasos: Preparación, Ejecución, Implementación y Entrenamiento (Figura 3.4). En este trabajo nos centraremos en la parte de Preparación y Ejecución, al ser la parte que nos interesa. El paso de Preparación se divide en la preparación del modelo y la realización de las instrucciones de trabajo, mientras que el de Ejecución consiste en el registro de datos y el uso e implementación del sistema de Realidad Virtual.

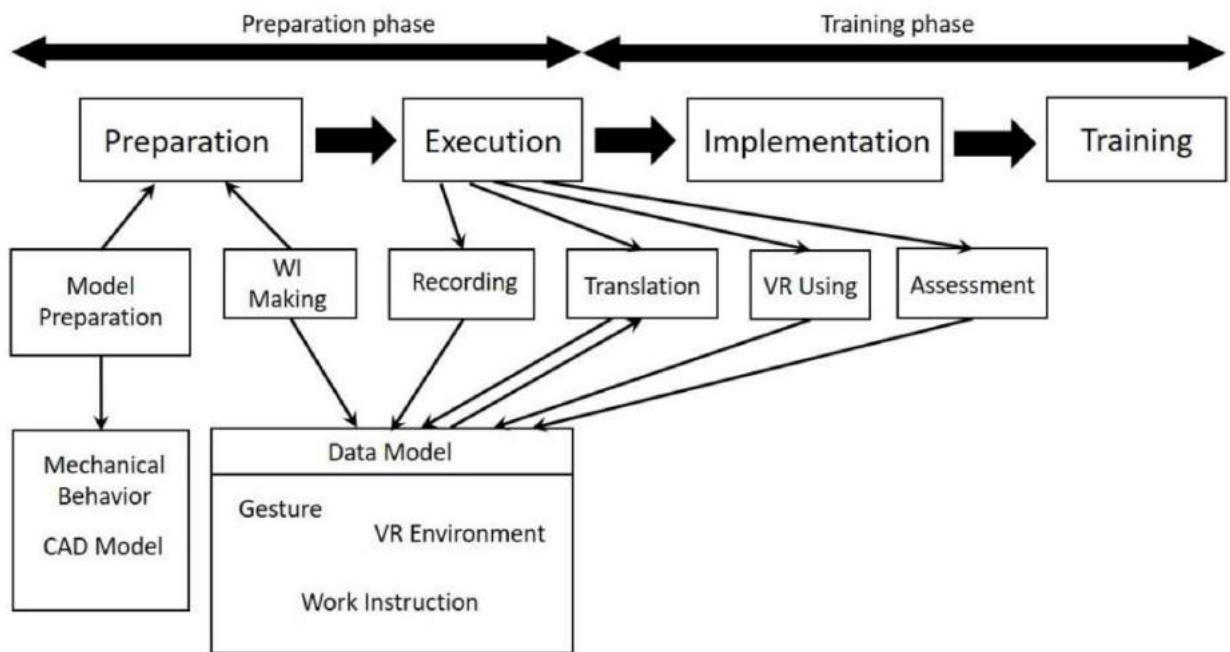


Figura 3.4: Esquema del proceso de implementación del sistema [9]

La originalidad de este modelo reside en el uso de la Realidad Virtual para seguir y trazar los gestos y visualizar el contenido del entrenamiento. Usualmente, se suelen usar dispositivos de seguimiento con otros de grabación, lo que complica bastante en el caso del entorno real que nos concierne. Es por ello, que en este modelo, se invita a un mecánico experimentado a realizar en un entorno de Realidad Virtual distintas tareas y procesos a enseñar, de forma que esos movimientos quedan registrados para su posterior uso.

Etapa de Preparación

Esta etapa se emplea para la definición y creación de los modelos CAD, el movimiento mecánico de las distintas piezas y las instrucciones de trabajo. Esto es, se emplea el software *Autodesk Inventor* para la realización de los modelos en 3D y se establece la relación dinámica entre las partes. Además, se diseña y registra las instrucciones de trabajo que conforme cada proceso con la ayuda de un experto en dicha tarea de mantenimiento.

Etapa de Ejecución

En esta otra etapa, se registra la información del entorno virtual, ya sean los gestos, los movimientos, la posición, etc. de forma que puedan ser representados en cualquier momento. De hecho, los usuarios pueden ver de nuevo lo que han realizado durante el trabajo de mantenimiento y observar en qué mejorar o analizar dónde han tenido el fallo. El usuario puede interactuar con este entorno creado gracias a los dispositivos habilitados para ello, lo que aporta un realismo que es lo que lo hace relevante de cara a implantarlo para formar al personal.

Se emplea *Unity* como software para desarrollar el entorno virtual, y como hardware un sistema de control gestual Leap Motion y un ordenador de sobremesa. Con el ratón se dirigiría la vista en horizontal y vertical, mientras que con el teclado el movimiento atrás y adelante, como si de un videojuego se tratase; mientras que, con el dispositivo Leap Motion, el usuario ve el movimiento y acción de sus propias manos en el entorno virtual. Se demuestra como es infinitamente útil en situaciones de mantenimiento complejo con riesgo de accidente inherente, ya que con operarios sin experiencia sería muy difícil de formar debido a la alta posibilidad de incidente. En tanto que al ser un entorno virtual, pueden formarse tranquilamente sin riesgo ninguno de herirse o dañar a otros [9].

3.4. Mantenimiento en Tierra o Remoto

Otro de los ámbitos a destacar por la relevancia que la Realidad Virtual o Aumentada aporta es, como no, el propio acto de mantenimiento en tierra, incluso posibilitando el mantenimiento en remoto. Gracias a la Industria 4.0, tecnologías como la Realidad Aumentada están cobrando gran protagonismo entre las empresas, lo que augura unas posibles incorporaciones dentro de sus sistemas de mantenimiento. En este apartado, procedemos a conocer los modelos que se han considerado más interesantes de entre una diversidad cada vez más amplia dentro del mercado.



Figura 3.5: Ejemplo práctico de uso de la Realidad Virtual y Aumentada al mantenimiento aeronáutico [23]

Modelo 1: AIRMES - RV para Mantenimiento en Tierra

En este modelo se opta por el empleo de la tecnología de la Realidad Virtual para simular la mayoría de las etapas del proceso de mantenimiento: Reparación, Cambio de componentes, Desmontaje e Instalación. Se denomina *AIRMES*, y se trata de una única herramienta que aglutina toda la información requerida para el procedimiento de mantenimiento de una forma descriptiva y virtual [24].

Se va a desarrollar con un caso específico de aplicación: el arreglo de un defecto en la válvula de anti-hielo del ala derecha. Se ha elegido este caso por ser uno de los mejores ejemplos por su inmediatez de resolución, por lo que es interesante estudiar una posible optimización del tiempo de mantenimiento empleado y su coste. El procedimiento de desmontaje de este sistema no es muy frecuente, por lo que los operarios no están duchos en este proceso. Es esto por lo que se desarrolló este sistema de Realidad Virtual, para ayudar a los técnicos en esta función tan precisa y compleja.

Los dispositivos de RV que se emplean como solución son el dispositivo de movimiento *Leap Motion*, para detectar el movimiento y posición de la mano del usuario con respecto a los objetos virtuales; un smartphone de media o alta gama, ya que se aprovecha su reciente uso en servicios de mantenimiento y su facilidad de adquisición por parte de cualquier usuario; y, finalmente, un casco gafas de RV, que conectado al smartphone, crea las imágenes, bien 2D o bien 3D con el software *Unity* [24].

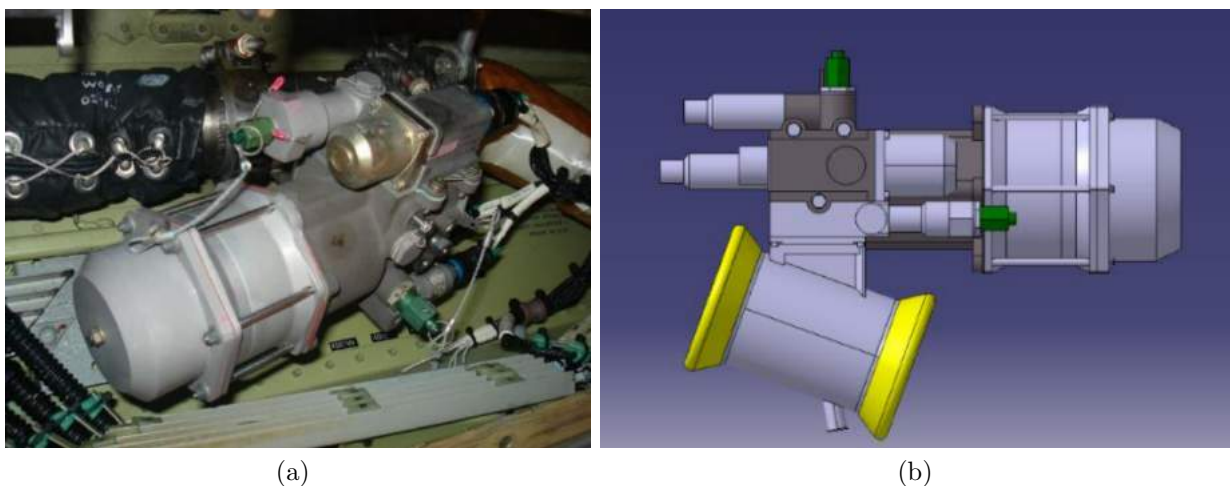


Figura 3.6: Válvula del Sistema Anti-hielo [24]
(a) Ejemplo real de una aeronave (b) Diseño en 3D

Además, se necesitó para desarrollar y diseñar este procedimiento dentro del modelo de toda la información posible sobre la instalación y desmontaje del sistema anti-hielo encontrado en el ala. con esto se consiguió profundizar en el sistema en concreto, y saber implementar los distintos pasos que conforman este complejo proceso. Para que el entorno virtual quede lo más similar a la realidad, se añade al mismo partes que no son necesarias para el mantenimiento pero que lo convierte en un escenario más realista.

A continuación, se añade la interacción del dispositivo Leap Motion, el cual añade el movimiento y acción del usuario, como vemos en la Figura 3.7.



Figura 3.7: Interacción con el sistema Anti-hielo del ala en un entorno RV [24]

Por último, se implementa en la aplicación del smartphone, con la integración de los modelos en los diversos pasos del procedimiento, y se obtiene como resultado lo que se ve en la Figura 3.8

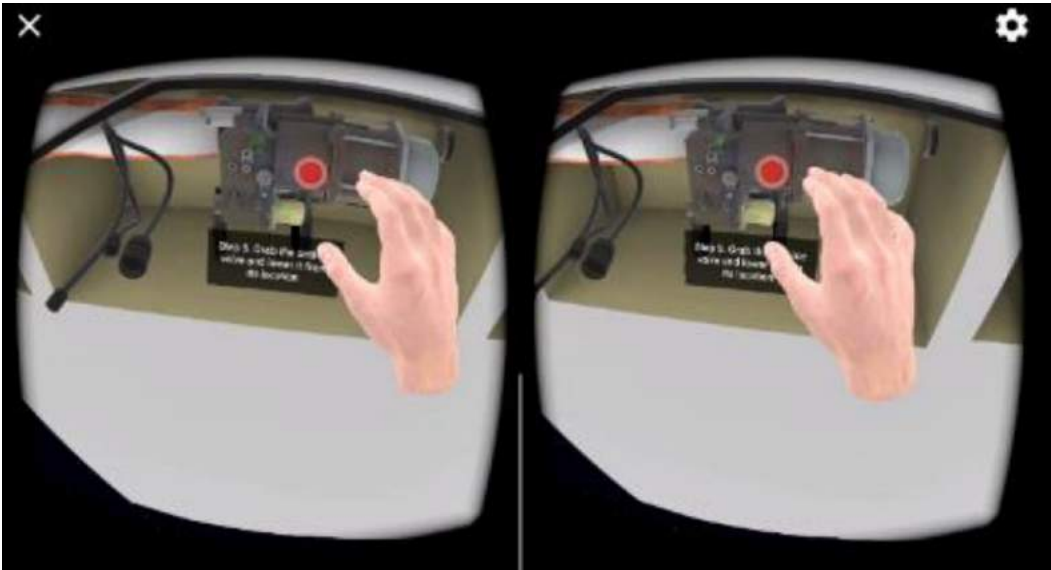


Figura 3.8: Captura del resultado final de la aplicación de RV [24]

Modelo 2: RHEA - RV para Mantenimiento de Helicópteros

Este estudio [25] se centra en el mantenimiento de helicópteros, el cual se añade por incluir más variedad a la visión y alcance de este trabajo, además de por ser un modelo interesante de comentar. Este ejemplo se centra en la parte superior de un helicóptero, donde se encuentra el motor, como vemos en la Figura 3.9, mostrando el área de trabajo.



Figura 3.9: Representación del helicóptero [25]

Las tareas de mantenimiento en esta zona son complicadas debido a la escasa accesibilidad y al limitado espacio de trabajo disponible, en la que es necesario el empleo de un andamio donde el técnico opera tanto de pie como agachado, de rodillas o incluso tumbado (Figura 3.10).

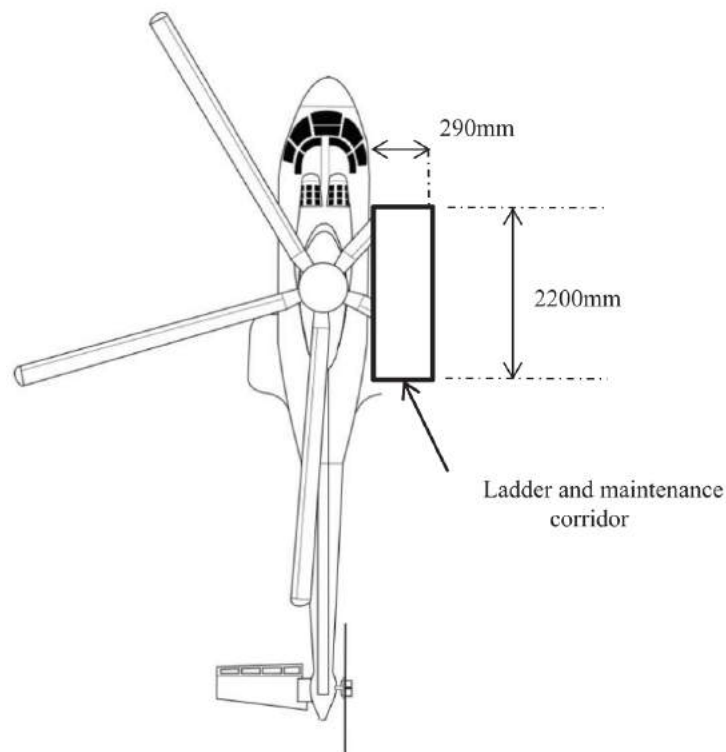


Figura 3.10: Esquema del helicóptero con vista de planta [25]

Se evalúan once tareas mostradas en la siguiente Tabla 3.2, las cuales han sido seleccionadas por su frecuencia y recurrencia a lo largo de la operación del helicóptero. Además, están ordenadas de más frecuencia de uso a menos, de forma que la tarea 1 es la más importante y más realizada [25].

Tarea	Descripción	Postura de trabajo
1	Manipulación y anclaje de las escaleras	De pie
2	Desmontaje/montaje del generador principal	De pie y agachado
3	Manipulación del enchufe eléctrico del firewall	De rodillas
4	Manipulación del enchufe eléctrico del motor	De rodillas/tumbado
5	Desmontaje/montaje de la bomba hidráulica	De rodillas/de pie
6	Verificación del colector de drenaje	De rodillas
7	Desmontaje/montaje del generador auxiliar	De pie y agachado
8	Desmontaje/montaje del soporte del motor	Tumbado
9	Comprobación de las revoluciones por minuto	De rodillas
10	Comprobación del apriete del soporte de la suspensión	De rodillas
11	Comprobación del apriete del actuador del rotor primario	De rodillas

Tabla 3.2: Descripción de las tareas realizadas en el mantenimiento del helicóptero

La tecnología de Realidad Virtual empleada por el fabricante del helicóptero, y la usada en este modelo, es *RHEA*, o Realistic Human Ergonomic Analysis. Además, se basa en el software *Virtools* facilitando la relación entre los modelos CAD y el entorno virtual. Se construyó además un modelo en físico para hacer más realista la simulación del proceso de mantenimiento para el usuario (Figura 3.11). Para el mecánico es necesario portar unas gafas de RV, como las *Oculus Rift* para ver por pantalla la representación y los modelos virtuales así como su propio avatar que reproduciría el movimiento del operador real.

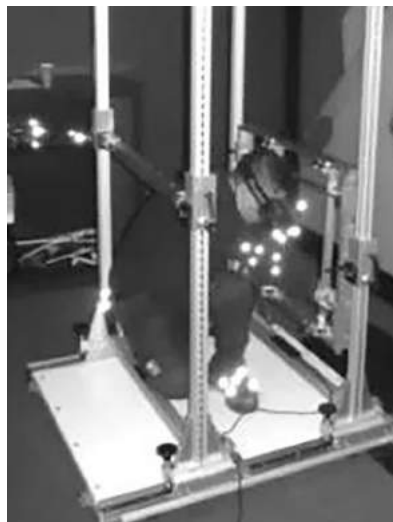


Figura 3.11: Modelo físico para apoyar la simulación virtual [25]

A continuación, se realizan las 11 tareas recogidas en la Tabla 3.2 de forma realista sin apoyo virtual (*Physical Mock-Up*), con los dispositivos de RV (*Virtual Reality*) y se comparará el tiempo de ejecución con lo que se debería o se suele tardar de forma tradicional (*Theoretical*). Como vemos en la Figura 3.12, cada tarea ha requerido un mayor tiempo de realización que el teórico establecido, lo que se debe a la complejidad y no frecuente ejecución de estas tareas. El tiempo en la tarea 1, por ejemplo, resulta interesante observar que ha sido mucho mayor para el uso de RV, mientras que en la tarea 10, ocurre justamente lo contrario. La tarea 9 y la 11 son tareas que muestran un tiempo similar a la hora de realizarse para los tres métodos por tratarse de tareas simples y que no requieren mucho esfuerzo. La reducción en los tiempos de ejecución mediante RV es posible mediante un previo entrenamiento a los mecánicos en esta tecnología y la mejor implementación del entorno virtual al real [25].

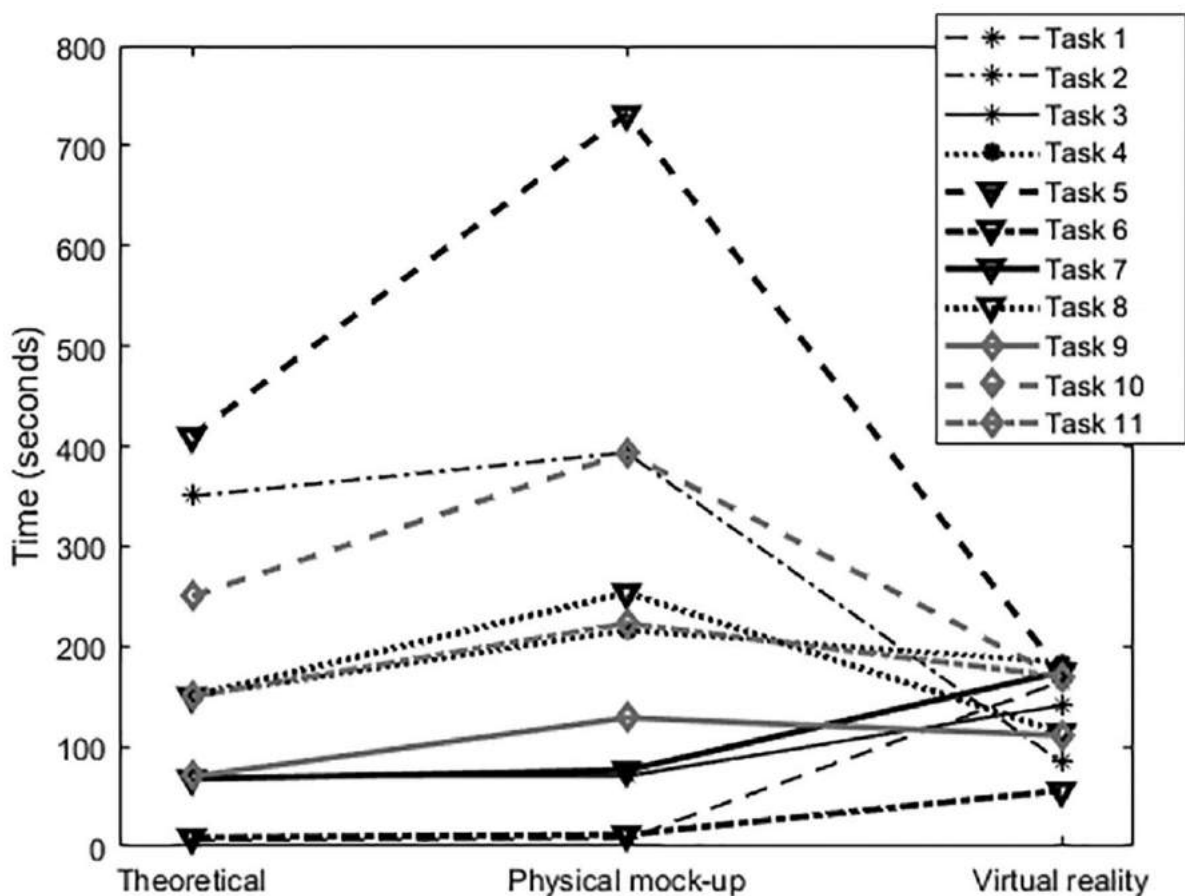


Figura 3.12: Comparación de los tiempos de ejecución de las 11 tareas de mantenimiento [25]

3.5. Logística y Adquisición de Productos

Como último ámbito de aplicación, nos encontramos con la adquisición de componentes, herramientas, etc. y la gestión y logística detrás de esto: la identificación del producto requerido (con el número de parte, número de serie, aplicabilidad y cantidad), la orden (o

Requisition) realizada por parte del departamento de Ingeniería de la operadora, el contacto del departamento de Logística o Almacén con el fabricante de dicho producto, y la compra y entrega, por último, en el hangar que se demande.

Modelo: PSS - RA aplicado a Logística Aeronáutica

Este modelo introduce una aplicación de asistencia para la adquisición de componentes con el objetivo de tener la capacidad de tener un mantenimiento programado y reducir tiempos de no disponibilidad de las aeronaves. Se emplea la estrategia del Sistema Producto Servicio (PSS) para afrontar dos asuntos: primero, proveyendo las herramientas y elementos necesarios en el momento y lugar adecuados para la correcta realización del mantenimiento; seguido de una mejora de la comunicación entre los fabricantes y los técnicos de los departamentos de Ingeniería de las operadoras de aviación [26].

Se trata de un modelo que beneficiará a ambos, a fabricante y a operadora. El fabricante obtendrá un sistema de soporte robusto, mientras que la operadora ganará una fuerte ventaja con respecto a sus competidores. El sistema desarrollado tiene en cuenta tres roles distintos:

- El fabricante, o vendedor.
- Los ingenieros de la operadora, o cliente.
- Los mecánicos, responsables de la tarea de mantenimiento.

Se procede a explicar en detalle la arquitectura del modelo analizado, la cual se puede ver en la Figura 3.13, donde se muestra el orden secuencial de cada paso:

- Paso 1** Lo primero que se lleva a cabo es la recopilación de datos de los sensores instalados en los equipos de fabricación (*lado fabricante*).
- Paso 2** Los datos procesados se muestran al *lado operadora*, donde se les informa acerca de todos los productos disponibles así como el tiempo en estar disponibles. Aquellos con un tiempo de funcionamiento menor se mostrarán en estado de alarma. Esto también es visible para el *lado fabricante* en una interfaz gráfica de usuario de RA, para saber ellos mismos, como propietarios de esas herramientas i.e., el estado de dichas y programar su reemplazo o mantenimiento.
- Paso 3** Se hace uso de la nube para compartir todo tipo de información para facilitar la comunicación entre ambas partes.
- Paso 4** Una vez se hace la entrega de los productos, el departamento de Ingeniería habilita la tarea de mantenimiento y proporciona la información de las acciones a llevar a cabo, los materiales requeridos, el tiempo y el coste.
- Paso 5** Los mecánicos recibirán esta información y se les asignará las tareas respectivamente. Se ofrece un modelo CAD como material de apoyo para los operarios adicionalmente.

Paso 6 Estos últimos hacen anotaciones sobre los componentes asegurando que no se olvida ningún detalle acerca del proceso de mantenimiento, pudiendo los ingenieros con esta información hacer una mejor planificación del mantenimiento y una mejora de las instrucciones.

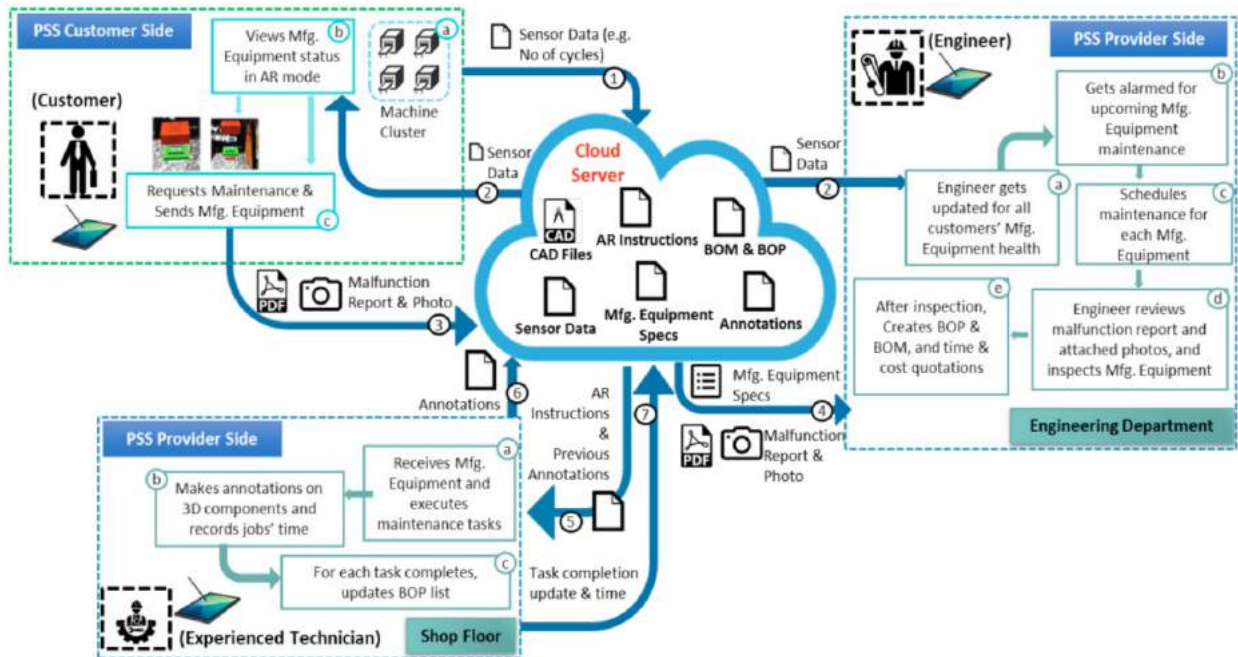


Figura 3.13: Esquema del modelo empleado para Fiabilidad [26]

Este sistema brinda a la empresa la posibilidad de digitalizar y automatizar los procesos de mantenimiento. Además, ofrece un valor añadido al hacer este proceso más eficiente, preciso y sencillo. El hardware que se precisa se trata de simples tablets con sistema *Android* y conexión a internet. En cuanto al software necesario, se ha empleado software CAD además de *Vuforia*, software que permite la implementación de RA.

Los resultados observados tras un caso aplicado son:

- Mejora en los registros de mantenimiento.
- Reducción del tiempo de las auditorías de hasta un 50 %.
- Aumento de los plazos de entrega en un 20 %.
- Reducción del tiempo de las inspecciones de documentación de hasta aproximadamente un 70 %.

En resumen, con este sistema se planea incrementar la productividad, eficiencia y competitividad de los interesados por ambas partes de la transacción.

Capítulo 4

Ventajas e Inconvenientes

En este capítulo se recogen y enumeran las ventajas e inconvenientes que se han ido analizando y observando en los capítulos anteriores para poder más adelante hacer un estudio de cómo enfrentarse a dichas desventajas y aprovechar los beneficios encontrados. Se hará una ordenación empezando por ventajas e inconvenientes aplicados a ámbitos generales de estas tecnologías hasta los ámbitos más específicos de uso estudiados.

4.1. Ventajas

En este apartado se recogen las principales y más interesantes ventajas que estas tecnologías ofrecen al sector industrial, y más concretamente, al sector del mantenimiento aeronáutico.

- Aumento de la productividad y la eficiencia con la consiguiente reducción de tiempo y coste en cualquier actividad a realizar gracias a la facilidad de uso que confiere y a la rapidez en la obtención de la información.
- Combinación efectiva de los mundos real y virtual, incentivando al usuario a interactuar con los elementos virtuales que se superponen sobre los reales. Permite la visualización del entorno en 360 grados con objetos pertenecientes al mismo en 3D y ofrece al usuario la sensibilidad y adaptabilidad al entorno, su posición y movimiento. Esto se traduce en un enriquecimiento de la actividad y del contenido con el ambiente y objetos virtuales.
- Diversidad de usos, usuarios y entornos debido a su polivalencia; además de la posibilidad de integración con muchas otras tecnologías que aporten aun más.
- Mejora en los registros de documentación de mantenimiento aeronáutico con la reducción de documentos en papel y todo lo que ello acarrea. A lo que se le añade la facilidad de actualizarlos sin problemas de almacenamiento.
- Mejora de la integridad y de la transparencia de la información con su almacenamiento en librerías digitales.

- Reducción en el tiempo de las inspecciones y auditorías del sector al haber un mayor control de la documentación pertinente.
- Mejora de la comunicación entre las partes interesadas reduciendo errores y retrasos relacionados.
- Su importancia actualmente en cuanto a toma y registro de datos para ir haciendo un seguimiento y realizar un diagnóstico en caso de fallo (*Deep Learning*).
- Posibilidad de formar sobre tareas complejas y arriesgadas de mantenimiento a usuarios sin experiencia en entornos seguros reduciendo costes, riesgos y tiempo. El aprendizaje se vuelve multisensorial, ya que incluye a la vista, al oído y al tacto, lo que es un añadido.
- Permite la realización y/o supervisión de muchas tareas de forma remota subsanando las carencias del on-line actual.
- Reducción y prevención de los posibles errores durante las tareas de mantenimiento al ser guiadas, si así se desea, o estar comprobándose continuamente que se está ejecutando correctamente.
- Reducción del riesgo de sufrir accidentes o daños en situaciones que de normal podrían darse.

Estas ventajas son muy valoradas por las empresas ya que sus productos y servicios están en constante evolución y, por tanto, se ha de modificar la documentación de ello. Y si, además, esta documentación se va actualizando de manera digital siendo más accesible y consiguiendo la reducción de tiempo para los técnicos en acceder a ellas y usarlas, es algo más que suma como ventaja de estas tecnologías.

4.2. Inconvenientes

En el segundo apartado de este capítulo nos encontramos con los principales inconvenientes aún por resolver, pero que de afrontarlos correctamente, harían de estas tecnologías una gran apuesta para las empresas pertenecientes al sector del mantenimiento aeronáutico.

- Adquisición de software y hardware específico para poder implementar estas tecnologías aún en estudio y que, según el sector de aplicación es costoso de implantar de cero.
- Necesidad de uso de dispositivos que, según el usuario, pueden no ser aptos o causar reducción en la movilidad o comodidad del mismo (problemas de ergonomía); y que promueven la evasión y desconexión de la realidad en los casos más inmersivos. Además estos dispositivos necesitan de espacio adicional para los sensores y movimiento de los mismos. Por último, para los dispositivos que son cableados, se ve limitado el movimiento del usuario por la longitud del cable.

- Contenidos y limitaciones aún por evolucionar y solucionar, respectivamente.
- Comienzan a surgir temas legales relacionados con aspectos que antes no se tenían en cuenta (cumplimiento de documentación, estándares, etc.).
- El problema de la cinetosis por la cual aparecen síntomas de náuseas, mareos y fatiga en los usuarios por la no correlación entre el sistema auditivo y el visual.
- La implementación de estas tecnologías consiste en un reto para las empresas, lo que se suma a que no existen procedimientos estándar como tal para su desarrollo.
- Pérdida de tiempo o efectividad en la actividad por falta de entrenamiento del personal lo que lleva a otro inconveniente que es la necesidad de entrenamiento y formación del usuario para un buen funcionamiento con la consiguiente pérdida de tiempo.
- Problemas técnicos asociados al uso de los dispositivos correspondientes a estas tecnologías como son errores en la localización GPS, en sensores, en duplicación o pérdida de calidad de imágenes, de latencia, etc.

Estas desventajas son las que han hecho que, a día de hoy, no sea mayor el porcentaje de implementación en las empresas; sin embargo, se está invirtiendo en la mejora y superación de estas para aumentar la competitividad y la expansión de las tecnologías que nos atañen en el sector.

Capítulo 5

Optimización

En este capítulo se plantea una optimización de las tecnologías estudiadas en este trabajo con el objetivo de paliar o minimizar los inconvenientes encontrados y poder, así, exprimir al máximo el rendimiento y efectividad de las mismas aplicadas al sector en concreto pudiendo aprovechar de forma óptima todas las ventajas que aportan.

Para empezar se puede estudiar la aplicación de algoritmos avanzados diseñados para organizar las tareas de mantenimiento y obtener el resultado óptimo ahorrando en tiempo y recursos. Una gran variedad de códigos [27] se han empleado con el mismo objetivo como son el WCA, o algoritmo de la colonia de hormigas, el cual se trata de una técnica probabilística para solucionar problemas computacionales que pueden reducirse a buscar las mejores rutas en grafos; algoritmos genéticos básicos los cuales resuelven problemas de optimización basándose en un proceso de selección natural tratando de imitar la evolución biológica; o una primera mejora de estos últimos, PSO, u optimización por nube de partículas, la cual permite optimizar un problema a partir de una población de soluciones candidatas, designadas como partículas, desplazando éstas por todo el espacio de búsqueda (comprobando secuencialmente posibles soluciones) según reglas matemáticas para comprobar cuál de ellas es la solución óptima. Con estos se comprobó que el tiempo efectivo de realización de las tareas de mantenimiento era reducido así como un uso óptimo de los recursos disponibles.

Sin embargo, con estos algoritmos hay cierta incertidumbre en cuanto a la utilización de toda la información disponible. Esto es, habría que tener en cuenta la prioridad de ciertas tareas, o el trabajo adicional que puede ocasionar el fallo de alguna herramienta; por esto, sería interesante utilizar un algoritmo más preciso en este aspecto, como es el algoritmo de optimización de agrupamiento de bacterias (*Bacterial Foraging Optimization*). Es un algoritmo parecido al genético en el cual se imita el movimiento de la bacteria *Escherichia coli* en diferentes entornos en búsqueda de mayor cantidad de nutrientes que se compone de cuatro procesos: Quimiotaxis, Agrupamiento, Reproducción y Eliminación. En resumen, el proceso simula el movimiento de la bacteria que continúa en su dirección si la solución es óptima en ese paso, o gira, si por el contrario, en otra dirección encuentra una solución más favorable de la función objetivo (Figura 5.1). Cada una de las bacterias se comparan, y las que tengan menor salud, es decir, las menos óptimas, se eliminan y el resto se reproducen y dividen en dos nuevas soluciones posibles cada una. La particularidad y ventaja de este modelo se presenta con la posibilidad de definir unas ciertas restricciones (igualdades o desigualdades)

y condiciones para determinar la solución óptima.

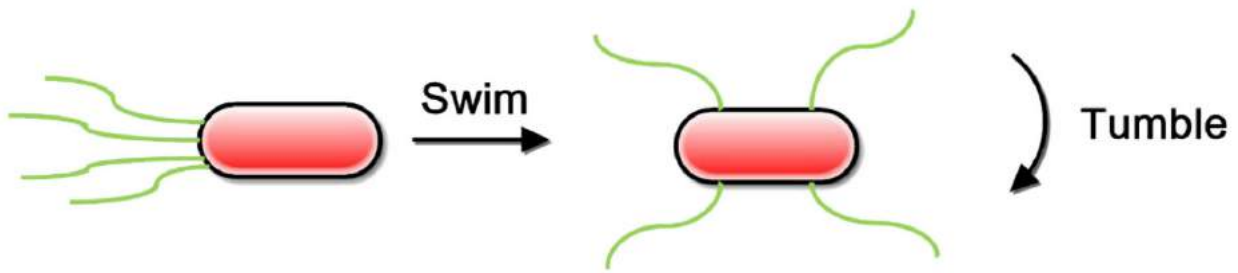


Figura 5.1: Movimientos posibles de la bacteria [28]

Si además de mejorar la organización y programación de las tareas de mantenimiento, se perfecciona la forma de documentar y registrar la información lo cual es un proceso que se ha de ir haciendo en cada revisión, inspección y tarea de mantenimiento, se pueden conseguir grandes resultados. Esto se puede implementar con *MBSE*, Model-Based Systems Engineering, que es un sistema para gestionar la complejidad de los procesos, mejorar la comunicación entre las partes interesadas y producir soluciones optimizadas [7]. Con esto, se reducen los errores humanos debido al uso impropio de la documentación del avión y afronta la naturaleza compleja del mantenimiento aeronáutico reforzando la interrelación entre los distintos sistemas de la aviación. En concreto se trata de adoptar un modelo basado en *SysML*, que es un lenguaje de especificación de sistemas orientado a problemas de ingeniería. Con este lenguaje se facilita mucho la implementación del MBSE, aunque no aporte ningún marco ni modelo para ello. Es por esto que sería necesario desarrollar un modelo estructurado apropiado para lo deseado que complemente la estructuración interna del lenguaje. El MBSE permite la integración de la documentación, un análisis de fiabilidad y a las tareas de mantenimiento en sí, ofreciendo gran capacidad de interacción y colaboración entre estas.

Por otro lado también se puede enfocar reduciendo el trabajo de mantenimiento, disminuyendo con ello el tiempo de indisponibilidad de la aeronave. Las inspecciones periódicas de las aeronaves incluyen el examen exhaustivo de los dispositivos y partes del avión en busca de posibles daños, externos o internos, falta de lubricación o limpieza, y más, con la capacidad de anticiparse a fallos futuros. El mantenimiento programado se divide en lo que se conoce en el gremio como A-Check, B-Check, C-Check y D-Check, categorizadas según tiempo y ciclos de vuelo de la aeronave, cuyo tiempo necesario de realización aumenta con la letra del alfabeto desde 60 horas-hombre (lo que se puede realizar en pocos días) hasta 50.000 horas-hombre pudiendo quedar el avión inoperable algunos meses. Métodos como el análisis de datos sin fallo y de resolución de ecuaciones numéricas no lineales son clave para la optimización de este aspecto [29].

El método de optimización propuesto se ve reflejado en la Figura 5.2 y procede como sigue:

- **Análisis de Objetos de Optimización:** Emplea el Método del Camino Crítico (CPM), que es un algoritmo basado en la teoría de redes que permite calcular el tiempo mínimo

de realización de un proyecto; y la Técnica de Evaluación y Revisión de Programas (PERT), que se trata de una técnica de revisión y evaluación de proyectos utilizada para evaluar las tareas involucradas en el proyecto teniendo como objetivo la eficiencia. Se da como entrada las actividades en su orden respectivo y el tiempo de realización, y tras cálculos con el software *WinQSB* se obtiene el CPM para poder optimizar el proceso.

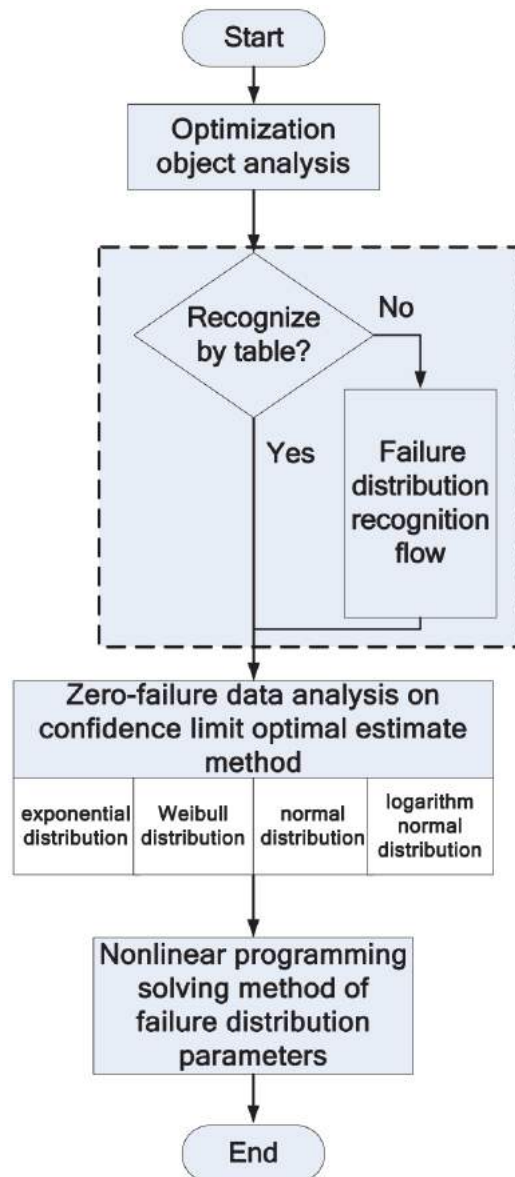


Figura 5.2: Esquema del modelo propuesto para optimización [29]

- Reconocimiento y Análisis de la Distribución de Fallos: Se emplean los modelos de estudios de fiabilidad, como se vio en el desarrollo de modelos de aplicación, aplicados a la aeronave, motor y equipamiento diverso. Se utilizan distribuciones como la exponencial, la Wellbull, la normal, la logarítmica...
- Se elige para la resolución de las inecuaciones o ecuaciones métodos de no lineales, ya

que los métodos iterativos tradicionales presentan baja eficiencia en computación, y en precisión y tasa de fallo.

- Si el porcentaje de relevancia en fiabilidad de una parte o componente es superior a un 85 % se lleva a cabo el procedimiento.

Por último, es interesante comentar que hay estudios que muestran que el Deep Learning es muy útil en el análisis de datos y monitorización de la aeronave [30]. Se emplean cuatro tipos de arquitecturas aplicadas al mundo del MRO, o Mantenimiento, Reparación y Revisión:

1. Autoencoders Profundos: se tratan de modelos que convierten la información en una versión reducida y codificada. Consiste en un codificador, un decodificador y el código (Figura 5.3). Se pueden emplear en la aeronáutica para la detección y monitorización de grietas en la estructura de la aeronave.
2. Memoria de Largo/Corto Plazo: es un tipo de red neuronal recurrente capaz de procesar secuencia de datos como son imágenes o vídeos. Se puede utilizar para predecir todo tipo de comportamiento tales como la vibración de las palas de los motores, o el estudio de la vida útil de un componente.
3. Redes Neuronales Convolucionales: consiste en un reconocimiento artificial de imágenes y análisis de vídeo basado en redes neuronales. Sus posibles usos radican en los mismos aspectos que el punto anterior.
4. Redes de Creencias Profundas: es una arquitectura de red multicapa que emplea un algoritmo de entrenamiento. Es útil para clasificación y detección de fallos, y para la realización de diagnósticos de los sistemas, como por ejemplo el sistema de combustible de la aeronave.

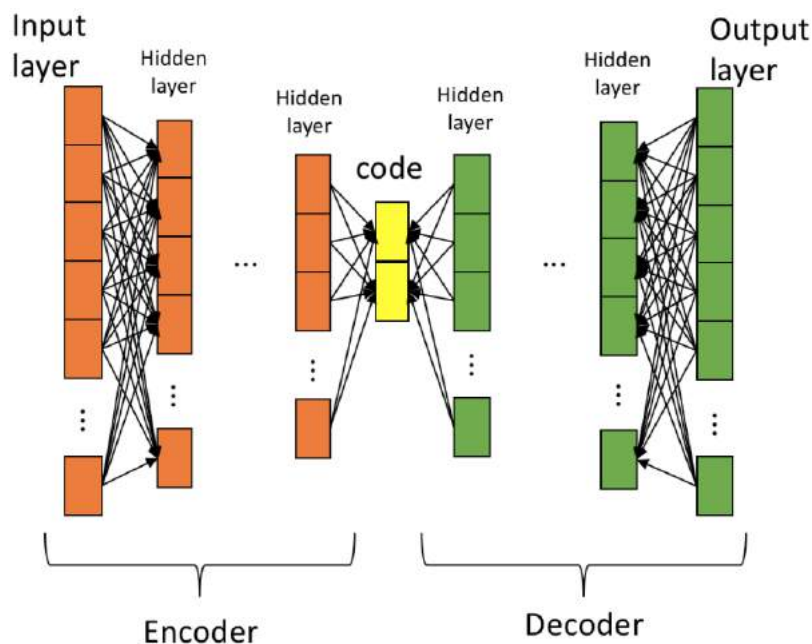


Figura 5.3: Esquema de un autoencoder [30]

El Deep Learning puede posibilitar la oportunidad de desarrollo de herramientas novedosas que asistan y apoyen el proceso del mantenimiento aeronáutico consiguiendo resultados con éxito en este ámbito. Habría que construir una biblioteca con todo tipo de información relacionada con el problema a asistir y crear así una red neuronal suficiente.

Si nos centramos en minimizar los inconvenientes encontrados, habríamos de empezar por una mayor fabricación y comercialización de dispositivos aptos para las tecnologías de Realidad Virtual y Aumentada que facilite su adquisición a las empresas. Estos dispositivos, además, deberían contar con mejoras como reducción en peso para mejor ergonomía, así como la eliminación del cableado para no reducir la movilidad del empleado. Sin duda esto solo sería la punta del iceberg, pues el principal problema es la falta de conocimiento y de bases de datos de estas tecnologías por lo que habría que realizar una mayor investigación e inversión en estas y solucionar los problemas con estándares, normativas y más que pueden ocasionar.

Así, es claro que a día de hoy existe gran número de ámbitos de aplicación y que se trata de tecnologías que han llegado para quedarse y resultar omnipresentes en relativamente poco tiempo, ya que en la actualidad aún disponen de margen de mejora como en los controles del movimiento en el entorno virtual, en el posicionamiento y seguimiento de los objetos virtuales y en uso de nuevas redes para mejorar la conectividad.

Por su parte, las tendencias principales actuales de estas tecnologías [13] son las siguientes:

- Aplicaciones de navegación en interiores, emulando el papel de GPS en exteriores.
- Compras mediante Realidad Aumentada (probar antes de comprar).
- Realidad Aumentada en vehículos, desde su adquisición, como el punto anterior indica, hasta su mantenimiento.
- Uso de lentillas biónicas y otros dispositivos biométricos.
- Mejora del soporte técnico a cliente con una mayor facilidad de diagnóstico y resolución de incidencias y averías.
- Implantación progresiva de dispositivos y aplicaciones de Realidad Mixta en todo tipo de ámbito.
- Afianzamiento de técnicas de Realidad Virtual en formación, educación y entrenamiento.

Capítulo 6

Conclusión

En este trabajo se ha comenzado con un estudio en profundidad del estado actual de la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada en entornos industriales, poniendo en situación al lector de la posición de estas tecnologías en el mercado actual así como de su evolución y situación esperada en los años venideros. En el estudio se ha observado el vigente crecimiento de su uso en diferentes sectores y la inversión exponencial futura de las empresas, que sin duda augura un gran futuro para la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada.

En concreto, se hace especial hincapié en su aplicabilidad al sector del mantenimiento aeronáutico; sector especial por su complejidad pero con mejoras y ventajas notables que estas pueden ofrecerle, siendo un gran número las posibles aplicaciones dentro de este mundo.

Ambas tecnologías han sido explicadas y comparadas entre ellas para entender su funcionamiento además de su historia, tipos y características para poder tener un buen entendimiento de estas a lo largo del trabajo. Se han presentado y analizado distintos modelos y software desarrollados para los distintos ámbitos de aplicación estudiados: Administración de Documentación Aeronáutica, Fiabilidad, Entrenamiento y Formación de Personal, Mantenimiento en Tierra o Remoto, y Logística y Adquisición de Productos; cubriendo así prácticamente todos los aspectos del mantenimiento aeronáutico.

Comenzando por el ámbito de la Documentación Aeronáutica hemos visto como con el primer modelo se podría pasar de documentación en papel a digital por medio de la Realidad Aumentada. Este proceso sería lento y gradual para facilitar su implementación debido a su alta inversión en recursos y tiempo, con lo que se tendrían ambas formas de presentar la documentación hasta que se consiguiera su total implantación. Con el segundo modelo, sin embargo, se propone la tecnología Blockchain para mejorar la seguridad, integridad y transparencia de la información de la aeronave. Esta tecnología permitiría un registro o biblioteca digital donde se almacenaría de forma eficiente todos los datos de fabricación, mantenimiento e inspecciones de la flota. Si ambos o una combinación de ellos se instalarán en el funcionamiento de una empresa, se conseguiría de una manera más práctica y segura la información pertinente de una aeronave.

Si nos centramos en el concepto de fiabilidad (explicado en el Apartado 3.2), el modelo más reseñable encontrado es el que aplica la realidad mixta al mantenimiento aeronáutico.

Este plantea la integración de tres sistemas: sistemas propios de RM, modelos CAD y sistemas predictivos de mantenimiento. Con esto se pretende solucionar diversas limitaciones encontradas como la transferencia de datos y el dispositivo de visualización. La peculiaridad de este modelo es la aplicación de los sistemas predictivos, ya que con ellos se consigue monitorizar los componentes y sistemas de la aeronave de forma que se puede programar un mantenimiento más eficiente y sin que se llegue a dar el fallo. Así, se obtiene una reducción en el tiempo de mantenimiento, y con ello una maximización en el tiempo disponible de la aeronave.

En cuanto a los dos ámbitos más relevantes para el mantenimiento aeronáutico: el entrenamiento del personal y el propio mantenimiento en tierra; despuntan los modelos en los que se recrean entornos virtuales para apoyar la formación del personal de mantenimiento, además de aquellos en los que se ofrece soporte para las tareas de mantenimiento en tierra o incluso de forma remota.

Para el primer ámbito, con estos modelos se aumenta la interactividad y flexibilidad del aprendizaje de operarios inexpertos, que de otra forma su formación conllevaría riesgo de accidente y dinero ocasionando demora en la adquisición de experiencia. El primer modelo se diseña para adaptarse al conocimiento y desarrollo del usuario consiguiendo una formación gradual muy didáctica. En el segundo modelo se tiene el uso de la Realidad Virtual como la punta de lanza de la localización y seguimiento de los gestos y movimientos del usuario sobre el entorno de entrenamiento. En ambos modelos se observa una alta eficiencia en la preparación de operarios de un modo accesible para todas las empresas.

Para el segundo ámbito, se emplea la Realidad Virtual para simular etapas de un proceso de mantenimiento en un escenario virtual con el que se podría guiar in situ o a distancia una tarea de mantenimiento u ofrecer un apoyo guiado a la misma. En ambos modelos se tratan casos específicos de mantenimiento para mostrar que es realmente aplicable, y se demuestra como con un hardware no demasiado avanzado se pueden conseguir buenos resultados.

Por último para el campo de aplicación de la logística y adquisición de productos, es remarcado el modelo PSS (Realidad Aumentada) con el cual se fortalece la comunicación entre las partes interesadas (fabricante y operadora) favoreciendo una importante reducción en los tiempos de mantenimiento. Se automatiza digitalmente procesos haciendo el sistema más eficiente y preciso con un modelo en el que todas las partes tienen acceso a la información.

Como se ha visto, con la introducción de estos modelos en la estructura de mantenimiento de las empresas de este sector se obtendría un aumento de la productividad ya que la mayor ventaja es la reducción del tiempo necesario en muchas de las tareas. Estas tecnologías proporcionan una combinación eficiente del mundo real y virtual con la consiguiente mejora en la interacción y adaptabilidad del usuario al entorno creado siendo posible su uso en diversidad de aplicaciones. Se conseguiría asimismo una mejor gestión de la documentación solventando problemas de almacenamiento, de integridad y seguridad de la misma.

Por otro lado, se han de lidiar con dificultades y limitaciones tales como la adquisición del software y hardware necesario, además de la formación de personal para un buen y efi-

ciente uso de estas. Ello puede ocasionar pérdida de tiempo y dinero en los primeros meses de implementación, si bien, según lo estudiado, en los meses venideros se consigue amortizar dichas pérdidas.

Como conclusión final, es interesante añadir que la complejidad de estos procesos industriales hacía impensable el seguimiento y guiado de tareas o la realización del diagnóstico o solución de un problema sin necesidad de desplazamiento de la persona especialista; y, como hemos observado, está muy presente en la hoja de ruta de nuestras industrias. Esto no hace más que reforzar la idea de la transformación digital en la que se ven envueltas las empresas actuales y que hace ver la inversión tanto actual como futura que se espera para estas tecnologías en el mundo industrial. Tras lo presentado previamente en el informe se puede afirmar y asegurar la viabilidad de las tecnologías de Realidad Virtual y Realidad Aumentada para su puesta en marcha en las empresas del sector del mantenimiento aeronáutico.

6.1. Líneas Futuras

Este trabajo de investigación sirve de base para futuros trabajos al recopilar toda la información hasta ahora necesaria de estas tecnologías emergentes. Se ofrece información suficiente dentro del ámbito del mantenimiento aeronáutico para poder desarrollar un amplio sistema que cubra las distintas ramas propuestas definiendo las limitaciones de cada una de ellas, identificando así las mejoras que se podrían realizar de cara a su aplicación. Como trabajos futuros sería interesante hacer un análisis más exhaustivo de algunas de las herramientas y códigos presentados para su implementación práctica dentro de una empresa de mantenimiento de aeronaves.

La principal idea a desarrollar sería expandir la investigación de cada una de las principales ramas del mantenimiento aeronáutico explicadas (Administración de Documentación Aeronáutica, Fiabilidad, Entrenamiento y Formación de Personal, Mantenimiento en Tierra, y Logística y Adquisición de Productos), e implementar un modelo para cada una de ellas de forma práctica con ejemplos reales comprobando fehacientemente su aplicabilidad y eficiencia. Es por ello, que sería indispensable el contacto con una empresa real, o en déficit de ello, realizar la simulación de una empresa para hacer más creíble y con más fortaleza esta saga de proyectos.

Capítulo 7

Anexos

7.1. Pliego de Condiciones

El Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización, establece la regulación sobre el tipo de actividades a realizar para minimizar los riesgos de los trabajadores en tales situaciones. En la aplicación de lo dispuesto en dicho decreto se tendrán en cuenta los métodos o criterios a que se refiere el apartado 3 del artículo 5 del Real Decreto de los Servicios de Prevención [31]:

- Equipo:
 - General: La utilización en sí misma del equipo no debe ser una fuente de riesgo para los trabajadores.
 - Pantalla: Los caracteres de la pantalla deberán estar bien definidos y configurados de forma clara, y tener una dimensión suficiente, disponiendo de un espacio adecuado entre los caracteres y los renglones. La imagen de la pantalla deberá ser estable, sin fenómenos de destellos, centelleos u otras formas de inestabilidad.
 - Teclado: Tendrá que haber espacio suficiente delante del teclado para que el usuario pueda apoyar los brazos y las manos. La superficie del teclado deberá ser mate para evitar los reflejos. La disposición del teclado y las características de las teclas deberán tender a facilitar su utilización.
 - Superficie y asiento de trabajo: La mesa o superficie de trabajo deberán ser poco reflectantes, tener dimensiones suficientes y permitir una colocación flexible de la pantalla, del teclado, de los documentos y del material accesorio; de tal modo que se reduzcan al mínimo los movimientos incómodos de la cabeza y los ojos. El espacio deberá ser suficiente para permitir a los trabajadores una posición cómoda. El asiento de trabajo deberá ser estable, proporcionando al usuario libertad de movimiento y procurándole una postura confortable.
- Entorno:
 - Espacio: El puesto de trabajo deberá tener una dimensión suficiente y estar acondicionado de tal manera que haya espacio suficiente para permitir los cambios de postura y movimientos de trabajo.

- Iluminación: La iluminación general y la iluminación especial (lámparas de trabajo), cuando sea necesaria, deberán garantizar unos niveles adecuados de iluminación y unas relaciones adecuadas de luminancias entre la pantalla y su entorno, habida cuenta del carácter del trabajo, de las necesidades visuales del usuario y del tipo de pantalla utilizado.
 - Reflejos y deslumbramientos: Los puestos de trabajo deberán instalarse de tal forma que las fuentes de luz, tales como ventanas y otras aberturas, los tabiques transparentes o translúcidos y los equipos o tabiques de color claro no provoquen deslumbramiento directo ni produzcan reflejos molestos en la pantalla.
 - Ruido, calor, emisiones y humedad: El ruido producido por los equipos instalados en el puesto de trabajo deberá tenerse en cuenta al diseñar el mismo, en especial para que no se perturbe la atención ni la palabra. Los equipos instalados en el puesto de trabajo no deberán producir un calor adicional que pueda ocasionar molestias a los trabajadores. Toda radiación, excepción hecha de la parte visible del espectro electromagnético, deberá reducirse a niveles insignificantes desde el punto de vista de la protección de la seguridad y de la salud de los trabajadores. Deberá crearse y mantenerse una humedad aceptable.
- Interconexión ordenador/persona: Para la elaboración, la elección, la compra y la modificación de programas, así como para la definición de las tareas que requieran pantallas de visualización, el empresario tendrá en cuenta factores como la adaptación y facilidad de uso del programa a utilizar, así como proporcionar las indicaciones debidas de su uso y desarrollo.

Los riesgos presentes según esta normativa en este entorno son:

- Seguridad: relacionado con medidas de emergencia en caso de una emergencia y con la instalación eléctrica del lugar.
- Ergonomía: relacionado con la fatiga visual, mental y física que puede acarrear el puesto de trabajo.
- Higiene industrial: referente a la iluminación, ruido y condiciones termohigrométricas del lugar de trabajo.

7.2. Presupuesto

Este apartado tiene como objetivo mostrar los costes de los recursos empleados para realizar este Trabajo de Fin de Máster titulado “ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA APLICACIÓN DE LA REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA AL MANTENIMIENTO AERONÁUTICO”. Se dividirá el presupuesto en material, software y personal para facilitar el cálculo.

Material

En la Tabla 7.1 se presenta el material empleado junto a su coste, que como vemos solo ha sido necesario un equipo portátil.

Material	Coste total [€]
Portátil Lenovo	949

Tabla 7.1: Coste del Material empleado en la realización del TFM

Software

A continuación, en la Tabla 7.2, se presenta el coste asociado al uso de las licencias de los software empleados. Como vemos, la única licencia que costaría dinero sería la de Microsoft Office 365, para la cual se ha elegido la tarifa anual de la licencia.

Software	Coste total [€]
Microsoft Office 365	69
Overleaf, Editor de LaTeX 365	0
Mendeley, Gestor Bibliográfico	0

Tabla 7.2: Coste de las licencias del Software empleado en la realización del TFM

Personal

Finalmente, en la siguiente tabla (Tabla 7.3) se presentan las horas realizadas por el personal junto a su coste por hora. El coste por hora reflejado en la tabla ha sido estimado en base al salario medio de ambas profesiones.

Personal	Coste [€/hora]	Horas	Coste total [€]
Ingeniero Técnico Aeronáutico	12	350	4.200
Supervisión Profesor Titular	18	30	540

Tabla 7.3: Coste de las horas empleadas por el personal en la realización del TFM

Coste total

En este último subapartado se muestra el coste total sumando el coste de cada uno de los subapartados anteriores, como podemos ver en la Tabla 7.4.

Personal	Coste total [€]
Material	949
Software	69
Personal	4.740
Total	5.758

Tabla 7.4: Coste total en la realización del TFM

Con esto, tendríamos que la realización de este TFM supondría un coste de 5.758 € (CINCO MIL SETECIENTOS CINCUENTA Y OCHO EUROS).

Bibliografía

- [1] REYES, M., & QUISPE, C. (2021) *Transformación Digital en la Industria 4.0 una Revisión de la Literatura*. Transformación Digital en la Industria 4.0 una Revisión de la Literatura, 15. <https://www.researchgate.net/publication/356597608>
- [2] CERUTI, A., MARZOCCA, P., LIVERANI, A., & BIL, C. (2019) *Maintenance in aeronautics in an Industry 4.0 context: The role of Augmented Reality and Additive Manufacturing*. Journal of Computational Design and Engineering, 6(4), 516–526. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2019.02.001>
- [3] ARMSTRONG, M. (2016) *The Worldwide Virtual Reality Market Is Set To Be Huge*. Statista. <https://www.statista.com/chart/6677/the-worldwide-virtual-reality-market-is-set-to-be-huge/>
- [4] ABI RESEARCH (2015) *Virtual Reality Devices to Ship 43 Million Units by 2020, with Mobile-Reliant Head Mounted Displays Foremost*. ABI Research. <https://www.abiresearch.com/press/virtual-reality-devices-to-ship-43-million-units-b/>
- [5] RICHTER, F. (2016) *The Diverse Potential of VR & AR Applications*. Statista. <https://www.statista.com/chart/4602/virtual-and-augmented-reality-software-revenue/>
- [6] GARCÍA, C. (2016) *Los prometedores mercados de la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada*. Blog Neo. <https://www.indracompany.com/es/blogneo/prometedores-mercados-realidad-virtual-realidad-aumentada>
- [7] ELAKRAMINE, F., JARADAT, R., ULLAH IBNE HOSSAIN, N., BANGHART, M., KERR, C., & EL AMRANI, S. (2021) *Applying Systems Modeling Language in an Aviation Maintenance System*. IEEE Transactions on Engineering Management 1–13. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3089438>
- [8] WYMAN, O. (2019) *Aviation Maintenance Industry Climbing into Workforce Headwind*. ARSA. <http://arsa.org/market-assessment/>
- [9] NUMFU, M., RIEL, A., & NOEL, F. (2019) *Virtual reality based digital chain for maintenance training*. Procedia CIRP, 84, 1069–1074. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.268>
- [10] REINOSO, R. (2013) *Introducción a la realidad aumentada*. Simo Network.
- [11] MANETTA, C., & BLADE, R. A. (1995) *Glossary of Virtual Reality Terminology*. International Journal of Virtual Reality, 1(2), 35–39. <https://doi.org/10.20870/IJVR.1995.1.2.2604>

- [12] CARVAJAL, M. & MARMOLEJO, L. (2010) *Presente y futuro de la realidad virtual*. Publicaciones ICESI, n^o 56. https://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/publicaciones_icesi/article/view/602
- [13] LUQUE ORDÓÑEZ, J. (2020) *Realidad Virtual y Realidad Aumentada*. Revista Digital de ACTA. Numero 63.
- [14] OTEGUI CASTILLO, J. (2017) *La realidad virtual y la realidad aumentada en el proceso de marketing*. Revista de Dirección y Administración de Empresas, 10(24), 155–229. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6304596>
- [15] PÉREZ, F. (2011) *Presente y Futuro de la Realidad Virtual*. Creatividad y Sociedad, 45. <https://tinyurl.com/yzjpakye>
- [16] BURDEA, G., & COIFFET, P. (2017) *Virtual Reality Technology (2nd ed.)*. Wiley. <https://www.perlego.com/book/1008944/virtual-reality-technology-pdf> (Original work published 2017)
- [17] LACUEVA, F., GRACIA, M., SANAGUSTÍN, L., GONZÁLEZ, C., & ROMERO, D. (2015) *Análisis: Realidad Aumentada aplicada a entornos industriales*. TecsMedia, 1–21.
- [18] GATTULLO, M., UVA, A. E., FIORENTINO, M., SCURATI, G. W., & FERRISE, F. (2017) *From Paper Manual to AR Manual: Do We Still Need Text?*. Procedia Manufacturing, 11 (June), 1303–1310. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.258>
- [19] ALESHI, A., SEKER, R., & BABICEANU, R. F. (2019) *Blockchain Model for Enhancing Aircraft Maintenance Records Security*. 2019 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security, HST 2019. <https://doi.org/10.1109/HST47167.2019.9032943>
- [20] ESPÍNDOLA, D. B., PEREIRA, C. E., SCHNEIDER, E., & VENTURA, R. (2018) *Improving maintenance operations through application of mixed reality systems*. IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline), 46(7), 11–16. <https://doi.org/10.3182/20130522-3-BR-4036.00073>
- [21] HINTZE, A., BLUEMEL, E., SCHULZ, T., STUERING, S. & SCHUMANN, M. (2003) *Virtual Environments for the Training of Maintenance and Service Tasks*. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference.
- [22] MASONI, R., FERRISE, F., BORDEGONI, M., GATTULLO, M., UVA, A. E., FIORENTINO, M., CARRABBA, E., & DI DONATO, M. (2017) *Supporting Remote Maintenance in Industry 4.0 through Augmented Reality*. Procedia Manufacturing, 11(June), 1296–1302. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.257>
- [23] ROY, R.ESCHEN, H., KÖTTER, T., RODECK, R., HARNISCH, M., & SCHÜPPSTUHL, T. (2018) *Augmented and Virtual Reality for Inspection and Maintenance Processes in the Aviation Industry*. Procedia Manufacturing, 19(2017), 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.01.022>

- [24] MATOS, N., GAMITO, P., PINTO, M., FERREIRA, J., & OLIVEIRA, L. (2019) *Implementation of advanced technologies into Aeronautic integrated maintenance concept - Use of virtual reality in ground-floor training maintenance execution*. MATEC Web of Conferences, 304, 06002. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201930406002>
- [25] BERNARD, F., ZARE, M., SAGOT, J. C., & PAQUIN, R. (2020) *Using Digital and Physical Simulation to Focus on Human Factors and Ergonomics in Aviation Maintainability*. Human Factors, 62(1), 37–54. <https://doi.org/10.1177/0018720819861496>
- [26] MOURTZIS, D., ANGELOPOULOS, J., & BOLI, N. (2018) *Maintenance assistance application of Engineering to Order manufacturing equipment: A Product Service System (PSS) approach*. IFAC-PapersOnLine, 51(11), 217–222. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.263>
- [27] HAN, Q., CAO, W., & YANG, L. (2012) *Study on optimization of aeronautical maintenance process*. Proceedings - 2012 International Conference on Computer Science and Electronics Engineering, ICCSEE 2012, 2, 203–206. <https://doi.org/10.1109/ICCSEE.2012.398>
- [28] CHEN, H., ZHANG, Q., LUO, J., XU, Y., & ZHANG, X. (2020) *An enhanced Bacterial Foraging Optimization and its application for training kernel extreme learning machine*. Applied Soft Computing Journal, 86, 105884. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105884>
- [29] HUANG, J., SONG, Y., REN, Y., & GAO, Q. (2015). *An optimization method of aircraft periodic inspection and maintenance based on the zero-failure data analysis*. 2014 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference, CGNCC 2014, 319–323. <https://doi.org/10.1109/CGNCC.2014.7007251>
- [30] RENGASAMY, D., MORVAN, H. P., & FIGUEREDO, G. P. (2018) *Deep Learning Approaches to Aircraft Maintenance, Repair and Overhaul: A Review*. IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, 2018-November, 150–156. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569502>
- [31] BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, BOE (1997) *Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización*. Boletín Oficial Del Estado, 1–6. <https://www.boe.es/buscar/pdf/1997/BOE-A-1997-8671-consolidado.pdf>
- [32] HARITOS, T., & MACCHIARELLA, N. D. (2005) *A mobile application of augmented reality for aerospace maintenance training*. AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference - Proceedings, 1 (January 2005). <https://doi.org/10.1109/DASC.2005.1563376>
- [33] ZENATI, N., BENBELKACEM, S., BELHOCINE, M., & BELLARBI, A. (2013) *A new AR interaction for collaborative E-maintenance system*. In IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline) (Vol. 46, Issue 9). IFAC. <https://doi.org/10.3182/20130619-3-RU-3018.00476>

- [34] WEBEL, S., BOCKHOLT, U., ENGELKE, T., GAVISH, N., OLBRICH, M., & PREUSCHE, C. (2013) *An augmented reality training platform for assembly and maintenance skills*. *Robotics and Autonomous Systems*, 61(4), 398–403. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2012.09.013>
- [35] DEL AMO, I. F., GALEOTTI, E., PALMARINI, R., DINI, G., ERKOYUNCU, J., & ROY, R. (2018) *An innovative user-centred support tool for Augmented Reality maintenance systems design: A preliminary study*. *Procedia CIRP*, 70, 362–367. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.020>
- [36] MURA, M. D., DINI, G., & FAILLI, F. (2016) *An Integrated Environment Based on Augmented Reality and Sensing Device for Manual Assembly Workstations*. *Procedia CIRP*, 41, 340–345. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.128>
- [37] HINCAPIÉ, M., CAPONIO, A., RIOS, H., & GONZÁLEZ MENDÍVIL, E. (2011). *An introduction to Augmented Reality with applications in aeronautical maintenance*. *International Conference on Transparent Optical Networks*. *International Conference on Transparent Optical Networks*, 14–17. <https://doi.org/10.1109/ICTON.2011.5970856>
- [38] FERNÁNDEZ DEL AMO, I., ERKOYUNCU, J. A., ROY, R., & WILDING, S. (2018) *Augmented Reality in Maintenance: An information-centred design framework*. *Procedia Manufacturing*, 19, 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.01.021>
- [39] QUANDT, M., KNOKE, B., GORLDT, C., FREITAG, M., & THOBEN, K. D. (2018) *General Requirements for Industrial Augmented Reality Applications*. *Procedia CIRP*, 72, 1130–1135. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.061>
- [40] ERKOYUNCU, J. A., DEL AMO, I. F., DALLE MURA, M., ROY, R., & DINI, G. (2017) *Improving efficiency of industrial maintenance with context aware adaptive authoring in augmented reality*. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 66(1), 465–468. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.006>
- [41] CHICK, S., BLUEMEL, E., & SCBUMANN, M. (2003) *Improving maintenance operations through application of mixed reality systems*. *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*
- [42] CUI, Y. Y., & ZHAI, Q. G. (2011) *Supervise on aircraft reliability for improving maintenance program continuously*. *ICQR2MSE 2011 - Proceedings of 2011 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering*, 607–609. <https://doi.org/10.1109/ICQR2MSE.2011.5976685>
- [43] PORCELLI, I., RAPACCINI, M., ESPÍNDOLA, D. B., & PEREIRA, C. E. (2013) *Technical and organizational issues about the introduction of augmented reality in maintenance and technical assistance services*. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 46(7), 257–262. <https://doi.org/10.3182/20130522-3-BR-4036.00024>
- [44] QUINT, F., LOCH, F., & BERTRAM, P. (2017) *The Challenge of Introducing AR in Industry - Results of a Participative Process Involving Maintenance Engineers*. *Procedia Manufacturing*, 11(June), 1319–1323. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.260>

- [45] YU, Z., YUAN, J., & GENG, H. (2013) *Virtual maintenance environment layout planning research based on GA*. Proceedings - 2013 2nd International Symposium on Instrumentation and Measurement, Sensor Network and Automation, IMSNA 2013, 562–566. <https://doi.org/10.1109/IMSNA.2013.6743339>

