



Carátula

**“Inspección de 100 horas del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal
MLG, mediante información técnica aplicable al sistema hidráulico auxiliar de la
aeronave Hawker Siddeley HS 125, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas
Armadas ESPE”**

Freire Gaibor, Rafael Wellington

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Monografía, previa a la obtención del título de Tecnólogo Superior en Mecánica Aeronáutica

Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián

24 de agosto del 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido

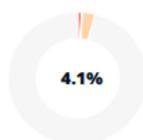


TESIS FINAL - Freire Gaibor Rafael.docx

Scan details

Scan time: August 24th, 2023 at 20:50 UTC Total Pages: 50 Total Words: 12399

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	0.9%	116
Minor Changes	0.2%	28
Paraphrased	2.9%	364
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage
 AI text
 Human text

🔍 Plagiarism Results: (25)

🌐 **Guía Completa De Válvulas Hidráulicas Y Neumátic...** 1.4%

<https://www.microscopio.pro/guia-completa-de-valvulas-hidr...>
 Saltar al contenido Menú Inicio Partes Historia Tipos Microscopio Óptico
 Microscopio Electrónico Microscopio Digital Microsco...

🌐 **14.3 Principio de Pascal y la hidráulica - Física unive...** 0.5%

<https://openstax.org/books/f9c3%adsica-universitaria-volu...>
 Omitir e ir al contenido Ir a la página de accesibilidad Menú de atajos de
 teclado Física universitaria volumen 114.3 Principio de Pascal ...

🌐 **9042937.pdf** 0.3%

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9042937.pdf>



Firmado electrónicamente por:
GABRIEL SEBASTIAN
INCA YAJAMIN

.....
Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián

C.C.: 1722580329



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Certificación

Certifico que la monografía: **“Inspección de 100 horas del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal MLG, mediante información técnica aplicable al sistema hidráulico auxiliar de la aeronave Hawker Siddeley HS 125, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE”** fue realizada por el señor **Freire Gaibor, Rafael Wellington**, la misma que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se la sustente públicamente.

Latacunga, 24 de agosto del 2023



Firmado electrónicamente por:
GABRIEL SEBASTIAN
INCA YAJAMIN

.....
Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián

C.C.: 1722580329



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Freire Gaibor, Rafael Wellington**, con cédula de ciudadanía n° 0202199261, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“Inspección de 100 horas del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal MLG, mediante información técnica aplicable al sistema hidráulico auxiliar de la aeronave Hawker Siddeley HS 125, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 24 de agosto del 2023

.....
Freire Gaibor, Rafael Wellington

C.C.: 0202199261



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Autorización de Publicación

Yo, **Freire Gaibor, Rafael Wellington**, con cédula de ciudadanía n° 0202199261, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“Inspección de 100 horas del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal MLG, mediante información técnica aplicable al sistema hidráulico auxiliar de la aeronave Hawker Siddeley HS 125, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 24 de agosto del 2023

.....
Freire Gaibor, Rafael Wellington

C.C.: 0202199261

Dedicatoria

Con suma gratitud, dedico este trabajo a quienes han sido pilares fundamentales en mi camino hacia la culminación de mi carrera universitaria. En primer lugar, mi agradecimiento a Dios, fuente inagotable de fortaleza y sabiduría. A Él le debo el sostén durante todo este trayecto de vida universitaria, permitiéndome enfrentar los retos y dificultades que se presentaron en el camino y alcanzar así la meta propuesta en mi vida. A mis amados padres, cuyo amor, enseñanzas y valores del respeto y la honestidad han sido la base sólida sobre la cual se ha construido mi formación. Su apoyo incondicional ha sido mi motor para alcanzar esta etapa de educación superior, siempre a mi lado en cada paso del aprendizaje. A mi apreciada familia, amigos y conocidos, quienes, con su inestimable presencia y aliento, han aportado consejos y motivación en este camino de formación académica y personal. Su cercanía ha sido un impulso para perseverar y superar cada reto.

Freire Gaibor, Rafael Wellington

Agradecimiento

Expreso mis más sinceros agradecimientos a todas las personas e instancias que han sido fundamentales en mi camino hacia el cumplimiento de este importante objetivo académico. En primer lugar, elevo mi más profundo agradecimiento a Dios, por su inagotable guía y bendiciones a lo largo de esta travesía. A mis amados padres, mi gratitud infinita por cada uno de sus consejos y por confiar incondicionalmente en mí. Su apoyo inquebrantable ha sido un faro de inspiración y fortaleza en cada paso de este recorrido académico. Mi reconocimiento especial a la noble institución, la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos académicos y fomentar mi crecimiento tanto en el ámbito educativo como personal. Agradezco a todos los docentes de la carrera por su dedicación y entrega en impartir sabiduría y experiencias que han enriquecido mi formación académica de manera significativa.

Freire Gaibor, Rafael Wellington

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenidos	8
Índice de figuras	11
Índice de tablas	14
Resumen.....	15
Abstract	16
Capítulo I: Planteamiento del problema	17
Antecedentes	17
Planteamiento del problema.....	18
Justificación e importancia	19
Objetivos.....	20
<i>Objetivo general</i>	20
<i>Objetivos específicos</i>	20
Alcance	20
Capítulo II: Marco teórico	21
Introducción a los sistemas hidráulicos en aeronaves	21
<i>Breve historia y evolución de los sistemas hidráulicos</i>	21
<i>Definición y propósito de los sistemas hidráulicos</i>	23

<i>Ventajas del uso de sistemas hidráulicos en aeronaves</i>	25
Principios Básicos de Hidráulica	26
<i>Ley de Pascal y su aplicación en aeronaves</i>	26
<i>Principio de transmisión de presión en líquidos</i>	28
<i>Flujo de fluidos y pérdidas de carga en tuberías</i>	29
<i>Propiedades de los fluidos hidráulicos utilizados en aeronaves</i>	30
Componentes del Sistema Hidráulico en Aeronaves	32
<i>Bombas Hidráulicas</i>	32
<i>Actuadores Hidráulicos</i>	36
<i>Válvulas Hidráulicas</i>	38
<i>Accesorios y elementos utilitarios</i>	41
Fluidos hidráulicos en aeronaves	45
<i>Diferencias generales de fluidos hidráulicos en aviación</i>	45
<i>Requisitos y especificaciones para fluidos hidráulicos en aeronaves</i>	46
<i>Propiedades y características esenciales de los fluidos hidráulicos</i>	47
<i>Filtración y purificación de fluidos hidráulicos</i>	48
Aeronave Hawker Siddeley HS 125	49
<i>Descripción de la aeronave Hawker Siddeley HS 125</i>	49
<i>Características de la aeronave Hawker Siddeley HS 125</i>	50
Sistema hidráulico de la aeronave Hawker Siddeley HS 125	51
<i>Descripción y operación</i>	51
<i>Sistema hidráulico principal</i>	51
<i>Sistema hidráulico auxiliar</i>	54
<i>Indicaciones del sistema hidráulico</i>	56
Capítulo III: Desarrollo del tema	59
Descripción general	59

	10
Procedimientos antes de la inspección.....	61
Implementación del banco de pruebas hidráulico.....	65
<i>Ensamble del banco de pruebas</i>	<i>70</i>
<i>Instalación de componentes.....</i>	<i>72</i>
Inspección de 100 horas del actuador.....	76
<i>Condiciones preliminares.....</i>	<i>76</i>
<i>Partes del actuador</i>	<i>77</i>
<i>Remoción del actuador</i>	<i>78</i>
<i>Pruebas funcionales al actuador.....</i>	<i>81</i>
<i>Instalación del actuador.....</i>	<i>84</i>
<i>Resultados obtenidos</i>	<i>85</i>
Capítulo IV: Conclusiones y recomendaciones.....	87
Conclusiones.....	87
Recomendaciones	88
Glosario	89
Abreviaturas.....	92
Bibliografía	93
Anexos.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Inicios de la aviación y primeras aplicaciones hidráulicas.....	21
Figura 2 Sistemas hidráulicos asistidos por computadora	22
Figura 3 Sistemas hidráulicos en la aviación moderna	23
Figura 4 Definición y propósito de los sistemas hidráulicos	24
Figura 5 Alta potencia y capacidad de carga.....	25
Figura 6 Ley de Pascal.....	27
Figura 7 Principio de transmisión de presión en líquidos.....	28
Figura 8 Flujo laminar y turbulento	30
Figura 9 Propiedades de los fluidos hidráulicos.....	31
Figura 10 Bomba de engranajes	33
Figura 11 Bomba de paletas	33
Figura 12 Bomba de pistones axiales.....	34
Figura 13 Mantenimiento y diagnóstico de fallas en bombas hidráulicas.....	35
Figura 14 Cilindros hidráulicos	36
Figura 15 Motores hidráulicos	37
Figura 16 Válvulas de control de flujo.....	38
Figura 17 Válvulas de control direccional	39
Figura 18 Válvulas de alivio.....	39
Figura 19 Válvulas de secuencia.....	40
Figura 20 Válvulas de compensación de presión	40
Figura 21 Fluidos hidráulicos.....	46
Figura 22 Propiedades y características de los fluidos hidráulicos	48
Figura 23 Filtración y purificación de fluidos.....	49

	12
Figura 24 Aeronave Hawker Siddeley HS 125.....	50
Figura 25 Sistema hidráulico principal.....	52
Figura 26 Localización de componentes - sistema principal.....	53
Figura 27 Sistema hidráulico auxiliar.....	55
Figura 28 Localización de componentes - sistema auxiliar.....	56
Figura 29 Indicaciones del sistema hidráulico.....	57
Figura 30 Diagrama de flujo de la inspección.....	60
Figura 31 Limpieza general de la zona del tren principal.....	61
Figura 32 Área de trabajo para realizar las pruebas funcionales.....	62
Figura 33 Diagrama de flujo de la documentación técnica.....	63
Figura 34 Herramientas.....	64
Figura 35 Sistema hidráulico básico.....	66
Figura 36 Diagrama banco de pruebas - modo A.....	67
Figura 37 Diagrama banco de pruebas - modo B.....	68
Figura 38 Diagrama banco de pruebas - modo C.....	69
Figura 39 Láminas para la estructura.....	70
Figura 40 Soportes para la estructura.....	71
Figura 41 Soldadura de componentes estructurales.....	71
Figura 42 Estructura terminada.....	72
Figura 43 Instalación de la bomba hidráulica.....	73
Figura 44 Instalación de válvulas de control.....	73
Figura 45 Instalación de medidores de presión y caudal.....	74
Figura 46 Instalación de conexiones.....	75
Figura 47 Instalación del cilindro de doble efecto.....	75
Figura 48 Condiciones preliminares.....	77

	13
Figura 49 Partes del actuador	78
Figura 50 Levantar la aeronave en gatos	79
Figura 51 Abertura manual de las puertas MLG	79
Figura 52 Remoción del actuador - 1	80
Figura 53 Remoción del actuador - 2	80
Figura 54 Remoción del actuador - 3	80
Figura 55 Pruebas en banco de pruebas hidráulico.....	81
Figura 56 Pruebas funcionales al actuador	82
Figura 57 Lubricación de los puntos de anclaje.....	84
Figura 58 Instalación del actuador.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Diferencias generales de los fluidos hidráulicos</i>	45
Tabla 2 <i>Características de la aeronave Hawker Siddeley HS 125</i>	51
Tabla 3 <i>Equipos de seguridad utilizados en la inspección</i>	64
Tabla 4 <i>Resultados obtenidos en la comprobación en el banco de pruebas</i>	86

Resumen

En el presente trabajo, se aborda la inspección detallada del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal (MLG) en el sistema hidráulico auxiliar de la aeronave Hawker Siddeley HS 125. El enfoque primordial radica en asegurar el funcionamiento óptimo de este componente crítico para la seguridad y operatividad de la aeronave, siguiendo rigurosamente los protocolos establecidos basándose en información técnica aplicable. Se realizó una exhaustiva búsqueda y análisis de la información técnica necesaria para llevar a cabo la inspección. Los procedimientos requeridos se extrajeron del Manual de Mantenimiento (AMM) y la Circular de Asesoramiento (AC 43-13-1B), documentos esenciales que delinean los pasos y recomendaciones para la correcta realización de la inspección. Antes de abordar la inspección del actuador, se efectuó una inspección visual completa del sistema hidráulico auxiliar. Se buscaban posibles signos de fugas y daños en las líneas hidráulicas y conexiones, aspectos críticos que podrían afectar la operatividad y seguridad de la aeronave. Luego se procedió con la inspección del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal. Cada paso fue llevado a cabo con meticulosidad, revisando cada componente y verificando su funcionamiento dentro de los parámetros establecidos. Una vez completada la inspección, se realizaron pruebas funcionales al actuador en el banco hidráulico. Estas pruebas verificaron que el componente operara correctamente y dentro de los límites específicos.

Palabras clave: Hawker Siddeley HS 125, inspección 100 horas, sistema hidráulico auxiliar, actuador compuerta, banco hidráulico.

Abstract

In the present work, the detailed inspection of the main landing gear (MLG) gate actuator in the auxiliary hydraulic system of the Hawker Siddeley HS 125 aircraft is addressed. The primary focus is on ensuring the optimal operation of this critical component for the safety and operability of the aircraft, strictly following the established protocols based on applicable technical information. An exhaustive search and analysis of the technical information necessary to carry out the inspection was carried out. The required procedures were extracted from the Maintenance Manual (AMM) and the Advisory Circular (AC 43-13-1B), essential documents that outline the steps and recommendations for the correct performance of the inspection. Before tackling the actuator inspection, a complete visual inspection of the auxiliary hydraulics was performed. Possible signs of leaks and damage to the hydraulic lines and connections were sought, critical aspects that could affect the operability and safety of the aircraft. Then we proceeded with the inspection of the main landing gear gate actuator. Each step was carried out meticulously, reviewing each component and verifying its operation within the established parameters. Once the inspection was completed, functional tests were performed on the actuator on the hydraulic bench. These tests verified that the component was operating correctly and within specified limits.

Keywords: Hawker Siddeley HS 125, 100-hour inspection, auxiliary hydraulic system, damper actuator, hydraulic bench.

Capítulo I

Planteamiento del problema

Antecedentes

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE es una institución de educación superior ecuatoriana que tiene como misión formar profesionales en diversas áreas del conocimiento, incluyendo la Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica. Esta carrera tiene como objetivo principal formar a los estudiantes en el mantenimiento y reparación de aeronaves, así como también en la gestión de la seguridad aérea.

En este sentido, la Universidad cuenta con una flota de aeronaves escuela que son utilizadas para la formación práctica de los estudiantes. Entre estas aeronaves se encuentra la Hawker Siddeley HS 125, una aeronave ejecutiva bimotor que ha sido utilizada en todo el mundo durante más de 50 años. El avión HS 125 ha demostrado ser una aeronave robusta y fiable, pero como todas las aeronaves, requiere un mantenimiento adecuado para asegurar su seguridad y eficiencia.

El sistema hidráulico de una aeronave es uno de los sistemas más importantes y críticos, ya que es el encargado de controlar y operar una variedad de componentes, como el tren de aterrizaje, los flaps y los frenos. En el caso de la HS 125, el sistema hidráulico auxiliar es el encargado de suministrar la presión hidráulica necesaria para operar los sistemas de emergencia en caso de una falla en el sistema hidráulico principal. Por lo tanto, es fundamental realizar una inspección y chequeo de los componentes de este sistema, específicamente al actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal para garantizar que la aeronave esté en condiciones óptimas para enfrentar cualquier situación de emergencia.

Planteamiento del problema

El origen del problema de la inspección y chequeo de los componentes del sistema hidráulico auxiliar en la aeronave Hawker Siddeley HS 125, surge debido a la complejidad del sistema y la necesidad de mantenerlo en óptimas condiciones para garantizar su correcto funcionamiento. La falta de inspección y chequeo en los componentes de este sistema puede ocasionar fallas en la aeronave, lo que pone en riesgo la seguridad de los componentes y sistemas asociados.

Una causa principal que generan el incorrecto mantenimiento de los componentes del sistema hidráulico auxiliar, es la falta de capacitación y entrenamiento de los profesionales encargados de realizar estas tareas. Además, la falta de herramientas y equipos especializados para llevar a cabo estas labores, dificulta la detección temprana de posibles fallas, lo que puede generar daños mayores en el sistema hidráulico auxiliar. Es por ello, que es fundamental contar con herramientas y equipos para la inspección de 100 horas del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal. Asimismo, se debe garantizar que estos equipos se encuentren en óptimas condiciones de funcionamiento y que sean utilizados por personal debidamente capacitado.

Realizar un correcto mantenimiento de los componentes del sistema hidráulico auxiliar de la aeronave mediante la aplicación de los procedimientos indicados en la documentación técnica y gracias a herramientas y equipos necesarios para realizar las inspecciones y chequeos, tendrá como efecto la reducción de fallas en el sistema hidráulico, lo que mejorará la seguridad y confiabilidad de la aeronave. Asimismo, permitirá detectar y reparar de manera oportuna posibles fallas en el sistema, específicamente en el actuador de la compuerta del MLG; lo que a su vez reducirá los costos asociados a reparaciones mayores y reducirá el tiempo de inactividad de la aeronave debido a problemas en el sistema hidráulico auxiliar.

Justificación e importancia

Llevar a cabo el mantenimiento del sistema hidráulico auxiliar de la aeronave Hawker Siddeley HS 125, permitirá garantizar la seguridad, además de contribuir a mantener la disponibilidad y fiabilidad de la aeronave. Asimismo, el correcto mantenimiento del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal del sistema hidráulico auxiliar permitirá reducir los costos de mantenimiento y mejorar la eficiencia operativa de la aeronave. En este sentido, la importancia de realizar el mantenimiento adecuado a este sistema radica en la mejora de la seguridad, la fiabilidad y la eficiencia operativa de la aeronave.

Los principales beneficiarios del proyecto serán la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica, los docentes y estudiantes de la carrera. Al realizar un mantenimiento adecuado al sistema hidráulico auxiliar de la aeronave, se garantizará la seguridad en el uso de la aeronave, lo que permitirá que los docentes y estudiantes puedan realizar sus prácticas de manera segura y eficiente. Asimismo, la mejora en la eficiencia operativa de la aeronave permitirá mejorar la disponibilidad de la aeronave para su uso en la carrera y otras actividades de la universidad.

La factibilidad del proyecto está respaldada por la documentación técnica necesaria, el personal capacitado para realizar las tareas de mantenimiento en dicha aeronave, y las herramientas y equipos de apoyo necesarios para llevar a cabo el proyecto. Además, la experiencia de los técnicos encargados del mantenimiento del sistema hidráulico auxiliar, sumada a la utilización de técnicas y procedimientos actualizados, garantizará la efectividad en la inspección de 100 horas del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal del sistema hidráulico auxiliar.

Objetivos

Objetivo general

Realizar la inspección de 100 horas del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal MLG, mediante información técnica aplicable al sistema hidráulico auxiliar de la aeronave Hawker Siddeley HS 125, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Objetivos específicos

- Recopilar y analizar información técnica de los procedimientos necesarios para realizar la inspección de 100 horas del actuador de la compuerta del MLG del sistema hidráulico auxiliar de la aeronave Hawker Siddeley HS 125.
- Realizar una inspección visual general del sistema hidráulico auxiliar de la aeronave para detectar posibles signos de fugas y/o daños en las líneas hidráulicas y conexiones.
- Ejecutar la inspección de 100 horas del actuador de la compuerta del MLG del sistema hidráulico auxiliar de la aeronave Hawker Siddeley HS 125, siguiendo los procedimientos establecidos en los manuales de la aeronave, y detectar cualquier anomalía en su funcionamiento para corregirla.
- Realizar pruebas funcionales al actuador de la compuerta del MLG del sistema hidráulico auxiliar de la aeronave Hawker Siddeley HS 125, verificando su funcionamiento dentro de los límites establecidos por el fabricante.

Alcance

El proyecto consiste en la inspección de 100 horas del actuador de la compuerta del MLG del sistema hidráulico auxiliar de la aeronave Hawker Siddeley HS 125, mediante la aplicación de los procedimientos establecidos en la documentación técnica, utilizando herramientas y equipos adecuados. El proyecto contempla la ejecución de pruebas funcionales al actuador para verificar el correcto funcionamiento en el sistema hidráulico auxiliar.

Capítulo II

Marco teórico

Introducción a los sistemas hidráulicos en aeronaves

Breve historia y evolución de los sistemas hidráulicos

A medida que la aviación comenzó a tomar forma en los primeros vuelos experimentales, la necesidad de sistemas de control eficientes se hizo evidente. Al inicio de las décadas del siglo XX, los pioneros de la aviación utilizaron controles mecánicos y cables para operar superficies de control como alerones. Sin embargo, estas soluciones mecánicas eran limitadas en términos de eficiencia y precisión (CurioSfera, 2021). En la década de 1930, se introdujeron los primeros sistemas hidráulicos en aeronaves comerciales y militares. Estos sistemas utilizaban bombas y cilindros hidráulicos para ayudar en el movimiento de superficies de control, como alerones y flaps, lo que permitía un mayor control y maniobrabilidad de la aeronave.

Figura 1

Inicios de la aviación y primeras aplicaciones hidráulicas

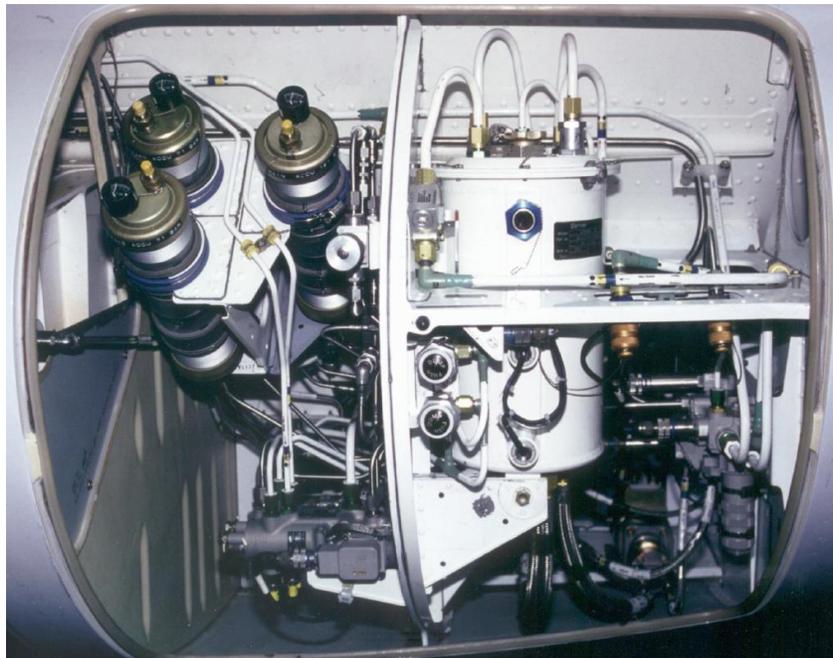


Nota. Primeros vuelos experimentales. Tomado de (CurioSfera, 2021).

Durante y después de la II Guerra Mundial, se produjo un rápido desarrollo en la tecnología de sistemas hidráulicos. Las aeronaves militares, en particular, requerían sistemas cada vez más sofisticados para operar sistemas de armamento, trenes de aterrizaje retráctiles y otros dispositivos complejos (AERTEC , 2023). Los sistemas fly-by-wire, que utilizan sistemas eléctricos y electrónicos para controlar actuadores hidráulicos, reemplazaron en gran medida los sistemas hidráulicos convencionales. Esto permitió una mayor flexibilidad y control en el diseño de aeronaves, así como una reducción en el peso y la complejidad de los sistemas.

Figura 2

Sistemas hidráulicos asistidos por computadora



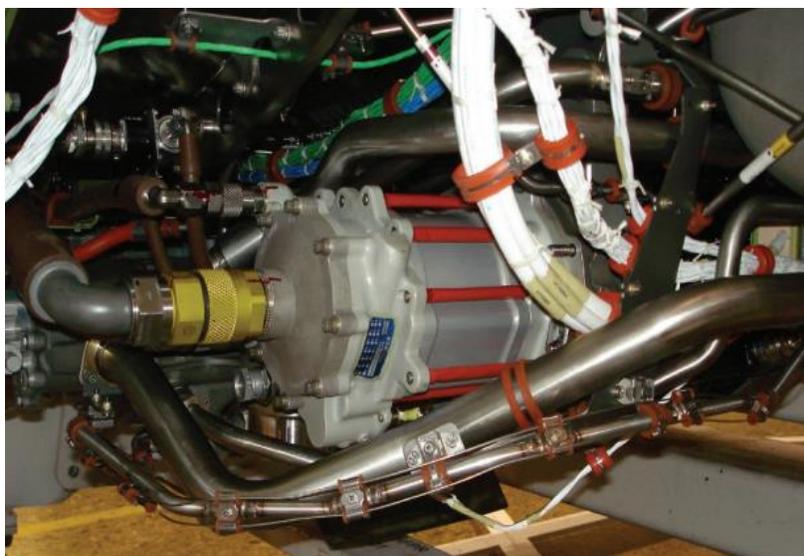
Nota. Vista general de un sistema hidráulico de la aeronave Dornier 328-200. Tomado de (Fairchild Dornier, 1998).

A medida que avanzaba la tecnología, se produjo una mejora en los materiales utilizados en los componentes hidráulicos de las aeronaves, como cilindros, bombas y válvulas. Los materiales más ligeros y resistentes, como aleaciones de aluminio y titanio, contribuyeron a

reducir el peso total del sistema y aumentar su eficiencia. Además, se desarrollaron nuevos fluidos hidráulicos con propiedades mejoradas, como una mayor resistencia a altas temperaturas y menor impacto ambiental. La evolución de los fluidos hidráulicos ha sido crucial para garantizar el correcto funcionamiento y durabilidad de los sistemas hidráulicos en condiciones operativas exigentes (ATSDR, 2016).

Figura 3

Sistemas hidráulicos en la aviación moderna



Nota. Tomado de (KISTLER, 2023).

En la actualidad, la aviación cuenta con sistemas hidráulicos altamente avanzados y confiables. Los aviones comerciales y militares utilizan sistemas fly-by-wire con redundancia y capacidad de control digital. Los sistemas hidráulicos modernos son esenciales para operar sistemas de alta complejidad, como trenes de aterrizaje, compuertas y flaps, proporcionando un control preciso y seguro en todas las fases del vuelo (KISTLER, 2023).

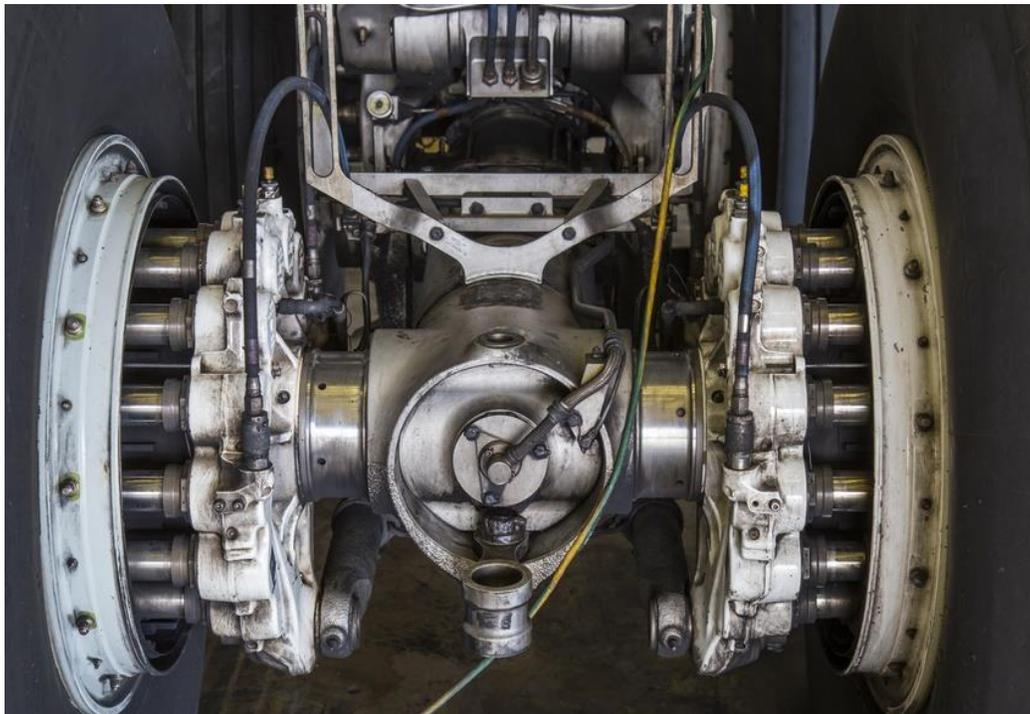
Definición y propósito de los sistemas hidráulicos

Un sistema hidráulico es un grupo de componentes interconectados que utilizan un fluido incompresible, generalmente aceite o un fluido especial, para transmitir potencia y

controlar fuerzas en maquinaria y equipo. En el contexto de las aeronaves, los sistemas hidráulicos cumplen un rol importante en el funcionamiento seguro y eficiente de diversas funciones, sistemas y controles cruciales para la operación del avión. El propósito principal de los sistemas hidráulicos en aeronaves es proporcionar una forma eficiente y fiable de transmitir fuerzas y energía a través del uso de fluidos incompresibles (Oñate, 2019). Estos sistemas se diseñan para aprovechar las características inherentes de los líquidos, especialmente su incompresibilidad y capacidad para transmitir presión de manera uniforme en todas direcciones.

Figura 4

Definición y propósito de los sistemas hidráulicos



Nota. Tomado de (STS, 2020).

Los sistemas hidráulicos en aeronaves desempeñan una serie de funciones críticas que involucran, pero no se condicionan a: control de superficies de vuelo, sistemas de frenado, tren de aterrizaje, control de potencia en motores, sistemas de emergencia, etc. El uso de sistemas hidráulicos en aeronaves ofrece ventajas significativas, como una alta capacidad de carga, una

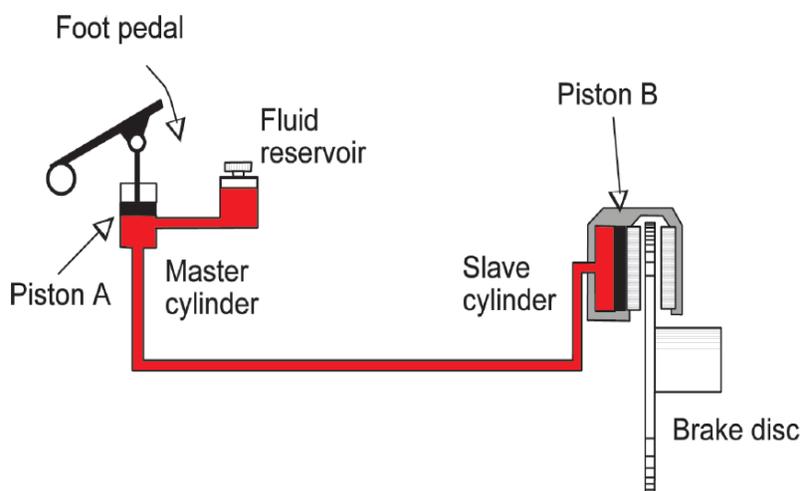
rápida respuesta a las órdenes del piloto, resistencia a condiciones ambientales adversas y una amplia gama de aplicaciones. Sin embargo, el mantenimiento adecuado, la inspección regular y el seguimiento de los procedimientos de seguridad son fundamentales para asegurar un funcionamiento confiable y seguro de estos sistemas en el entorno aeronáutico (FAA, 2018).

Ventajas del uso de sistemas hidráulicos en aeronaves

El uso de sistemas hidráulicos en aeronaves ofrece una serie de ventajas significativas que han llevado a su amplia adopción en diversas aplicaciones aeronáuticas. Estas ventajas se derivan de las propiedades y características únicas de los fluidos hidráulicos y su capacidad para realizar tareas críticas en el funcionamiento de las aeronaves (Oñate, 2019). A continuación, se detallan las principales ventajas.

Figura 5

Alta potencia y capacidad de carga



Nota. Sistema de frenado típico de un avión ligero. Tomado de (CAE Oxford, 2014).

Alta potencia y capacidad de carga. Los sistemas hidráulicos pueden generar y transmitir altas fuerzas, lo que permite manejar grandes cargas y realizar tareas que requerirían una fuerza excesiva para operar de forma manual. Esto es esencial en aeronaves, donde se necesitan movimientos precisos y potentes para controlar superficies de vuelo y otros sistemas

importantes (ver Figura 5).

Respuesta rápida y precisa. Los sistemas hidráulicos ofrecen una respuesta inmediata a las órdenes del piloto o de los sistemas automáticos. Esto se traduce en un control más preciso y ágil de las superficies de vuelo, el tren de aterrizaje y otras funciones críticas del avión, lo que contribuye a la seguridad y eficiencia en el vuelo.

Incompresibilidad del fluido. El fluido hidráulico es prácticamente incompresible, lo que significa que la presión en un punto del sistema se transmite uniformemente por todo el circuito. Esto evita la pérdida de energía y garantiza que las fuerzas se apliquen de manera constante y consistente en todos los actuadores y componentes hidráulicos.

Amplia gama de temperaturas de funcionamiento. Los fluidos hidráulicos están diseñados para operar en un rango grande de temperaturas, lo que es esencial en el entorno aeronáutico donde las condiciones pueden variar significativamente, desde altas temperaturas en la pista hasta bajas temperaturas en altitud elevada.

Fiabilidad y durabilidad. Un sistema hidráulico es reconocido por su confiabilidad y vida útil. Cuando se mantienen adecuadamente, los componentes hidráulicos pueden tener una vida útil larga y requerir un mantenimiento mínimo. Además, muchos sistemas hidráulicos incorporan dispositivos de seguridad y redundancia para garantizar un funcionamiento seguro incluso en situaciones de emergencia o fallo de componentes.

Diseño compacto y ligero. Los sistemas hidráulicos pueden lograr altas potencias y capacidades de carga con diseños relativamente compactos y ligeros. Esto es crucial en la industria aeronáutica, donde el peso y el espacio son factores críticos que afectan el rendimiento y la eficiencia del avión (CAE Oxford, 2014).

Principios Básicos de Hidráulica

Ley de Pascal y su aplicación en aeronaves

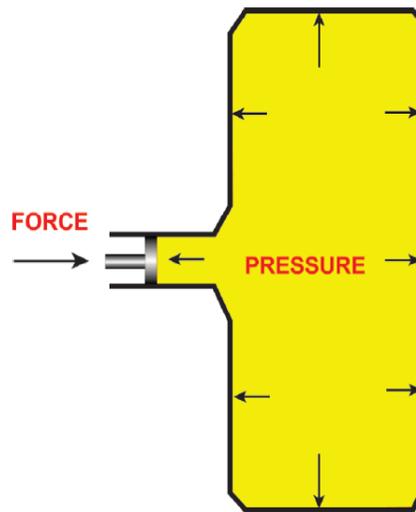
La ley establece que cuando se aplica una presión en un punto de un fluido contenido

en un recipiente indeformable, la presión se transmite uniformemente en todas las direcciones del fluido, según la ecuación (1); donde P es la presión, F la fuerza y A el área (studocu, 2022).

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Figura 6

Ley de Pascal



Nota. La fuerza empleada al accionar un sistema hidráulico está causada por la "Presión". Tomado de (CAE Oxford, 2014).

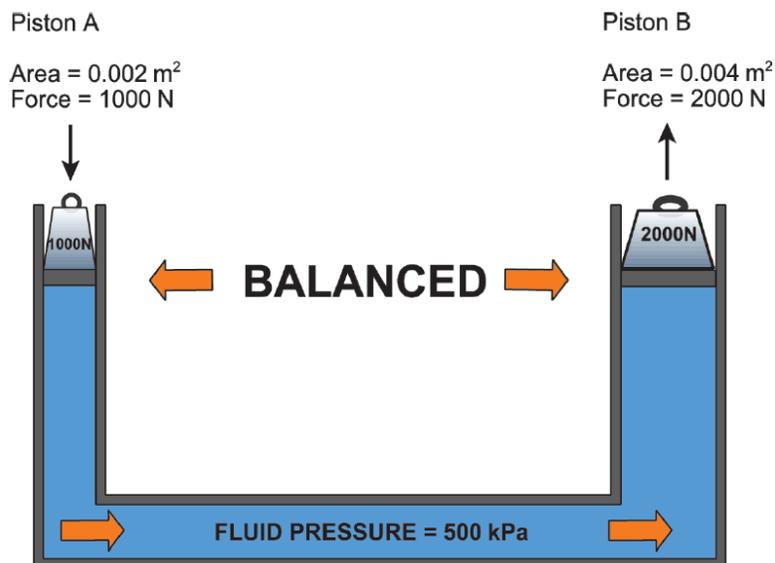
La ley de Pascal y su aplicación a los sistemas hidráulicos es esencial para el funcionamiento adecuado de las aeronaves modernas. La capacidad de transmitir presión de manera uniforme en todo el sistema hidráulico garantiza que los movimientos se realicen de manera precisa y coordinada, lo que contribuye a la seguridad y eficiencia de los vuelos (Oñate, 2019). Es importante destacar que, aunque la Ley de Pascal es esencial en la hidráulica, los sistemas hidráulicos en aeronaves también requieren un mantenimiento adecuado y una supervisión continua para garantizar su correcto funcionamiento y seguridad operativa.

Principio de transmisión de presión en líquidos

El principio de transmisión de presión en líquidos es una consecuencia directa de la Ley de Pascal y es un concepto fundamental en la hidráulica. Este principio establece que, en un fluido incompresible, como un líquido, la presión aplicada en un punto del fluido se transmite de manera uniforme y sin pérdida a lo largo de todo el fluido, en todas las direcciones (ver Figura 7).

Figura 7

Principio de transmisión de presión en líquidos



Nota. Principio de transmisión de presión en líquidos. Tomado de (CAE Oxford, 2014).

Este principio es la base para el funcionamiento de los sistemas hidráulicos en aeronaves y otras aplicaciones de ingeniería. En los sistemas hidráulicos, la presión se genera mediante una bomba hidráulica, y esta presión se transmite a través de tuberías y mangueras llenas de líquido hacia los actuadores, que son cilindros o motores hidráulicos que realizan el trabajo deseado, como mover superficies de vuelo, tren de aterrizaje, frenos, entre otros (FAA, 2018).

Cuando el piloto o el sistema de control activa una orden, se aplica presión en un punto

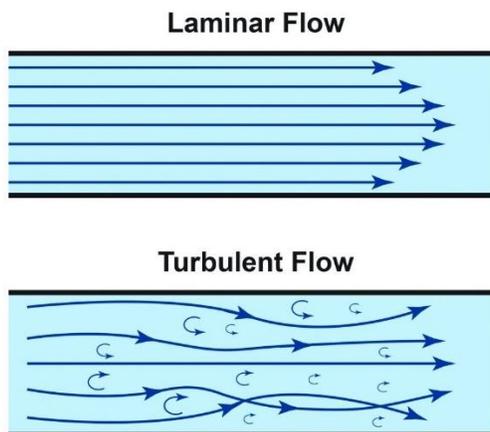
específico del fluido en el sistema hidráulico. Esa presión se transmite instantáneamente a través del líquido en todas las direcciones, llegando a los actuadores correspondientes y causando el movimiento o la acción deseada. Esta transmisión uniforme de presión permite que los movimientos se realicen de manera precisa, controlada y coordinada en todo el sistema, lo que es primordial para mantener la seguridad y la eficiencia en el vuelo de la aeronave (Oñate, 2019).

Flujo de fluidos y pérdidas de carga en tuberías

El flujo de fluidos se relaciona al movimiento de un líquido o gas a través de una tubería u otro conducto. En el caso de los sistemas hidráulicos, el fluido generalmente es aceite hidráulico o algún líquido especial diseñado para transmitir energía y fuerza en el sistema. El flujo puede ser laminar o turbulento, y esto depende de la velocidad y las características del fluido, así como del diámetro y la geometría de la tubería (Fernández, 2019).

Flujo Laminar. Ocurre cuando el fluido se mueve en capas ordenadas y paralelas, y cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave y predecible. Este tipo de flujo es más común a velocidades bajas y se caracteriza por tener una pérdida de energía mínima debido a la fricción interna (ver Figura 8).

Flujo Turbulento. Se produce cuando el fluido se mueve de manera caótica y desordenada, con remolinos y vórtices que mezclan las partículas de fluido. Este tipo de flujo es más común a velocidades altas y puede provocar una mayor pérdida de energía debido a la fricción interna y la resistencia al flujo (ver Figura 8).

Figura 8*Flujo laminar y turbulento*

Nota. Flujo laminar y turbulento. Tomado de (Fernández, 2019).

Las pérdidas de potencia en las tuberías son pérdidas de potencia debidas a la fricción y la resistencia al flujo a medida que el fluido fluye a través de la tubería. Estas pérdidas de presión pueden ser causadas por muchos factores, como la longitud y el diámetro de la tubería, el caudal, la rugosidad de la pared interior de la tubería y la viscosidad del fluido. (Bravo, 2020).

Para mitigar las pérdidas de carga en sistemas hidráulicos, es importante tener en cuenta factores como el diseño adecuado de las tuberías, el uso de materiales de baja rugosidad, el ajuste de la velocidad del flujo y la selección del tipo de fluido hidráulico adecuado. Al minimizar las pérdidas de carga, se puede garantizar un flujo de fluidos más eficiente y un rendimiento óptimo del sistema hidráulico en aeronaves (Oñate, 2019).

Propiedades de los fluidos hidráulicos utilizados en aeronaves

Los fluidos hidráulicos utilizados en aeronaves son sustancias especialmente diseñadas para transmitir fuerza y energía en sistemas hidráulicos. Estos fluidos deben cumplir con algunas propiedades específicas para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro en el entorno aeronáutico (Villacís, 2022). A continuación, se describen tres propiedades clave de los fluidos hidráulicos en aeronaves.

Figura 9*Propiedades de los fluidos hidráulicos*

Nota. Los fluidos deben cumplir con una serie de propiedades específicas para garantizar un funcionamiento eficiente. Tomado de (concepto, 2023).

Viscosidad. Es una relación de la resistencia interna de un fluido al fluir. Se refiere a la capacidad del fluido para fluir libremente o la resistencia que ofrece a los esfuerzos cortantes (Oñate, 2019). En los sistemas hidráulicos, la viscosidad es una propiedad crítica, ya que afecta directamente la eficiencia del sistema y la transferencia de energía. Un fluido hidráulico con una viscosidad adecuada garantiza una transferencia de energía eficiente y una lubricación adecuada en los componentes del sistema, reduciendo el desgaste y prolongando la vida útil de los componentes. Demasiada viscosidad puede resultar en una pérdida de energía debido a la resistencia al flujo, mientras que una viscosidad insuficiente puede causar fugas y disminuir la capacidad de sellado del sistema.

Densidad. La densidad de un fluido se refiere a su masa por unidad de volumen. En los sistemas hidráulicos, la densidad es una propiedad importante, ya que afecta directamente la carga que el sistema debe manejar (Oñate, 2019). También afecta el rendimiento de los sistemas hidráulicos, ya que una mayor densidad significa que es necesario mover una mayor masa de fluido, lo que requiere más energía. Por otro lado, una densidad baja puede resultar en menos masa, pero también podría reducir la fuerza que el fluido ejerce sobre los

componentes del sistema.

Temperatura de operación. Se refiere a la gama de temperaturas en las que el fluido hidráulico puede funcionar de manera efectiva sin perder sus propiedades esenciales. En el entorno aeronáutico, las aeronaves están expuestas a una amplia gama de temperaturas, desde las temperaturas frías en altitud hasta las altas temperaturas generadas durante el vuelo y en tierra. Un fluido hidráulico debe ser capaz de mantener sus características físicas y químicas dentro de un rango de temperatura específico para evitar problemas como la viscosidad excesiva en temperaturas bajas o la degradación del fluido en temperaturas elevadas (EASA, 2020).

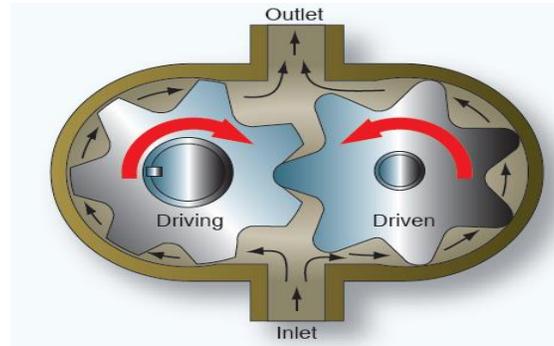
Componentes del Sistema Hidráulico en Aeronaves

Bombas Hidráulicas

Las bombas hidráulicas son una parte esencial del sistema hidráulico de una aeronave, ya que son responsables de generar suficiente presión para mover el aceite hidráulico a través del sistema y accionar los distintos actuadores. Su funcionamiento eficiente y confiable es esencial para el correcto desempeño de las funciones hidráulicas en la aeronave. A continuación, se mencionan los puntos clave sobre las bombas hidráulicas en aeronaves para su correcta utilización.

Tipos de bombas utilizadas en aeronaves. Existen varios tipos de bombas hidráulicas utilizadas en aeronaves, cada una con especificaciones que se adaptan a las necesidades y requerimientos del sistema hidráulico (FAA, 2018). Los tipos comunes de bombas hidráulicas en aeronaves incluyen.

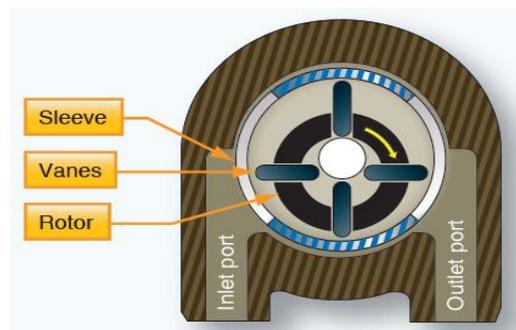
Bomba de engranajes. Esta bomba utiliza un par de engranajes que se entrelazan y giran dentro de una carcasa. La rotación de los engranajes produce el movimiento del fluido y la generación de la presión (ver Figura 10).

Figura 10*Bomba de engranajes*

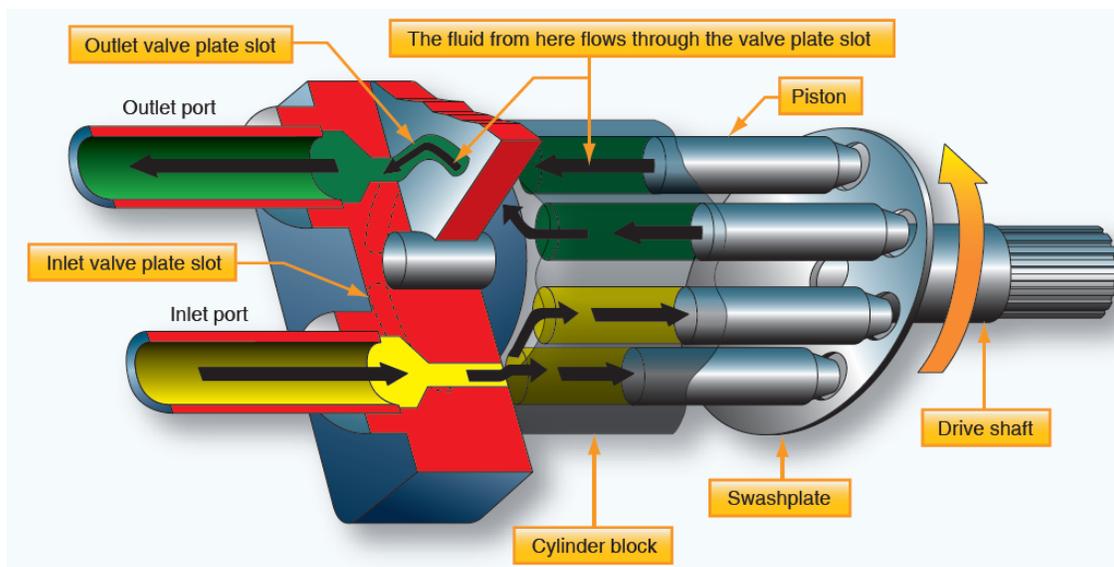
Nota. Bomba de engranajes. Tomado de (FAA, 2018).

Bomba de paletas. En este tipo de bombas, el rotor de paletas regulables gira dentro de la carcasa. Las paletas se mueven hacia afuera por la fuerza centrífuga y, al hacerlo, crean un espacio que permite la entrada de fluido (FAA, 2018). Luego, las paletas se mueven hacia adentro, comprimiendo el fluido y generando la presión hidráulica (ver Figura 11).

Bomba de pistones axiales. Esta bomba cuenta con pistones dispuestos en una disposición axial, lo que significa que se mueven paralelamente al eje de la bomba (FAA, 2018). El pistón interior se mueve hacia delante y hacia atrás de cilindros, lo que crea el flujo y la presión del fluido (ver Figura 12).

Figura 11*Bomba de paletas*

Nota. Bomba de paletas. Tomado de (FAA, 2018).

Figura 12*Bomba de pistones axiales*

Nota. Bomba de pistones axiales. Tomado de (FAA, 2018).

Bomba de pistones radiales. En esta bomba, los pistones están dispuestos radialmente alrededor de un cilindro central. La acción de los pistones crea el flujo de fluido y la presión en el sistema hidráulico.

Funcionamiento y características de las bombas hidráulicas. El funcionamiento de las bombas hidráulicas está relacionado con los principios mecánicos de cada tipo de bomba, como se mencionó anteriormente (Marbello, 2007). Sin embargo, hay características generales que aplican a todas las bombas hidráulicas utilizadas en aeronaves.

Presión de descarga. Es la presión máxima que la bomba puede generar y suministrar al sistema hidráulico (Marbello, 2007). Esta presión se especifica en el diseño y debe ser suficiente para cubrir las demandas de fuerza requeridas por los actuadores.

Rendimiento volumétrico. Es la cantidad de flujo de fluido que la bomba puede suministrar por unidad de tiempo. Medido en galones por minuto (GPM) o litros por minuto (LPM) (Marbello, 2007). Un rendimiento volumétrico adecuado es esencial para garantizar un

funcionamiento eficiente del sistema.

Eficiencia. La eficiencia de la bomba se refiere a la relación entre la potencia de entrada y la potencia de salida de la bomba. Una bomba más eficiente disipa menos energía en forma de calor y, por lo tanto, convierte más energía en presión hidráulica.

Mantenimiento y diagnóstico de fallas en bombas hidráulicas. El mantenimiento adecuado de las bombas hidráulicas es fundamental para asegurar su vida útil y un funcionamiento óptimo del sistema hidráulico (iprecom, 2022). Algunas prácticas de mantenimiento comunes incluyen.

Inspección regular. Verificar visualmente el estado de la bomba, buscando signos de fugas, daños o desgaste excesivo.

Cambio de aceite y filtros. Mantener el fluido hidráulico limpio y cambiar los filtros de manera periódica para evitar la contaminación del sistema.

Ajuste y calibración. Asegurarse de que las bombas estén ajustadas y calibradas correctamente para generar la presión y el flujo requeridos.

Figura 13

Mantenimiento y diagnóstico de fallas en bombas hidráulicas



Nota. Mantenimiento y diagnóstico de fallas en bombas hidráulicas. Tomado de (iprecom, 2022).

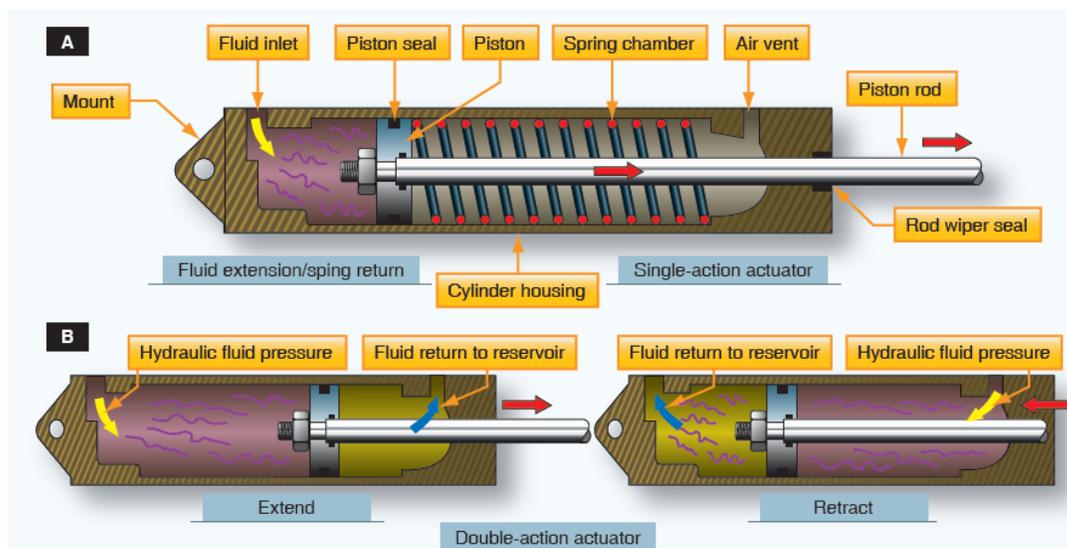
Actuadores Hidráulicos

Un actuador hidráulico es un dispositivo que convierte la energía hidráulica generada por una bomba hidráulica en movimiento mecánico. En los sistemas hidráulicos de aeronaves, los actuadores son responsables de controlar y mover diversas superficies y componentes cruciales para el funcionamiento del avión. A continuación, se describen los principales tipos de actuadores hidráulicos utilizados en aeronaves.

Cilindros hidráulicos. Son actuadores lineales que convierten la potencia hidráulica en movimiento lineal. Consisten en un cilindro cerrado que contiene un pistón conectado a una varilla (ver Figura 14). Cuando se aplica presión hidráulica a un extremo del cilindro, el pistón se mueve linealmente, moviendo la varilla en el proceso (FAA, 2018). Esto permite que el cilindro realice trabajos mecánicos, como mover superficies de control de vuelo, trenes de aterrizaje y compuertas.

Figura 14

Cilindros hidráulicos



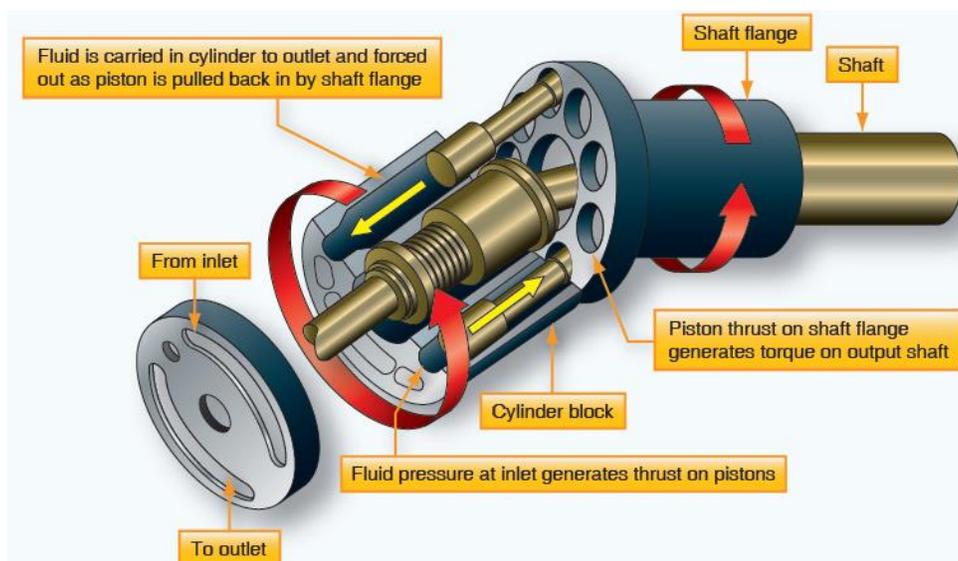
Nota. Cilindros hidráulicos. Tomado de (FAA, 2018).

Motores hidráulicos. Son actuadores rotativos que convierten la energía hidráulica en movimiento de rotación (ver Figura 15). Operan de manera inversa a las bombas hidráulicas, ya que, en lugar de generar presión hidráulica, utilizan la presión del fluido para producir el movimiento giratorio. Los motores hidráulicos se utilizan en aplicaciones donde se requiere un par de torsión para mover componentes como hélices, engranajes y ciertos sistemas de control (FAA, 2018).

Servomotores. Los servomotores son actuadores hidráulicos especialmente diseñados para proporcionar un control de posición o velocidad preciso. Estos dispositivos utilizan sensores de retroalimentación para ajustar la cantidad de flujo hidráulico y mantener una posición o velocidad deseada. Los servomotores se emplean en aplicaciones que requieren un control muy preciso, como el control de superficies de vuelo y sistemas de estabilización (FAA, 2018).

Figura 15

Motores hidráulicos



Nota. Motores hidráulicos. Tomado de (FAA, 2018).

Válvulas Hidráulicas

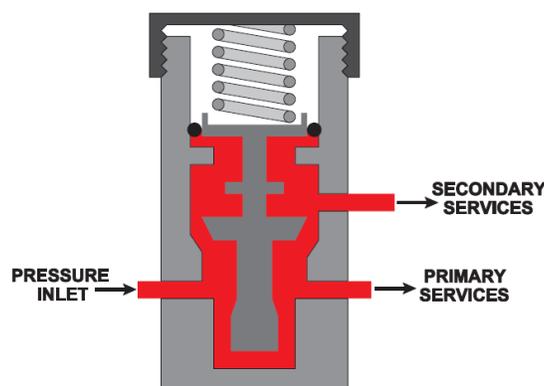
Las válvulas hidráulicas son componentes cruciales en los sistemas hidráulicos de aeronaves, ya que se utilizan para controlar y regular el flujo de fluido en diferentes partes del sistema (FAA, 2018). Estas válvulas son responsables de dirigir el flujo de fluido hacia los actuadores, permitiendo el movimiento de las superficies de vuelo, el tren de aterrizaje y otros sistemas críticos.

Tipos de válvulas utilizadas en sistemas hidráulicos aeronáuticos. Existen varios tipos de válvulas hidráulicas utilizadas en sistemas aeronáuticos, cada una con una función y aplicación específica. Algunos tipos comunes de válvulas incluyen.

Válvulas de control de flujo. Estas válvulas regulan la cantidad de flujo de fluido que se dirige hacia los actuadores (ver Figura 16). Pueden ser de tipo restrictivo, de aguja, proporcionales, entre otros (CAE Oxford, 2014).

Figura 16

Válvulas de control de flujo

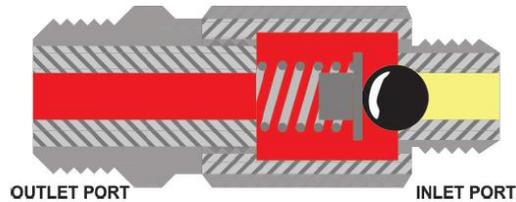


Nota. Válvulas de control de flujo. Tomado de (CAE Oxford, 2014).

Válvulas de control direccional. Estas válvulas se utilizan para dirigir el flujo de fluido en una dirección específica hacia los actuadores (ver Figura 17). Pueden ser válvulas de carrete, válvulas de esfera o válvulas de aguja, dependiendo de su diseño (CAE Oxford, 2014).

Figura 17

Válvulas de control direccional



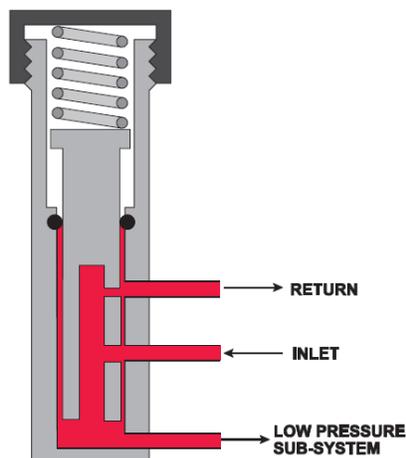
Nota. Válvulas de control direccional. Tomado de (CAE Oxford, 2014).

Válvulas de alivio. Estas válvulas protegen el sistema hidráulico de sobrepresiones peligrosas, liberando el exceso de presión hacia un depósito o circuito de baja presión (ver Figura 18).

Válvulas de secuencia. Estas válvulas permiten que los actuadores se activen secuencialmente en un orden específico, asegurando que ciertas operaciones ocurran en un orden lógico y seguro (ver Figura 19).

Figura 18

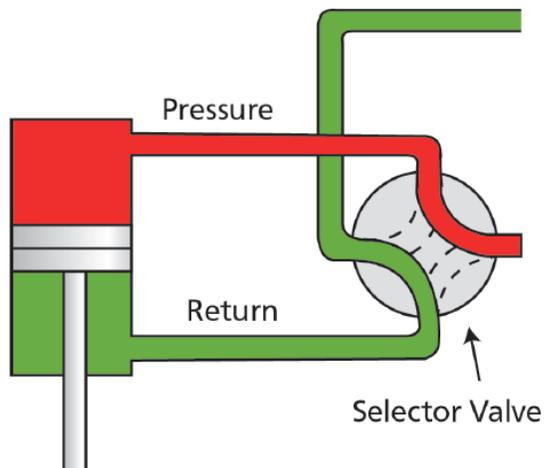
Válvulas de alivio



Nota. Válvulas de alivio. Tomado de (CAE Oxford, 2014).

Figura 19

Válvulas de secuencia

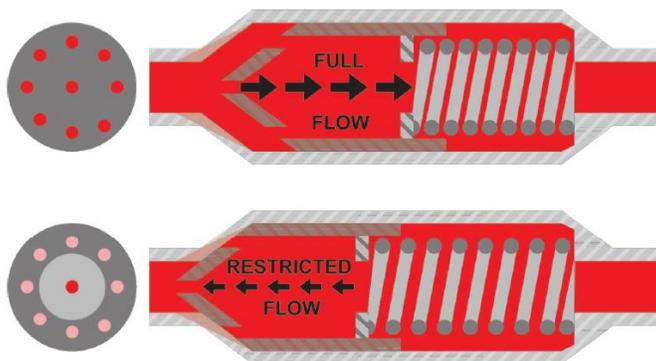


Nota. Válvulas de secuencia. Tomado de (CAE Oxford, 2014).

Válvulas de compensación de presión. Estas válvulas (ver Figura 20) ayudan a mantener una presión constante en el sistema a pesar de las variaciones en la carga o la demanda de flujo (CAE Oxford, 2014).

Figura 20

Válvulas de compensación de presión



Nota. Válvulas de compensación de presión. Tomado de (CAE Oxford, 2014).

Funcionamiento y roles de las válvulas hidráulicas. El funcionamiento de las válvulas hidráulicas depende de su tipo y diseño específico. En general, las válvulas controlan

el flujo y la presión del fluido hidráulico para garantizar que se suministre la cantidad adecuada de fuerza a los actuadores y componentes del sistema (Oñate, 2019). Sus principales roles en el sistema hidráulico son.

Controlar el flujo. Regulan la cantidad de flujo de fluido que se dirige hacia los actuadores, lo que permite controlar la velocidad de movimiento y ajustar la fuerza aplicada.

Dirigir el flujo. Las válvulas de control direccional direccionan el flujo de fluido hacia los actuadores, permitiendo que se muevan en la dirección deseada.

Proteger el sistema. Las válvulas de alivio protegen el sistema de sobrepresiones peligrosas, evitando daños a los componentes y manteniendo la integridad del sistema.

Secuenciar operaciones. Las válvulas de secuencia garantizan que los actuadores se activen en el orden adecuado, lo que es especialmente útil en operaciones secuenciales, como el despliegue y replegado del tren de aterrizaje.

Accesorios y elementos utilitarios

Indicadores de nivel. Los indicadores de nivel juegan un papel importante en el funcionamiento de los sistemas hidráulicos de las aeronaves al proporcionar información precisa sobre la cantidad de fluido hidráulico presente en el depósito. Estos componentes, a menudo pasados por alto, desempeñan una función esencial al garantizar que el sistema esté operando dentro de parámetros seguros y eficientes (Green, 1985). En la operación cotidiana de una aeronave, los indicadores de nivel permiten a los pilotos y operadores supervisar el suministro de fluido hidráulico en tiempo real. La visualización del nivel, que puede ser tanto analógica como digital, brinda una comprensión clara de cuánto fluido queda disponible para operar los diversos componentes hidráulicos cruciales para el vuelo, como los frenos, el tren de aterrizaje y las superficies de control.

Indicadores de temperatura. Los indicadores de temperatura son elementos esenciales en los sistemas hidráulicos de las aeronaves, desempeñando un papel fundamental

en el monitoreo y mantenimiento de la temperatura del fluido hidráulico. Estos componentes proveen información crítica sobre la temperatura del fluido, lo que contribuye a prevenir el sobrecalentamiento y asegura un funcionamiento seguro y eficiente del sistema. Al mostrar de manera precisa y en tiempo real las fluctuaciones de temperatura, los indicadores de temperatura permiten a los operadores y técnicos mantener el fluido hidráulico dentro de rangos aceptables (Wang et al., 2015). Esto ayuda a prevenir daños en los componentes, minimiza el riesgo de fallas debido al calor excesivo y optimiza el rendimiento del sistema en diferentes condiciones operativas y climáticas. Así, los indicadores de temperatura no solo contribuyen a la seguridad y fiabilidad de la aeronave, sino que también desempeñan un papel crucial en la planificación y ejecución de operaciones de mantenimiento preventivo para tener un funcionamiento óptimo y una vida útil prolongada de los componentes hidráulicos.

Acoples o fittings. Son accesorios de unión rápida y su función es conectarse o acoplarse a una manguera o un componente en un sistema hidráulico. Los racores unen un tubo a otro, o a unidades del sistema. La cantidad de presión que soporta el sistema y el material utilizado suelen ser los factores decisivos a la hora de seleccionar un conector (FAA, 2018).

Indicadores de presión. Los indicadores de presión son elementos clave en los sistemas hidráulicos de las aeronaves, proporcionando una información vital sobre la presión del fluido hidráulico en diferentes partes del sistema. Estos componentes desempeñan un rol esencial al permitir a los pilotos, operadores y técnicos supervisar la presión en tiempo real, lo que garantiza un funcionamiento seguro y eficiente de los componentes hidráulicos críticos. Al mostrar de manera precisa las variaciones en la presión, los indicadores permiten a los operadores identificar rápidamente cambios anormales que podrían indicar fugas, obstrucciones u otras condiciones problemáticas. Esta información temprana y precisa es crucial para prevenir daños mayores, mantener el rendimiento óptimo del sistema y evitar

situaciones potencialmente peligrosas. Los indicadores de presión también desempeñan un papel crucial en la identificación de problemas durante las fases de mantenimiento y en la verificación del correcto funcionamiento de los componentes después de reparaciones o ajustes (Green, 1985).

Luces de advertencia. Las luces de advertencia constituyen un componente crítico en los sistemas hidráulicos de las aeronaves, ofreciendo una forma instantánea y efectiva de comunicar condiciones anormales o situaciones de riesgo a los pilotos y operadores. Estas luces desempeñan un papel fundamental al proporcionar una notificación visual inmediata en caso de problemas, alertando sobre posibles fallos, fluctuaciones de presión, pérdida de fluido u otras anomalías que podrían comprometer la integridad del sistema. Su función esencial radica en permitir una respuesta rápida y decisiva ante situaciones imprevistas, permitiendo a los pilotos tomar las medidas adecuadas para garantizar la seguridad y estabilidad de la aeronave. Las luces de advertencia, al proveer una forma clara y destacada de comunicación, reducen la carga cognitiva y permiten a los pilotos concentrarse en resolver el problema de manera efectiva.

Etiquetas y marcadores. Las etiquetas y marcadores representan una herramienta indispensable en los sistemas hidráulicos de las aeronaves, al proporcionar información esencial de manera clara y detallada. Estos elementos desempeñan un papel fundamental en la identificación precisa de componentes, conexiones y puntos críticos dentro del sistema hidráulico. Al etiquetar cada parte con detalles como el tipo de fluido, la presión operativa, los procedimientos de mantenimiento y las fechas de servicio, las etiquetas y marcadores permiten a los técnicos y operadores acceder rápidamente a información crucial para una operación y mantenimiento adecuados. Además de mejorar la eficiencia en el mantenimiento y la resolución de problemas, estas etiquetas también juegan un papel esencial en la seguridad, al garantizar que los procedimientos de manipulación y mantenimiento se realicen de manera correcta y en

línea con las especificaciones. En última instancia, las etiquetas y marcadores contribuyen a una gestión ordenada y efectiva del sistema hidráulico, promoviendo una operación segura, confiable y sin problemas en el entorno aeronáutico (Neese, 1987).

Cañerías hidráulicas. Las cañerías hidráulicas representan una red vital de conexiones en los sistemas hidráulicos de las aeronaves, desempeñando un papel esencial en la transmisión de fluido y energía a lo largo del sistema. Estas cañerías, cuidadosamente diseñadas y hechas con materiales resistentes a la presión y a condiciones extremas, proporcionan el conducto mediante el cual el fluido hidráulico es distribuido a los diferentes componentes y actuadores de la aeronave (Wang et al., 2015). Desde el suministro de presión desde la bomba hasta la operación precisa de sistemas como el tren de aterrizaje y los controles de vuelo, las cañerías hidráulicas canalizan el poder necesario para garantizar un vuelo seguro y eficiente. Su diseño y montaje precisos son fundamentales para prevenir fugas, mantener la integridad del fluido y asegurar un flujo ininterrumpido de energía hidráulica en todo el sistema.

Filtros. Los filtros del sistema hidráulico constituyen una defensa esencial en las aeronaves, actuando como guardianes cruciales que aseguran la pureza y la calidad del fluido hidráulico que pasa por el sistema. Estos componentes trabajan incansablemente para eliminar partículas dañinas, sedimentos y contaminantes del fluido, evitando el desgaste prematuro de los componentes y garantizando un rendimiento óptimo. Al capturar y retener impurezas, los filtros preservan la integridad de las cañerías, las válvulas y los actuadores, al mismo tiempo que minimizan la posibilidad de bloqueos y obstrucciones que podrían comprometer la operación segura de la aeronave. Los filtros también desempeñan un papel fundamental en la prevención de daños causados por la humedad, al mantener el fluido hidráulico libre de agua y proteger contra la corrosión (Neese, 1987).

Sellos (O-rings). Los sellos O-Ring, pequeños pero esenciales, desempeñan un papel

fundamental en los sistemas hidráulicos de las aeronaves al garantizar una hermeticidad confiable en las conexiones y juntas críticas. Estos anillos de forma circular, fabricados generalmente de caucho o elastómeros de alta calidad, se colocan estratégicamente en puntos clave de las conexiones hidráulicas para prevenir fugas de fluido y asegurar un sellado a prueba de presión. Su diseño flexible y compresible les permite adaptarse a las superficies y tolerancias, manteniendo una barrera efectiva contra posibles escapes. Los sellos O-Ring, aunque pequeños en tamaño, son vitales para el funcionamiento seguro y sin problemas del sistema hidráulico, ayudando a mantener la integridad del fluido, prevenir pérdidas costosas y garantizar una operación confiable en el entorno aeronáutico (Neese, 1987).

Fluidos hidráulicos en aeronaves

Diferencias generales de fluidos hidráulicos en aviación

Tabla 1

Diferencias generales de los fluidos hidráulicos

Diferencias generales		
MIL H5606	Skydrol	ISO 68
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiene un nivel de viscosidad Iso de 45. ✓ Es más delgado que la mayoría de los aceites. ✓ Puede fluir a una temperatura más fría. ✓ Es altamente refinado para eliminar las impurezas y mejorar el rendimiento. ✓ Contiene cantidades muy pequeñas de parafina que pueden afectar el caudal y el rendimiento a baja temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Resistencia a la corrosión a temperaturas más elevadas. ✓ Su baja densidad reduce el peso, y por tanto ahorra combustible. ✓ Excelente viscosidad a baja temperatura. ✓ Se elige porque tiene el potencial de irritación más bajo y es deseable para equipos de análisis en tierra. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es más viscoso lo cual lo hace recomendable en sistemas de desplazamiento más lentos y cargados. ✓ Proporciona una excelente protección contra el desgaste y reduce los costos de mantenimiento. ✓ Buena compatibilidad con juntas y sellos fabricados de materiales sintéticos. ✓ Proporciona una protección óptima contra la corrosión (ver Anexo A).

Requisitos y especificaciones para fluidos hidráulicos en aeronaves

Los fluidos hidráulicos utilizados en aeronaves deben cumplir con requisitos y especificaciones rigurosas para garantizar un rendimiento seguro y confiable del sistema hidráulico en el entorno aeronáutico (AviationHunt, 2023). Los fabricantes y organismos reguladores establecen normas y estándares para los fluidos hidráulicos utilizados en aeronaves. A continuación, se describen algunos de los requisitos y especificaciones más importantes para estos fluidos.

Incompresibilidad. Los fluidos hidráulicos deben ser prácticamente incompresibles para que puedan transmitir eficientemente la presión generada por las bombas a los actuadores y sistemas de control.

Figura 21

Fluidos hidráulicos



Nota. Fluidos hidráulicos en aeronaves. Tomado de (AviationHunt, 2023).

Resistencia a la degradación. Los fluidos hidráulicos deben ser resistentes a la degradación química y térmica para mantener sus propiedades físicas y químicas dentro de los rangos operativos durante toda su vida útil.

Viscosidad adecuada. El fluido hidráulico debe tener una viscosidad que permita un

flujo adecuado en todas las condiciones de operación, evitando pérdidas de presión debido a la fricción y garantizando un movimiento suave de los actuadores.

Compatibilidad de materiales. El fluido hidráulico no debe causar corrosión ni daños a los materiales utilizados en los componentes del sistema hidráulico, como juntas, sellos, tuberías y válvulas.

Resistencia a altas y bajas temperaturas. Los fluidos hidráulicos deben funcionar de manera efectiva en una amplia gama de temperaturas, desde bajas temperaturas en altitud hasta altas temperaturas en tierra y durante el vuelo.

No toxicidad. Los fluidos hidráulicos utilizados en aeronaves deben ser no tóxicos para proteger la salud de los tripulantes y el personal de mantenimiento en caso de contacto o exposición.

Baja volatilidad. Los fluidos hidráulicos deben tener baja volatilidad para evitar la formación de burbujas de aire, lo que podría afectar la eficiencia y confiabilidad del sistema.

Resistencia al fuego. Los fluidos hidráulicos deben ser resistentes al fuego para evitar la propagación de incendios en caso de una fuga o falla en el sistema.

Propiedades y características esenciales de los fluidos hidráulicos

Las propiedades y características esenciales de los fluidos hidráulicos son fundamentales para asegurar el rendimiento óptimo del sistema hidráulico en aeronaves. Algunas de las propiedades clave incluyen (EASA, 2020).

Índice de viscosidad. Indica cómo varía la viscosidad del fluido con la temperatura. Un alto índice significa que la viscosidad cambia poco con la temperatura, lo que es importante para mantener un flujo adecuado en diferentes condiciones.

Punto de congelamiento y punto de ebullición. Estos puntos son críticos para asegurar que el fluido no se congele en altitudes frías o hierva a altas temperaturas, lo que podría afectar el funcionamiento del sistema.

Estabilidad térmica. Un fluido hidráulico debe mantener su estabilidad y no degradarse significativamente a altas temperaturas, evitando la formación de depósitos y lodos que puedan obstruir componentes.

Resistencia a la espuma. Los fluidos hidráulicos deben tener una buena resistencia a la espuma para minimizar la formación de burbujas de aire que podrían afectar el rendimiento del sistema.

Figura 22

Propiedades y características de los fluidos hidráulicos

Types of Hydraulic Fluids		
Type of Fluid	Base	Color
Vegetable MIL-H-7644	Castor oil and Alcohol	Dyed Blue
Mineral MIL-H 5606	Kerosene	Dyed Red
Synthetic SKYDROL	Non-petroleum base	Dyed light purple

Nota. Propiedades y características esenciales de los fluidos hidráulicos. Tomado de (Learn Mech, 2023).

Filtración y purificación de fluidos hidráulicos

La filtración y purificación de los fluidos hidráulicos son procesos fundamentales para mantener la calidad y la eficiencia del sistema hidráulico en aeronaves. Los sistemas hidráulicos emplean filtros para eliminar partículas, contaminantes y agua del fluido (Oñate, 2019). La filtración es esencial para prevenir el desgaste de los componentes y garantizar un rendimiento óptimo del sistema (ver Figura 23). Los sistemas de purificación también pueden utilizar técnicas adicionales, como la deshidratación, para eliminar la humedad y mantener el fluido en condiciones adecuadas.

Figura 23*Filtración y purificación de fluidos*

Nota. Filtración y purificación de fluidos hidráulicos. Tomado de (WTWH, 2023).

La filtración y purificación de los fluidos hidráulicos deben realizarse regularmente según las recomendaciones del fabricante y los procedimientos de mantenimiento para asegurar la confiabilidad y la seguridad del sistema hidráulico en la aeronave.

Aeronave Hawker Siddeley HS 125***Descripción de la aeronave Hawker Siddeley HS 125***

El Hawker Siddeley HS 125 es un avión de negocios y avión ejecutivo de tamaño mediano diseñado y fabricado por el fabricante de aviones británico Hawker Siddeley Aviation. La aeronave recibió varios nombres a lo largo de su historia, como British Aerospace BAe 125 y Hawker 1000, pero es comúnmente conocida como HS 125 (Wikipedia, 1996).

El HS 125 suele tener una capacidad para transportar entre 6 y 8 pasajeros en una configuración estándar, aunque algunas variantes pueden llevar más pasajeros. La aeronave tiene un alcance significativo que le permite realizar vuelos de largo alcance. Esto es especialmente útil para vuelos transcontinentales y viajes de negocios internacionales. La aeronave es capaz de alcanzar velocidades crucero elevadas, lo que contribuye a reducir el tiempo de vuelo en comparación con otras aeronaves de tamaño similar (AMILARG, 2013).

Figura 24*Aeronave Hawker Siddeley HS 125*

Nota. El avión ha presentado varios cambios de designación durante sus años activos. Originalmente como DH - 125. Tomado de (Private Jet Finder, 2016).

El HS 125 ha pasado por diversas variantes y mejoras a lo largo de su historia. Las actualizaciones han incluido mejoras en el rendimiento de los motores, aviónica más avanzada y mejoras en la cabina para mejorar la comodidad de los pasajeros y la tripulación. El Hawker Siddeley HS 125 ha sido ampliamente utilizado en todo el mundo como un avión de negocios y ejecutivo preferido por muchas empresas y personas adineradas para viajes privados. Su alcance y capacidad para operar desde pistas más cortas y aeropuertos más pequeños también lo han hecho popular en el mercado de aviación ejecutiva (Private Jet Finder, 2016).

Características de la aeronave Hawker Siddeley HS 125

El Hawker Siddeley HS 125 ha sido un avión icónico en el mundo de la aviación ejecutiva, ofreciendo un equilibrio notable entre rendimiento, alcance y comodidad para aquellos que buscan una opción de viaje privado de alto nivel. Las características más importantes son las indicadas en la Tabla 1, para mayor información referirse al Anexo B y C.

Tabla 2

Características de la aeronave Hawker Siddeley HS 125

Características generales	
Tripulación	2
Capacidad	8 pasajeros
Longitud	15.40 m
Altura	5.30 m
Peso vacío	5684 kg
Peso máximo al despegar	11340 kg
Planta motriz	2 x Rolls-Royce Viper 601-22
Alcance	3060 km
Velocidad de crucero	841 km/h
Velocidad de ascenso	25 m/s

Nota. Tomado (Wikipedia, 1996).

Sistema hidráulico de la aeronave Hawker Siddeley HS 125

Descripción y operación

El sistema hidráulico primario opera los flaps, el spoiler, el tren de aterrizaje, los frenos de las ruedas y el timón de morro y utiliza dos bombas, una impulsada por cada motor. Una bomba manual conectada al sistema proporciona energía para probar el sistema hidráulico cuando el motor no está en marcha. Se utiliza un sistema hidráulico auxiliar solo para el descenso de emergencia de los engranajes y bridas, impulsado por una bomba de segunda mano que suministra fluido desde un suministro independiente directamente a los gatos de engranajes y flaps. (Raytheon Aircraft, 2003).

Sistema hidráulico principal

Almacenamiento de fluido. El fluido hidráulico del sistema se almacena en un depósito de forma esférica, el cual cuenta con un tubo indicador de nivel integrado para mostrar el contenido del fluido. La parte superior del depósito está equipada con una válvula de alivio que permite el ingreso de un suministro de aire a presión de cabina, asegurando una presión positiva del fluido. Asimismo, se encuentra una válvula de alivio adyacente hacia el exterior que evita una purga permanente de la cabina y previene la acumulación excesiva de presión. En la

base del depósito, se encuentra un tubo de drenaje provisto de un tapón para facilitar el vaciado del fluido cuando sea necesario. En la boca de llenado, se ha incorporado un filtro para garantizar la limpieza del fluido durante el proceso de recarga (Raytheon Aircraft, 2003).

Generación de energía. El fluido hidráulico se extrae del depósito mediante dos bombas radiales de siete cilindros, cada una accionada por un motor. Para garantizar la seguridad, cada línea de aspiración está interconectada con la línea de combustible de alta presión del motor, lo que permite el aislamiento simultáneo del suministro de fluido hidráulico cuando el motor se apaga (ver Figura 25). Se utiliza un restrictor en un by-pass alrededor de la válvula para asegurar que un suministro limitado de fluido llegue a la bomba para lubricación mientras el motor gira con la línea de combustible cerrada. El control de la presión del sistema se lleva a cabo mediante un conjunto de válvulas de corte que permiten descargar las bombas cuando se alcanza la presión máxima del sistema (Raytheon Aircraft, 2003).

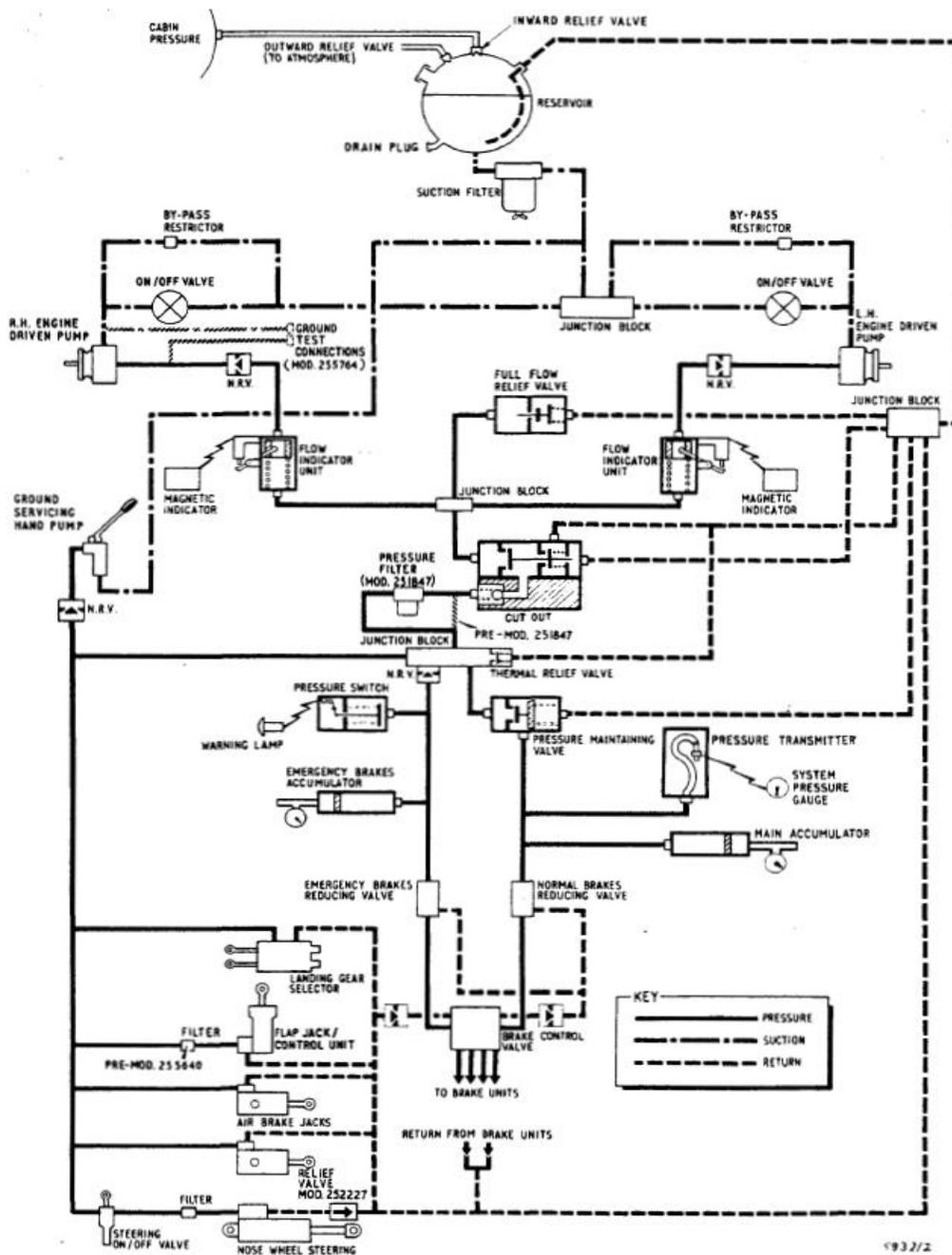
Acumuladores. El sistema cuenta con dos acumuladores cilíndricos de pistón, cada uno equipado con un indicador de presión y una válvula de carga de nitrógeno (ver Figura 25). Un acumulador es el principal, respaldando el sistema normal, mientras que el otro actúa como acumulador de frenos de emergencia, almacenando suficiente presión para operar los frenos en caso de un fallo total del sistema (Raytheon Aircraft, 2003).

Bomba manual. En tierra, se utiliza una bomba manual de pistón para presurizar el sistema y facilitar el mantenimiento.

Localización de componentes. La mayoría de los componentes del sistema de potencia hidráulica se encuentran ubicados en una caja hidráulica situada en el compartimento de equipos en la parte posterior del fuselaje. Esta caja está ventilada mediante el conducto de escape del sistema de aire acondicionado (ver Figura 26).

Figura 25

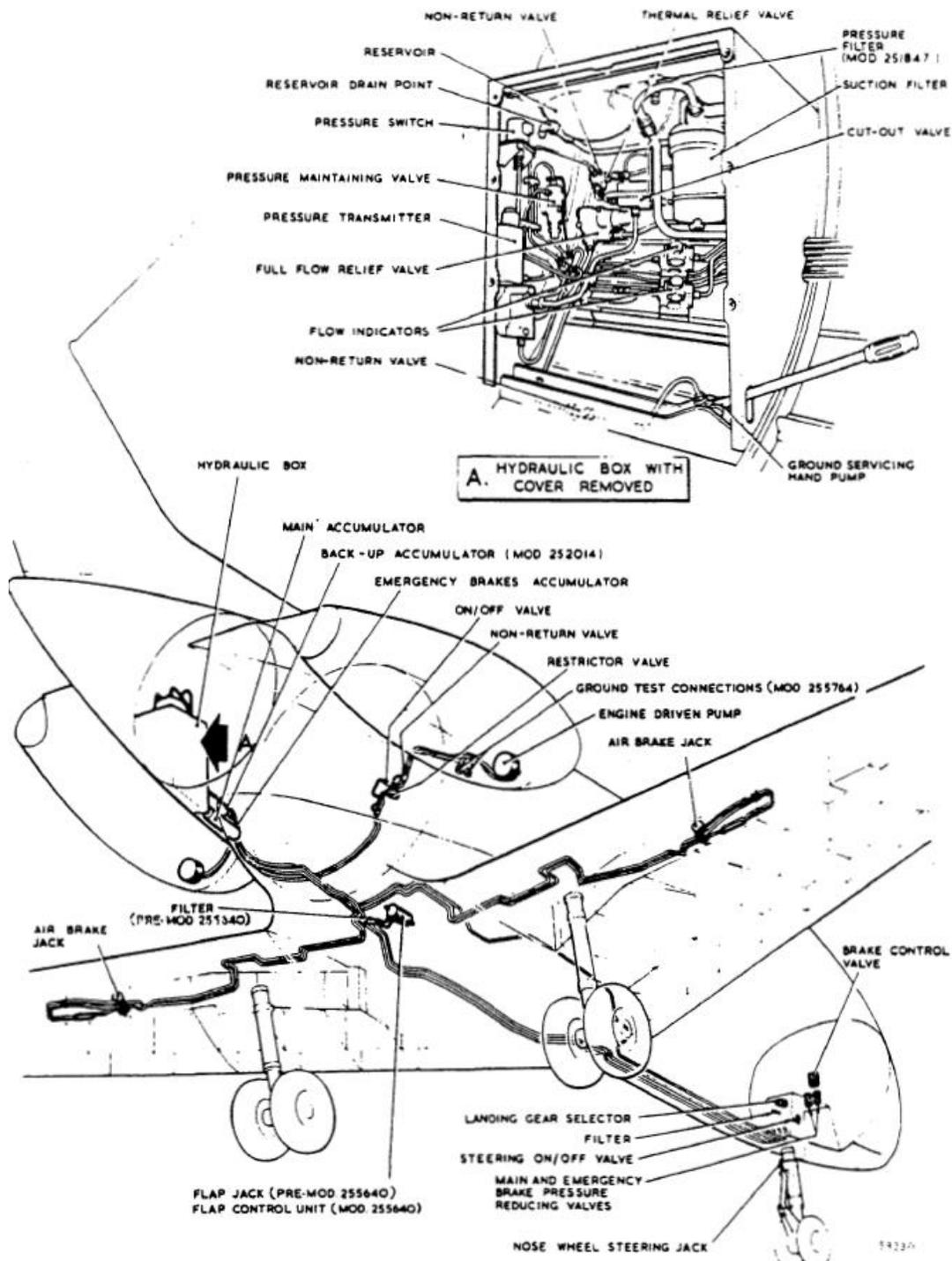
Sistema hidráulico principal



Nota. Tomado de (Raytheon Aircraft, 2003).

Figura 26

Localización de componentes - sistema principal



Nota. Tomado de (Raytheon Aircraft, 2003).

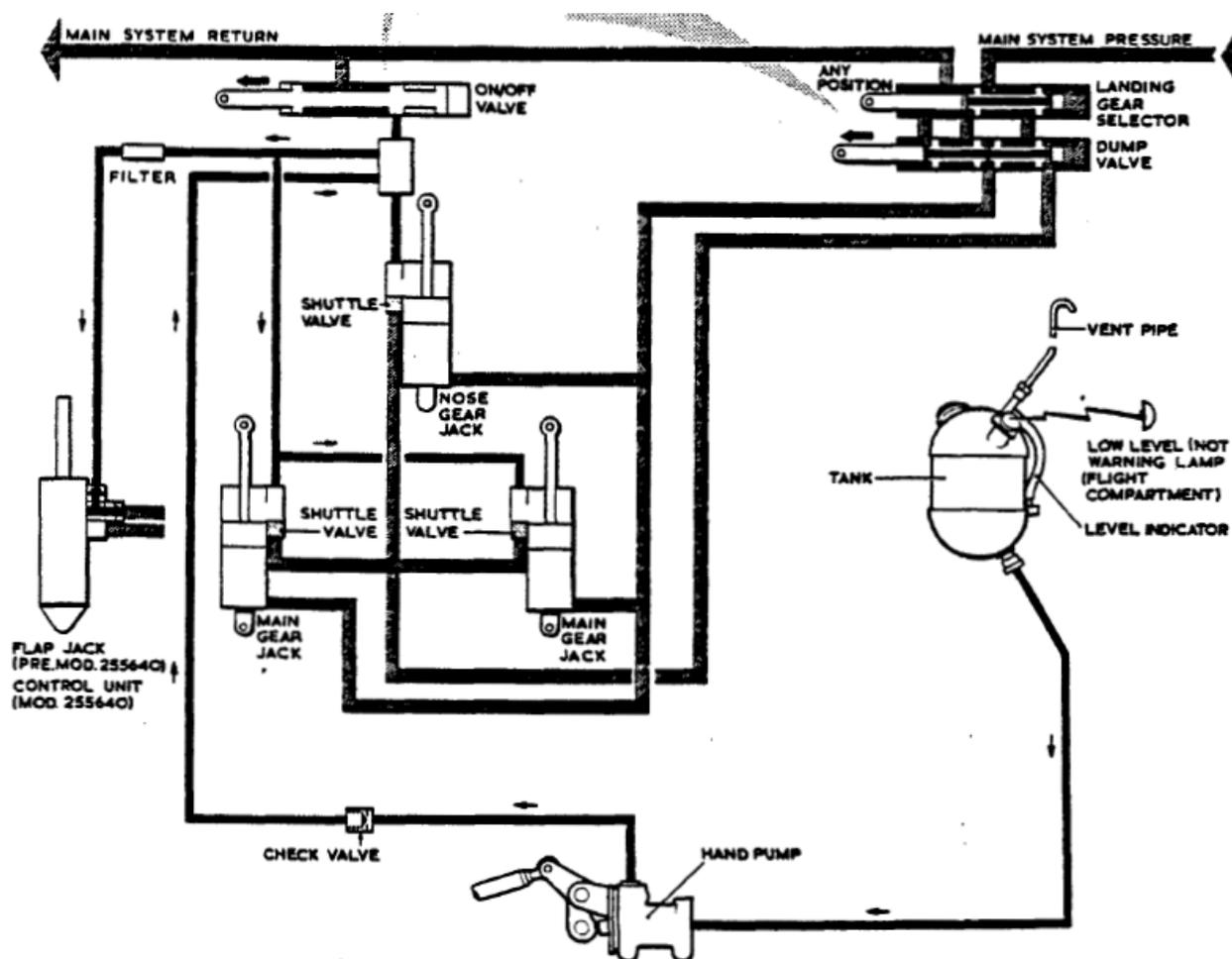
Sistema hidráulico auxiliar

El sistema auxiliar del avión proporciona una fuente de energía hidráulica alternativa

para el funcionamiento del tren de aterrizaje y el despliegue de los flaps (ver Figura 27). Los componentes de este sistema se encuentran detallados en la Figura 28. Es importante mencionar que el sistema manual es completamente independiente del sistema principal y su activación se realiza mediante una manivela ubicada en el lateral de la radio.

Figura 27

Sistema hidráulico auxiliar



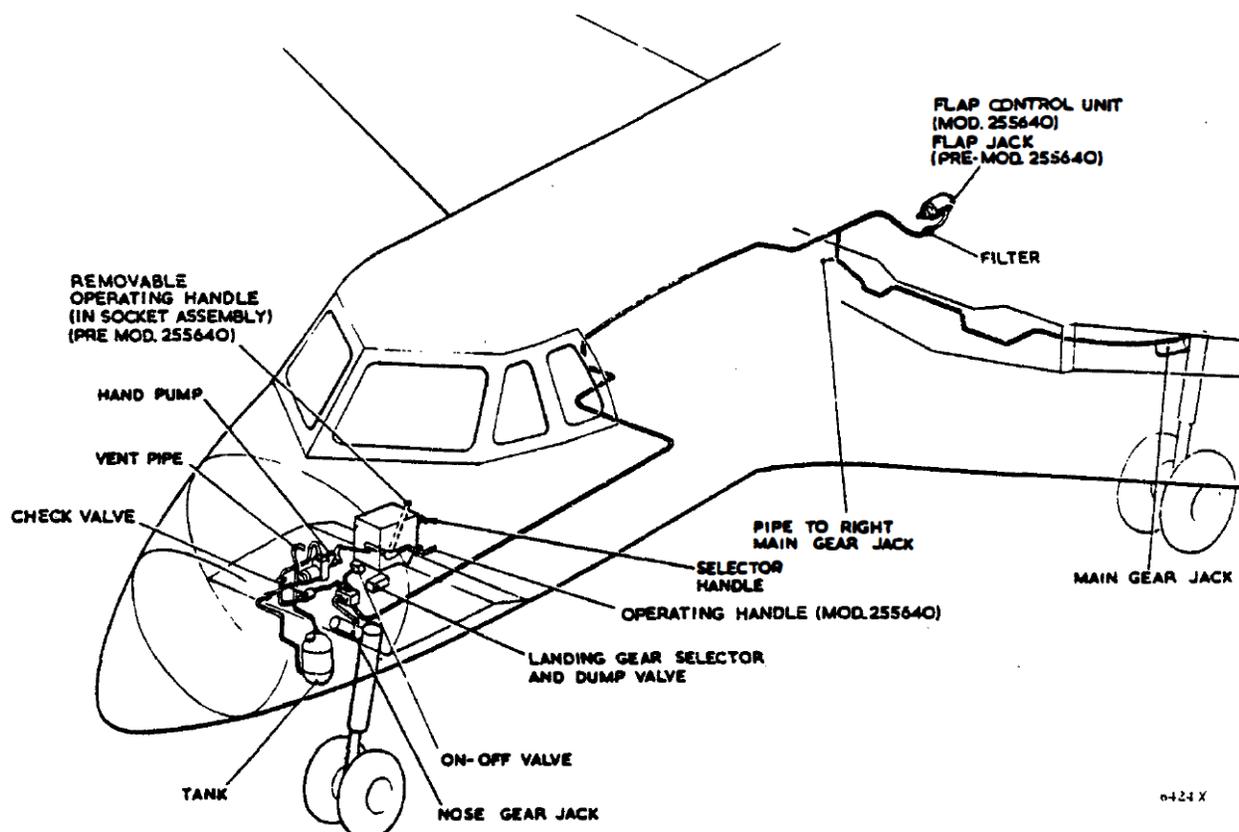
Nota. Tomado de (Raytheon Aircraft, 2003).

El sistema auxiliar permite la bajada de emergencia del tren de aterrizaje sin importar la posición del selector del tren, sin embargo, para que los flaps sean desplegados por el sistema

auxiliar, estos deben estar previamente ajustados en la posición requerida. Para alertar a la tripulación sobre la falta de llenado del depósito auxiliar, se ha incorporado una luz de advertencia en el panel de instrumentos principal.

Figura 28

Localización de componentes - sistema auxiliar



Nota. Tomado de (Raytheon Aircraft, 2003).

Tras una selección de emergencia, la palanca selectora debe volver a la posición normal (completamente hacia dentro) antes de que el sistema hidráulico principal pueda utilizarse para el funcionamiento del tren de aterrizaje o de los flaps.

Indicaciones del sistema hidráulico

Los componentes indicadores están ubicados como se muestra en la Figura 29; la

disposición del panel es típica y puede variar según la aeronave. Los suministros eléctricos para la indicación de caudal y presión se toman de las barras colectoras PS; el sistema de aviso de nivel bajo (no lleno) del depósito auxiliar se alimenta de la barra colectora PE (Raytheon Aircraft, 2003).

Flujo hidráulico. Dos unidades indicadoras de caudal, una en cada línea de suministro de la bomba accionada por el motor, detectan el caudal del fluido hidráulico del sistema principal. Los micro interruptores de las unidades están conectados eléctricamente a dos indicadores magnéticos de caudal en el panel de instrumentos del piloto. Una unidad de retardo en cada circuito indicador proporciona estabilidad al indicador cuando se producen fluctuaciones de caudal durante el funcionamiento de la válvula de corte. (Raytheon Aircraft, 2003).

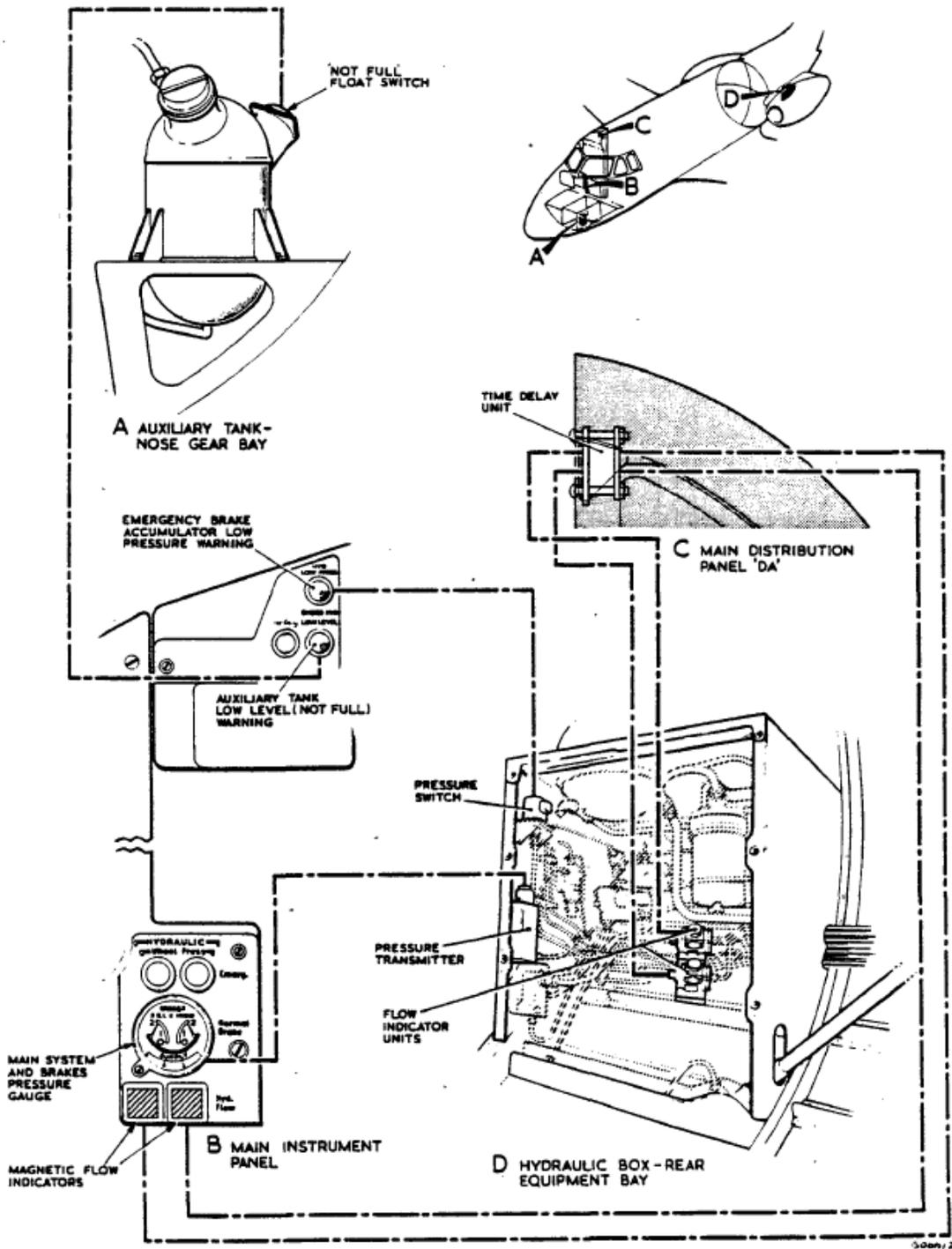
Presión del sistema principal. Un transmisor de presión situado en el compartimento posterior del equipo detecta la presión del sistema principal que se muestra en un indicador de presión en el panel de instrumentos del piloto. El indicador de presión está contenido en la misma caja que los indicadores de presión del sistema de frenos (Raytheon Aircraft, 2003).

Presión del acumulador de los frenos de emergencia. Un interruptor de presión en la línea de presión de los frenos de emergencia acciona una lámpara de advertencia en el panel de instrumentos del piloto cuando la presión en la cañería cae por debajo de 2300 lb/in².

Advertencia de nivel bajo del depósito auxiliar. Una luz de advertencia en el panel de instrumentos del piloto en circuito con un interruptor de flotador en el depósito auxiliar indica que el depósito no está lleno. El interruptor de flotador consiste en un interruptor de láminas en un tubo sobre el que se desliza un flotador que contiene un imán permanente, cuando el nivel del líquido desciende y el flotador alcanza el fondo del tubo, los contactos del interruptor se cierran y el circuito se completa con la lámpara de advertencia.

Figura 29

Indicaciones del sistema hidráulico



Nota. Tomado de (Raytheon Aircraft, 2003).

Capítulo III

Desarrollo del tema

Descripción general

En este capítulo, se proporciona una descripción detallada de los procedimientos llevados a cabo en la inspección de 100 horas del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal MLG en la aeronave Hawker Siddeley HS 125. Estos procedimientos se basan en la tarea de mantenimiento (AMM 29-20-02) establecida en el manual de Antes de iniciar la inspección, es muy importante asegurarse de contar con todos los recursos necesarios para realizar los trabajos de mantenimiento de manera eficiente y segura. Esto incluye proporcionar documentación técnica relevante, equipos de soporte y herramientas necesarias para realizar las tareas descritas en el manual.

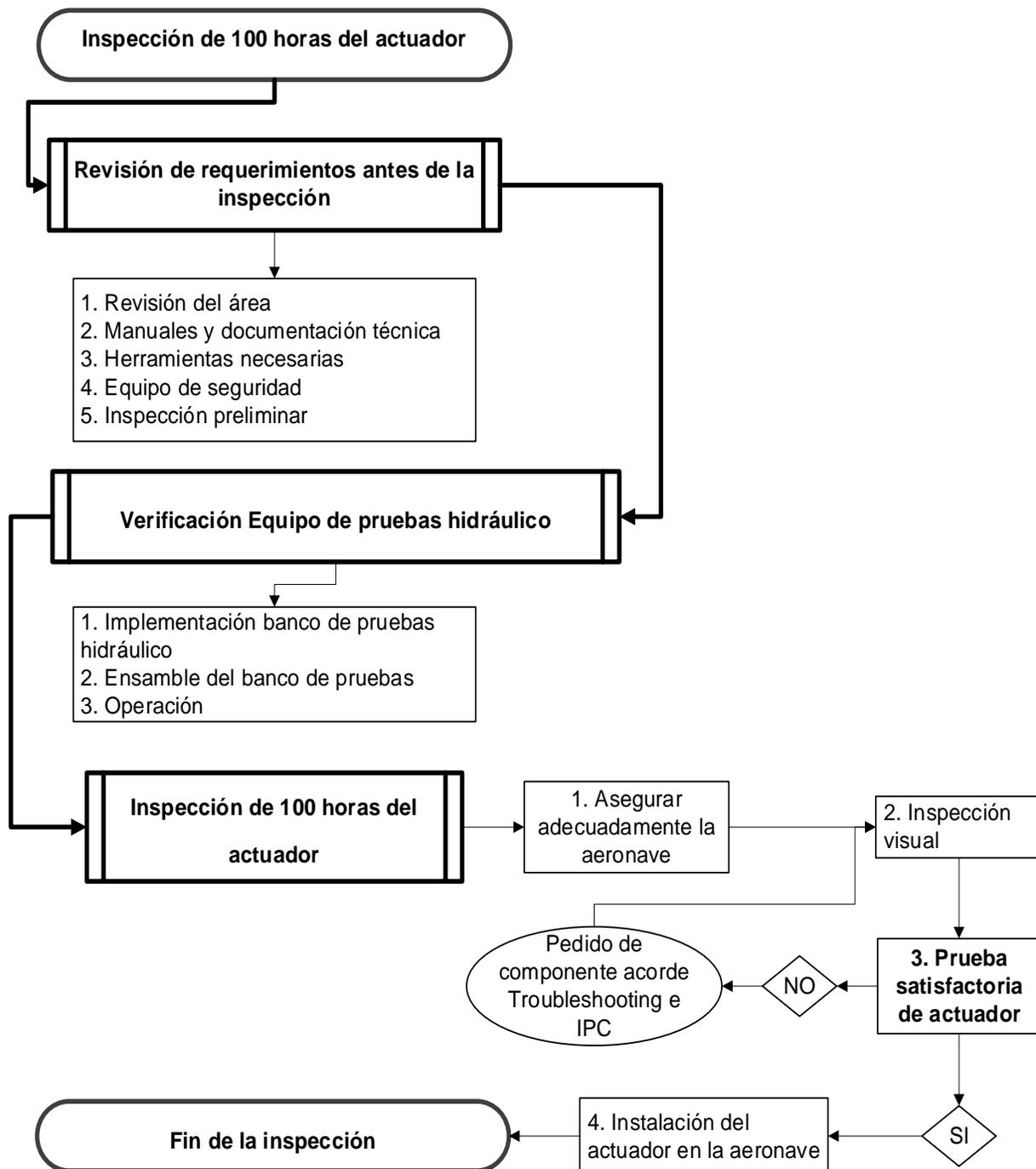
Además, es imperativo que el personal encargado de la inspección cuente con el equipo de protección personal adecuado para evitar cualquier contratiempo o riesgo potencial durante el proceso de inspección.

Para evaluar el correcto funcionamiento del actuador de la compuerta del MLG en el sistema hidráulico auxiliar de la aeronave y verificar que se encuentre dentro de los límites establecidos por el fabricante, fue necesario emplear un banco hidráulico específico, el cual se detallará más adelante en este mismo capítulo.

Con todos estos aspectos en consideración, la inspección de 100 horas se realizó siguiendo los procedimientos establecidos como se puede observar en la Figura 30, garantizando así la integridad y el óptimo desempeño del sistema hidráulico auxiliar y, en última instancia, asegurando la seguridad y confiabilidad operativa de la aeronave Hawker Siddeley HS 125, para que pueda ser utilizado en la instrucción práctica de tareas de mantenimiento.

Figura 30

Diagrama de flujo de la inspección



Nota. Diagrama de flujo de la inspección realizada al actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal en la aeronave Hawker Siddeley HS 125.

Procedimientos antes de la inspección

Antes de llevar a cabo la inspección de 100 horas del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal en la aeronave Hawker Siddeley HS 125, se realizó una minuciosa revisión del área donde se llevaría a cabo la remoción e instalación del actuador. Se limpió a fondo el tren de aterrizaje principal de la aeronave para eliminar la suciedad y la grasa de las superficies de trabajo cercanas (ver Figura 31). Esta limpieza, fue aprovechada para verificar si existe alguna fisura o daño en algún componente o la estructura.

Figura 31

Limpieza general de la zona del tren principal



Nota. Limpieza general de la zona del tren principal de la aeronave con finalidad de eliminar la suciedad y grasas en las superficies.

Una vez asegurada la idoneidad del lugar, se procedió a preparar el área de trabajo

para realizar las pruebas funcionales del actuador (ver Figura 32). Se garantizó que el lugar contara con una buena iluminación, lo que es esencial para llevar a cabo inspecciones precisas y detalladas. Además, se mantuvo un ambiente ordenado y limpio, lo que ayuda a evitar accidentes y facilita el acceso a los componentes de la aeronave.

Figura 32

Área de trabajo para realizar las pruebas funcionales



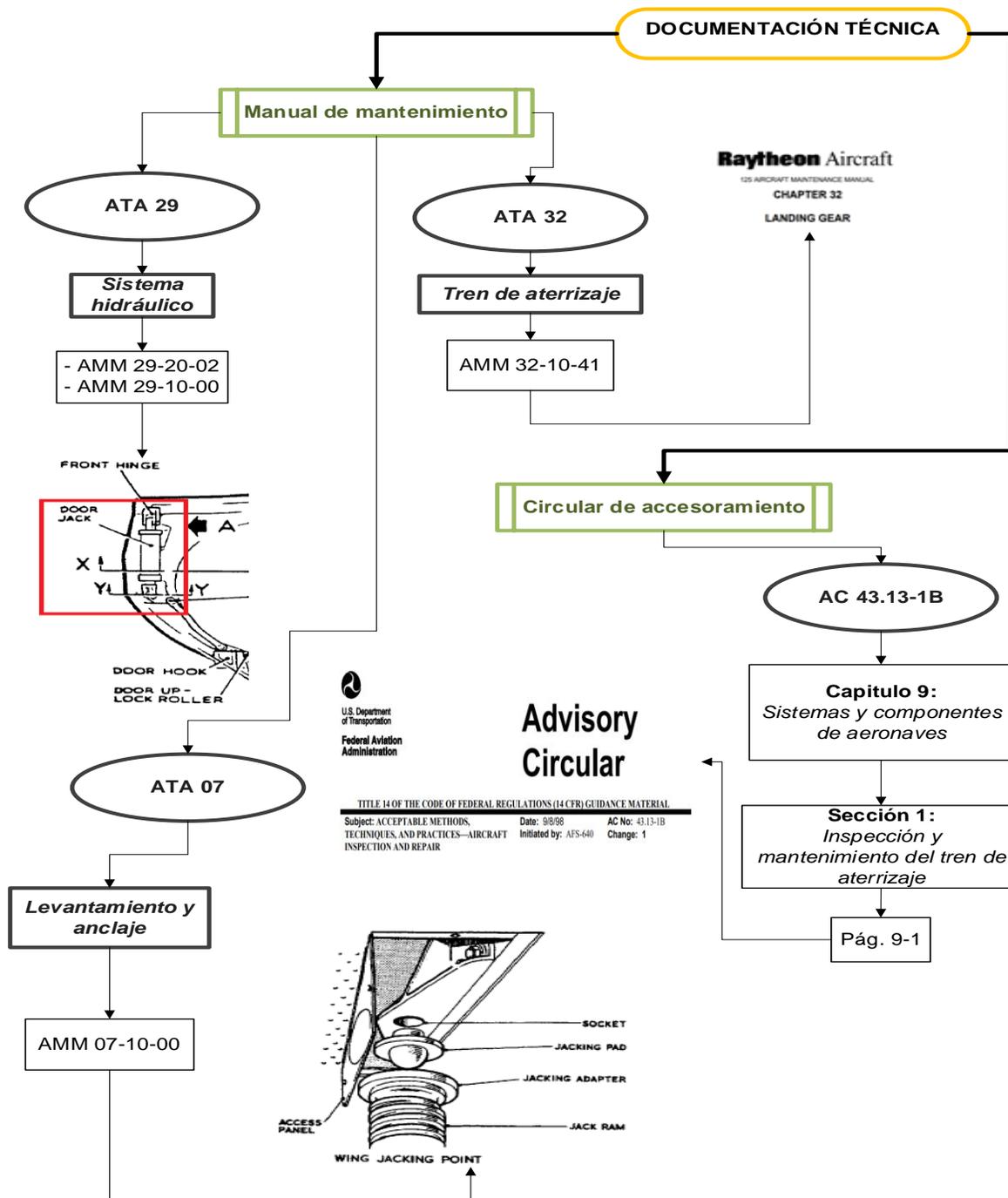
Nota. Lugar con una buena iluminación para llevar a cabo inspecciones precisas y detalladas.

Para llevar a cabo la inspección de manera exitosa, se contó con todos los recursos necesarios. Se tuvieron a disposición los manuales y documentación técnica relevante para seguir los procedimientos establecidos por el fabricante (ver Figura 33). Además, se contó con los materiales, herramientas y equipos adecuados (ver Figura 34) para llevar a cabo la tarea de mantenimiento de manera profesional y eficiente.

Garantizar que se tuvieran todos estos recursos disponibles es fundamental para asegurar el éxito de la inspección y el mantenimiento del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal. Con un área de trabajo adecuada, los recursos necesarios y equipos de seguridad (ver Tabla 2), se proporciona un entorno seguro y propicio para realizar las tareas de mantenimiento.

Figura 33

Diagrama de flujo de la documentación técnica



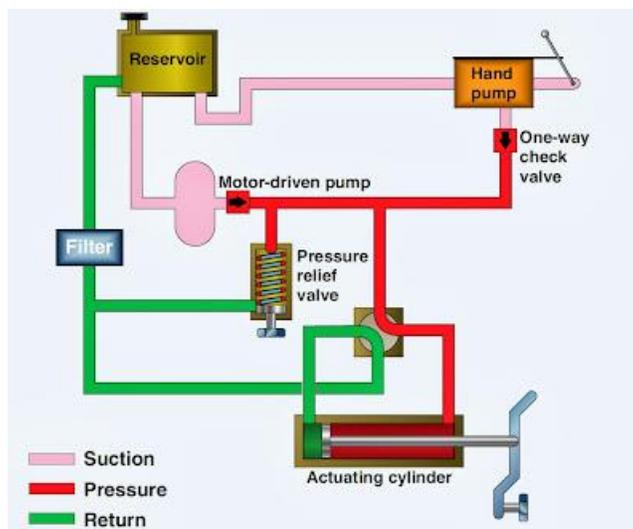
Nota. Diagrama de flujo de la documentación técnica del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal en la aeronave Hawker Siddeley HS 125 (ver Anexo D).

Implementación del banco de pruebas hidráulico

Para llevar a cabo la inspección de mantenimiento programado de 100 horas en el actuador que controla la compuerta del tren principal del sistema hidráulico auxiliar en la aeronave Hawker Siddeley HS 125, así como para realizar pruebas operativas en el mencionado actuador, se requirió la implementación de un banco de pruebas hidráulico especialmente diseñado y construido con el propósito de simular las condiciones operativas reales del sistema.

El ensamble del banco de pruebas hidráulico se fundamentó en un minucioso análisis de los componentes esenciales necesarios para un sistema hidráulico básico, como se detalla en la Figura 35. Este proceso de diseño aseguró la representación fiel de los elementos clave, garantizando que las pruebas y evaluaciones fueran lo más precisas y relevantes posible para el actuador en cuestión. Más allá de su función específica y su configuración, cualquier sistema hidráulico presenta una serie de componentes fundamentales esenciales, junto con un medio a través del cual se transmite el fluido hidráulico. En términos generales, un sistema hidráulico básico consta de una bomba, un depósito, una válvula direccional para el control del flujo, una válvula de retención para prevenir el retroceso, una válvula de alivio de presión para evitar sobrecargas, una válvula selectora para dirigir el flujo hacia diferentes actuadores, el propio actuador encargado de realizar el trabajo mecánico deseado y un filtro para mantener la limpieza del fluido.

El ensamble de este banco de pruebas hidráulico involucró la selección cuidadosa de componentes de alta calidad y la implementación de controles precisos para simular variaciones de carga y condiciones operativas diversas. Además, se incorporaron sistemas de monitoreo avanzados para capturar datos en tiempo real durante las pruebas, lo que permitió un análisis detallado de las respuestas del actuador en distintas situaciones de funcionamiento, el diagrama final de diseño del banco hidráulico.

Figura 35*Sistema hidráulico básico*

Nota. Sistema hidráulico básico accionado por bomba manual. Tomado de (Flight-Mechanic, 2022).

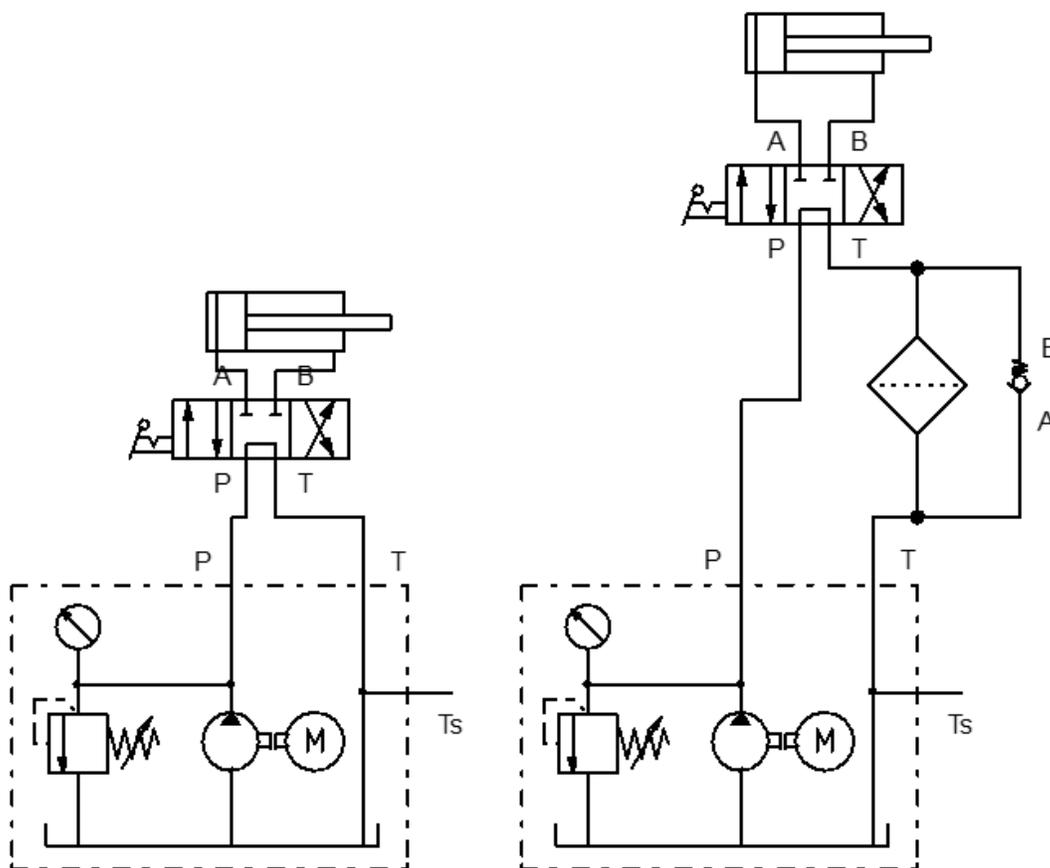
El banco de pruebas hidráulico ensamblado está configurado con tres modalidades operativas distintas (ver Figura 36, 37 y 38), cada una diseñada para emular diversas situaciones de funcionamiento del actuador encargado de la gestión de la compuerta del tren principal. Estos modos de operación permiten simular de manera precisa y detallada una variedad de condiciones reales que se experimentan en la aeronave durante su operación normal.

Además de las modalidades de funcionamiento, se han incorporado ajustes y controles específicos en el banco hidráulico para replicar con fidelidad las cargas, presiones y ciclos de trabajo que el actuador experimenta en condiciones operativas reales. Esto incluye la posibilidad de variar la velocidad, la frecuencia y la amplitud de los movimientos del actuador, así como la capacidad de ajustar las cargas aplicadas al sistema para evaluar su desempeño bajo diferentes niveles de esfuerzo.

El modo de operación "A" se compone de diversos elementos, entre los que se encuentran una válvula direccional de cuatro vías con control manual de palanca, permitiendo la selección de tres posiciones de circulación, una válvula antirretorno, un sistema de filtrado, la unidad motriz y un cilindro con capacidad de movimiento bidireccional (ver Figura 36). Dentro de esta configuración, la válvula direccional cuádruple de tres vías, accionada manualmente por medio de una palanca, se emplea para dirigir el flujo del fluido hidráulico en la dirección deseada, proporcionando un control preciso sobre el funcionamiento del actuador.

Figura 36

Diagrama banco de pruebas - modo A

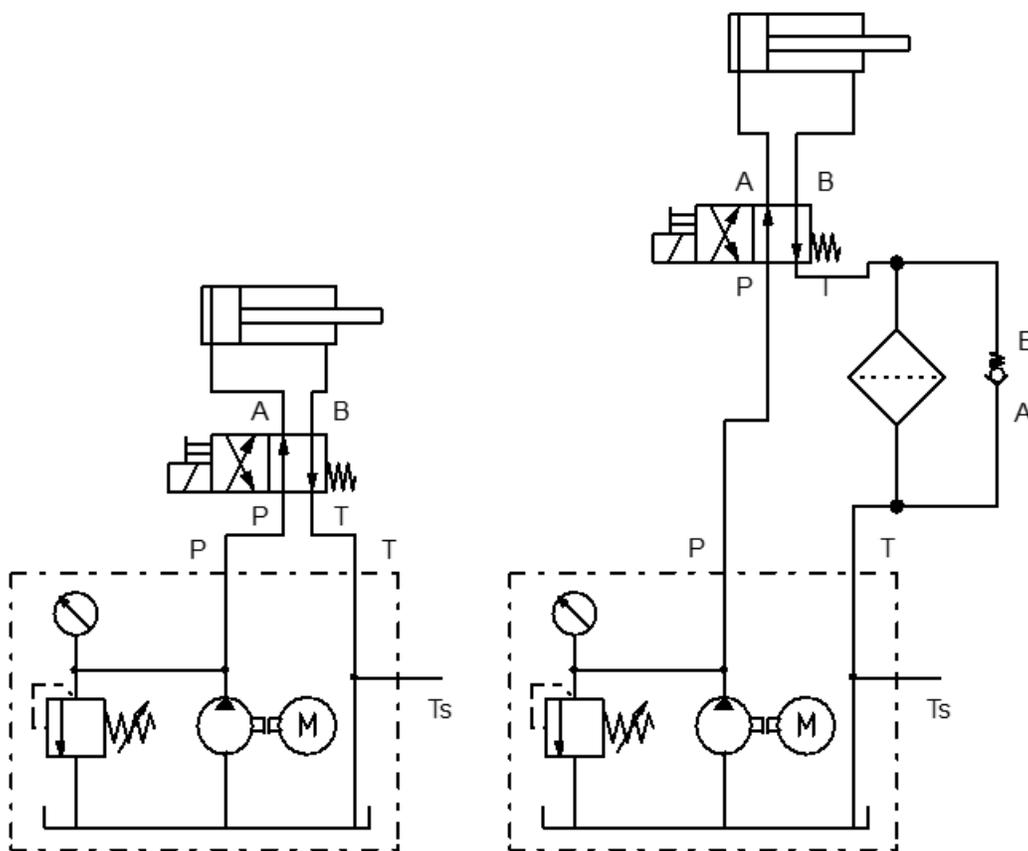


Nota. Diagrama del banco de pruebas hidráulico - modo de operación "A".

El modo de operación "B" se compone de diversos elementos esenciales para su funcionamiento; estos incluyen una válvula direccional cuádruple de 2 vías controlada por solenoide, una válvula antirretorno que permite el flujo en una sola dirección, un filtro para garantizar la calidad del fluido, el conjunto motriz responsable de la energía y un cilindro de doble efecto que cumple diversas funciones. Esta configuración asegura un control preciso y eficiente del sistema, permitiendo un rendimiento óptimo en diferentes aplicaciones.

Figura 37

Diagrama banco de pruebas - modo B

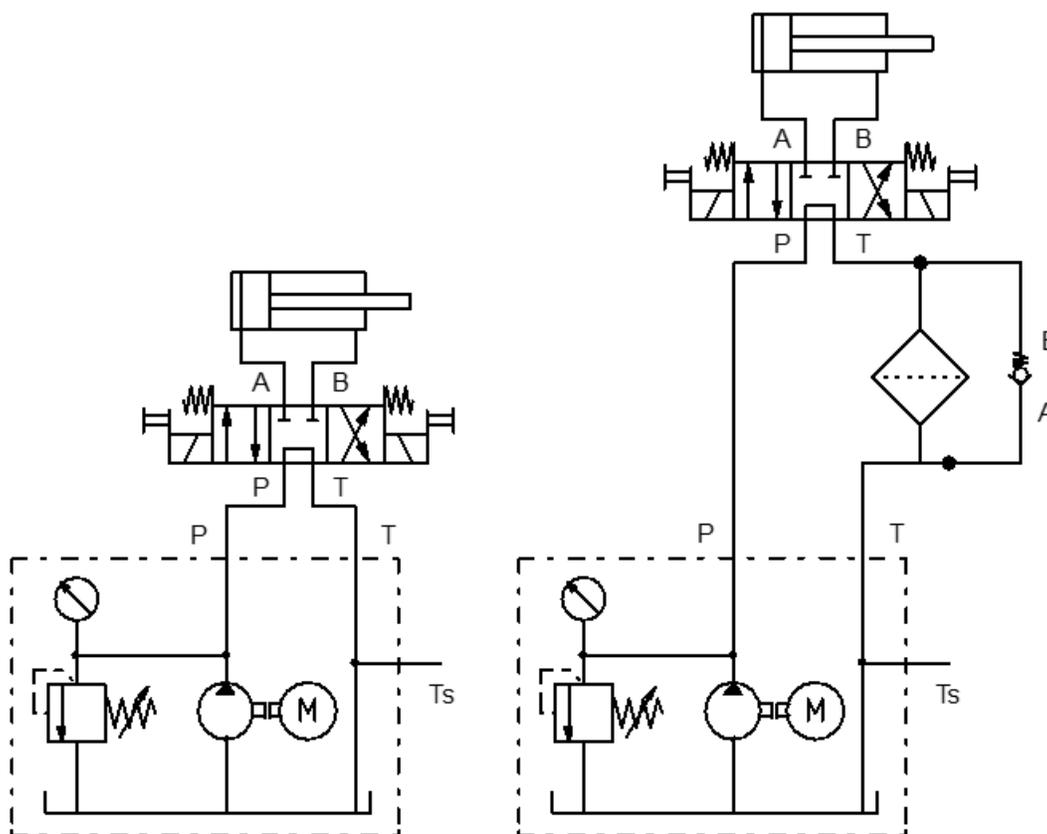


Nota. Diagrama del banco de pruebas hidráulico - modo de operación "B".

El modo de operación "C" está compuesta por múltiples elementos esenciales que colaboran de manera conjunta para su operatividad. Entre estos elementos se encuentra una válvula direccional de 3 vías controlada por solenoide, que permite la regulación del flujo en diferentes direcciones. También se incluye una válvula antirretorno que facilita el flujo unidireccional, un filtro que se encarga de purificar el fluido utilizado, el grupo motriz encargado de suministrar la energía necesaria, y un cilindro de doble efecto con capacidades versátiles. Esta configuración no solo garantiza un control preciso y eficiente del sistema, sino que también amplía las posibilidades de aplicación en una variedad de contextos.

Figura 38

Diagrama banco de pruebas - modo C



Nota. Diagrama del banco de pruebas hidráulico - modo de operación "C".

Ensamble del banco de pruebas

La implementación del banco de pruebas involucró una meticulosa secuencia de pasos altamente precisos que culminaron en la creación exitosa de un sistema hidráulico robusto y seguro, diseñado para llevar a cabo la inspección de mantenimiento programado. Durante esta etapa, se ejecutaron los procedimientos de diseño y construcción de la estructura con una dedicación excepcional a los detalles (ver Figura 39, 40, 41 y 42), garantizando la disposición estratégica de cada componente para optimizar la eficiencia operativa del banco.

La base de este logro se cimentó en el ensamble de una estructura resistente, que fue concebida mediante el uso de software de diseño asistido por computadora (ver Anexo E). Este enfoque permitió una planificación meticulosa, tomando en consideración la carga total que habría de soportar el sistema hidráulico en su conjunto. El diseño se centró en el ensamble de una estructura altamente duradera y adaptable, capaz de mantener su integridad en condiciones diversas y exigentes.

Figura 39

Láminas para la estructura



Nota. Se midieron y cortaron las láminas en referencia a las dimensiones necesarias para el banco hidráulico.

Figura 40

Soportes para la estructura



Nota. Se midieron y cortaron los soportes en referencia a las dimensiones necesarias para el banco hidráulico.

Figura 41

Soldadura de componentes estructurales



Nota. Se integraron y soldaron los componentes estructurales del banco hidráulico.

Figura 42

Estructura terminada



Nota. Posterior a la terminación de la estructura se realizaron los acabados respectivos y proceso de pintura.

Instalación de componentes

En la fase de instalación de componentes, se llevó a cabo un proceso minucioso y preciso para incorporar cada elemento esencial en el banco de pruebas hidráulico (ver Anexo F). Cada componente fue colocado estratégicamente dentro de la estructura para garantizar su funcionamiento eficiente y seguro durante las pruebas de inspección de mantenimiento programado.

La disposición meticulosa de la bomba hidráulica ocupó un lugar central en esta etapa. Su ubicación se determinó cuidadosamente (ver Figura 43), asegurando un acceso óptimo tanto a la fuente de energía eléctrica como al suministro de fluido. Esta disposición táctica permitió una operación sin problemas y facilitó futuras tareas de mantenimiento y reparación.

Figura 43

Instalación de la bomba hidráulica



Nota. Su ubicación se determinó asegurando un acceso óptimo tanto a la fuente de energía eléctrica como al suministro de fluido.

Figura 44

Instalación de válvulas de control



Nota. Instalación de válvulas de control, componente crítico para la operación del sistema.

Las válvulas de control (ver Figura 44), medidores de presión y caudal, y filtros, componentes críticos para la operación precisa y segura del sistema hidráulico (ver Figura 45), fueron ensamblados con precisión en puntos estratégicos de la estructura. Cada componente se aseguró meticulosamente utilizando fijaciones y soportes resistentes, lo que no solo garantizó su estabilidad, sino que también redujo la vibración no deseada durante las operaciones.

Figura 45

Instalación de medidores de presión y caudal



Nota. Instalación de medidores de presión y caudal, componentes críticos para la operación del sistema.

La integración de las conexiones de tuberías y mangueras se realizó con precisión (ver Figura 46), utilizando acoplamientos adecuados y asegurándose de que cada unión estuviera correctamente apretada. Se prestó especial atención para evitar fugas de fluido y garantizar un flujo fluido sin obstrucciones a lo largo del sistema.

Figura 46*Instalación de conexiones*

Nota. Instalación de conexiones, componentes críticos para la operación del sistema.

La instalación de los componentes no solo se centró en la disposición física de los elementos, sino también en la integración inteligente de cada componente para lograr un funcionamiento sin problemas y seguro (ver Figura 47). Este enfoque preciso sentó las bases para las pruebas operativas posteriores y, en última instancia, para el éxito de la inspección de mantenimiento programado en el actuador que controla la compuerta del tren principal.

Figura 47*Instalación del cilindro de doble efecto*

Nota. Instalación del cilindro de doble efecto, componentes críticos para la operación del sistema.

Inspección de 100 horas del actuador

El objetivo principal de la inspección de 100 horas del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal del sistema hidráulico auxiliar de la aeronave Hawker Siddeley HS 125 es verificar el estado del actuador y realizar pruebas funcionales en el banco hidráulico para verificar los límites de accionamiento y fugas. Para llevar a cabo esta inspección de manera adecuada, es crucial seguir el procedimiento establecido por el fabricante, tal como se describe en el manual de mantenimiento (AMM 29-20-02) y en la circular de asesoramiento AC 43-13-1B. En particular, se encuentra en el capítulo 9, sección 1, página 9-1, donde se detallan los procedimientos generales para la inspección de 100 horas del tren de aterrizaje. Esta inspección asegura el mantenimiento y la operación segura del sistema hidráulico auxiliar, así como su contribución al funcionamiento confiable del tren de aterrizaje en la aeronave.

Condiciones preliminares

Para llevar a cabo la inspección de mantenimiento programado de 100 horas en el actuador que controla la compuerta del tren principal (MLG), fue esencial establecer ciertas condiciones específicas. En un primer momento, se debió tomar medidas para asegurar la aeronave adecuadamente, garantizando así una remoción precisa y segura del actuador (ver Figura 48). Además, se requería la disponibilidad y funcionamiento del banco de pruebas hidráulico, cuyo diseño y construcción se describió previamente en este proceso. Esta fase de la inspección no solo asegura la integridad de la aeronave durante el proceso de mantenimiento, sino que también proporciona un entorno controlado y seguro para llevar a cabo las pruebas funcionales necesarias en el actuador y validar su desempeño según los parámetros dados por el fabricante.

Figura 48

Condiciones preliminares

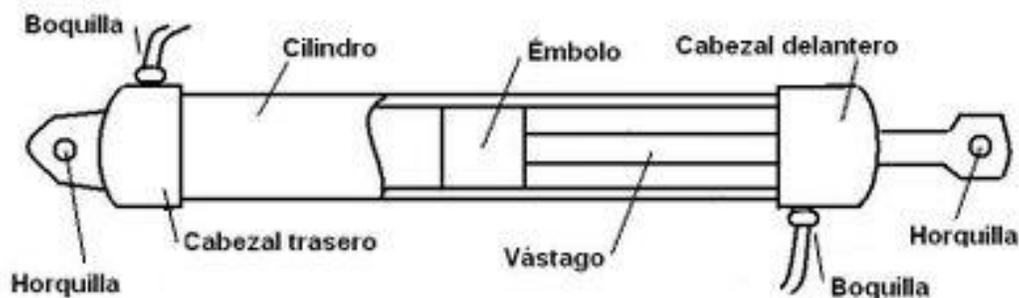


Nota. Asegurar la aeronave adecuadamente, garantizando la remoción segura del actuador.

La correcta preparación de la aeronave, en términos de su estabilidad y seguridad durante el proceso de inspección, resulta esencial para evitar daños tanto en la aeronave como en los componentes involucrados en la operación. Además de la remoción precisa del actuador, las medidas de aseguramiento también garantizaron la integridad de la estructura circundante y el acceso al área de trabajo.

Partes del actuador

El actuador es un cilindro hidráulico esencial en sistemas hidráulicos, diseñado para convertir la energía del fluido hidráulico en movimiento lineal. Como se observa en la Figura 49 consiste en varias partes clave que trabajan en conjunto para lograr esta función vital. En primer lugar, el cilindro hidráulico consta de un cilindro externo, que es una carcasa resistente y generalmente metálica que contiene y protege los componentes internos. Dentro de esta carcasa se encuentra un pistón, una parte móvil que divide internamente el cilindro en dos cámaras, una en cada lado del pistón. El pistón es una pieza robusta que se desplaza dentro del cilindro y es impulsada por la presión del fluido hidráulico.

Figura 49*Partes del actuador*

Nota. Partes del actuador de la compuerta del MLG.

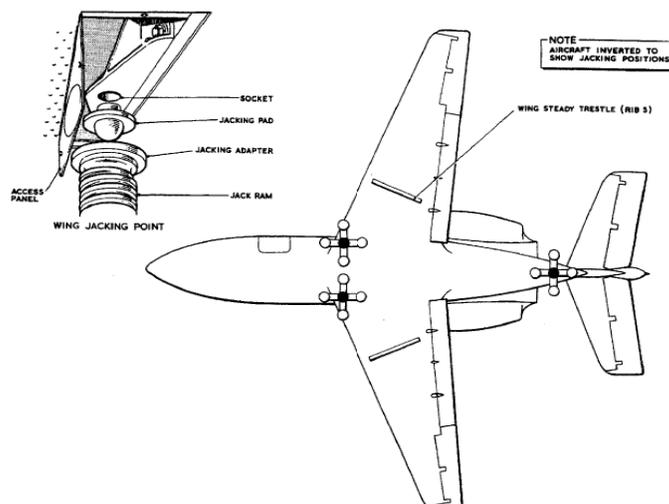
El pistón se conecta al vástago del pistón, una extensión que sobresale del cilindro a través de una abertura sellada. El vástago del pistón es la parte que interactúa con la carga que se moverá o levantará. El extremo del vástago puede estar equipado con una variedad de accesorios, como una placa de montaje, una horquilla o un soporte, según la aplicación específica. Dentro del cilindro, el espacio entre el pistón y el cilindro se llena con fluido hidráulico, generalmente aceite hidráulico. Cuando se aplica presión al fluido hidráulico en una de las cámaras, el pistón se desplaza hacia la dirección opuesta, empujando o tirando del vástago del pistón. Este movimiento lineal del vástago se utiliza para realizar trabajo, como levantar una carga o mover un componente. En la mayoría de los cilindros hidráulicos, se utilizan sellos y anillos para mantener el fluido hidráulico sellado dentro del cilindro y prevenir fugas.

Remoción del actuador

La remoción del actuador se realizó siguiendo los procedimientos del manual de mantenimiento (AMM 32-10-41). Antes de iniciar la remoción es necesario levantar la aeronave en gatos según la tarea respectiva (AMM 07-10-00).

Figura 50

Levantar la aeronave en gatos



Nota. Levantar la aeronave en gatos según la tarea (AMM 07-10-00).

Con el tren de aterrizaje bloqueado "hacia abajo" se coloca los pasadores de bloqueo en tierra. Luego se libera la presión del sistema hidráulico (AMM 29-10-00) y se abre manualmente las dos puertas de la bahía del tren principal como se observa en la Figura 51.

Figura 51

Abertura manual de las puertas MLG



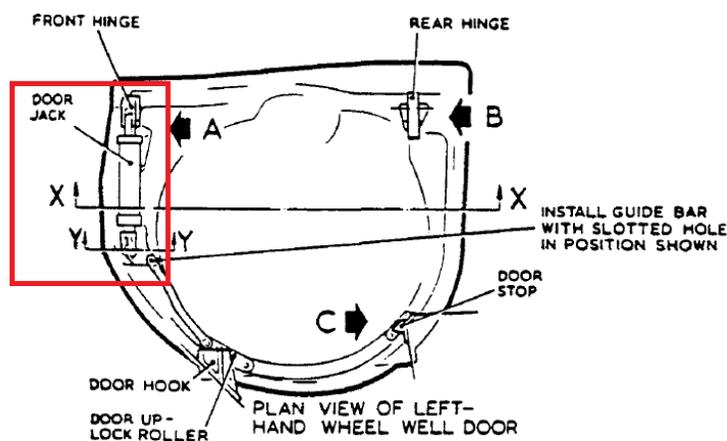
Nota. Se abre manualmente las dos puertas de la bahía del tren principal.

Es necesario colocar una leyenda de sistema hidráulico inoperativo, además se debe

proporcionar un recipiente para recoger el líquido residual, y se quitan las conexiones de manguera flexible de los adaptadores. Luego se quita el perno y se desconecta el extremo de la horquilla como se observa en la Figura 52, 53 y 54.

Figura 52

Remoción del actuador - 1



Nota. Remoción del actuador de la aeronave.

Figura 53

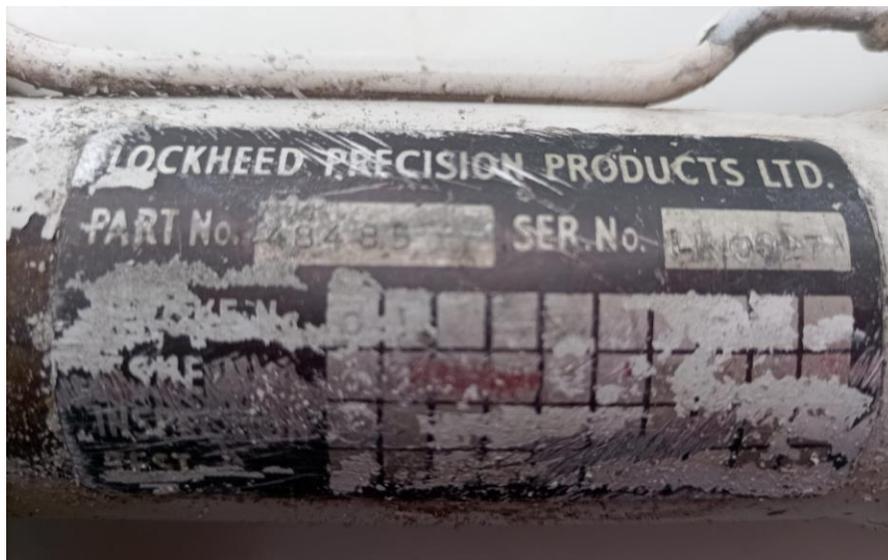
Remoción del actuador - 2



Nota. Remoción del actuador de la aeronave.

Figura 54

Remoción del actuador - 3



Nota. Remoción del actuador en base a las especificaciones del fabricante de la aeronave.

Pruebas funcionales al actuador

Durante la etapa de pruebas funcionales del actuador, el banco de pruebas hidráulico fue un elemento fundamental, desempeñando un papel crítico al simular con precisión las condiciones a las que va a estar sometido. Este banco de pruebas, meticulosamente diseñado y construido en consonancia con estándares de alta rigurosidad, se convirtió en un entorno esencial para someter el actuador a una amplia gama de situaciones operativas y así evaluar su desempeño en diversos escenarios hidráulicos.

El banco de pruebas hidráulico, diseñado con un enfoque en la fidelidad de simulación, permitió reproducir las condiciones de manera veraz (ver Figura 55). Esto incluye la variación de presiones hidráulicas y caudales que el actuador experimenta durante las diferentes fases de operación. Dichas pruebas contribuyeron a una evaluación precisa de la capacidad del actuador para responder a estas variaciones, asegurando que cumpla con las expectativas de rendimiento bajo condiciones reales de operación.

Figura 55

Pruebas en banco de pruebas hidráulico



Nota. El banco de pruebas hidráulico se convirtió en un entorno esencial para someter el actuador a una amplia gama de situaciones operativas.

El proceso de pruebas funcionales abarcó múltiples escenarios, como la extensión y retracción de la compuerta del tren principal a diferentes velocidades. El banco de pruebas permitió aplicar cargas hidráulicas específicas al actuador, lo que permitió evaluar su capacidad para operar de manera efectiva en diversas situaciones. Además, se midieron y registraron los parámetros hidráulicos en tiempo real, lo que proporcionó datos precisos para el análisis y la toma de decisiones.

Figura 56

Pruebas funcionales al actuador



Nota. Las pruebas contribuyeron a una evaluación precisa de la capacidad del actuador.

Cabe destacar que, en esta fase, la seguridad fue de suma importancia. El banco de pruebas estaba equipado con sistemas de control y protección que garantizaban un entorno de pruebas seguro tanto para los operadores como para el equipo. Esto incluyó dispositivos de parada de emergencia y mecanismos de control que permitían detener las pruebas de manera inmediata en caso de cualquier anomalía.

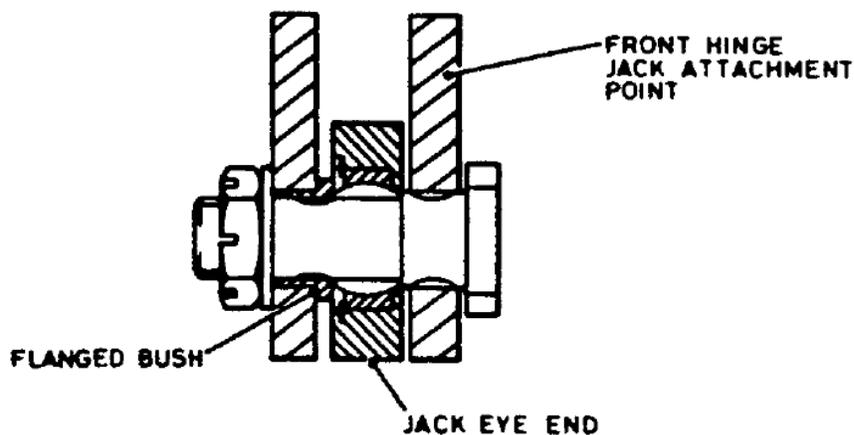
El conjunto de pruebas funcionales resultó en una evaluación detallada y precisa de la funcionalidad del actuador. Los resultados obtenidos en términos de rendimiento hidráulico, respuesta a las cargas y capacidad de ajuste proporcionaron información crucial para determinar la condición del actuador y si se requerían acciones adicionales, como ajustes, reparaciones o reemplazo.

Instalación del actuador

Tras la culminación exitosa de las pruebas funcionales del actuador utilizando el banco hidráulico, se dio paso a la fase de instalación del componente, en estricta concordancia con los protocolos establecidos por el manual de mantenimiento (AMM 32-10-41). Una vez completada la evaluación detallada del actuador en el banco hidráulico, se procedió con precaución a su reintegración en la estructura del tren principal. Durante este proceso, se siguió meticulosamente el conjunto de directrices proporcionadas en el manual de mantenimiento de la aeronave. Estas pautas se implementaron con el propósito de asegurar que la instalación del actuador se llevara a cabo de manera segura y precisa, evitando cualquier potencial contratiempo o fallo en el sistema.

Figura 57

Lubricación de los puntos de anclaje



Nota. Lubricación de los puntos de anclaje según AMM 32-10-41.

Antes de la instalación es necesario lubricar los puntos de anclaje como se indica en la Figura 57, y quitar las leyendas de sistema hidráulico inoperativo colocadas en la remoción del mismo. Después de asegurar firmemente el actuador en su posición, se llevaron a cabo pruebas adicionales para verificar su correcto funcionamiento y su integración sin problemas en

el sistema (ver Figura 58). Estas pruebas incluyeron la activación controlada del actuador, evaluando su capacidad para responder a los comandos y adaptarse a diferentes situaciones de carga.

Figura 58

Instalación del actuador



Nota. Instalación del actuador en base a las indicaciones del fabricante de la aeronave.

Resultados obtenidos

Mediante cinco comprobaciones a diferentes presiones del actuador del tren de aterrizaje principal en el banco de pruebas hidráulico se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 4 Resultados obtenidos en la comprobación en el banco de pruebas

Resultados obtenidos			
Presión de trabajo	Comprobación No.	Falla del actuador - fugas de aceite	Observaciones
2800 psi	1	NO	Ninguna, dentro de los límites y directrices establecidas por el fabricante.
2800 psi	2	NO	Ninguna, dentro de los límites y directrices establecidas por el fabricante.
2825 psi	3	NO	Ninguna, dentro de los límites y directrices establecidas por el fabricante.
2825 psi	4	NO	Ninguna, dentro de los límites y directrices establecidas por el fabricante.
2850 psi	5	NO	Ninguna, dentro de los límites y directrices establecidas por el fabricante.

Capítulo IV

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se recopiló y analizó la información técnica relacionada con los procedimientos necesarios para realizar la inspección de 100 horas del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal del sistema hidráulico auxiliar de la aeronave Hawker Siddeley HS 125 tanto como el AC 43 13 1B y el manual de mantenimiento. Esta investigación proporcionó un conocimiento detallado de los protocolos y directrices establecidos por el fabricante para realizar la inspección de manera adecuada.
- Se realizó una inspección visual completa del sistema hidráulico auxiliar de la aeronave, con el objetivo de detectar posibles signos de fugas y/o daños en las líneas hidráulicas y conexiones. Durante esta inspección, se documentaron las observaciones relevantes para evaluar la integridad y el estado operativo del sistema.
- La inspección de 100 horas del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal del sistema hidráulico auxiliar se llevó a cabo siguiendo rigurosamente los procedimientos establecidos en los manuales de la aeronave y la información técnica recopilada. Durante este proceso, se detectaron y corrigieron diversas anomalías para garantizar el adecuado funcionamiento y rendimiento del actuador.
- Se realizaron pruebas funcionales al actuador de la compuerta del tren de aterrizaje del sistema hidráulico auxiliar de la aeronave Hawker Siddeley HS 125, a través de la implementación del banco hidráulico. Estas pruebas permitieron verificar que el actuador funcionara dentro de los límites establecidos por el fabricante, asegurando así su óptimo rendimiento y operatividad.

Recomendaciones

- Debido a la importancia crítica del actuador de la compuerta del tren de aterrizaje principal en el sistema hidráulico auxiliar, se debe establecer un programa de mantenimiento preventivo más frecuente. Realizar inspecciones adicionales en intervalos más cortos, como cada 50 horas de vuelo, ayudaría a detectar y abordar posibles problemas en etapas tempranas, evitando costosas reparaciones y reduciendo el riesgo de fallas inesperadas.
- Dado que la industria aeronáutica está en constante evolución, es fundamental que el personal técnico encargado de la inspección y el mantenimiento esté debidamente capacitado y actualizado con las últimas novedades en tecnología y procedimientos. Se recomienda proporcionar capacitaciones regulares para asegurar que el equipo tenga el conocimiento necesario para realizar la inspección de manera precisa y eficiente, siguiendo los estándares y directrices más recientes.

Glosario

A

Actuador: Dispositivo que convierte una señal de control en un movimiento mecánico específico, utilizado en sistemas como el tren de aterrizaje.

Anomalías de funcionamiento: Desviaciones inesperadas o comportamientos irregulares en el rendimiento normal de un sistema o componente.

Aeronave Hawker Siddeley HS 125: Modelo específico de aeronave de la marca Hawker Siddeley, perteneciente a la serie HS 125.

C

Capacitación técnica: Formación y adquisición de habilidades específicas en el campo de la ingeniería mecánica aeronáutica y sistemas hidráulicos.

Componentes mecánicos: Piezas o partes de una máquina o sistema que realizan funciones mecánicas específicas.

Conexiones hidráulicas: Enlaces y uniones entre los componentes del sistema hidráulico que permiten el flujo de fluido entre ellos.

D

Desgaste prematuro: Degradación o deterioro anormal de un componente o sistema antes de su vida útil esperada.

Directrices de mantenimiento: Instrucciones y recomendaciones proporcionadas por el fabricante para el mantenimiento y la inspección adecuada del equipo.

F

Fluidos hidráulicos: Líquidos utilizados en el sistema hidráulico para transmitir energía y generar fuerza.

Fugas hidráulicas: Pérdida de fluido hidráulico debido a escapes o filtraciones en el sistema.

I

Indicadores de rendimiento: Parámetros o valores que reflejan el desempeño y la eficiencia de un sistema o componente.

Inspección de 100 horas: Revisión y análisis detallado que se realiza periódicamente después de cierto número de horas de operación de la aeronave.

Inspección visual: Evaluación mediante observación directa de las condiciones y aspecto de los componentes y sistemas.

Intervalos de mantenimiento: Períodos específicos de tiempo o número de horas de vuelo entre las tareas de mantenimiento programadas.

L

Líneas hidráulicas: Conductos o tuberías que transportan el fluido hidráulico dentro del sistema.

M

Mantenimiento preventivo: Acciones planificadas para evitar fallas o desgastes prematuros a través de inspecciones y tareas de mantenimiento regulares.

Monitoreo continuo: Supervisión constante y en tiempo real de los parámetros de funcionamiento del sistema.

P

Parámetros de operación: Valores o límites específicos en los cuales un sistema o componente debe funcionar para un rendimiento óptimo.

Pruebas funcionales: Evaluación del funcionamiento real de un componente o sistema a través de pruebas específicas.

Procedimientos establecidos: Instrucciones y pasos específicos para realizar tareas técnicas, como inspecciones y pruebas.

S

Sistema hidráulico auxiliar: Subsistema secundario del sistema hidráulico principal que opera funciones específicas.

T

Tren de aterrizaje principal (MLG): Conjunto de ruedas y mecanismos que soportan el peso de la aeronave durante el despegue y aterrizaje.

Abreviaturas

A

AAC: Autoridad Aeronáutica Civil.

ATA: Asociación de Transporte Aéreo.

D

DGAC: Dirección General de Aviación Civil.

E

EPP: Equipo de Protección Personal.

F

FAA: Administración Federal de Aviación de los EEUU.

G

GSE: Equipo de Soporte en Tierra.

I

IPC: Catálogo Ilustrado de Partes.

M

AMM: Manual de Mantenimiento.

R

RDAC: Regulaciones de Aviación Civil.

S

SB: Boletines de Servicio.

T

TMA: Técnicos de Mantenimiento Aeronáutico.

Bibliografía

- AERTEC . (2023). *Evolución del tren de aterrizaje*. Obtenido de <https://aertecsolutions.com/2018/11/26/evolucion-del-tren-de-aterrizaje/>
- AMILARG. (2013). *Hawker Siddeley 125-400*. Obtenido de <https://www.amilarg.com.ar/hawker-125-400.html>
- Aprendamos Aviación. (2019). *Sistema Hidráulico - Aircraft Hydraulic Systems*. Obtenido de <https://www.aprendamos-aviacion.com/2022/01/aviacion-sistema-hidraulico.html>
- ATSDR. (2016). *ToxFAQs™ - Fluidos hidráulicos (Hydraulic Fluids)*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts99.html
- AviationHunt. (2023). *Aviation Hydraulic Fluid*. Obtenido de <https://www.aviationhunt.com/aviation-hydraulic-fluid/>
- Bravo, P. (2020). *CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGAS DE DIFERENTES ACCESORIOS UTILIZADOS EN TUBERÍAS A PRESIÓN EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA UNESUM*. UNESUM.
- CAE Oxford. (2014). *ATPL Book 2 Airframes and Systems*. CAE Oxford Aviation Academy (UK).
- concepto. (2023). *Propiedades de los fluidos*. Obtenido de <https://concepto.de/propiedades-de-los-fluidos/>
- CurioSfera. (2021). *Origen del avión y de la aviación*. Obtenido de <https://curiosfera-historia.com/historia-de-la-aviacion/>
- DGAC. (2020). *RDAC 145 ORGANIZACIONES DE MANTENIMIENTO APROBADAS*. Dirección General de Aviación Civil.
- EASA. (2020). *Module 13 B2 - Aircraft Aerodynamic Structures and Systems*. United States of America: Aircraft Technical Book Company.

- ENERPAC. (2022). *Hydraulic System*. Obtenido de <https://blog.enerpac.com/>
- FAA. (2018). *Aviation Maintenance Technician Handbook–Airframe Volume 2*. U.S. Department of Transportation.
- Fairchild Dornier. (1998). *Dornier 328 - 100 Training Manual*.
- Fernández, M. (2019). *Flujo laminar y turbulento*. Obtenido de <https://www.aerodinamicaf1.com/2019/10/flujo-laminar-y-turbulento/>
- Flight-Mechanic. (2022). *HYDRAULIC AND PNEUMATIC POWER SYSTEMS*. Obtenido de <https://www.flight-mechanic.com/>
- iprecom. (2022). *Consejos para el mantenimiento de una bomba de agua*. Obtenido de <https://www.iprecom.com/consejos-para-el-mantenimiento-de-una-bomba-de-agua/>
- KISTLER. (2023). *Rendimiento de sistemas hidráulicos en aeronaves*. Obtenido de <https://www.kistler.com/ES/es/rendimiento-de-sistemas-hidraulicos-en-aeronaves/C00000005>
- Learn Mech. (2023). *Types of Hydraulic Fluids | Hydraulic Fluid Selection*. Obtenido de <https://learnmech.com/types-of-hydraulic-fluids-hydraulic-fluid-selection/>
- LEONARDO S.p.A. (2020). *A109K2 IETP*.
- Marbello, R. (2007). *Bombas hidráulicas rotodinámicas: teoría y aplicaciones*. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.
- Oñate, E. (2019). *Conocimientos de avión*. Paraninfo.
- PrimeTools . (2022). *Facom CU.AE10 Light Aircraft Maintenance Engine And Airframe Set*. Obtenido de <https://www.primetools.co.uk/product/facom-cu-ae10-light-aircraft-maintenance-engine-and-airframe-set/>
- Private Jet Finder. (2016). *British Aerospace / Hawker Siddeley*. Obtenido de <https://www.privatejetfinder.com/es/plane/Hawker-600-1.html>
- Raytheon Aircraft. (2003). *Aircraft Maintenance Manual - DH 125 Series 400A*. USA: Raytheon

Aircraft Company.

STS. (2020). *Prueba de presión hidráulica del tren de aterrizaje*. Obtenido de

<https://www.stssensors.com/es/blog/2020/07/01/landing-gear-hydraulic-pressure-testing/>

studocu. (2022). *Ley de Pascal*. Obtenido de

<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-de-san-martin-de-porres/microeconomia/el-principio-de-pascal-fisica-i/61277725>

TMAS Aviación. (2022). *Divulgación Aeronáutica*. Obtenido de <https://www.tmas.es>

Villacís, J. (2022). *Implementación de la Unidad Hidráulica en el banco de comprobación de circuitos hidráulicos perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Polo del Conocimiento.

Wikipedia. (1996). *British Aerospace BAe 125*. Obtenido de

https://es.wikipedia.org/wiki/British_Aerospace_BAe_125

Wikipedia. (2022). *Sistema hidráulico de una aeronave*. Obtenido de

https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_hidr%C3%A1ulico_de_una_aeronave

WTWH. (2023). *What are hydraulic filters?* Obtenido de

<https://www.mobilehydraulictips.com/what-are-hydraulic-filters/>

Anexos