

ESTADO DEL ARTE DEL MANTENIMIENTO AERONÁUTICO SIN EL USO DE PAPEL

MIGUEL ÁNGEL BARDALES VÁSQUEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AERONÁUTICA
INGENIERÍA AERONÁUTICA
MEDELLÍN

2021

ESTADO DEL ARTE DEL MANTENIMIENTO AERONÁUTICO SIN EL USO DE PAPEL

MIGUEL ÁNGEL BARDALES VÁSQUEZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero
Aeronáutico

Asesor

JUAN CAMILO ARCILA BEDOYA

Ingeniero Aeronáutico

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA AERONÁUTICA

INGENIERÍA AERONÁUTICA

MEDELLÍN

2021

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado está dedicado a mi familia, por haberme apoyado y orientado siempre hacia el logro de mis objetivos; muchos de mis logros se los debo a ellos entre los que se incluye este.

A mis maestros, quienes nunca desistieron al enseñarme, y por su gran disposición para transmitirme sus conocimientos.

A todos los que me apoyaron para escribir y concluir este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres y hermano, por apoyarme en los momentos en los que más los necesité, por motivarme a cumplir mis metas, les dedico este trabajo y mi título de ingeniero.

Agradezco también a mi asesor de trabajo de grado el Ing. Juan Camilo Arcila por haberme dado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos, además por haber tenido siempre la disposición para apoyarme y motivarme durante el desarrollo de este trabajo.

A todas las personas que me han apoyado de manera directa e indirectamente, les agradezco.

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS	vii
GLOSARIO	viii
ABREVIATURAS	ix
OBJETIVOS.....	x
OBJETIVO GENERAL.....	x
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	x
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	12
1 ESTADO DEL ARTE	13
1.1 ANTECEDENTES DEL PAPERLESS MAINTENANCE	13
1.2 ORÍGENES DEL PAPERLESS	14
1.3 CLASES DE DOCUMENTOS	15
1.3.1 Tarjetas de tareas (task cards):	16
1.3.2 Orden de trabajo:.....	16
1.3.3 Orden de ingeniería:.....	16
1.3.4 Tarjetas de tareas no rutinarias:	17
1.3.5 Libro de vuelo:	17
1.3.6 Libro de cabina de pasajeros:	17
1.4 REGULACIONES APLICABLES.....	17
1.5 ORGANIZACIONES QUE HAN IMPLEMENTADO EL PAPERLESS MAINTENANCE Y CASOS EXITOSOS.....	19
1.6 SOFTWARE Y PROVEEDORES	21
1.7 BENEFICIOS Y DESAFÍOS DEL PAPERLESS MAINTENANCE.....	22
2 ANÁLISIS COMPARATIVO	23
2.1 ESTADO ACTUAL DEL PAPERLESS POR REGIONES.....	23
2.2 REGULACIÓN SEGÚN REGIONES.....	24
2.2.1 No se restringe otros medios de registro diferentes al papel	25
2.2.2 Se menciona de forma explícita que se pueden tener registros en papel o formato electrónico.....	25
2.2.3 Circular informativa para orientar acerca del uso de registros y firmas electrónicas	26
2.3 ANÁLISIS DEL MANEJO DE REGISTROS TÉCNICOS EN UNA AEROLÍNEA SIN PAPERLESS MAINTENACE.....	28
2.3.1 Manejo y administración de registros de mantenimiento en aerolíneas con	

registros en papel.....	29
2.3.1.1 Recepción y verificación de la cantidad de los registros.....	29
2.3.1.2 Revisión de la calidad de los registros	29
2.3.1.3 Notificación y solución de las no conformidades encontradas en los registros de mantenimiento	29
2.3.1.4 Archivo y control de los registros.....	30
2.3.1.5 Consulta, préstamo y salida permanente de registros técnicos	30
2.3.1.6 Almacenamiento y depuración de archivos.....	30
2.3.2 Análisis de los principales cambios requeridos en el manejo de registros para implementar el paperless maintenance.....	31
2.3.3 Consideraciones para el almacenamiento de los registros técnicos en una aerolínea sin paperless maintenance	33
2.3.3.1 Sistema de detección, alarma y extinción de incendios.....	33
2.3.3.2 Cajas para archivo de registros	34
2.3.3.3 Control de temperatura y humedad	34
2.3.3.4 Chequeos periódicos	34
2.3.4 Análisis de las consideraciones técnicas que debe cumplir una aerolínea para migrar a los registros electrónicos, siguiendo directivas de la OACI y la FAA....	35
3 PROYECCIONES Y VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PAPERLESS MAINTENANCE.....	36
3.1 PROYECCIONES A CORTO PLAZO	36
3.2 PROYECCIONES A LARGO PLAZO.....	37
3.3 VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DEL PAPERLESS MAINTENANCE EN AEROLINEAS LATINOAMERICANAS.....	39
4 CONCLUSIONES.....	41
5 BIBLIOGRAFÍA	43

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Clasificación de los registros de mantenimiento de las aerolíneas	16
Tabla 1. Beneficios y desafíos del paperless maintenance [22]	22
Tabla 2. Comparación del paperless maintenance por regiones	24
Tabla 3. Tiempos de almacenamiento de registros técnicos [33]	31
Tabla 4. Chequeos periódicos de los registros técnicos [33]	34
Figura 2. Crecimiento del arrendamiento de aviones desde 1970 al 2021 [39]	38
Figura 3. Tamaño de flota de aerolíneas con paperless maintenance	40

GLOSARIO

PAPERLESS MAINTENANCE: es el manejo de documentación digital para el mantenimiento de aeronaves.

FIRMA ELECTRÓNICA: es el equivalente electrónico de una firma manuscrita. Puede ser un sonido, símbolo o proceso electrónico adjunto o asociado lógicamente con un contrato u otro registro y ejecutado por una persona con la intención de firmar el registro.

FIRMA DIGITAL: es una firma electrónica que incorpora datos generados criptográficamente que identifican al firmante de un documento con fecha y hora, y además certifican que el documento no ha sido alterado.

REGISTROS DE MANTENIMIENTO: son documentos que incluyen información sobre cada trabajo de reparación y mantenimiento que se realiza en los activos o equipos.

REGISTRO ELECTRÓNICO: es un contrato u otro registro creado, generado, enviado, comunicado, recibido o almacenado por medios electrónicos.

REGULACIÓN AERONÁUTICA: son reglamentos generados por las Autoridades Aeronáuticas de cada país y que rigen todas las actividades referentes a la aviación dentro del mismo.

SISTEMA DE MANTENIMIENTO DE REGISTROS ELÉCTRONICOS: es un sistema de procesamiento de registros en el que los registros se ingresan, se firman, se almacenan y se recuperan electrónicamente mediante un sistema informático.

MRO: Se conoce como MRO (Maintenance, Repair, and Overhaul) a un taller donde se hace Mantenimiento, Reparación y Overhaul de aeronaves.

ABREVIATURAS

IATA: International Air Transport Association

FAA: Federal Aviation Administration

EASA: European Union Aviation Safety Agency

OACI: Organización de Aviación Civil internacional

CASA: Civil Aviation Safety Authority

EJOB CARD: Electronic Worksheet

LAR: Reglamento Aeronáutico Latinoamericano

TI: Tecnología de la Información

AC: Advisory Circular

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

El proyecto tiene como objetivo general levantar el estado del arte referente a la implementación del no uso de papel en el mantenimiento aeronáutico (*paperless maintenance*), a nivel mundial y con especial atención en las proyecciones a futuro de la implementación de estas tecnologías en el continente suramericano.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reunir información acerca de las organizaciones, autoridades, regulaciones, software, y de los resultados obtenidos hasta el momento con la implementación de este nuevo concepto del mantenimiento de aeronaves.
- Análisis comparativo de los avances a nivel mundial con el estado actual de *paperless maintenance* en Latinoamérica y establecer proyecciones a futuro en la misma región.
- Investigar proyecciones futuras de implementación de *paperless maintenance* en organizaciones de mantenimiento latinoamericanas.

RESUMEN

El presente proyecto de investigación genera un estado del arte acerca de la implementación de sistemas electrónicos que permitan la ejecución y registro de tareas de mantenimiento sin hacer uso del papel (*paperless maintenance*).

El mismo está enfocado en servir como una guía para las aerolíneas que tienen planeado implementar un sistema de generación y conservación de registros de mantenimiento en formato electrónico.

Los registros de mantenimiento analizados en este documento son únicamente los generados durante el día a día de una aerolínea. El alcance de el mismo no incluye registros de mantenimiento generados por el fabricante de la aeronave o los talleres de mantenimiento.

En el capítulo inicial se realiza un estado del arte que ayuda a comprender las razones por las cuales surge esta nueva metodología de registro del mantenimiento. Además, se muestran los avances que ha tenido el *paperless maintenance* hasta el momento. Dichos avances se centran en el estado de la regulación referente a los registros de mantenimiento electrónicos, organizaciones que lo implementaron, resultados obtenidos, software y proveedores.

El capítulo 2 presenta un análisis comparativo del estado actual del *paperless maintenance*. La comparación tiene como referentes al continente americano y al continente europeo, debido a que estas regiones poseen dos de las autoridades reguladoras de la aviación civil más importantes del mundo, y compararlas ayuda a comprender los retos que enfrenta la implementación del *paperless maintenance* en cuanto a la parte regulatoria.

En este capítulo también se incluyó un análisis comparativo de los principales estándares que debería cumplir una aerolínea que maneja registros de mantenimiento en papel, para convertirse en una aerolínea con *paperless maintenance*. Para el desarrollo de este análisis se tomó el caso de una aerolínea de la región, como ejemplo de aerolínea que aun maneja registros de mantenimiento en papel y además algunas guías de la FAA y la OACI que orientan acerca de los requisitos necesarios para implementar los registros electrónicos.

Finalmente, en el capítulo 3 se muestran proyecciones a corto y a largo plazo acerca del futuro del uso de los registros de mantenimiento en formato electrónicos, teniendo en cuenta los factores que acelerarían o dificultarían su implementación en los próximos años. Este capítulo también incluye un breve análisis acerca de la viabilidad de implementar el *paperless maintenance* en aerolíneas de la región latinoamericana.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, varias industrias han cambiado y continúan cambiando sus controles, procesos, y métodos de registro de las tareas de mantenimiento al formato digital; esto como consecuencia de necesidades de optimización de recursos y de la nueva tecnología disponible, como firmas electrónicas.

La digitalización es algo que ha estado presente en la industria aérea desde hace 26 años. Como ha mencionado Bachan [1], un ejemplo fue el diseño y producción del Boeing 777 ya que en estas etapas no se utilizó papel .

La IATA sostiene [1] que las condiciones actuales del mantenimiento de aeronaves teniendo como medio de registro y documentación el papel, están enfrentando muchos problemas, principalmente de eficiencia, sostenibilidad ambiental, rentabilidad económica, seguridad, entre otros. Según Allan Bachan [1]: “Los procesos de mantenimiento centrados en el papel pueden ser eficientes y rentables cuando se aplican correctamente”, pero esta perfección es difícil de lograr debido a los errores humanos. En el presente, una gran cantidad de organizaciones de mantenimiento en todo el mundo, creen que la solución a los problemas del mantenimiento con papel es la transición hacia el *paperless maintenance*.

La tendencia actual de las aerolíneas al igual que empresas de otras industrias, es la búsqueda de métodos para optimizar y escalar sus procesos, lo cual se hace difícil cuando estos se centran en el uso de papel. El hecho de imprimir y clasificar las tarjetas de tareas de mantenimiento de una aeronave se vuelve un proceso complejo, especialmente cuando la aerolínea es muy grande y cuenta con una amplia flota de aeronaves.

Hay que tener en cuenta que, con los años, una aeronave puede generar tal cantidad de registros en papel que se puede llenar un salón completo de cajas, esto debido a la gran cantidad de documentos necesarios para realizar y registrar las tareas de mantenimiento de las aeronaves. Sin embargo, según Cunningham [1] con la implementación de registros de mantenimiento en formato electrónico, el proceso de administración de los registros técnicos es más sencillo, ya que se pueden rastrear los documentos en un software mediante palabras clave, además se puede producir, clasificar, almacenar y recuperar los documentos de registros de manera rápida [2].

Aunque la implementación del *paperless maintenance* también tiene algunos aspectos que hacen cuestionar su viabilidad a corto plazo, tales como el costo económico elevado de la transición del papel a lo digital y el cumplimiento de requisitos normativos, también tiene beneficios futuros en eficiencia, incremento de rentabilidad, aumento de la seguridad, satisfacción del cliente.

CAPÍTULO 1

1 ESTADO DEL ARTE

1.1 ANTECEDENTES DEL PAPERLESS MAINTENANCE

Desde los inicios de la aviación, hasta el año 1926, los técnicos de las aeronaves no estaban obligados a registrar o documentar el mantenimiento que estaban realizando a la aeronave, además, existían pocas regulaciones en cuanto al mantenimiento de las aeronaves, lo cual llevó a la falta de estandarización de procedimientos y sus correspondientes registros.

A partir de la Ley de Comercio Aéreo de 1926 [3], los técnicos comenzaron a tomar notas y a documentar sus reparaciones; por lo cual, podemos tomar este punto de partida como el año en el cual se comenzó a utilizar el papel de forma masiva como medio de registro de mantenimiento aeronáutico.

Actualmente la mayoría de los explotadores de aeronaves siguen utilizando el papel como la forma tradicional de registrar las acciones derivadas de los procesos de mantenimiento programado y no programado, y estos registros son recopilados en cajas y guardados en espacios reservados para conservar los documentos, asegurando los requisitos mínimos legales de aeronavegabilidad de las aeronaves en cuanto a su documentación [4].

Debido a estas exigencias, la IATA considera [2] que la aviación es una industria altamente regulada y las organizaciones de mantenimiento están continuamente sujetas a auditorías y aprobaciones por parte de las autoridades aeronáuticas para cumplir con los requisitos operativos y de calidad del mantenimiento de aeronaves exigidos.

Otro factor que influye en que las acciones de mantenimiento se registren en el papel es que los contratos de arrendamiento de las aeronaves exigen que muchos de los registros de mantenimiento sean físicos, ya que el papel es el medio más fácil para demostrar la originalidad de un documento, debido a que se pueden hallar indicios que acreditan que las instrucciones y procedimientos de la tarea han sido seguidas, siendo algunos de estos la presencia de arrugas, manchas, cierto cambio de color en el papel, entre otros. Lewandowski en [5] y la academia de aviación Sofema [6] mencionan que esto es conocido en la industria del mantenimiento aeronáutico como “huellas dactilares sucias” (Dirty Finger print).

Usar el papel como medio de registro de mantenimiento trae consigo algunas ventajas, aunque en la actualidad el uso de registros en papel se está volviendo un problema, debido principalmente a los costos que se generan para almacenar, conservar, recuperar y transferir estos documentos. El principal problema se da cuando se transfiere una aeronave de un operador a otro, ya que, el operador que recibe la aeronave hereda una cantidad

considerable de cajas con estos registros.

Aunque el papel aún sigue siendo utilizado de forma masiva por los operadores debido a la confianza que genera tener los registros de forma física, también tiene la desventaja de ser muy vulnerable a sufrir daños debido a incendios, inundaciones, o cualquier otro tipo de evento que pudiera afectar a los mismos [4].

1.2 ORÍGENES DEL PAPERLESS

Para una aerolínea el producir, administrar y almacenar los documentos en papel son procesos que requieren mucho trabajo, y, aunque estos podrían ser eficientes y rentables si se aplican de manera correcta, según Stone [1], el almacenar los registros técnicos de un avión en su edad madura podrían llenar salas con cajas de papel.

Elliot [1] cita el caso de un avión de pasajeros, el cual debe esperar hasta que "el mecánico llene un formulario en papel y lo lleva a la cabina del piloto para la firma del capitán". Debido a este ineficiente proceso el costo en tiempo y dinero puede ser significativo, pero con el uso de un software adecuado se puede hacer que todo el proceso sea digital, mucho más rápido e incluso más seguro [1].

Según Bachan [1], los métodos de registro electrónicos y digitales poseen ciertos desafíos relacionados con aumento de costos generales o ineficiencias generadas si los métodos de registro digitales solo reflejan o repiten los procesos en papel en lugar de reemplazarlos.

Desde su origen, la filosofía del *paperless maintenance* ha enfrentado algunos desafíos, entre ellos los exigentes requisitos técnicos y normativos para su implementación, los cuales son detallados en la Advisory Circular AC 120-78A [7]. Dichos requisitos son que la firma electrónica debe ser fácil de rastrear y recuperar (el usuario debe poder identificar y recuperar los documentos a los que se ha aplicado su firma electrónica), debe contar con protocolos de seguridad y prevención de accesos no autorizados y modificaciones, además debe ser permanente e inalterable, la firma debe ser fácil de identificar y autenticar, entre otros [7].

A pesar de estos desafíos, la implementación de los registros de mantenimiento sin el uso de papel trae muchas ventajas, como el aumento en la eficiencia en la mano de obra de los técnicos y el personal administrativo, y la reducción en el desperdicio de papel, además de la reducción de los costos de su almacenamiento y el incremento en eficiencia del personal que se dedica a la búsqueda de información.

El paperless maintenance, también aseguraría la conservación de los registros, evitándose la pérdida de estos, lo que evitaría los gastos derivados de la duplicación de actividades de mantenimiento, y la transferencia de registros de aeronaves entre operadores sería más sencilla y rápida [8].

En la actualidad, varias industrias como la minera han cambiado y continúan cambiando sus controles, procesos, y métodos del papel al formato digital. En la aviación, todavía existe renuencia a pasar a la tecnología sin papel y solo un pequeño porcentaje de aerolíneas han adoptado parcialmente los registros digitales. Esto se debe a que aún existen algunos desafíos para implementar una estrategia sin papel, los cuales dependen de tres partes interesadas, siendo la primera las autoridades aeronáuticas, los arrendadores y los operadores.

1.3 CLASES DE DOCUMENTOS

Para entender mejor la clasificación de los documentos de mantenimiento generados por las aerolíneas, se debe conocer que existen dos tipos de mantenimiento de aeronaves. En [9] explican ambos tipos de mantenimiento, el primero es el mantenimiento programado, el cual es detallado por el fabricante y es realizado en intervalos regulares. En cambio, el mantenimiento no programado, es aquel que se realiza cuando ocurren situaciones no esperadas durante el desarrollo de la operación y del mantenimiento programado de la aeronave.

En [10] se explica que cuando se realiza un mantenimiento programado, las aerolíneas generan tarjetas de tareas (task cards), órdenes de trabajo, y órdenes de ingeniería. En cambio, para realizar un mantenimiento no programado, la aerolínea generará reportes en los libros de vuelo (Logbook), en los libros de cabina de pasajeros (Cabin Logbook) y en los formatos específicos para reporte no rutina.

El flujograma de la figura 1 muestra la clasificación de la documentación que genera la aerolínea para realizar las actividades de mantenimiento de sus aeronaves.

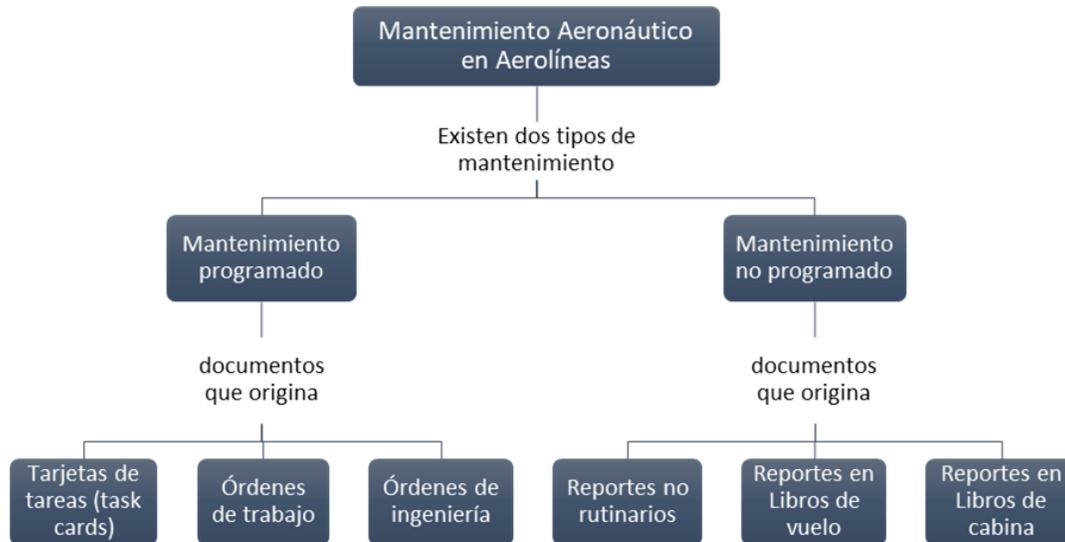


Figura 1. Clasificación de los registros de mantenimiento de las aerolíneas

La definición de cada uno de los documentos se detalla a continuación:

1.3.1 Tarjetas de tareas (task cards):

Son tarjetas u hojas separadas que permiten que el mecánico pueda realizar su trabajo sin llevar todo el manual de mantenimiento a la aeronave. En [10], [11] se explica que estas tarjetas contienen información detallada para el trabajo de mantenimiento programado en aeronaves o piezas de equipo, esta información de las tareas de mantenimiento es extraída del Aircraft Maintenance Manual (AMM).

Las aerolíneas tienen un medio de control de las task cards, que genera una alerta de aviso cuando las tareas están por cumplir su ciclo, y de esa alerta se procede a generar una orden de trabajo para generar su cumplimiento.

1.3.2 Orden de trabajo:

Son documentos que se generan para cumplir la tarea de mantenimiento descrita en un paquete o conjunto de múltiples task cards, o para realizar algún trabajo menor en la aeronave o en los motores.

1.3.3 Orden de ingeniería:

Son los documentos utilizados para realizar el cumplimiento de un Service Boletín (SB), Service Letter (SL), Airworthiness Directives (AD), reparaciones mayores, alteraciones

mayores, STC y otro tipo de acciones específicas que requieren un alto nivel de detalle, como un intercambio de motores entre aeronaves [10].

1.3.4 Tarjetas de tareas no rutinarias:

Las tarjetas de tareas no rutinarias (N/R) son creadas cuando se descubre algún daño o defecto en la aeronave mientras se trabaja en la tarjeta de tareas o en la orden de trabajo programada. Estas tarjetas de tareas no rutinarias se consideran eventos de mantenimiento no planificados, y funcionan de manera similar a las Tarjetas de tareas programadas (task cards).

1.3.5 Libro de vuelo:

Es un tipo de documento requerido por la autoridad aeronáutica y la aerolínea para que la tripulación de la cabina de vuelo deje registrada cualquier discrepancia técnica u operacional ocurrida durante el tiempo que estuvo al mando de la aeronave. El libro de vuelo siempre debe estar a bordo de la aeronave.

1.3.6 Libro de cabina de pasajeros:

A diferencia del libro de vuelo, en este libro se registran las discrepancias técnicas encontradas en la cabina de pasajeros, relacionadas con su comodidad, su seguridad y la capacidad de la tripulación de cabina para realizar sus funciones.

1.4 REGULACIONES APLICABLES

Cada país posee su propia autoridad aeronáutica civil, pero las principales autoridades reguladoras se encuentran en los países líderes en la fabricación de aeronaves. Los Estados Unidos de América es uno de estos países, con la *Federal Aviation Administration* (FAA) como su autoridad reguladora, mientras que los países europeos tienen una autoridad aeronáutica conjunta, la *European Union Aviation Safety Agency* (EASA).

En el sector aeronáutico civil también existen muchas organizaciones que actúan como autoridades de la industria aérea, entre las más importantes están: la *International Civil Aviation Organization* (ICAO), considerada como la máxima organización aeronáutica civil, y cuya función es promover el desarrollo ordenado y seguro de la aviación internacional. Además, la ICAO brinda recomendaciones para la mejora de la aviación civil en sus países miembros, las cuales son seguidas por las autoridades aeronáuticas de sus países miembros [12]. La *International Air Transport Association* (IATA) es otra de las más importantes, la cual es una asociación comercial mundial de las líneas aéreas internacionales, y cuyo propósito es abogar por la “cooperación entre aerolíneas” para promover viajes aéreos seguros, confiables y económicos [13].

Las autoridades aeronáuticas exigen la preservación de todos los documentos derivados de la explotación y operación de las aeronaves. Como sostiene Bachan [1], para cumplir con dicha preservación de registros, el papel sigue siendo el medio más utilizado en la aviación, esto como consecuencia de temas regulatorios, legales y financieros.

Revisando las Regulaciones Federales de Aviación (FARs) [14], específicamente los capítulos relacionados con registros de mantenimiento (FAR 43, 91, 121 y 145), se encontraron pocos indicios por parte de la Autoridad Americana para fomentar el registro de las acciones de mantenimiento de las aeronaves sin el uso de papel.

En el subcapítulo 43.9 de las FARs se resalta la importancia de la firma de las personas que realizan o aprueban los trabajos de mantenimiento. En [8] se explica que este es uno de los principales retos que afronta el *paperless maintenance*, ya que las autoridades reguladoras deben estar convencidas que las firmas y todo lo registrado en los documentos no sean alterados en caso de seguir la filosofía del *paperless maintenance*.

Una de las normas más importantes a revisar para iniciar un proceso de implementación del *paperless maintenance* es la FAR 91.417, la cual menciona los registros de mantenimiento y el tiempo que estos deberán ser conservados por el operador de la aeronave. Entre los registros que los operadores de aeronaves deben conservar hasta que la aeronave sea vendida se tiene las órdenes de ingeniería, las órdenes de trabajo, el libro de vuelo, y los reportes no rutinarios. En cambio, otros registros como el libro de cabina de pasajero y las task cards, deberán ser conservadas solo hasta que el trabajo se complete nuevamente o durante 1 año después de realizado el trabajo.

En la FAR 43.10: *Disposition of life-limited aircraft parts*, se menciona de forma explícita que se pueden utilizar registros electrónicos, incluidos los de mantenimiento.

Revisando la FAR 121.380: *Maintenance recording requirements*, no se encontró información acerca de los medios que pueden ser utilizados como registro de mantenimiento; sin embargo, en este subcapítulo de la regulación aeronáutica americana se menciona que cada titular del certificado de operación de la aeronave deberá mantener los registros de mantenimiento usando el sistema especificado en el manual requerido en la FAR 121.369: *Manual requirements*. En dicho subcapítulo se menciona que se pueden usar varios sistemas de registros de mantenimiento, pero deben proporcionar la preservación y recuperación de información de una manera aceptable para el administrador de dichos registros.

La FAA, publicó en junio del 2016 la Advisory Circular AC 120-78A [7] que proporciona estándares y orientación para firmas electrónicas, mantenimiento de registros electrónicos y sistemas manuales electrónicos, lo que evidencia el interés de la Autoridad Aeronáutica Americana por avanzar en el proceso de aceptación y estandarización de los registros de mantenimiento digitales.

Además de la FAA, otras importantes Autoridades Aeronáuticas, han publicado circulares informativas para orientar acerca del uso de registros y firmas electrónicas. En [2] se

presentan dichos documentos, entre los que se tiene la AC 571-006: *Electronic Signatures, Electronic Recordkeeping, and Electronic Manuals*, publicado por Transport Canada, o la AC 11-3(1): *Electronically Formatted Certifications, Records & Management Systems* publicada por la autoridad aeronáutica australiana conocida como Civil Aviation Safety Authority (CASA).

LA FAA desarrolló el documento "*Flight Standards Information Management System (FSIMS)*" [15], en el cual también se comparte un guía que orienta los requisitos para la aceptación de un sistema de mantenimiento de registros electrónicos.

La OACI también ha incluido un documento guía en la cuarta edición de su manual de aeronavegabilidad (Doc.9760) [16], en el cual se encuentra un documento guía conocido como el anexo "B": *guidance for the acceptance of electronic aircraft maintenance records (EAMR) and continuing airworthiness records*, en el que se mencionan los requisitos para la aceptación de un sistema de registros de mantenimiento en formato electrónico. Algunos requisitos con los que debe contar dicho sistema son: posibilidad de corrección de los registros con firma, hora y fecha para cada corrección realizada, protección de los registros por medios electrónicos contra la pérdida, destrucción o alteración en la medida equivalente a la proporcionada a los registros en papel y recuperación de datos, entre otros.

1.5 ORGANIZACIONES QUE HAN IMPLEMENTADO EL PAPERLESS MAINTENANCE Y CASOS EXITOSOS

Actualmente, algunos talleres y aerolíneas en Europa, Norteamérica y Latinoamérica se encuentran en planes de implementar el paperless. En [17] se menciona que Lufthansa Technik, tiene varios años documentando la resolución de defectos en aeronaves de Lufthansa Airlines y Lufthansa Cargo en formato electrónico. Un ejemplo es la hoja de trabajo electrónica (eJobcard) que ya se ha introducido en todas las estaciones de mantenimiento de línea alemanas.

Porter Airlines fue la primera aerolínea en recibir la aprobación de la autoridad de aviación civil de ese país, Transport Canada (TC), para la gestión de registros de mantenimiento sin papel [18]. Esta aerolínea comenzó las pruebas del software en sus bases de mantenimiento en enero del 2019, y para julio de ese mismo año sus operaciones de mantenimiento eran completamente sin papel.

Jazz (Jazz Aviation LP), otra aerolínea canadiense, diseñó procesos que facilitaron sus procesos de devoluciones de aeronaves, ya que los arrendadores solo requerían algunos registros en papel, como SB (boletines de servicio), AD (directivas de aeronavegabilidad), desviaciones estructurales, entre otros, lo cual fue aproximadamente el 8% del total de la documentación [19].

Japan Airlines (JAL), es otra aerolínea asiática que inició en el 2020 la transición hacia el *paperless maintenance*. La iniciativa de la operación y mantenimiento sin papel surgió gracias a la compra de su flota A350. La perspectiva de operar la aeronave más avanzada disponible en el mercado con procesos de papel heredados no era viable para JAL [20].

Techops México, como taller de mantenimiento en Latinoamérica ya ha implementado la nueva tecnología del *paperless maintenance*. Según un artículo de una revista de aviación (Aircraft IT), Techops México implementó en el 2017 la gestión de ingeniería sin papel, lo que le permitió reducir el tiempo de entrega de aeronaves en un 10 % en promedio, además se optimizó en un 30 % el tiempo de realización de cada una de las tareas de mantenimiento [21].

Easyjet, una aerolínea low-cost europea, también se encuentra en proceso de implementar el paperless. Están diseñando una solución en colaboración con sus proveedores de software de mantenimiento actuales, Swiss Aviaton Software Y AIMS Airline Software [22], los cuales han implementado la firma electrónica y la incorporación de informes de daños de aeronaves directamente en el software de mantenimiento que anula la necesidad de formularios en papel.

Easyjet, mediante el reporte “*Our Innovation journey - a Paperless Operation*” [22], ilustra como era el proceso de registros de mantenimiento antes de la implementación de la firma electrónica. El principal reto era verificar y escanear diariamente 950 páginas de registro técnico y de 370 paquetes de trabajos de mantenimiento de una flota de 300 aviones que posteriormente debían ser almacenados en el cuarto de registros técnicos, el cual tenía más de 4592 cajas y cerca de 10 millones de documentos guardados.

Con este panorama y la cantidad de horas hombre dedicadas a la administración de los registros en papel, Easyjet necesitaba de un plan de acción enfocado a la mejora; por lo cual, decidió implementar los registros técnicos digitales y la firma electrónica. En [22] Easyjet presenta los resultados obtenidos luego de su implementación, los cuales han sido muy beneficiosos. La reducción del 80% del uso de papel y la reducción de gastos de logística y almacenamiento de registros técnicos son algunos de ellos.

Cathay Pacific, una aerolínea Hongkonesa ya logró resultados sobresalientes en la transición de los registros en papel a los digitales, los cuales fueron presentados en el 2015 en la RFID & Paperless Aircraft Technical Operations Conference de la IATA [8]. En dicha conferencia se presentaron algunos de los beneficios que obtuvo esta aerolínea, los cuales fueron ahorros anuales de \$ 2.2 millones de dólares y 470 días / hombre de trabajo en sus procesos de devolución de aeronaves al arrendador [8].

1.6 SOFTWARE Y PROVEEDORES

Uno de los proveedores más grandes de software que permite la reducción del papel es la empresa Ultramain Systems, que, por medio de su software ULTRAMAIN ELB [23] permite a las tripulaciones de vuelo registrar y transmitir registros precisos en tiempo real y facilita la correlación inmediata de defectos similares, lo que permite a los equipos de mantenimiento investigar los problemas antes de la llegada de la aeronave.

La compañía Ultramain también ofrece el software de mantenimiento e ingeniería M&E / MRO, ULTRAMAIN® [24], el cual es un software basado en una web que puede ser utilizado con teléfonos inteligentes y tabletas. El software bien beneficia tanto a los operadores como a los encargados de mantenimiento al eliminar la complejidad de la entrada de datos.

Otro proveedor de software es Swiss Aviation Software (Swiss-AS), el cual ofrece el software MRO AMOS [25]. La firma electrónica está integrada en todos los módulos de AMOS, los usuarios de los departamentos de ejecución están en condiciones de editar o cerrar electrónicamente órdenes de trabajo y almacenarlas en PDF.

Otra compañía es EmpowerMX, la cual ofrece el software FleetCycle [26]. Esta es una solución que garantiza que los libros de vuelo, las tareas de mantenimiento rutinarias y no rutinarias, entre otros se manejen digitalmente de principio a fin. La utilización de este software trae consigo muchos beneficios como: realizar un seguimiento preciso del cumplimiento de tareas de las AD's, modificaciones, boletines de servicio y aeronavegabilidad, registros de resolución y discrepancia de aeronaves, documentación de aeronavegabilidad y desmontaje de componentes.

TRAX, la compañía líder en el mercado de software de gestión de flotas de aviones también ofrece soluciones de software para el manejo de registros electrónicos, como lo son: TRAX eMRO y eMobility [27], los cuales admiten el uso de firmas digitales, paquetes de trabajo y manuales sin papel. Además, estos software cuentan con capacidad RFID para logística, seguridad biométrica, acceso a información desde un dispositivo móvil sin requerir conexión a internet, soluciones basadas en web y permite a sus usuarios trabajar en cualquier lugar con fácil acceso a información en tiempo real.

1.7 BENEFICIOS Y DESAFÍOS DEL PAPERLESS MAINTENANCE

La tabla 1 muestra un resumen de los principales beneficios y desafíos que resultarían de la implementación de registros de mantenimiento electrónicos.

Tabla 1. Beneficios y desafíos del paperless maintenance [22]

Implementación de registros de mantenimiento electrónicos	
Beneficios	Desafíos
Elimina el riesgo de error en términos de responsabilidad de los registros	La aceptación de los reguladores del uso de documentos digitales en sustitución del papel
Ahorro de costos de envío y almacenamiento de documentos en papel	Aceptación de la firma electrónica de la misma forma que una firma manuscrita
Acceso remoto a documentos por parte de arrendadores, autoridades, y áreas de la organización que los requieran	Armonización de la regulación referente al <i>paperless maintenance</i> por parte las Autoridades Aeronáuticas de cada país
Comprobaciones de mantenimiento más eficientes al eliminar el requisito de imprimir y firmar	Armonizar las soluciones tecnológicas que permitan el acceso práctico al sistema y la portabilidad de los datos
Mejora la seguridad al tener pasos de cierre de documentos obligatorios	Los arrendadores deben estandarizar sus requisitos para la gestión de registros y promover el <i>paperless maintenance</i>
Mayor facilidad y eficiencia en la búsqueda de información	Estandarizar los contratos de arrendamiento relacionados con los registros electrónicos
Registros más seguros, evitándose daños o deterioro	Adopción de estándares comunes para la portabilidad de datos entre aerolíneas, MRO y organizaciones proveedoras
Ayuda a mantener el valor de los activos (aeronaves) y se reduce el tiempo de transferencia de registros entre operadores de aeronaves	Adopción universal de estándares para sistemas propietarios y comunicaciones (migración de datos) entre sistemas propietarios
Aumento en la eficiencia de la mano de obra	Cuantificar el costo / beneficio y el momento de pasar a la tecnología sin papel
Almacenamiento reducido	Exigentes requisitos técnicos y normativos

CAPITULO 2

2 ANÁLISIS COMPARATIVO

2.1 ESTADO ACTUAL DEL PAPERLESS POR REGIONES

Teniendo en cuenta la información encontrada acerca del estado actual del *paperless maintenance*, y habiendo sido revisada la regulación de las principales autoridades aeronáuticas de las regiones comparadas (América y Europa), se podría decir que en ambas regiones ya se acepta el uso de los registros electrónicos; pero en el continente americano son solo 2 países (Canadá y Estados Unidos), los cuales han modificado parte de su norma para aceptar los registros electrónicos y además han desarrollado guías para orientar a las organizaciones que planean implementar la metodología del *paperless maintenance*. Aunque ambas regiones comparadas ya aceptan el uso de registros electrónicos, al parecer en el continente europeo no se han desarrollado guías detalladas que orienten los estándares generales para la aceptación de registros electrónicos. En cambio, las guías desarrolladas por las Autoridades Aeronáuticas norteamericanas son mucho más completas, y debido a esto la IATA menciona en [2] que dichas guías también son utilizadas de referencia en países europeos.

La región latinoamericana es la que no evidencia avances significativos en la implementación de registros electrónicos, en esta subregión solo un MRO mexicano, el cual es Techops México, inició en el 2017 la transición hacia el *paperless maintenance* [21]. En el caso de las aerolíneas latinoamericanas no se encontró alguna que haya implementado en un gran porcentaje el uso de registros de mantenimiento electrónicos.

En la región norteamericana, si se encontraron ejemplos de aerolíneas y MROs que ya implementaron el uso de registros electrónicos. En [1], [18], [19], [28], se presentan algunos ejemplos: Porter Airlines y Jazz Aviation (aerolíneas regionales canadienses), Hawaiian Airlines y American Airlines (aerolíneas estadounidenses).

Luego de comparar las regiones analizadas, se encontró que en el continente europeo existe una mayor cantidad de organizaciones que ya implementaron el *paperless maintenance*. Este mayor avance en la implementación de registros electrónicos puede ser consecuencia de la existencia de una autoridad aeronáutica conjunta europea, la cual es conocida como EASA.

Otro punto importante para comparar es acerca de la Regulación Aeronáutica, en la norma europea se menciona de manera explícita que se aceptan los registros electrónicos y se dan algunas pautas generales respecto al uso de registros electrónicos, en cambio en la norma americana (FAA) y latinoamericana (LAR) esto no se menciona de manera específica. Dado esto, se podría decir que la norma europea presenta mayores avances respecto a las principales Normas Aeronáuticas del continente americano.

2.2 REGULACIÓN SEGÚN REGIONES

Para comparar los avances regulatorios relacionados con la implementación *del paperless maintenance*, se consideró usar de referentes a dos regiones: Como regulaciones representantes del continente americano se eligió las Regulaciones Federales de Aviación (FAR) [14] y los Reglamentos Aeronáuticos Latinoamericanos (LAR) [29], mientras que como representante de Europa se seleccionó las Regulaciones de la Agencia de Seguridad Aérea de la Unión Europea (EASA) [30]. La elección de estas dos regiones garantiza comparar las dos regulaciones más importantes e influyentes en la aviación civil.

La tabla 2 muestra la comparación de las regulaciones en cuanto a los factores más importantes para la implementación del *paperless maintenance*.

Tabla 2. Comparación del *paperless maintenance* por regiones

Factores para tener en cuenta	<u>FAR</u> Regulaciones Federales de Aviación	<u>EASA</u> Regulaciones de la Agencia de Seguridad Aérea de la Unión Europea	<u>LAR</u> Reglamentos Aeronáuticos Latinoamericanos
2.2.1 No se restringe el uso de otros medios de registros diferentes al papel	121.380 requisitos de registro de mantenimiento, 121.369-Requisitos del manual.	AMC M.A.305(e)- Sistema de registro de mantenimiento de la aeronavegabilidad de la aeronave	43.305-Requisitos de registros de mantenimiento
2.2.2 Se menciona de forma explícita que se pueden tener registros en papel o formato electrónico		AMC1 ARA.GEN.220 (a) Mantenimiento de registros	
2.2.3. Circulares informativas para orientar acerca del uso de registros y firmas electrónicas	AC 120-78A		

La revisión de los factores usados para comparar las regulaciones se detalla a continuación:

2.2.1 No se restringe otros medios de registro diferentes al papel

Examinando la norma americana [14], se encontró que en el capítulo FAR 121.380 no hay información explícita acerca de los medios que pueden ser usados como registros de mantenimiento; sin embargo, en ese capítulo se menciona que cada titular del certificado de operación de la aeronave deberá mantener los registros de mantenimiento usando el sistema especificado en el manual requerido en la FAR 121.369. En dicho capítulo referido se menciona que se pueden usar varios sistemas de registros de mantenimiento, pero estos deben proporcionar la preservación y recuperación de información de una manera aceptable para el administrador de dichos registros.

Continuando con la regulación del continente americano [29] se revisó el capítulo LAR 43.305, específicamente el inciso “c” dice que se puede registrar los detalles de mantenimiento en tinta (papel) o por otro medio que sea permanente. En este capítulo no se especifica qué otro medio de registro permanente puede ser usado, pero tampoco se restringe el uso del papel como único medio de registro.

Luego de revisar la regulación de la EASA [30], se encontró que en el capítulo AMC M.A.305 (e) tampoco se restringe el uso de otros medios de registro de las tareas de mantenimiento, además en el inciso “a” de este capítulo se menciona que información de los registros de mantenimiento de la aeronavegabilidad de la aeronave puede ingresarse en un sistema de tecnología de la información (TI) y / o documentos equivalentes en alcance y detalle. En este inciso, también se muestra los requisitos que deben cumplir los sistemas de TI para ser aceptables y respaldar los registros de mantenimiento. El inciso “c” de este mismo capítulo de la norma europea dice de forma explícita que se acepta el uso de formatos de registro en estado físico o electrónico, o una combinación de ambos. Este capítulo en comparación con la norma americana y latinoamericana es muy detallado cuando se refiere a los registros electrónicos, lo que muestra que la regulación europea presenta mayores avances para la aceptación del *paperless maintenance*.

2.2.2 Se menciona de forma explícita que se pueden tener registros en papel o formato electrónico

La EASA es la única de las normas comparadas que menciona de forma directa que se pueden mantener registros en papel, en formato electrónico o en una combinación de ambos. Esto se menciona específicamente en el inciso “c” del capítulo AMC1 ARA.GEN.220(a) [31], además esta parte de la norma también acepta el almacenamiento de registros en microfilm o en forma de disco óptico. En este capítulo también se resalta un requisito importante para tener un sistema de registros digital, dicho sistema debe tener al menos un sistema de respaldo, que debe actualizarse dentro de las 24 horas posteriores a cualquier nueva entrada de datos y debe incluir una protección contra la alteración no autorizada de datos.

2.2.3 Circular informativa para orientar acerca del uso de registros y firmas electrónicas

Las regulaciones analizadas han creado circulares informativas para orientar a los operadores aéreos acerca de los requisitos mínimos para que el uso de registros y firmas electrónicas sea aceptado. De las tres normas comparadas las únicas que han desarrollado estas circulares informativas son la FAA y la EASA; por lo tanto, se podría decir que la regulación latinoamericana aún no ha fomentado el uso de registros electrónicos.

La EASA desarrolló el medio de cumplimiento aceptable “AMC to Appendix II to Part-M-Use of the EASA Form 1 for maintenance” de la EASA [32]. Este documento brinda estándares para el uso y aceptación de un registro de mantenimiento electrónico, pero solo hace referencia al formulario EASA 1, el cual es un registro de mantenimiento que debe ser conservado por las aerolíneas, pero es generado por los talleres de mantenimiento; por tal motivo, la circular informativa de la EASA no ha sido tomada en cuenta en el desarrollo de este trabajo, el cual está enfocado solo en los registros de mantenimiento generados y almacenados por las aerolíneas.

La circular informativa AC 120-78A [7] desarrollada por la FAA es la que proporciona la información más detallada de los estándares para el uso y aceptación de firmas electrónicas, registros electrónicos y sistemas manuales electrónicos.

Revisando a detalle esta AC se encontró que en el capítulo 1 se presenta únicamente información general. Entre la información más relevante de este capítulo se encuentra: el documento que se cancela con la publicación de esta circular (AC 120-78), las entidades a las que aplica, una lista de los tipos de firmas, registros y manuales que pueden ser electrónicos (dicha lista no es restrictiva). También se presenta información importante acerca de la aprobación, aceptación, y autorización de los documentos electrónicos.

Entrando en detalle en el *paperless maintenance*, es importante resaltar que esta AC acepta todos los registros de mantenimiento en formato electrónico y en el caso de firmas electrónicas es un poco más específica, mencionando que se puede usar firmas electrónicas en documentos como: el libro de vuelo, liberación de vuelo / despacho, libro de registro de mantenimiento, documentos de mantenimiento realizado, liberación de aeronavegabilidad, entre otros.

En el capítulo 2 de esta AC se provee información específica de las firmas electrónicas, entre esta información se encuentra los tipos de firmas electrónicas, las cuales pueden ser: una imagen digitalizada de una firma manuscrita, un código electrónico (por ejemplo, un código secreto, contraseña o número de identificación personal (PIN), un identificador basado en biometría (huella digital, huella de voz o un escaneo de retina), y una firma digital.

En este mismo capítulo también se mencionan los estándares con los que deben cumplir las firmas electrónicas, y las firmas electrónicas digitales para ser consideradas legalmente vinculantes al documento firmado. Según este documento los estándares con los que debe cumplir la firma electrónica son:

- El firmante debe usar un tipo de firma electrónica aceptable para la FAA
- La firma es exclusiva del firmante
- Debe haber un medio para identificar y autenticar al firmante
- La firma electrónica debe ser ejecutada o adoptada por una persona con la intención de firmar el registro electrónico.
- La firma electrónica debe adjuntarse o asociarse con el registro electrónico que se está firmando.
- La firma debe ser permanente e inalterable sin una nueva firma
- Debe haber un medio que preserve la integridad del registro firmado
- Una firma electrónica válida debe evitar que el signatario niegue que colocó una firma en un registro o documento (no repudio)

El capítulo 2 también proporciona información de lo que debe contener el proceso de una firma electrónica, y el proceso a seguir para la autorización del uso de este tipo de firma. En dicho proceso, la FAA revisará el paquete de solicitud de acuerdo con el proceso general para la aprobación o aceptación de solicitudes de operador aéreo. El Vol.3 de la orden 8900.1, específicamente el capítulo 31 contiene una descripción general de las características y requisitos de los manuales, registros y firmas electrónicas para que estos sean autorizados por la Administración Federal de Aviación (FAA) [15].

Examinando el capítulo 3 de la AC 120-78A se encontró información de los estándares que exige la FAA para la información que debe contener un registro electrónico. En este mismo capítulo también se mencionan los elementos con los que debe cumplir un sistema de mantenimiento de registros electrónicos, entre dichos elementos se encuentra la seguridad y los procedimientos mínimos que debe tener un sistema de mantenimiento de registros electrónicos. En cuanto a la seguridad del sistema de mantenimiento de registros electrónicos este debe cumplir con los siguientes requisitos: el sistema debe proteger la información confidencial, debe garantizar que la información de un registro electrónico no se altere de forma no autorizada, además debe proporcionar un acceso seguro y contener salvaguardas contra el acceso no autorizado.

En este capítulo al igual que en el capítulo 2 (firmas electrónicas), se menciona los requisitos con los que debe cumplir el paquete de solicitud de autorización para utilizar un sistema de mantenimiento de registros electrónico.

La AC 120-78A es muy detallada, incluso en el capítulo 5 se muestra un resumen del proceso que el titular del certificado de operación debe seguir para la discontinuación voluntaria de la utilización de firmas electrónicas, un sistema de mantenimiento de registros electrónicos o un sistema manual electrónico.

Haciendo revisión del último capítulo de esta circular se encontró que se menciona información de carácter administrativo, lo más resaltante de este capítulo son los datos de contacto para información más precisa acerca de esta circular y algunas referencias normativas en las que se basó la creación de esta circular. De las referencias normativas presentadas en la circular examinada se puede destacar la Ley de Firmas Electrónicas en el Comercio Nacional y Global (Ley Pública (PL) 106-229, Título I), y el capítulo 31, vol.3 de la orden 8900.1, en el cual se muestra de forma detallada los requisitos para aprobación, aceptación y autorización de firmas electrónicas, sistemas electrónicos de mantenimiento de registros y sistemas electrónicos manuales.

Debido al detalle que presenta la AC 120-78A de la FAA, ha sido utilizada como documento de orientación para la aprobación de registros electrónicos de otras autoridades, incluida la EASA [2].

2.3 ANÁLISIS DEL MANEJO DE REGISTROS TÉCNICOS EN UNA AEROLÍNEA SIN PAPERLESS MAINTENANCE

Para comprender el proceso de manejo de la documentación técnica en una aerolínea con registros de mantenimiento en papel, se tomó como referencia el manual de registros técnicos de una aerolínea de la región latinoamericana [33]. Dicho manual tiene información detallada acerca del manejo de la documentación técnica. Para el análisis realizado se tomó solo la información relacionada con los cambios que debería realizar una aerolínea sin *paperless maintenance* en caso de implementar un sistema de registros técnicos en formato electrónico.

Además del manual de registros técnicos de una aerolínea latinoamericana, fue necesario consultar los siguientes documentos:

- La cuarta edición del Manual de Aeronavegabilidad de la OACI (Doc. 9760) [16].
- El anexo “B” del Doc. 9760 (*guidance for the acceptance of electronic aircraft maintenance records (EAMR) and continuing airworthiness records*)
- El capítulo 31, volumen 3 de la orden 8900.1 de la FAA [15].

Estos documentos son esenciales en este análisis, debido a que proporcionan estándares generales para la aceptación de un sistema de mantenimiento de registros electrónicos.

2.3.1 Manejo y administración de registros de mantenimiento en aerolíneas con registros en papel

La aerolínea latinoamericana tomada como referencia, sigue una serie de procesos para manejar los registros técnicos de sus aeronaves. El orden de los procesos para el manejo que se le dan a los registros técnicos es el siguiente:

2.3.1.1 Recepción y verificación de la cantidad de los registros

Los responsables del área de registros técnicos reciben los documentos y/o registros suministrados por el fabricante, anteriores operadores de la aeronave, proveedores de componentes, estaciones reparadoras, entre otros.

2.3.1.2 Revisión de la calidad de los registros

En la revisión de los registros técnicos se tienen en cuenta ciertos parámetros, de los cuales se destacan los siguientes:

- Se deben diligenciar únicamente en inglés
- Se puede anular la página o casilla de alguno de los registros (solo bajo una razón justificable), pero se debe colocar al lado las iniciales del colaborador que anula con número de licencia, autorización y/o sello respectivo.
- No es permitido el uso de corrector o efectuar enmiendas y tachones dentro de los formatos, pero si se puede repetir lo que se deseaba escribir, se deberá trazar una línea sobre el error y colocar al lado las iniciales del colaborador que comete el error con número de licencia, autorización y/o sello respectivo. Posteriormente se debe repetir lo que se deseaba escribir; dicha corrección debe ser hecha de modo que muestre claramente la entrada original.

2.3.1.3 Notificación y solución de las no conformidades encontradas en los registros de mantenimiento

La notificación de no conformidades se lleva a cabo cuando un registro no está diligenciado correctamente, presenta inconsistencias o le hace falta documentos anexos para su soporte. Para tal caso, se diligencia un formato llamado “**Novedad en Documentación**” describiendo la no conformidad y se anexa al registro de tal forma que se tomen las acciones correctivas que eliminen el error.

2.3.1.4 Archivo y control de los registros

El paso a paso para archivar y controlar los archivos es el siguiente:

- Clasificar los registros según tipos de documentos de los cuales se originan.
- Digitalizar los registros que lo requieran para búsquedas más efectivas y protección de la información física en caso de pérdida parcial o total. Además, se deberán escanear los registros originales.
- Guardar los archivos en el medio digital dispuesto por el Coordinador de Registros Técnicos, de acuerdo con la serie número de la aeronave y el tipo de registro técnico.
- Archivar físicamente los registros clasificados por matrícula de la aeronave
- Cada que sea necesario crear una caja para el archivo físico de documentos se debe actualizar el inventario de registros técnicos.

2.3.1.5 Consulta, préstamo y salida permanente de registros técnicos

Debido al valor de cada uno de los registros, su consulta se realiza directamente a los responsables. Dicha consulta se realiza mediante el uso compartido de información en la nube (Almacenamiento de archivos en línea).

2.3.1.6 Almacenamiento y depuración de archivos

A continuación, se muestra la tabla 3 con los tiempos de almacenamiento de los registros técnicos del mantenimiento de aeronaves. En donde los registros repetitivos son aquellos que se cumplen cada rango específico de tiempo de acuerdo con programa de mantenimiento y que son reemplazados cada vez que la tarea se vuelve a cumplir, los rutinarios son aquellos que se diligencian en el día a día y deben ser guardados un tiempo específico y los permanentes son aquellos que deben ser guardados hasta la entrega de la aeronave.

Tabla 3. Tiempos de almacenamiento de registros técnicos [33]

Tiempos de almacenamiento de los registros técnicos generados por la aerolínea de la región tomada como caso de estudio					
Tipo de Registro	Repetitivo	Rutinario	permanente	Tiempo Doc. Activo	Tiempo Doc. Inactivo
Registros técnicos					
✓ Libro de vuelo y mantenimiento (original)			✓	2 años	Hasta entrega de la aeronave
✓ Libro de vuelo y mantenimiento (copias)		✓		2 años	3 años
✓ Libro de cabina (original)		✓		2 años	3 años
✓ Libro de cabina (copias)		✓		2 años	3 años
✓ Órdenes de trabajo y No rutinas		✓		2 años	3 años
✓ Tarjetas de tareas (task cards)	✓			1 o 2 años	n/a o 3 años
✓ Órdenes de Ingeniería			✓	2 años	Hasta entrega de la aeronave

2.3.2 Análisis de los principales cambios requeridos en el manejo de registros para implementar el paperless maintenance

El análisis presentado a continuación hace referencia al subcapítulo 2.3.1 de este documento (Manejo y administración de registros técnicos en aerolíneas con manejo de registros técnicos en papel).

Haciendo una revisión de la documentación de referencia existente, se encontró que en la cuarta edición del Doc. 9760 de la OACI [16] se hacen menciones importantes sobre lo que las aerolíneas deben tener en cuenta para garantizar la calidad de los registros de mantenimiento electrónicos.

Específicamente en el adjunto B, capítulo 7, parte III del Doc. 9760 se mencionan las características que debe tener el sistema de registros electrónicos, una de estas es que los registros electrónicos al igual que los registros en papel también deben tener la opción de ser corregidos. La corrección en el registro electrónico reemplazará a la entrada original de información (La entrada debe anularse, pero permanecer en su lugar). Además, se debe hacer referencia a una nueva entrada y firmarla y fecharla correctamente. De esta característica mencionada se deduce que una aerolínea no paperless como la aerolínea de

estudio de este documento, deberá contar con un sistema sofisticado para hacer las correcciones de sus registros cuando lo requiera.

En el caso de un registro en papel, la corrección en una aerolínea sin *paperless maintenance* como en la aerolínea tomada como referencia se hace de la siguiente manera: se realiza un trazo de una línea sobre el error y se coloca al lado las iniciales del colaborador que comete el error con número de licencia, autorización y/o sello respectivo, posteriormente se debe repetir lo que se deseaba escribir. Comparando ambos tipos de registro, se podría decir que el registro electrónico presenta mayores ventajas en cuanto a integridad y seguridad en un documento sometido a corrección, disminuyendo la posibilidad de la falsificación, a diferencia de una corrección en papel, en la cual no se puede saber la fecha y hora exacta en que el documento fue corregido, además habría la posibilidad de adicionar información por personas no autorizadas, incluso en un documento que ya ha sido firmado.

La sección 2, capítulo 31 de la orden 8900.1 de la FAA [15] también hace referencia a que se pueden hacer correcciones en un registro electrónico, y hace énfasis en que el sistema de registros debe incluir la verificación de que cualquier cambio realizado en los datos de los registros contiene una nueva firma electrónica.

En el proceso de archivo y control de registros, las aerolíneas que manejan registros en papel deben archivar sus registros físicos y guardarlos en almacenes, además están obligadas a digitalizar todos sus registros, esto con el fin de realizar búsquedas más efectivas y para proteger la información física en caso de pérdida. En el caso de la aerolínea tomada como referencia también se realiza el escaneo de los registros técnicos originales como un medio adicional para salvaguardar dicha información. Por el contrario, si dicha aerolínea tuviese registros electrónicos no tendría la necesidad de redundar procesos como digitalizar los documentos, escanearlos, e incluso archivar y almacenar los documentos sería una tarea más sencilla.

La implementación de registros electrónicos traería consigo un ahorro económico y mayor eficiencia en el proceso de archivo y control de registros. Según la información proporcionada en el Doc. 9760 [16], la aerolínea con *paperless maintenance* deberá tener un sistema de registro electrónico muy completo, cuyo software y hardware utilizados para generar, procesar, utilizar, almacenar y archivar los registros, deben respaldar procedimientos específicos como:

- Protección de los registros por medios electrónicos contra la pérdida, destrucción o alteración en la medida equivalente a la proporcionada a los registros en papel.
- Respaldo de registros (por ejemplo, robustez y confiabilidad del sistema de respaldo; tiempo y frecuencia de finalización del respaldo; separación de los registros de origen; pérdida y recuperación de datos).

Examinando el proceso de consulta, préstamo y salida permanente de registros técnicos en una aerolínea sin *paperless maintenance*, se podría decir que este proceso se realiza de manera similar a lo que sería en una aerolínea con registros electrónicos, debido a que en ambos tipos de registro se comparten los archivos a las distintas áreas de la aerolínea que los requiera mediante el uso compartido de información en la nube. El software de almacenamiento de archivos en línea de una aerolínea sin *paperless maintenance*, podría ser utilizado en conjunto con el que pueda proveer el software de mantenimiento de registros electrónicos, con lo cual en ese aspecto no habría un cambio o gasto económico significativo en la transición hacia el *paperless maintenance*.

Analizando el último proceso del manejo de registros técnicos, el cual consiste en el almacenamiento y depuración de archivos, se encontró que todos los registros técnicos de mantenimiento que genera una aerolínea deberán estar almacenados al menos por un periodo de cuatro años (contando el tiempo activo e inactivo de estos registros); además otros registros como el libro de vuelo y mantenimiento, y las órdenes de ingeniería se almacenan hasta la entrega o devolución de la aeronave. Almacenar dichos documentos durante más de 4 años o incluso durante toda la vida útil de la aeronave (25-30 años), genera algunos gastos que sumados durante el tiempo de vida de la aeronave podrían ser exponenciales para las aerolíneas. Dichos gastos son derivados principalmente de personal y sistemas adicionales necesarios para la conservación de estos registros, como, por ejemplo: un sistema de protección contra incendios, inundaciones, o algún otro tipo de desastre natural, además gastos relacionados con la preservación del papel (control de temperatura, humedad, entre otros).

Los gastos mencionados anteriormente se reducirían considerablemente con el manejo de registros electrónicos, debido a que no se necesitaría incurrir en gastos de almacenes de archivos o sistemas de protección contra desastres naturales.

2.3.3 Consideraciones para el almacenamiento de los registros técnicos en una aerolínea sin *paperless maintenance*

El sistema de mantenimiento de registros de una aerolínea sin *paperless maintenance* cumple con una serie de características para mantener los registros técnicos y su respectiva área de almacenamiento en óptimas condiciones, dichas características son las siguientes:

2.3.3.1 Sistema de detección, alarma y extinción de incendios

El área encargada de los registros técnicos debe contar obligatoriamente con un sistema de detección, alarma y extinción de incendios con el fin de garantizar que, en caso de incendio, los archivos allí almacenados serán protegidos.

2.3.3.2 Cajas para archivo de registros

Las cajas usadas son estándar, con características específicas de tamaño y material de estas. Además, son identificadas mediante una marcación codificada. Siempre debe haber cajas vacías disponibles con el fin de reemplazar cualquier caja que se encuentre en mal estado o cuando el volumen de los registros a ser archivados lo requiera.

2.3.3.3 Control de temperatura y humedad

El área responsable realiza un control de temperatura y humedad rutinario para supervisar que haya condiciones óptimas para el archivo de los registros. La persona que realiza este control lo lleva a cabo 3 veces al día durante los días laborales de la semana, registrando la hora, fecha, temperatura, porcentaje de humedad relativa evidenciada.

2.3.3.4 Chequeos periódicos

Con el fin de supervisar que se mantengan las condiciones aptas para el archivo de registros, el coordinador y/o el analista/ auxiliar de registros técnicos, realizaran los siguientes chequeos periódicos descritos en la tabla 4:

Tabla 4. Chequeos periódicos de los registros técnicos [33]

CHEQUEOS PERIÓDICOS	
Descripción del chequeo	Frecuencia
✓ Temperatura y humedad de los depósitos de archivo, cuya temperatura máxima deberá ser 30°C y la humedad relativa no será mayor a 70%.	Diario
✓ Verificar que las cajas de archivo se encuentren en buen estado y que estén debidamente demarcadas indicando su contenido.	Diario
✓ Verificar que los registros prestados no hayan superado los tres (3) días hábiles de haber salido de su archivo.	Mensual
✓ Diligenciar el formato de inspección mensual del sistema de detección, alarma y extinción de fuego.	Mensual
✓ Verificar que la infraestructura se encuentre en buen estado (Iluminación, estanterías, piso, paredes, entre otros)	Mensual

2.3.4 Análisis de las consideraciones técnicas que debe cumplir una aerolínea para migrar a los registros electrónicos, siguiendo directivas de la OACI y la FAA.

En el caso de una aerolínea que maneja registros electrónicos, también deberá contar con un sistema de protección de los archivos guardados, aunque dicho sistema no sería tan exigente y costoso como el necesario para los registros técnicos en papel. Para comprender las características que debería tener un sistema de protección de registros electrónicos se consultó la sección 2, capítulo 31, vol.3 de la orden 8900.1 de la FAA [15]. Este documento menciona que el sistema de mantenimiento de registros electrónicos debe contar con un sistema de soporte y medidas de respaldo en caso de que ocurran interrupciones en este sistema electrónico (hardware, software, red de aplicaciones, etc.); además deberá tener protección contra la pérdida de datos de registro. En este documento incluso se especifican algunos posibles métodos de respaldo de información, los cuales son: contar con un sistema electrónico separado, un servidor de respaldo o una unidad de respaldo. También se hace mención que la copia de seguridad puede incluir medios, como Impresión o CD-ROM, unidad externa u otros medios aceptables por la FAA.

La OACI en su Doc. 9760 [16], también hace referencia al sistema de protección de los archivos electrónicos guardados, pero lo hace de una manera general. Siguiendo las directrices de la OACI, una aerolínea con *paperless maintenance* deberá contar con una política y gestión que debe respaldar el hardware y el software de la computadora que entrega la información, además se deben establecer procedimientos adecuados de seguridad física y respaldo de registros electrónicos para los registros actuales, operativos, almacenados y archivados.

Con lo mencionado anteriormente se puede evidenciar que los gastos relacionados con el sistema de mantenimiento de registros están prácticamente relacionados con el paquete de software que la aerolínea adquiriera (sofisticación del sistema). Adicionalmente, si se considera este gasto en el largo plazo podría ser menor al que realizaría una aerolínea sin *paperless maintenance*, la cual deberá tener gastos constantes de horas hombre, equipos como extintores y cajas para archivos que deberán ser cambiadas periódicamente, instrumentos para medir temperatura y humedad. Además, de otros gastos derivados del mantenimiento periódico que se debería realizar a la estructura del almacén de registros (Iluminación, estanterías, piso, paredes, entre otros), y de algunos sistemas como el de detección y alarma de incendios.

CAPITULO 3

3 PROYECCIONES Y VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PAPERLESS MAINTENANCE

3.1 PROYECCIONES A CORTO PLAZO

Aunque la aviación es uno de los campos que más rápidamente cambia, hay algunos temas que no van a la misma velocidad. La transición de los registros de mantenimiento en papel a los digitales, por ejemplo, refleja fielmente los desafíos que implica llegar a un acuerdo sobre qué datos y registros deben conservarse, cómo deben definirse y los protocolos para transferirlos, así como para obtener la aceptación de todo esto por parte de aerolíneas y reguladores de todo el mundo. Sin embargo, se ha logrado un progreso significativo, debido a iniciativas para aceptar y fomentar el uso de registros de mantenimiento electrónicos; dichas iniciativas mencionadas en [34], [35] son de organizaciones de la aviación civil, tales como la International Air Transport Association (IATA), la International Civil Aviation Organization (ICAO), Airlines for América (A4A), y también por parte de autoridades aeronáuticas, como por ejemplo : la Federal Aviation Administration (FAA), European Union Aviation Safety Agency (EASA), Transport Canada Civil Aviation (TCCA).

Aunque la adopción de procesos de mantenimiento sin papel ha sido lenta hasta la fecha, según Pozzi [36], los cambios operativos impulsados como consecuencia de la pandemia del COVID-19 podrían conducir a una adopción acelerada hacia el *paperless maintenance*. La aparición de esta nueva pandemia ha generado una fuerte recesión en el mercado de la aviación, con lo cual muchas aerolíneas se han visto en la obligación de reducir su flota, despedir personal y escatimar en gastos para poder subsistir. Sin embargo, no todo podría ser negativo como parece, ya que la aparición de esta pandemia podría ser una oportunidad para que las aerolíneas aceleren la innovación como un medio para lograr ganancias operativas y de eficiencia.

Pozzi considera que el COVID-19 podría convertirse en el catalizador de futuros proyectos de implementación del *paperless maintenance*, debido a que la pandemia ha obligado a las organizaciones de aviación y a los reguladores a comenzar a identificar formas de cumplir con las medidas de distanciamiento social y las condiciones de trabajo remoto, lo cual se podría lograr en parte con el uso de registros electrónicos. La FAA no tardó en dar respuesta a estas nuevas necesidades de trabajo remoto surgidas como causa de la pandemia, dicha autoridad aeronáutica anunció en marzo del 2020 una política que permite enlaces de video y otra tecnología remota para ayudar a realizar inspecciones de las aeronaves y validar el cumplimiento normativo [36].

Es probable que el efecto acelerador del COVID-19 ya se esté comenzando a notar, esto debido al incremento de futuros proyectos de *paperless maintenance* de MRO y aerolíneas alrededor del mundo que iniciaran durante este año [36]. Algunas de estas iniciativas digitales son las siguientes:

- **El proveedor americano de servicios de aviación AAR** espera tener una operación sin papel en 18-24 meses, lo que resultará en una ganancia de eficiencia del 15% para los técnicos [36].
- **Alitalia** está experimentando con libros de registro electrónicos comenzando con aviones de fuselaje ancho en sus estaciones de línea en todo el mundo [36].
- **Iberia Maintenance** planea implementar su plataforma de guía de voz manos libres en proyectos como la digitalización del proceso de documentación de inspección de aeronaves en su flota Airbus A350, que estaba basada en papel [36].
- **Joramco**, es un proveedor de servicios MRO con sede en Jordania que adoptará el software FleetCycle MRO de EmpowerMX, el cual le permitirá ejecutar una operación de mantenimiento sin papel [36].
- **Sabena Technics** realizó su primera verificación C totalmente sin papel en un Airbus A340 a principios de 2020. Dicha aerolínea espera que todos sus equipos de mantenimiento trabajen en el mismo modelo sin papel eventualmente [36].
- **Scandinavian Airlines** se dispuso a dejar de utilizar papel en los próximos dos años con respecto al mantenimiento. La aerolínea espera lograr esto mediante la integración de soluciones digitales en todos los ámbitos del departamento de mantenimiento; desde la línea de vuelo hasta los hangares [37].
- **Transavia France** está agregando el conjunto de aplicaciones eMobility a su entorno de mantenimiento. Con esta adición a su sistema de mantenimiento central TRAX, Transavia pasará a los libros de registro técnicos electrónicos y tarjetas de tareas digitales [38].

3.2 PROYECCIONES A LARGO PLAZO

En los próximos años el *paperless maintenance* seguirá enfrentando algunos obstáculos relacionados principalmente con aspectos regulatorios, ya que, en muchos países, la norma respecto a esta nueva metodología de mantenimiento aun no es clara y se necesita material de orientación regulatorio adicional al desarrollado por autoridades aeronáuticas de aceptación mundial como la EASA o la FAA [8]. Además, otro problema que se seguirá teniendo durante los próximos años, está relacionado con el proceso de transición de registros de mantenimiento que deben gestionar los arrendadores de aeronaves, debido a que tienen clientes que manejan registros electrónicos y otros que aun manejan registros

en papel; por tal motivo, los arrendadores (Lessors) están en la necesidad de apoyar el establecimiento de un estándar para la gestión de registros electrónicos de las aeronaves y además de promoverlos con sus clientes.

Para comprender la influencia que tendría el arrendamiento de aeronaves en el avance de la implementación del *paperless maintenance* se presenta la figura 2, que muestra el crecimiento porcentual del arrendamiento de aeronaves desde 1970 hasta el 2021.

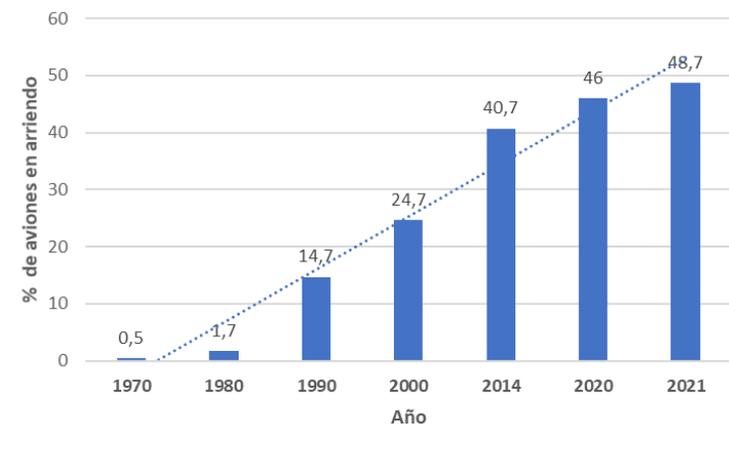


Figura 2. Crecimiento del arrendamiento de aviones desde 1970 al 2021 [39]

Analizando la información mostrada en la figura 2, se prevé que para este año alrededor del 50 % de aeronaves operativas en el mundo habrán sido adquiridas mediante leasing (arrendamiento), además el pronóstico para los próximos años es que dicho porcentaje continúe al alza [39], con lo cual se incrementaría la necesidad de coordinación entre los arrendadores de aeronaves y sus clientes acerca de la recepción de registros electrónicos.

Revisando la información existente acerca del *paperless maintenance*, se encontraron algunas proyecciones interesantes acerca de este tema, estas proyecciones fueron realizadas por organizaciones de mantenimiento, proveedores de software y organizaciones de la aviación civil:

- El proveedor de servicios de MRO Gameco [36], prevé que se acelerará la implementación de las tareas de mantenimiento sin papel, debido a la mejora en conectividad a internet que se está dando desde la llegada de la red 5G, la cual permitirá una velocidad más rápida para las transferencias de datos. Esta compañía con sede en china tiene clara la tendencia hacia el *paperless maintenance*, debido a lo cual está aumentando la operación sin papel en sus hangares y ya cuenta con instalaciones totalmente compatibles con la red 5G [36].

- Según Bachan [1], gerente de operaciones de MRO en la consultora de aviación ICF, aún faltan al menos 10 años para que se tengan operaciones de MRO de ciclo completo y holísticas sin papel, hasta que se logren los numerosos protocolos de apoyo entre reguladores, arrendadores, propietarios y operadores, mientras tanto la implementación del *paperless maintenance* se verá limitada a seleccionar elementos del proceso de mantenimiento y a las partes interesadas.
- La IATA [35] desarrolló una iniciativa que tiene como objetivo que todas las aeronaves y los componentes fabricados a partir de 2020 tengan todos sus registros y documentación inicial en formato electrónico, debido a que así se garantiza la entrada y salida de operación de aeronaves sin el uso de papel. Para esto desde hace unos años esta organización ha creado grupos de trabajo con representantes de aerolíneas y fabricantes de aeronaves. Con iniciativas como la mencionada anteriormente, durante la próxima década es probable que el porcentaje de aerolíneas con *paperless maintenance* sea mucho mayor a las que aun manejan registros en papel.

3.3 VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DEL PAPERLESS MAINTENANCE EN AEROLINEAS LATINOAMERICANAS

Teniendo en cuenta la información recopilada, aun no existe una aerolínea latinoamericana que haya iniciado la transición hacia el manejo de los registros de mantenimiento electrónico. Las aerolíneas latinoamericanas que quieran iniciar la implementación del *paperless maintenance* se verán enfrentadas a barreras por parte de las autoridades aeronáuticas de esta región, debido que hasta el momento su normativa aeronáutica no es clara; por lo cual las aerolíneas latinoamericanas que desean migrar hacia los registros electrónicos deberán seguir los estándares generales para la aceptación de un sistema de mantenimiento de registros electrónicos proporcionados en guías de orientación desarrolladas por la EASA y la FAA.

Como ejemplo de lo mencionado anteriormente, se tiene el caso del único MRO latinoamericano que ya genera y utiliza algunos de sus registros de mantenimiento en formato electrónico. Techops México [21] tuvo que coordinar su proceso de certificación con la FAA y luego de obtener la aprobación de esta autoridad aeronáutica para el uso de tarjetas electrónicas no rutinarias, la Autoridad de Aviación Civil Mexicana (DGAC) también le aprobó el uso de estos registros electrónicos.

En la actualidad no es muy viable la implementación del *paperless maintenance* en aerolíneas latinoamericanas que manejan un pequeño número de aeronaves, esto principalmente debido al alto costo económico que se requiere para tener un sistema de mantenimiento de registros electrónicos. En el presente, es más viable implementar esta nueva metodología de mantenimiento en las aerolíneas con una flota grande de aeronaves,

o en aquellas que poseen un MRO propio.

Si comparamos el tamaño de flota de algunas aerolíneas que implementaron el *paperless maintenance* con el tamaño de flota de aerolíneas que requieren mejorar su sistema de registros de mantenimiento, podemos inferir que estas aerolíneas también podrían tener una relación positiva del costo/beneficio de la inversión.

La figura 3 muestra el tamaño de flota de algunas aerolíneas a nivel mundial que ya implementaron el *paperless maintenance*.

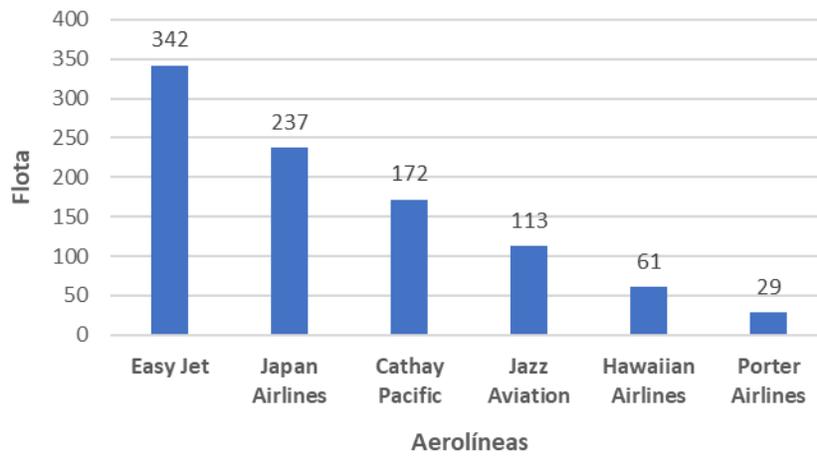


Figura 3. Tamaño de flota de aerolíneas con *paperless maintenance*

Analizando la gráfica anterior, se puede apreciar que la mayoría de las aerolíneas que implementaron los registros electrónicos tienen una flota que supera las 60 aeronaves, aunque hay aerolíneas medianas como Porter Airlines que también han logrado la transición hacia el *paperless maintenance*, con lo cual el tamaño de flota no sería una gran limitante para migrar hacia los registros electrónicos, ya que también dependerá de otros factores como el estado financiero de las aerolíneas.

Teniendo en cuenta el tamaño de flota de algunas aerolíneas con *paperless maintenance*, se consultaron las aerolíneas más grandes de la región latinoamericana [40], como lo son LATAM, GOL Transportes Aéreos, Avianca Holding, Azul Linhas Aéreas, Volaris, Aeroméxico, Copa Airlines. Las 7 aerolíneas mencionadas cuentan con flotas de más de 60 aeronaves y podrían embarcarse a iniciar esta transición, con estudios de beneficio-costos de inversión probablemente muy favorables, considerando la gran cantidad de registros de mantenimiento en papel que deben manejar cada año.

4 CONCLUSIONES

A pesar de las iniciativas generadas por algunas Autoridades Aeronáuticas y organizaciones de la aviación civil internacional en cuanto al sistema de registros de mantenimiento electrónico, se ha encontrado información muy limitada acerca de los estándares necesarios para su implementación. Solo se encontraron tres documentos guía (la AC 120-78A, la orden 8900.1, y el Doc. 9760), con los requisitos mínimos para la aceptación de un sistema de registros de mantenimiento electrónico.

Las autoridades aeronáuticas de la región Latinoamericana están muy rezagadas respecto al desarrollo de dichos estándares, además la norma conjunta latinoamericana (LAR) no es clara en la aceptación de registros de mantenimiento electrónicos lo cual puede generar confusión y ser una dificultad para aerolíneas que planean iniciar la transición hacia el *paperless maintenance*.

Al analizar el sistema de registros de una aerolínea que aún maneja registros en papel, se pudo evidenciar las ventajas que representaría para las aerolíneas la gestión de registros digitales, dichas ventajas serían la mayor eficiencia en el proceso de aseguramiento de la calidad de los registros, como consecuencia de la reducción de la cantidad de horas de trabajo necesarias para revisar, almacenar y recuperar registros de mantenimiento. Además de otros beneficios como la reducción de los costos relacionados con la conservación de estos registros, reducción de los costos causados por registros mal archivados o perdidos, y se podría evitar repetir tareas innecesarias como la digitalización de los registros en papel o escaneos de estos, prácticas aun realizadas por aerolíneas que manejan registros en papel.

En el caso de las auditorías realizadas por agencias reguladoras, o distintas áreas dentro de una aerolínea, los registros digitales ayudarían a simplificar dichas auditorías y mejorar el cumplimiento regulatorio, debido a que compartir y buscar registros técnicos sería una tarea más sencilla, como consecuencia de las capacidades digitales de búsqueda y filtrado que se tiene en los registros electrónicos y que el papel no ofrece.

Actualmente existe una gran cantidad de compañías proveedores de software para la implementación de un sistema de mantenimiento de registros electrónicos, además estas brindan asesoría técnica y ayudan a dar cumplimiento a la regulación aeronáutica, dicha asesoría está presente antes, durante y terminado el proceso de implementación de los registros electrónicos; por lo cual, actualmente las aerolíneas tendrían mayor facilidad para iniciar este largo proceso de implementación del *paperless maintenance*, además de contar con una variada oferta de software y poder elegir el más adecuado a sus necesidades.

Teniendo en cuenta los resultados de las aerolíneas que implementaron el *paperless maintenance*, las aerolíneas que migren hacia el uso de registros electrónicos podrían tener una mejora en eficiencia laboral del 5 al 20 %, dicha eficiencia se traduciría en un ahorro significativo en costos laborales, incluso un 5 % de ahorro en dichos costos se traduce en

un aumento importante en los márgenes de ganancias, esto debido a los pequeños márgenes de ganancia que se tiene en la industria aérea (alrededor del 4 %) [41].

La implementación de un sistema de mantenimiento de registros electrónico podría reducir el tiempo de entrega de una aeronave en un 10 % en promedio, lo cual traería ahorros significativos a las aerolíneas, debido a la disminución de pago por concepto de arrendamiento. Además, se reduciría el tiempo de trabajo mecánico en un 30 %. En [42] se muestra el caso de una aerolínea que implementó el *paperless maintenance*, en la cual esperaban un aumento de la disponibilidad de aeronaves en un 5% y los resultados fueron superiores con un incremento del 15 %. Este incremento se traduce en aeronaves volando más tiempo, con lo cual se incrementa la rentabilidad de las aerolíneas.

Los arrendadores (Lessors) son una de las partes interesadas en el manejo de los registros electrónicos, ya que su negocio principal es preservar el valor de su activo (la aeronave) mientras genera ingresos por arrendamiento. Una de las formas de preservar el valor de la aeronave es que esta cuente con todos sus registros técnicos en condiciones óptimas, principalmente para cumplir con obligaciones reglamentarias. Por los motivos mencionados anteriormente, los Lessors exigen a las aerolíneas que cuando devuelvan la aeronave la entreguen con la trazabilidad de todo el mantenimiento realizado a sus componentes, incluidos la trazabilidad de regreso al nacimiento o Back to Birth (BTB) de los componentes de vida límite. Cualquier documento faltante (o en mal estado), ocasiona una disminución del valor de la aeronave. Los registros en papel pueden ser perdidos o presentar mala calidad debido a la gran cantidad de tiempo que deben ser almacenados, y a las aerolíneas les toca pagar a los arrendadores una especie de multa por la falta de algunos registros técnicos de la aeronave. Con los registros electrónicos es mucho más fácil conservar y evitar la pérdida de algunos registros de mantenimiento, evitando que la aeronave pierda su valor por la falta de trazabilidad de su mantenimiento.

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Adams, "Going Paperless in the Hangar," *Aviation Maintenance Magazine*, 2020. Available: <https://www.avm-mag.com/going-paperless-in-the-hangar/>. (Accessed: May. 03, 2021).
- [2] IATA, "Guidance Material for the implementation of Paperless Aircraft Operations in Technical Operations (PAO : TO)," Quebec, Montreal, 2017.
- [3] NORTH CENTRAL INSTITUTE, "The Evolution of Aviation Maintenance", 2020. [Blog]. Available: <https://nci.edu/2020/12/09/the-evolution-of-aviation-maintenance/>. (Accessed: Mar 01, 2021).
- [4] Avitas, "Digital Records vs. Oodles of Paper", 2016. [Blog]. Available: <https://www.avitas.com/digital-records-vs-oodles-of-paper/>. (Accessed: Feb. 17, 2021).
- [5] DUNCAN AVIATION, "Dirty Fingerprint: How Detailed Logbook Entries Benefit Your Aircraft", 2010. Available: <https://www.duncanaviation.aero/debrief/2010/Fall/dirty-fingerprint-how-detailed-logbook-entries-benefit-your-aircraft>. (Accessed: Mar. 01, 2021).
- [6] Sofema Online, "Aircraft End of Lease Return Technical Records Preparation", 2019. [Blog]. Available: <https://sofemaonline.com/component/easyblog/entry/aircraft-end-of-lease-return-technical-records-preparation-best-practice>. (Accessed: Mar. 01, 2021).
- [7] Federal Aviation Administration, "Advisory Circular 120-78A." pp. 8–9, 2016.
- [8] M. Backes, F. Miwa, C. Okajima, A. S. Jr., and D. Tkacz, "FROM PAPER TO DIGITAL MAINTENANCE WITH ELECTRONIC SIGNATURE," 2017.
- [9] S. M. Fernández, "Administración de mantenimiento programado y correctivo para aeronaves ejecutivas y helicópteros en un taller aeronáutico," INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, 2013.
- [10] T. S. Harry Kinnison, *Aviation Maintenance Management*, Second edi. New York, 2013.
- [11] IBM, "Configuring task cards and master task cards", 2016. Available: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SS5RRF_7.6.2/com.ibm.mavm.doc/plusmtc/c_ctr_task_card.html. (Accessed: Mar. 04, 2021).
- [12] OACI, "Acerca de la OACI". Disponible en: <https://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx>. (Accessed: Mar. 08, 2021).
- [13] IATA, "IATA - Mission & Vision". Available: <https://www.iata.org/en/about/mission/>. (Accessed: May 03, 2021).
- [14] Federal Aviation Administration, "Electronic Code of Federal Regulations (eCFR)", 2021. Available: https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?c=ecfr&tpl=/ecfrbrowse/Title14/14tab_02.tpl. (Accessed: May 03, 2021).

- [15] Federal Aviation Administration, “FSIMS Document Viewer”, 2016. Available: <https://fsims.faa.gov/PICDetail.aspx?docId=8900.1,Vol.3,Ch31,Sec2>. (Accessed: May 03, 2021).
- [16] ICAO, “Airworthiness Manual (Doc 9760)”, 2020. Available: <https://standart.aero/en/icao/book/doc-9760-airworthiness-manual-en-cons>. (Accessed: Apr. 23, 2021).
- [17] MRO Global, “Paperless Maintenance: Digital documentation for aircraft maintenance”, 2016. Available: <https://www.mroglobal-online.com/paperless-maintenance-digital-documentation-for-aircraft-maintenance>. (Accessed: Dec. 16, 2020).
- [18] Aviation week, “Porter Airlines Opts for Paperless Maintenance”, 2019. Available: <https://aviationweek.com/mro/porter-airlines-opts-paperless-maintenance>. (Accessed: Dec. 16, 2020).
- [19] J. Hensel, “Case Study: Jazz Aviation – Paperless Maintenance Processes,” *Aircraft IT*, 2017. Available: <https://www.aircraftit.com/articles/jazz-aviation-paperless-maintenance-processes/>. (Accessed: Feb. 23, 2021).
- [20] ULTRAMAIN, “Japan Airlines – Paperless Flight”, 2020. Available: <https://www.ultramain.com/japan-airlines-paperless-flight/>. (Accessed: Mar. 11, 2021).
- [21] H. R. Juan Ignacio Lopez, “Case Study: TechOps Mexico implements paperless engineering management,” *Aircraft IT*, 2017. Available: <https://www.aircraftit.com/articles/techops-mexico-implements-paperless-engineering-management/>. (Accessed: Dec. 16, 2020).
- [22] EasyJet, “E-RECORDS operation.” p. 33.
- [23] ULTRAMAIN, “Electronic Logbook Software”. Available: <https://www.ultramain.com/electronic-logbook/>. (Accessed: Feb. 23, 2021).
- [24] ULTRAMAIN, “M&E / MRO Software”. Available: <https://www.ultramain.com/me-mro-software/>. (Accessed: Feb. 23, 2021).
- [25] SWISS Aviation Software, “Streamlining maintenance processes”. Available: <https://www.swiss-as.com/amos-mro/modules/production>. (Accessed: Feb. 26, 2021).
- [26] EmpowerMX, “FleetCycle Aircraft Records”, 2020. Available: <https://www.empowermx.com/mro/empowermx-aircraft-records/>. (Accessed: Feb. 26, 2021).
- [27] TRAX, “MRO & Airline Fleet Management Software”. Available: <https://www.trax.aero/about-us/>. (Accessed: Apr. 25, 2021).
- [28] Airliner World, “Maintaining MRO Benefits from Software Applications”, 2020.
- [29] SRVSOP, “Reglamentos Aeronáuticos Latinoamericanos”. Available: <https://www.srvsop.aero/biblioteca/reglamentos/lar/>. (Accessed: May 03, 2021).

- [30] EASA, “Regulations”. Available: <https://www.easa.europa.eu/regulations>. (Accessed: May 03, 2021).
- [31] EASA, “PART-ARA.” pp. 20–21, 2016.
- [32] EASA, “Easy Access Rules for Continuing Airworthiness (Regulation (EU) No 1321/2014).” pp. 210–212, 2021.
- [33] Manual de registros técnicos de la aerolínea tomada como caso de estudio. pp. 9–28, 2020. Derechos reservados.
- [34] AVIATION FINANCE, “Aviation Finance - Electronic maintenance records will help lessors deliver on their promise of flexibility and growth to customers”, 2021. Available: https://www.aviationfinance.aero/articles/18778/Electronic-maintenance-records-will-help-lessors-deliver-on-their-promise-of-flexibility-and-growth-to-customers?fbclid=IwAR1eq-tCubZlbg9jQxmYJldvLhwuEqd_1itqZ_BCH3byiW0B3a6Kal_LduQ. (Accessed: Apr. 24, 2021).
- [35] I. Khomenko, “IATA Paperless Aircraft Maintenance Initiative”, 2016. Available: <https://www.aircraftit.com/articles/iata-paperless-aircraft-maintenance-initiative/?fbclid=IwAR0KLGhtJ1cmtBf8MeOZO5bNSqCCY4oqOBp1XTopqfRWixjdpFFFFF4Yoc>. (Accessed: Apr. 23, 2021).
- [36] J. Pozzi, “Could COVID-19 Accelerate MRO’s Push To Paperless?”, *Aviation Week*, 2020. Available: <https://aviationweek.com/mro/aircraft-propulsion/could-covid-19-accelerate-mros-push-paperless>. (Accessed: Dec. 16, 2020).
- [37] Bilal Zia, “Scandinavian Airlines to have a paperless MRO in two years”, *Aviation Geeks*, 2019. Available: https://aviationgeeks1.com/scandinavian-airlines-to-have-a-paperless-mro-in-two-years/?fbclid=IwAR1OYH-ecpa2yFWHwdEta-QTDnasFMuktjoyqyvrmRFExGt_91Yn--rXUYaY. (Accessed: Apr. 23, 2021)
- [38] TRAX, “Transavia France selects TRAX eMobility Electronic Technical Log”, 2021.
- [39] Statista, “Global aviation leasing market evolution 2020 ”, 2021. Available: <https://www.statista.com/statistics/1095749/share-leased-aircraft-aviation-industry-worldwide/>. (Accessed: Apr. 25, 2021).
- [40] Aviacionline, “[Ranking]: ¿Cuales son las aerolíneas que más pasajeros mueven en Latinoamérica y El Caribe?”, 2020. Disponible en: <https://www.aviacionline.com/2020/08/ranking-cuales-son-las-aerolineas-que-mas-pasajeros-mueven-en-latinoamerica-y-el-caribe/>. (Accedido: Abr. 25, 2021).
- [41] AEROMARKET, “IATA: Proyecciones para el 2019”, 2018. Disponible en: <https://aeromarket.com.ar/noticias/proyecciones-para-el-2019-2/>. (Accedido: Abr.25, 2020).
- [42] Hackerbay, “Case Study: Paperless Maintenance”, 2019. Available: <https://hackerbay.com/case-study/paperless-maintenance>. (Accessed: Dec. 16, 2020).