



**Calibración del compás magnético de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER, según la Circular de Asesoramiento 43.13-1B, perteneciente a la Fuerza Aérea Ecuatoriana, en el Ala de transporte N°11 - Grupo Logístico N°112.**

Masaquiza Cruz, Alan Santiago

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

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

Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián

20 de febrero de 2024

Latacunga

## Reporte de verificación de contenido



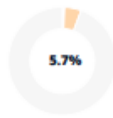
Plagiarism and AI Content Detection Report

Tesis\_Masaquiza\_REV16.pdf

### Scan details

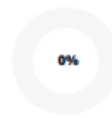
Scan time: February 16th, 2024 at 17:16 UTC      Total Pages: 57      Total Words: 14013

### Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	0.5%	71
Minor Changes	0.2%	26
Paraphrased	5%	703
Omitted Words	0%	0

### AI Content Detection



Text coverage		Words
AI text	0%	0
Human text	100%	14013

[Learn more](#)

### 🔍 Plagiarism Results: (17)

🌐 **Sistemas De Compás En Aviación. - ASOC. PASIÓN POR VOLAR** **2.2%**  
<https://www.pasionporvolar.com/sistemas-de-compas-en-aviacion/>  
 ASOC. PASIÓN POR VOLAR d...

🌐 **Manual del piloto de conocimientos aeronauticos.pdf** **1.4%**  
<http://www.cielosdeleon.com/docs/manual%20de%20piloto%20de%20conocimientos%20aeronauticos.pdf>  
 hellopdf.com Inc  
 Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge 2008 U.S. Department of Transportation FEDERAL AVIATION  
 ADMINISTRATION Flight Standards Serv...

🌐 **Manual de Navegacion Aerea - PDFCOFFEE.COM** **0.9%**  
<https://pdfcoffee.com/manual-de-navegacion-aerea-4-pdf-free.html>  
 Guest  
 Email: [email protected] Login Register English Deutsch Español Français Português Hom...

🌐 **Sistemas De Compás En Aviación. - ASOC. PASIÓN POR VOLAR** **0.8%**  
[https://www.pasionporvolar-com.translate.google.com/sistemas-de-compas-en-aviacion/?x\\_tr\\_sl=es&x\\_tr\\_tl=en&...](https://www.pasionporvolar-com.translate.google.com/sistemas-de-compas-en-aviacion/?x_tr_sl=es&x_tr_tl=en&...)  
 ASOC. PASIÓN POR VOLAR divulgación aeronáutica para todos ...

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: **“Calibración del compás magnético de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER, según la Circular de Asesoramiento 43.13-1B, perteneciente a la Fuerza Aérea Ecuatoriana, en el Ala de transporte N°11 - Grupo Logístico N°112.”** fue realizada por el señor **Masaquiza Cruz, Alan Santiago**, el mismo 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, 20 de febrero del 2024

Firma:

**Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián**

C. C.:172258032-9



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

Yo, **Masaquiza Cruz, Alan Santiago**, con cédula de ciudadanía n° 1850627611, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“Calibración del compás magnético de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER, según la Circular de Asesoramiento 43.13-1B, perteneciente a la Fuerza Aérea Ecuatoriana, en el Ala de transporte N°11 - Grupo Logístico N°112.”** 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, 20 de febrero del 2024

Firma

**Masaquiza Cruz, Alan Santiago**

C.C.: 1850627611



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

Yo **Masaquiza Cruz, Alan Santiago** con cédula de ciudadanía n° 1850627611, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **Título: "Calibración del compás magnético de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER, según la Circular de Asesoramiento 43.13-1B, perteneciente a la Fuerza Aérea Ecuatoriana, en el Ala de transporte N°11 - Grupo Logístico N°112."** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 20 de febrero del 2024

Firma

**Masaquiza Cruz, Alan Santiago**

C.C.: 1850627611

### **Dedicatoria**

Este trabajo lo dedico a mis padres por darme todo el apoyo y aliento para seguir adelante a pesar de las circunstancias que se presentan en el camino de la vida, también por enseñarme a ser perseverante y trabajar arduamente para conseguir un objetivo siendo este el primero de tantos.

A mi hermano, el cual es un ejemplo en mi vida por ser una persona que ha infundido valores en mi vida, específicamente a ser honesto y responsable en todas mis obligaciones. Y una especial dedicatoria a mi abuelito Miguel que está en la vida eterna cuidándome siempre.

## **Agradecimiento**

A Dios, por darme la bendición de compartir este logro con los que más aprecio, mi familia.

Agradezco a mis padres por el esfuerzo que hacen para que su hijo cumpla una meta, a mi hermano por ser pilar fundamental en mis estudios, familiares y amigos que he conocido en esta etapa de mi vida.

Al Grupo Logístico 112 perteneciente a la Fuerza Aérea Ecuatoriana por darme la oportunidad de realizar mi proyecto en su tan honorable institución, especialmente al SgtoP. Fernando Simbaña y la Escuadrilla "Twin Otter" los cuales desde el primer momento pusieron a disposición su aeronave y todos sus conocimientos para llevar a cabo el presente trabajo.

A mi tutor de tesis, docentes de la carrera por compartir todos sus conocimientos, vivencias, consejos, primordialmente por inculcar valores como ser humano y en la vida profesional.

**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 tablas.....	12
Índice de figuras .....	13
Resumen.....	16
Abstract .....	17
Capítulo I: Introducción.....	18
Antecedentes.....	18
Planteamiento del problema.....	19
Justificación e importancia .....	20
Objetivos.....	21
<i>Objetivo General</i> .....	21
<i>Objetivos Específicos</i> .....	21
Alcance .....	21
Capítulo II Marco: Teórico .....	22
Aeronave DHC-6 TWIN OTTER .....	22
<i>Historia</i> .....	22
<i>Datos técnicos de la aeronave</i> .....	23
<i>Motor PT6A-27</i> .....	24



<i>Especificaciones Técnicas del motor</i> .....	25
<b>Sistema de navegación</b> .....	25
<i>Descripción</i> .....	25
<i>Navegación a estima (Dead Reckoning)</i> .....	26
<i>Navegación Visual</i> .....	27
<i>Navegación Electrónica</i> .....	27
<i>Elementos de un sistema de navegación</i> .....	30
<i>Instrumentos del sistema de navegación</i> .....	32
<i>Horizontal Situation Indicator - HSI</i> .....	32
<i>Instrumentos de navegación de reserva (STANDBY)</i> .....	34
<b>Magnetismo de hierro dulce</b> .....	40
<b>Errores inducidos por la brújula magnética</b> .....	43
<i>Variación Magnética</i> .....	43
<i>Desviación del Compás</i> .....	44
<i>Inmersión Magnética (Magnetic dip)</i> .....	47
<i>Error de Aceleración</i> .....	47
<i>Error de viraje</i> .....	48
<b>Corrección de error de la brújula magnética</b> .....	49
<i>Compass swing</i> .....	49
<i>Ocasiones/Causas para efectuar Compass Swing</i> .....	49
<i>Procedimientos de Compass Swing</i> .....	50
<i>Coeficientes de corrección</i> .....	52
Coeficiente “a” .....	52
Coeficiente “b” .....	53
Coeficiente “c” .....	54
Corrección Cero.....	54

<b>Mantenimiento Aeronáutico .....</b>	<b>55</b>
<i>Programas de mantenimiento aplicable a la aeronave DHC-6 TWIN OTTER .....</i>	<i>55</i>
<i>Programa de Inspección (Estándar) .....</i>	<i>56</i>
<b>Documentación Técnica .....</b>	<b>60</b>
<b>Regulaciones Técnicas parte 091 y 121 de la DGAC. ....</b>	<b>60</b>
<b>Documentación técnica aplicable a la Calibración del compás magnético de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER.....</b>	<b>61</b>
<b>Equipos de apoyo en tierra.....</b>	<b>65</b>
<i>Tipos de Equipos de Apoyo en Tierra .....</i>	<i>65</i>
<b>Remolque y Rodaje (Towing and Taxiing) ATA 09.....</b>	<b>66</b>
<b>Capítulo III: Desarrollo del Tema.....</b>	<b>68</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>68</b>
<b>Implementación barra de remolque .....</b>	<b>70</b>
<i>Proceso de construcción de la Barra de remolque (towbar).....</i>	<i>71</i>
<i>Materiales y herramientas aplicadas .....</i>	<i>71</i>
<i>Desarrollo de análisis estructural .....</i>	<i>73</i>
<i>Corte y soldadura del material .....</i>	<i>74</i>
<b>Calibración del compás magnético acorde AC 43.13-1B.....</b>	<b>77</b>
<i>Precauciones .....</i>	<i>77</i>
<i>Procedimientos .....</i>	<i>78</i>
<b>Remolque y rodaje de la aeronave .....</b>	<b>78</b>
<b>Oscilación de la brújula magnética. ....</b>	<b>80</b>
<b>Capítulo IV: Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>93</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>93</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>95</b>

**Bibliografía .....96**

**Anexos.....100**

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b>	<i>Especificaciones técnicas de la aeronave</i> .....	23
<b>Tabla 2</b>	<i>Características del motor PT6A-27</i> .....	25
<b>Tabla 3</b>	<i>Descripción de instrumentos de vuelo</i> .....	30
<b>Tabla 4</b>	<i>Lista de los elementos de la Brújula Magnética</i> .....	38
<b>Tabla 5</b>	<i>Carta de corrección de la brújula magnética</i> .....	46
<b>Tabla 6</b>	<i>Documentación Técnica aplicable a la Calibración de la Brújula magnética</i> .....	62
<b>Tabla 7</b>	<i>Listado de herramientas utilizadas</i> .....	72
<b>Tabla 8</b>	<i>Análisis estructural de los elementos de la barra de remolque</i> .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<i>Aeronave DHC-6 TWIN OTTER – Matricula FAE 452</i> .....	23
<b>Figura 2</b>	<i>Motor PT6A-27</i> .....	24
<b>Figura 3</b>	<i>Navegación Dead Reckoning</i> .....	27
<b>Figura 4</b>	<i>Panel de instrumentos de la aeronave DHC-6 Twin Otter</i> .....	28
<b>Figura 5</b>	<i>Sistema de Radionavegación</i> .....	29
<b>Figura 6</b>	<i>Instrumento Indicador de situación horizontal - HSI</i> .....	32
<b>Figura 7</b>	<i>Instrumento Indicador Radiomagnético - RMI</i> .....	33
<b>Figura 8</b>	<i>Instrumentos de navegación de reserva (Standby)</i> .....	35
<b>Figura 9</b>	<i>Brújula Magnética de reserva (Standby Magnetic Compass)</i> .....	37
<b>Figura 10</b>	<i>Elementos de la Brújula Magnética</i> .....	38
<b>Figura 11</b>	<i>Efecto magnético en base a la ubicación de la brújula</i> .....	40
<b>Figura 12</b>	<i>Análisis frecuencial de la oscilación del compás magnético</i> .....	42
<b>Figura 13</b>	<i>Errores inmersos en un compás magnético</i> .....	43
<b>Figura 14</b>	<i>Efectos de la variación</i> .....	44
<b>Figura 15</b>	<i>Efecto de desviación con respecto al rumbo</i> .....	45
<b>Figura 16</b>	<i>Rosa de vientos</i> .....	46
<b>Figura 17</b>	<i>Efectos del error de aceleración</i> .....	48
<b>Figura 18</b>	<i>Errores de giro hacia el norte y hacia el sur</i> .....	49
<b>Figura 19</b>	<i>Lista de causas para efectuar calibración del compás magnético</i> .....	50
<b>Figura 20</b>	<i>Elementos de la Brújula magnética P/N KCA0104W</i> .....	52
<b>Figura 21</b>	<i>Lecturas de error de la brújula</i> .....	53
<b>Figura 22</b>	<i>Ajuste de corrección cero</i> .....	55
<b>Figura 23</b>	<i>Programa de Inspección de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER</i> .....	57
<b>Figura 24</b>	<i>Documentación técnica del programa de inspección</i> .....	58
<b>Figura 25</b>	<i>Programa de Inspección del Sistema de Navegación</i> .....	59

<b>Figura 26</b>	<i>Requerimientos de navegación acorde RDAC 121.....</i>	61
<b>Figura 27</b>	<i>Equipos de apoyo en tierra.....</i>	65
<b>Figura 28</b>	<i>Remolque y rodaje de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER.....</i>	67
<b>Figura 29</b>	<i>Carta de calibración de la brújula magnética registrada en el 2023.....</i>	69
<b>Figura 30</b>	<i>Brújula magnética de la Aeronave DHC-6 TWIN OTTER P/N KCA0104W.....</i>	70
<b>Figura 31</b>	<i>Medidas de la barra de remolque.....</i>	71
<b>Figura 32</b>	<i>Lista del material principal.....</i>	72
<b>Figura 33</b>	<i>Análisis de seguridad de la barra de remolque (Software Ansys).....</i>	73
<b>Figura 34</b>	<i>Corte del Gancho del tren de nariz.....</i>	75
<b>Figura 35</b>	<i>Corte de la cabeza de la barra.....</i>	75
<b>Figura 36</b>	<i>Corte y soldadura de los tubos anulares.....</i>	76
<b>Figura 37</b>	<i>Barra de remolque terminada.....</i>	76
<b>Figura 38</b>	<i>Colocación de cinta reflectiva.....</i>	77
<b>Figura 39</b>	<i>Conexión de la barra de remolque con el tren de nariz.....</i>	78
<b>Figura 40</b>	<i>Conexión de la barra de remolque con el remolcador.....</i>	78
<b>Figura 41</b>	<i>Separación del lockpin del tren de nariz.....</i>	79
<b>Figura 42</b>	<i>Remolque de la aeronave hacia la rosa de los vientos.....</i>	79
<b>Figura 43</b>	<i>Alineación de brújula maestra con la aeronave.....</i>	80
<b>Figura 44</b>	<i>Brújula Maestra apuntando al Norte magnético.....</i>	81
<b>Figura 45</b>	<i>Encendido de motores.....</i>	82
<b>Figura 46</b>	<i>Compás magnético apuntando al NORTE 000°.....</i>	83
<b>Figura 47</b>	<i>Indicación de RMI a 365° (Norte).....</i>	83
<b>Figura 48</b>	<i>Compás magnético alineado al ESTE 90°.....</i>	84
<b>Figura 49</b>	<i>Indicación de RMI a 87° (Este).....</i>	84
<b>Figura 50</b>	<i>Compás magnético en dirección al SUR 180°.....</i>	85
<b>Figura 51</b>	<i>Indicación de RMI a 179° (Sur).....</i>	85

<b>Figura 52</b> <i>Compás magnético alineado al OESTE 270°</i> .....	86
<b>Figura 53</b> <i>Indicación de RMI a 271° (Oeste)</i> .....	86
<b>Figura 54</b> <i>Comprobación operacional del Compás magnético</i> .....	87
<b>Figura 55</b> <i>Registro de datos en la tabla</i> .....	87
<b>Figura 56</b> <i>Carta de calibración de la brújula (Inspección anual)</i> .....	88
<b>Figura 57</b> <i>Cambio de motor de la aeronave</i> .....	89
<b>Figura 58</b> <i>Registro de datos en la tabla posterior al cambio de motor</i> .....	90
<b>Figura 59</b> <i>Carta de calibración de la brújula (Cambio de motor)</i> .....	91
<b>Figura 60</b> <i>Reemplazo de la tarjeta de calibración de la brújula magnética</i> .....	91

## Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo efectuar la calibración del compás magnético (compass swing) de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER con matrícula FAE-452 perteneciente a la Fuerza Aérea Ecuatoriana, en el Ala de transporte N°11 - Grupo Logístico N°112, en base a la normativa detallada en la Circular de Asesoramiento 43.13-1B. De tal modo que se implementará un equipo de apoyo en tierra esencial para la tarea de mantenimiento, con el propósito de obtener un mejor resultado de la práctica y aumentar la seguridad operacional durante el trabajo. Para este proceso se detalla algunas características principales de la aeronave, grupo moto propulsor y una introducción relacionada al sistema de navegación, características e instrumentos. Después, se investiga el principio de operación del compás magnético de aeronaves, errores a los que está expuesto en relación con el magnetismo de la tierra, y ocasiones en las que se debe realizar este procedimiento acorde a documentación técnica proporcionada por el fabricante y la entidad aeronáutica FAA. Además, se describe la importancia de la brújula magnética como instrumento de navegación de reserva siendo un factor fundamental para las operaciones en vuelo requeridas por la autoridad aeronáutica en la RDAC 121. Con la barra de remolque implementada, se describe paso a paso el proceso de calibración de la brújula magnética, todo esto ubicado en una zona específica denominada rosa de vientos. Finalmente se registra las medidas en los ángulos específicos de la carta de corrección del compás, la cual tiene un margen de error de desviación establecidos en la documentación técnica. Una vez realizada la rectificación se coloca esta carta de corrección sobre la brújula magnética en el panel de instrumentos.

*Palabras clave:* Calibración compás magnético, brújula magnética, instrumentos de navegación de reserva, DHC-6 TWIN OTTER



### **Abstract**

The objective of this project is to calibrate the magnetic compass (compass swing) of the DHC-6 TWIN OTTER aircraft with registration FAE-452, belonging to the Ecuadorian Air Force, in the Transport Wing N°11 - Logistics Group N°112, based on the regulations detailed in the Advisory Circular 43.13-1B. In this way, an essential ground support equipment will be implemented for the maintenance task, with the purpose of obtaining a better result of the practice and increasing the operational safety during the work. For this process, some main characteristics of the aircraft, the engine and an introduction related to the navigation system, characteristics and instruments are detailed. Then, the operating principle of the aircraft magnetic compass is studied, the errors it is subject to in relation to the earth's magnetism and the occasions when this procedure must be carried out according to the technical documentation provided by the manufacturer and the FAA aeronautical authority. It also describes the importance of the magnetic compass as a backup navigational instrument, which is a fundamental factor in flight operations, as required by the FAA in RDAC 121. With the tow bar in place, the magnetic compass calibration process is described step by step, all in a specific area called the compass rose. Finally, the measurements are recorded in the specific angles of the compass correction chart, which has a margin of error specified in the technical documentation. Once the correction has been made, this correction chart is placed on the magnetic compass on the dashboard.

*Key words:* Magnetic compass calibration, magnetic compass, DHC-6 TWIN OTTER, standby navigation instruments.

## **Capítulo I**

### **Introducción**

#### **Antecedentes**

El Ala de Transportes N° 11 perteneciente a la Fuerza Aérea Ecuatoriana, situada en la ciudad de Latacunga, provincia Cotopaxi, está conformado por personal militar especializado y capacitado, para ejecutar labores de mantenimiento en motores, célula, y otros sistemas de aeronaves. Con el propósito de brindar soporte en las operaciones aéreas de combate de la institución, tales como transporte de tropas militares, carga de armamento en situaciones de conflicto, lanzamiento de paracaidistas, entre otras.

De tal manera que, el Grupo Logístico 112 está constituido por varias escuadrillas que se distinguen por operar diferentes flotas de aeronaves, una de ellas la conforma el Escuadrón de transportes N° 1113 (TWIN OTTER), la cual cuenta con 3 aviones canadienses TWIN OTTER de modelo DHC-6 de la serie 300, configurado con 2 motores turbohélice Pratt & Whitney Canada PT6A-27/34, cuya característica de vuelo es de medio alcance, apropiado para múltiples recursos en operaciones diurnas y nocturnas, aportando con vuelos domésticos hacia la región amazónica, transporte sanitario, ambulancia aérea, búsqueda y rescate, etc.

El Escuadrón de transportes N° 1113 (TWIN OTTER) actualmente está a cargo de 3 aeronaves DHC-6 TWIN OTTER, dos aeronaves en actividad y la restante que se encuentra inoperativa por un incidente. El personal militar del Escuadrón TWIN OTTER realiza las tareas de mantenimiento programadas de las aeronaves en base al Manual de mantenimiento proporcionadas por el fabricante, en los cuales realizan periódicamente inspecciones, reparaciones, calibraciones de varios sistemas y componentes de la aeronave, utilizando herramientas y equipos apropiados, con el objetivo de mantener su flota de aeronaves operativas y asegurar íntegramente las operaciones de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

## **Planteamiento del problema**

El Escuadrón de transportes N° 1113 (TWIN OTTER) cumple permanentemente con su programa de mantenimiento, para conservar la aeronavegabilidad y la seguridad de sus aeronaves. Una de las aeronaves DHC-6 TWIN OTTER necesita cumplir con una tarea de mantenimiento programada relacionada a la Calibración del compás magnético (Standby Magnetic Compass), la cual pertenece al Sistema de Navegación de la aeronave (ATA 34) y actúa como brújula magnética de reserva en caso de que la tripulación pierda total orientación durante vuelo. La Calibración se realiza por medio del personal calificado, en las instalaciones adecuadas y con los equipos apropiados para el mismo.

En base al manual de mantenimiento de la aeronave, existen varias causas para realizar la calibración del compás magnético de la aeronave, por ejemplo, si se nota o sospecha que hay un problema, después de cambiar el motor de una aeronave, ser alcanzado por un rayo, después de atravesar una tormenta eléctrica violenta o posterior a cualquier otro incidente operativo en el que esté implicada una aeronave, incluido un accidente o un aterrizaje extremadamente difícil (forzoso o en turbulencia). En este caso, la calibración se requiere efectuar por el intervalo de tiempo de la calibración del compás magnético de la aeronave que está próxima a cumplirse (12 meses).

Por las múltiples razones mencionadas, el personal técnico de mantenimiento necesita llevar a cabo y mejorar el procedimiento de la Calibración de Compás magnético en base a la documentación técnica aceptable, con los equipos y herramientas adecuadas para este tipo de tarea, caso contrario la lectura errónea del compás magnético puede reportarse y producir un retraso en las operaciones aéreas, periodos de mantenimientos programados, incluso durante vuelo comprometer la aeronavegabilidad de la aeronave y tripulación a bordo.

## **Justificación e importancia**

El proyecto técnico para ejecutarse beneficiará al Escuadrón TWIN OTTER, mediante el cumplimiento al programa de mantenimiento de la aeronave DHC-6 Twin Otter, respecto al tiempo de intervalo de Calibración del compás magnético (Standby Compass) próximo a completarse, utilizando de la mejor forma la documentación técnica, procedimientos adecuados y especialmente renovando los equipos y herramientas, por medio de la implementación de un equipo de apoyo en tierra (towbar – barra de remolque) idóneas para la tarea, con el propósito de mantener a la aeronave en condición operativa y salvaguardar la integridad física del personal militar.

Por lo expuesto, se considera el proyecto factible ya que, se cuenta principalmente con el apoyo oportuno del Ala de Transporte N° 11, por conceder generosamente con los permisos legales, la utilización de sus aeronaves, instalaciones (hangar y plataforma), documentación técnica respectiva y los equipos (debidamente calibrados) necesarios para poder cumplir con la tarea de mantenimiento. Asimismo, se dispone con la asistencia técnica del personal militar que conforma el Escuadrón TWIN OTTER, ya que cuentan con una habilitación especial para realizar este tipo de inspecciones, de tal manera que brindarán una inducción teórica y práctica de los sistemas que conforma la aeronave, procedimientos, normas de seguridad, que van a ser utilizadas para completar todo el proceso técnico.

Por último, es importante efectuar el procedimiento de calibración de la brújula de reserva de la aeronave, ya que de esta manera se cumple con una de las regulaciones establecidas por la autoridad aeronáutica FAA (Federal Aviation Administration), específicamente de la 14 CFR parte 91, sección 91.205(b), el cual menciona las reglas de vuelo visual en el día y requerimientos tanto de equipos e instrumentos (FAA, 2015). De tal manera que, con la correcta utilización de los procedimientos y equipos correctos, se puede conseguir el objetivo de no atentar con el personal de mantenimiento militar, ni la pérdida que involucre daños en la operación de la aeronave.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Realizar la Calibración del compás magnético de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER, según la Circular de Asesoramiento 43.13-1B, perteneciente a la Fuerza Aérea Ecuatoriana, en el Ala de transporte N°11 - Grupo Logístico N°112.

### ***Objetivos Específicos***

- Investigar y recopilar información técnica referente al principio de operación del compás magnético aplicables en aeronaves.
- Determinar los requerimientos para efectuar la calibración del compás magnético de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER.
- Implementar un equipo de apoyo en tierra (barra de remolque) en base al Ground Equipment Manual de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER, necesaria para realizar la tarea de mantenimiento.
- Llevar a cabo la Calibración del compás magnético de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER por el intervalo de inspección anual en base al Inspection Requirment Manual.
- Realizar pruebas operacionales del compás magnético de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER según el Manual de Mantenimiento de la aeronave.

### **Alcance**

El presente trabajo de titulación pretende cumplir con la calibración del compás magnético de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER perteneciente a la Fuerza Aérea Ecuatoriana, basándose en los procedimientos dictados en la Circular de Asesoramiento 43.13-1B y el manual de mantenimiento de la aeronave, en las instalaciones del Ala de transporte N°11 - Grupo Logístico N°112. Permitiendo de esta manera mantener a la aeronave en condiciones aeronavegables y que pueda realizar con seguridad las operaciones aéreas de la institución.

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### Aeronave DHC-6 TWIN OTTER

##### *Historia*

El DHC-6 Twin Otter, un avión bimotor de ala alta, no presurizado, propulsado por turbina y con tren de aterrizaje tipo triciclo no retráctil, fue desarrollado por De Havilland Canada en 1965. El Twin Otter era un avión regional de despegue y aterrizaje cortos ("STOL") capaz de transportar personas y carga a lugares remotos y deshabitados, incluidas estaciones de esquí y empresas que operan en el agua. (Viking Air Ltd, 2018).

Las aeronaves de origen canadiense de la serie 300, por su versatilidad pueden transportar entre 13 y 20 pasajeros, equipados con dos motores turbohélice Pratt & Whitney Canada PT6A-27/34 con una potencia unitaria de 652 CV (486 Kw), lo que les permite ser eficaces en operaciones militares, representando un importante avance tecnológico y operativo para la Fuerza Aérea Ecuatoriana. Al llevar a cabo misiones de ayuda humanitaria, transportar personal y bienes cuando es necesario, y transportar suministros médicos, el equipo de vuelo Twin Otter representa el trabajo de la institución, el apoyo del público y el ferviente compromiso del personal que trabaja directamente con esta aeronave y de la institución en su conjunto. Estas iniciativas se realizan en el marco de los programas de ayuda al desarrollo Alas para la Integración, Alas para la Alegría, Alas para la Salud y Alas para la Educación, que se implementan principalmente en comunidades vulnerables ubicadas en zonas de difícil acceso y carentes de servicios básicos como salud, educación y recreación, entre otros.

**Figura 1**

*Aeronave DHC-6 TWIN OTTER – Matricula FAE 452*

**Datos técnicos de la aeronave****Tabla 1**

*Especificaciones técnicas de la aeronave*

Fabricante:	De Havilland Canada
Tipo:	Aeronave de transporte de carga y pasajeros
Tripulación:	2 pilotos
Pasajeros:	20
Longitud:	51 ft – 9 in
Altura:	19 ft – 6 in
Envergadura del ala:	65 ft – 0 in.
Peso máximo en rampa:	12,500 lb (5,670kg)
Peso máximo en aterrizaje:	12,300 lb (5,579 kg)
Tipo de motor:	United Aircraft of Canada Limited PT6A-27 (turboprop)

### **Motor PT6A-27**

La familia de motores PT6A consta de tres series de modelos, denominados PT6A "Pequeño", "Mediano" y "Grande", que tienen potencias progresivamente mayores. El aumento del caudal de aire del compresor y del número de etapas de la turbina de potencia da lugar a los niveles de potencia más altos.

El PT6A-27 pertenece a la serie "Pequeña" y, tal como está instalado en el PT-6, desarrolla una potencia nominal máxima de 680 SHP (caballos de fuerza en el eje). Una característica importante del motor PT6A-27 es la desconexión física entre las turbinas del generador de gas y del generador de potencia. La turbina de potencia (y por extensión la hélice) puede girar libremente desde la sección del generador de gas. Esta es la razón por la que el PT6A-27 se denomina turbina libre.

### **Figura 2**

*Motor PT6A-27*



El motor dispone de un compresor centrífugo de flujo axial de tres etapas accionado por una turbina de reacción de una etapa. Otra turbina de reacción de una etapa, que gira en sentido contrario a la primera, acciona el eje de salida. El combustible se inyecta en la cámara



de combustión anular mediante catorce boquillas de combustible extraíbles individualmente montadas alrededor de la carcasa del generador de gas.

### ***Especificaciones Técnicas del motor***

**Tabla 2**

*Características del motor PT6A-27*

	Designación	Características
	Tipo de Motor	Turbo hélice de turbina
Diseño		libre.
	Peso	353 Lbs.
	Longitud	1.57 m 5.15 ft
Dimensiones	Ancho	0.46 m 1.51 ft
	Altura	0.46 m 1.51 ft
	Máx. potencia continua	680 hp
Rendimiento	Máx. potencia de despegue	680 hp
	Relación de compresión	7.0 a 1
	Relación de reducción	15 a 1

### **Sistema de navegación**

#### ***Descripción***

La ciencia que consiste en desplazar aeronaves, buques o naves espaciales de un lugar a otro se conoce como navegación, y se refiere en particular al proceso de determinar la posición, el rumbo y la distancia recorrida por un objeto. La navegación aérea se define como

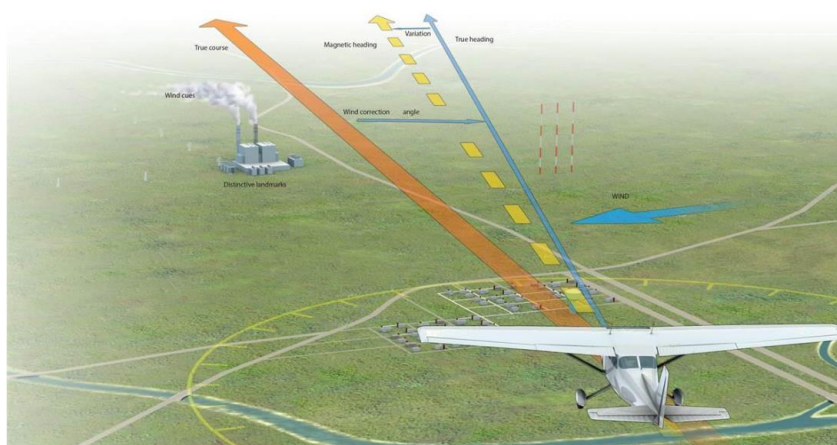
"el proceso de determinar la posición geográfica y mantener la dirección deseada de una aeronave respecto a la superficie terrestre" (Alcubilla, 2013).

La navegación a estima (Dead Reckoning), la navegación visual y la navegación electrónica son los tres tipos diferentes de navegación. Para que los pilotos puedan desplazarse con seguridad de un lugar a otro, planificar su ruta y establecer su posición, los sistemas de navegación de las aeronaves son esenciales. La mayoría de los aviones modernos utilizan sistemas de navegación convencionales y de última generación.

### ***Navegación a estima (Dead Reckoning)***

La navegación a estima también conocido como "vuelo por instrumentos", se basa en la navegación visual y electrónica. En esencia, la navegación consiste en seguir la trayectoria de una aeronave a lo largo del tiempo. Según la información proporcionada por (FAA, 2018) posición, rumbo, tiempo y velocidad son los cuatro elementos que componen el vuelo por instrumentos.

La localización precisa de una aeronave en la superficie terrestre viene definida por su posición, que es un conjunto de coordenadas. La medición del rumbo a partir de una referencia establece la trayectoria de vuelo precisa desde un punto de partida predeterminado. La distancia recorrida (o por recorrer) se calcula multiplicando la velocidad por el tiempo. Estos cuatro elementos se combinan para permitir a la tripulación localizar el avión en cualquier momento o predecir su posición en el futuro.

**Figura 3*****Navegación Dead Reckoning***

A los pilotos les puede resultar útil saber cómo utilizar la navegación a estima, sobre todo en situaciones en las que otras ayudas a la navegación, como la radionavegación o el GPS, pueden no funcionar o ser poco fiables. Sin embargo, no está exenta de restricciones, ya que las imprecisiones pueden acumularse con el tiempo como consecuencia del viento, las variaciones de la velocidad aerodinámica y un cronometraje inexacto.

***Navegación Visual***

La navegación visual ayuda a la Navegación de vuelo por instrumentos determinando la posición actual o proporcionando la dirección hacia un destino utilizando referencias terrestres. Para misiones de helicópteros y aeronaves tácticas a alta velocidad y baja altitud, la navegación visual es la más utilizada. Su desventaja obvia es que requiere una visibilidad adecuada y señales visuales. Según menciona (Navarro, 2019) la navegación visual no es un método autónomo de navegación. Existe el riesgo de malinterpretar la referencia terrestre sin una RD y perderse. Mantener contacto visual directo con la superficie terrestre es necesario para la navegación visual.

***Navegación Electrónica***

Para determinar la posición cuando se utiliza la navegación electrónica, hay que utilizar dispositivos digitales/electrónicos. Éstos pueden dividirse en tres categorías principales. La

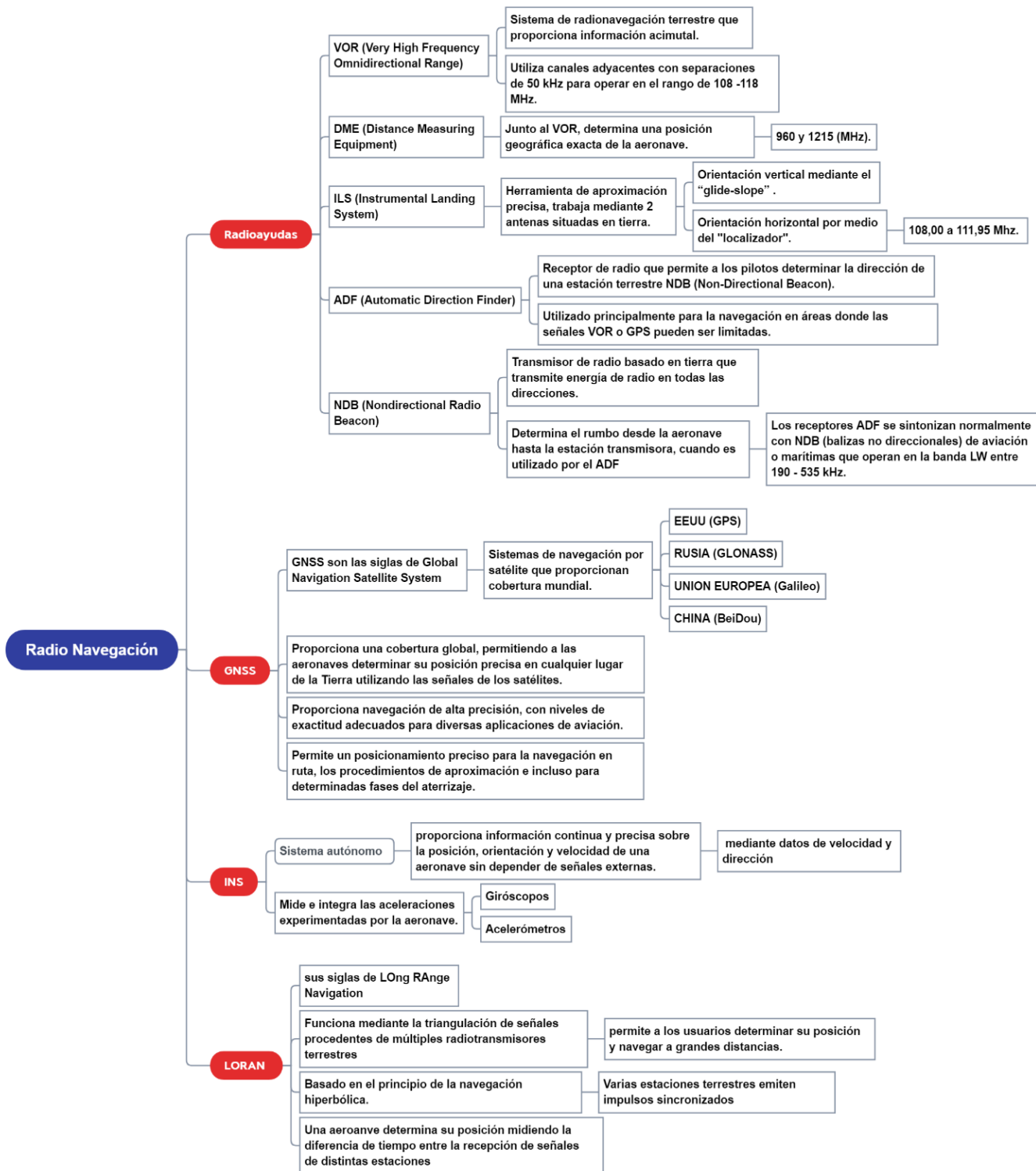
primera categoría recibe las señales electrónicas de las estaciones terrestres (VOR, ADF, VORTAC y VOR/DME). El segundo grupo de aparatos electrónicos (RADAR, DOPPLER) transmite sus propias señales. El piloto debe introducir la posición de despegue (INS o SISTEMA INTERNACIONAL DE NAVEGACIÓN) para el último grupo de mandos, que es autónomo. El INS es un ordenador de vuelo por instrumentos de alta velocidad que realiza tareas similares a las del piloto, pero con mayor rapidez y precisión. El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es el miembro más reciente de la familia de sistemas electrónicos de navegación según (NAVAL AVIATION SCHOOLS COMMAND, 2017), puesto que los satélites en órbita suministran datos a este sistema.

#### **Figura 4**

*Panel de instrumentos de la aeronave DHC-6 Twin Otter*



**Figura 5**  
Sistema de Radionavegación






### ***Elementos de un sistema de navegación***

Los instrumentos neumáticos, también conocidos como instrumentos de medición del aire, fueron necesarios para indicar el rumbo, la altitud o la velocidad desde los primeros tiempos de la aviación, ya que utilizaban la información de la presión dinámica proporcionada por los tubos de Pitot. Aunque el uso de la electricidad en los sistemas de navegación supuso un gran avance, la navegación aeronáutica empezó a despegar realmente en los aviones con el uso de ondas o señales de radio. Los VOR, ILS, ADF y otros tipos de navegación terrestre pronto dieron paso a la navegación inercial y a los modernos sistemas de navegación por satélite. De esta manera la tripulación puede completar el vuelo dentro de los márgenes de seguridad prescritos gracias a los datos de referencia proporcionados por los sistemas de navegación de la aeronave.

**Tabla 3**

*Descripción de instrumentos de vuelo*

Instrumento	Descripción	Figura
Velocímetro	Instrumento que muestra la velocidad indicada, mediante el cálculo de diferencia entre la presión estática del aire y la presión dinámica. (Gutierrez, 2013)	
Horizonte Artificial	Instrumento que indica la posición de la aeronave con referencia al horizonte.	

Instrumento	Descripción	Figura
Altímetro	Instrumento que mide la altitud de la aeronave sobre un plano de referencia.	
Giro direccional	Instrumento que muestra al piloto una referencia de la dirección en que vuela la aeronave.	
Indicador de viraje	Instrumento que muestra el giro de la aeronave y la velocidad angular o ratio del viraje.	
Variometro	Indicador de velocidad vertical que indica al piloto el ascenso y descenso de la aeronave en pies por min.	

## ***Instrumentos del sistema de navegación.***

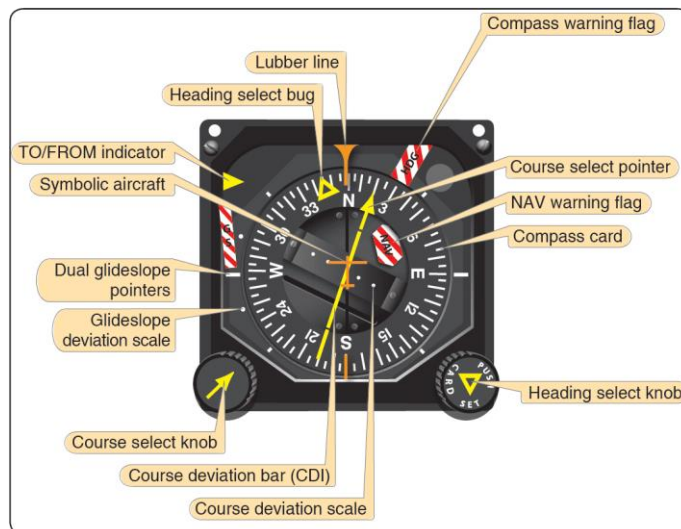
### ***Horizontal Situation Indicator - HSI***

Según (Gato Gutiérrez, 2013) el indicador de situación horizontal (HSI) es un instrumento de navegación integrado, que combina la información suministrada por el indicador de rumbo con la información de radionavegación (VOR/ILS). Y está diseñado para mostrar la siguiente información de navegación Rumbo, Demora, Distancia, Desviación de Rumbo y DESTINO.

El HSI es un indicador de dirección que acciona la tarjeta brújula (compass card) utilizando la salida de la válvula de flujo. El instrumento está compuesto por una senda de planeo, señales de navegación y una brújula magnética. El HSI indica al piloto la posición de la aeronave con respecto al rumbo o radial elegido.

### **Figura 6**

*Instrumento Indicador de situación horizontal - HSI*



De forma similar a como el movimiento angular de una aguja VOR/LOC tradicional muestra la desviación del rumbo, la barra de desviación del rumbo (course deviation bar) funciona con un receptor de navegación VOR/Localizador (VOR/LOC) o GPS para indicar las



desviaciones a izquierda o derecha del rumbo seleccionado utilizando el puntero de selección de rumbo (course select pointer).

### ***Radio Magnetic Indicator – RMI***

El Indicador Radio magnético, combina la información de los instrumentos de radionavegación con la información de rumbo magnético o giróscopo direccional. El RMI tiene dos agujas, que pueden indicar tanto información ADF como VOR.

Hay dos pequeños botones en la parte inferior del instrumento, los cuales permiten al piloto seleccionar entre VOR o ADF para ser mostrados por las agujas. Las agujas indicadoras indican exactamente la misma información ya sea determinada desde el VOR o el ADF y apuntarán constantemente hacia la estación sintonizada.

### **Figura 7**

*Instrumento Indicador Radiomagnético - RMI*



### ***Instrumentos de navegación de reserva (STANDBY)***

Los datos obtenidos de los puertos Pitot y las presiones estáticas de las tomas de aire estáticas del fuselaje son traducidos por sensores y enviados a ordenadores, que tienen que utilizar y codificar estas señales para mostrarlas en las pantallas de la cabina. En la generación actual de aviones, las pantallas son generadas por los ordenadores siguiendo los datos recogidos por los sensores o transmisores correspondientes, aunque sean eléctricos y electrónicos. Sin embargo, los instrumentos diseñados para situaciones de emergencia no utilizan estos datos según menciona (Gato Gutiérrez, 2013).

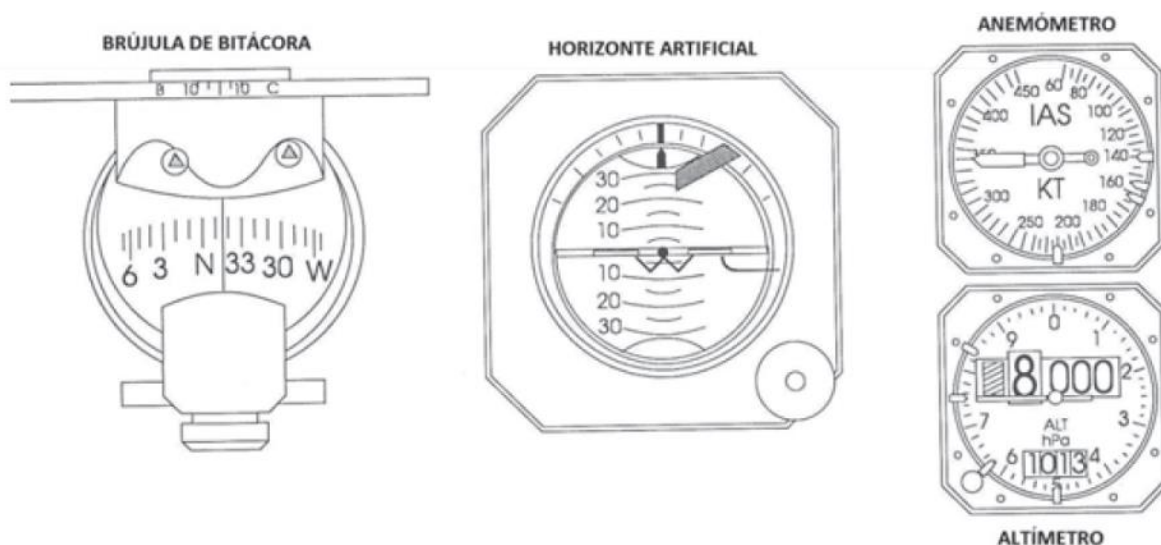
Este grupo de instrumentos de navegación de reserva tienen por objeto confirmar de forma fiable que todos los instrumentos funcionan correctamente y que no hay incoherencias en los datos, así como en situaciones en l

qqqqas que la fiabilidad de los instrumentos electrónicos debido a su deterioro o a la pérdida total de energía produce información ambigua, incompleta o inexistente.

Por ejemplo, el indicador de altitud de reserva y un indicador de altímetro/velocidad de vuelo de reserva están situados entre las pantallas EICAS en el panel de instrumentos central. Una brújula de reserva está situada debajo del centro del panel de instrumentos superior. Un reloj está instalado tanto en el panel lateral del piloto como en el del copiloto.

**Figura 8**

*Instrumentos de navegación de reserva (Standby)*



### **Horizonte artificial de emergencia**

El horizonte artificial de reserva (Standby Artificial Horizon) es un indicador giroscópico de altitud preciso de navegación que indica al piloto el cabeceo y balanceo de la aeronave en relación con el horizonte terrestre. Es un instrumento de emergencia funciona con 28 VDC durante al menos nueve minutos después de un fallo de alimentación, que sólo se utiliza si el horizonte de la pantalla principal de vuelo (PFD) deja de funcionar. La tripulación de vuelo puede reajustar el giróscopo para nivelar y centrar el horizonte pulsando un botón de bloqueo.

### **Anemómetro de reserva**

Conocido también como indicador de velocidad aerodinámica o velocidad horizontal (airspeed indicator), tiene como vital función precisar la velocidad del avión en el aire, basada en la diferencia entre la presión del aire ambiente (estática) y la presión de aire dinámica.

El sistema de tubo de Pitot estático acoplado al instrumento de vuelo detecta la diferencia entre la presión atmosférica en la toma estática y la presión dinámica en el tubo de Pitot para generar una lectura de velocidad. Según menciona (Frederich, 2012) La presión en los dos sistemas es idéntica cuando el avión está en tierra, por lo que la lectura es cero. En

cambio, la presión dinámica en el sistema de Pitot aumenta a medida que la aeronave se desplaza por el aire, por lo que se puede obtener una lectura diferente.

A consecuencia de este efecto entre presiones, el diafragma del instrumento se mueve para acomodar el aumento de presión. Un brazo en el diafragma transfiere este movimiento a un conjunto de engranajes que controla la aguja ASI. La aguja se mueve en sentido horario a través de la cara del instrumento, que está calibrado en nudos, millas por hora, o el número de Mach.

### ***Altímetro de reserva***

El Altímetro de Reserva consiste en un barómetro aneroide, con la escala de altitud graduada en pies, y la escala de ajuste barométrico graduada en pulgadas de mercurio o hectopascales. Similar a un reloj, indica la altitud de un avión sobre el nivel del mar midiendo la presión ambiental. (Navarro, 2019)

La esfera de un altímetro típico está graduada con números dispuestos en el sentido de las agujas del reloj de 0 a 9.

Un cambio en la presión atmosférica se transmite a través de un tren de engranajes a las tres manecillas que barren la esfera calibrada para indicar la altitud.

- La aguja más corta indica la altitud en decenas de miles de pies
- La aguja intermedia en miles de pies
- La manecilla más larga en cientos de pies, subdividida en incrementos de 20 pies

### ***Brújula magnética (Magnetic Compass)***

Desde hace cientos de años, el hombre utiliza la brújula magnética para orientarse durante la navegación. El principio de la brújula magnética actual no difiere en nada del de la brújula utilizada por los antiguos. Es un instrumento utilizado para determinar la orientación (rumbo) en relación con el norte magnético de la Tierra.

Según menciona (FAA HANDBOOK, 2018) la brújula magnética es uno de los instrumentos más básicos y tradicionales para determinar la dirección. Además, en el Título 14

del Código de Reglamentos Federales (14 CFR), Parte 91, figura como uno de los instrumentos fundamentales necesarios para el vuelo VFR e IFR.

En aviación se emplea este dispositivo básico que utiliza el campo magnético de la tierra como reserva del sistema principal, en caso de pérdida total de la alimentación eléctrica de la aeronave y en los casos en que el rumbo proporcionado por los sistemas principales no es coherente.

### **Figura 9**

*Brújula Magnética de reserva (Standby Magnetic Compass)*



El rumbo magnético se indica leyendo una tarjeta horizontal graduado (compass card) contra una línea de fé (lubber line) que representa el eje longitudinal de la aeronave. Una vez a bordo, puede calibrarse mediante tornillos de ajuste de compensación (compensating screws) situados en la parte delantera.

### **Construcción**

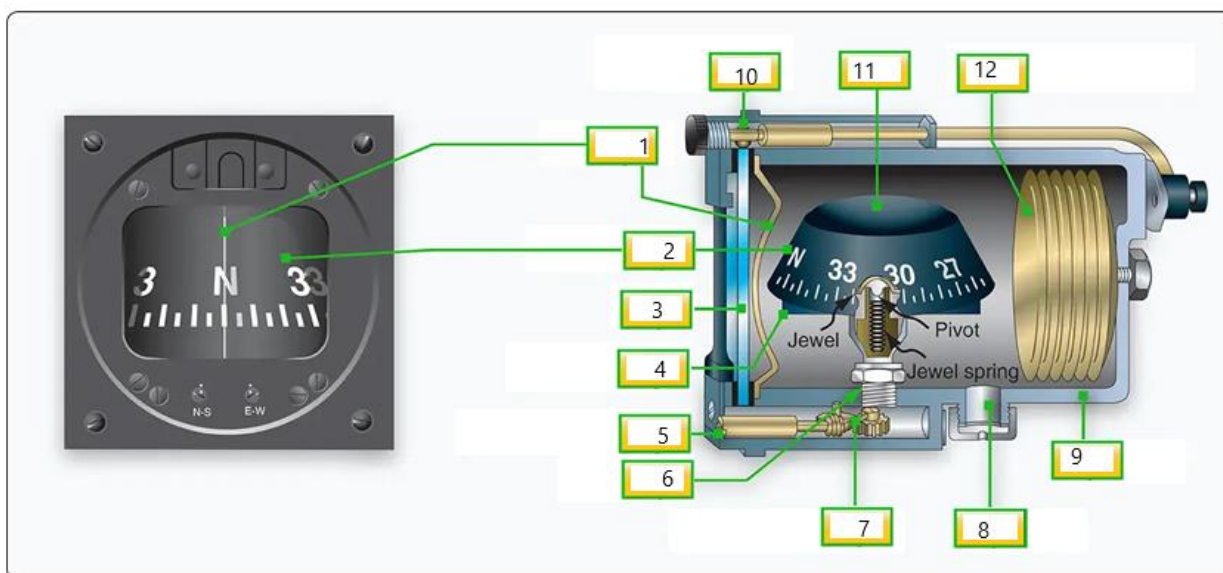
La brújula de reserva alojado en una caja hermética se denomina a veces brújula "húmeda" porque está llena de un líquido que amortigua el movimiento de la aguja. El líquido amortiguador de la brújula llena el cuerpo de la brújula hasta el borde. En algunas brújulas, un diafragma de fuelle (Bellows expansion unit) sella la parte posterior de la carcasa de la brújula

para evitar daños o fugas causados por la expansión y contracción del fluido en respuesta a las variaciones de temperatura.

Según manifiesta (Navarro, Manual de vuelo, 2019) este equipo de orientación es inestable durante las maniobras, pero tiene la ventaja de ser fiable e independiente del sistema eléctrico del avión.

**Figura 10**

*Elementos de la Brújula Magnética*



**Tabla 4**

*Lista de los elementos de la Brújula Magnética*

N°	Nombre	Traducción
1	Lubber line	Línea de fé
2	Compass card	Tarjeta de la brújula
3	Lens	Lente
4	Sensing magnet	Barra magnética
5	Compensating screws	Tornillo de ajuste
6	Jewel post	Soporte de la joya

<b>N°</b>	<b>Nombre</b>	<b>Traducción</b>
7	Compensating magnet	Imán de compensación
8	Filler hole	Orificio de drenaje
9	Outer case	Carcasa exterior
10	Instrument lamp	Lámpara de instrumento
11	Float	Flotador
12	Bellows expansion unit	Unidad de expansión del fuelle

El compás magnético de una aeronave consta de dos pequeños imanes (sensing magnet) incorporados a un flotador metálico (float), el cual está sellado en una carcasa (outer case) llena de un líquido transparente (queroseno). Además, contiene una escala graduada, llamada tarjeta de la brújula (compass card), la cual rodea al conjunto flotador y se observa a través de una ventana de cristal atravesada por una línea de fé (Lubber line).

La tarjeta de la brújula está marcada con letras que representan los puntos cardinales, Norte, Este, Sur y Oeste, y un número por cada 30° entre estas letras. Las letras y números están separados por marcas de graduación largas y cortas, representando cada marca larga 10° y cada marca corta 5°.

El pivote (pivot), situado en el centro del conjunto de flotador y carta, se mantiene en su sitio gracias a una copa especial de cristal duro (cup), accionada por un resorte (jewel spring). La mayor parte del peso del pivote se elimina por la acción del flotador, y el líquido reduce la oscilación del flotador y la carta. Hasta un ángulo de inclinación de unos 18°, el flotador puede girar e inclinarse libremente gracias a la instalación de la joya y el pivote. Las lecturas de la brújula se vuelven incoherentes e imprevisibles a medida que aumenta el ángulo de inclinación.

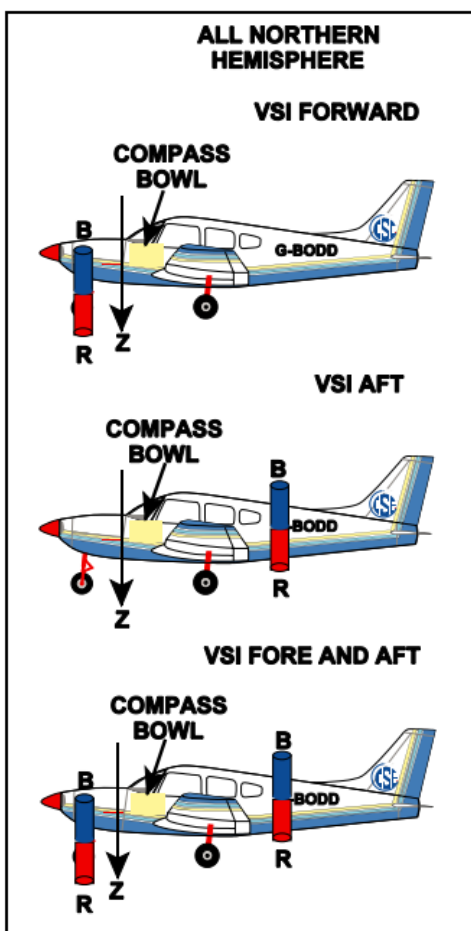
### Magnetismo de hierro dulce.

La estructura de la aeronave induce el magnetismo de hierro dulce (VSI) por medio de los campos circundantes de la tierra, la cual se compone de una integrante vertical (Z) y una horizontal (H).

Dado que los imanes de la brújula intentan seguir las líneas de flujo de la Tierra, la componente Z aumenta con la latitud; por tanto, el magnetismo VSI debe variar igualmente con la latitud. Sin embargo, no se induce magnetismo VSI en el ecuador, ya que Z es cero allí, donde la componente horizontal H es mayor.

### Figura 11

*Efecto magnético en base a la ubicación de la brújula.*





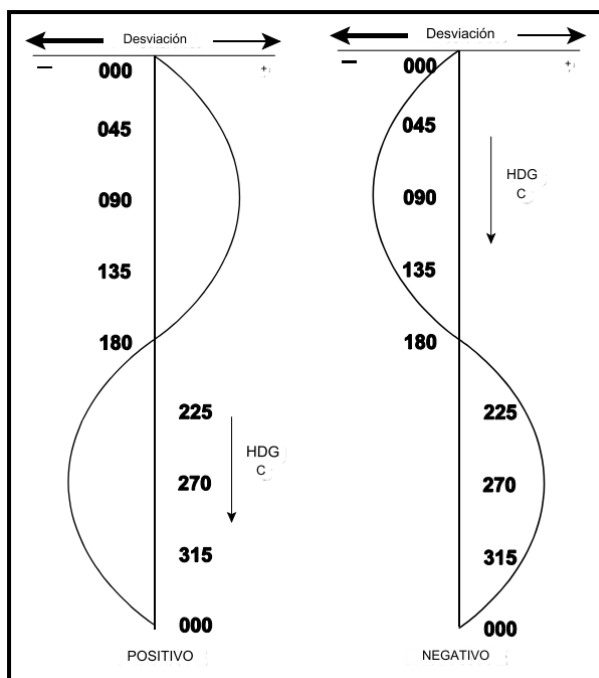
La figura 11 muestra que el posicionamiento puede variar, hasta el ejemplo de que la brújula parece estar bajo la influencia de dos imanes hipotéticos. Sin embargo, el efecto se mitiga fácilmente gracias a la oscilación de la brújula (compass swing), que puede adaptarse a cualquier posicionamiento siempre que se guíe a las directrices fundamentales.

De tal manera que el polo azul cuando se encuentra en el morro o delante de la brújula, hacia el norte, el polo azul aislado se encuentra en la misma dirección horizontal que el polo azul de la Tierra, por lo que la aguja no se desvía. La fuerza direccional o alineación del campo terrestre se ve reforzada por el polo azul, efectivamente están tirando juntos. La desviación comienza a producirse cuando la aeronave se desplaza hacia la derecha a  $045^{\circ}$ . La tabla muestra que esta desviación alcanza su máximo a  $090^{\circ}$  y luego empieza a disminuir a medida que nos acercamos a  $180^{\circ}$ .

Los efectos del polo azul en el morro sobre los rumbos restantes, de  $180^{\circ}$  a  $360^{\circ}$  tiene desviación máxima hacia el oeste de  $270^{\circ}$  porque el extremo rojo de la aguja de la brújula se sitúa al oeste del norte magnético.

**Figura 12**

*Análisis frecuencial de la oscilación del compás magnético*



Una curva sinusoidal positiva resultaría de trazar las desviaciones provocadas por el polo azul de la nariz contra la dirección de la brújula. Si el polo azul hubiera estado detrás de la brújula, se habría producido una curva sinusoidal negativa.

Rumbo de C (°)	Desviación	Fuerza Directiva
000	Cero	Máximo
045	Este + algunos	Más que la tierra
090	Este + máx	Aprox. Tierra
135	Este + algunos	Menos que la tierra
180	Cero	Mínimo
225	Oeste – algunos	Menos que la tierra
270	Oeste - máx	Aprox. Tierra
315	Oeste – algunos	Más que la tierra

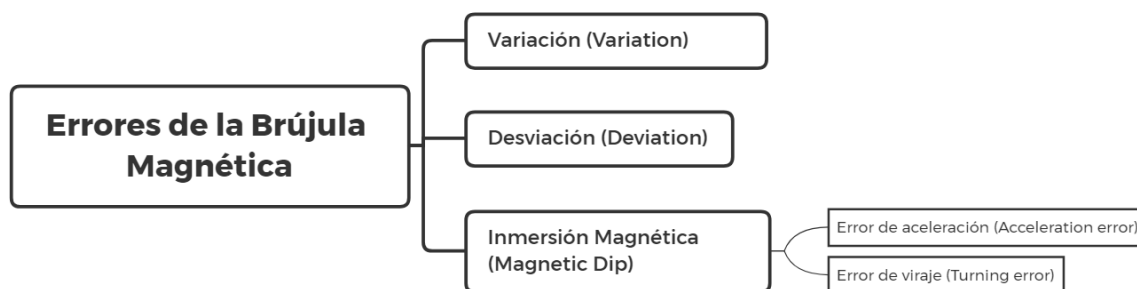
Rumbo de C (°)	Desviación	Fuerza Directiva
000	Cero	Máximo

### Errores inducidos por la brújula magnética

El compás magnético se basa en la existencia de un campo magnético, convirtiéndose en un sistema de navegación de emergencia imprescindible en la aeronavegabilidad de la aeronave al funcionar sin ayuda de una fuente de energía. Sin embargo, por más que la brújula magnética sea el dispositivo más básico del panel, está sujeta a una serie de errores producidos por diferentes causas relacionadas a la existencia de campo magnético alrededor del instrumento.

### Figura 13

*Errores inmersos en un compás magnético*



### **Variación Magnética**

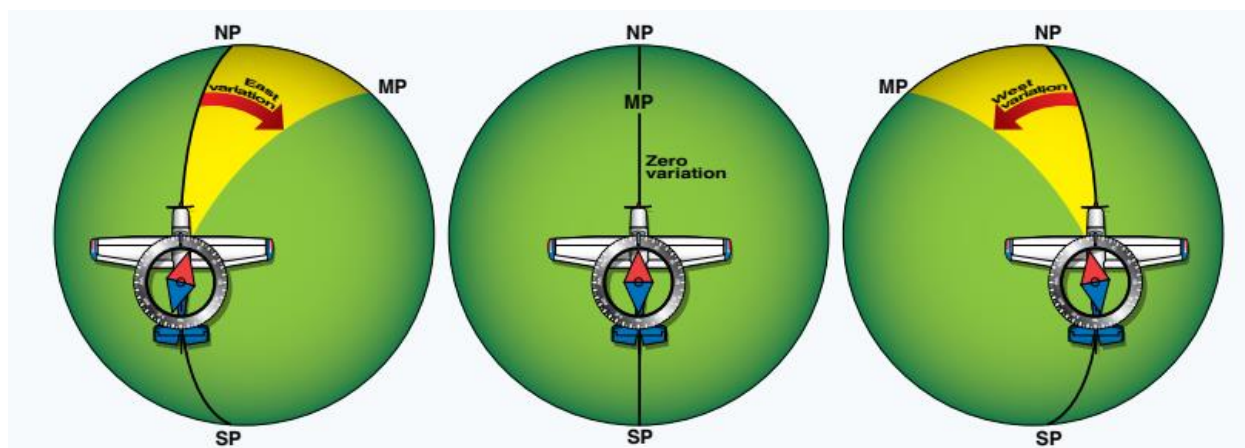
La Tierra podría referenciarse como un enorme imán rodeado de líneas de flujo magnético que conectan sus dos polos magnéticos, la gran diferencia es que al estar cerca no coinciden con los polos geográficos (FAA, 2018). Los rumbos medidos desde los polos geográficos se designan como Direcciones Verdaderas o Norte Verdadero. Por otro lado, las direcciones tomadas desde los polos magnéticos se nombran Direcciones Magnéticas o Norte

Magnético. De tal manera que la aguja de brújula alineada con el campo magnético de la Tierra indica el norte magnético en lugar del norte verdadero.

A consecuencia de la diferencia entre las direcciones verdaderas y direcciones magnéticas se forma un ángulo denominado Variación o también conocido como declinación. Cuando el Norte Magnético está al este del Norte Verdadero, la declinación es Este (E), y cuando el Norte Magnético está al oeste del Norte Verdadero, es Oeste (O) según menciona (Navarro, Manual de vuelo, 2019). Existe variación de grado cero (Zero variation) en la línea agónica donde coinciden el Norte Magnético y Norte Verdadero.

### Figura 14

*Efectos de la variación*



Es importante considerar la variación apropiada para la ubicación geográfica del vuelo y sumar o restar según corresponda, ya que tiene diferentes valores en diferentes lugares de la Tierra los cuales también pueden encontrarse en las cartas de navegación VFR e IFR.

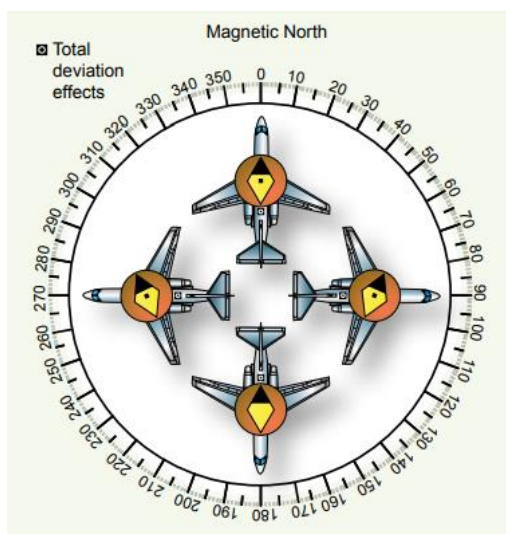
### ***Desviación del Compás***

El imán de una brújula tiene la particularidad de atraerse con cualquier campo magnético, de tal manera que la brújula magnética (Magnetic compass) montada en una aeronave no sólo se ve afectada por el campo magnético de la Tierra, sino también por

cualquier campo magnético creado por la propia aeronave u objeto que la rodea. Incluyendo magnetismo permanente e inducido en cualquier componente de hierro y acero de la estructura de la aeronave, además de campos producidos por circuitos eléctricos de Corriente Continua o componentes cercanos (FAA, 2018). Estos campos magnéticos crean un error de brújula Desviación (Deviation), que generalmente ocasiona que la aguja de la brújula se desvíe a menudo de su lectura normal.

### Figura 15

*Efecto de desviación con respecto al rumbo.*



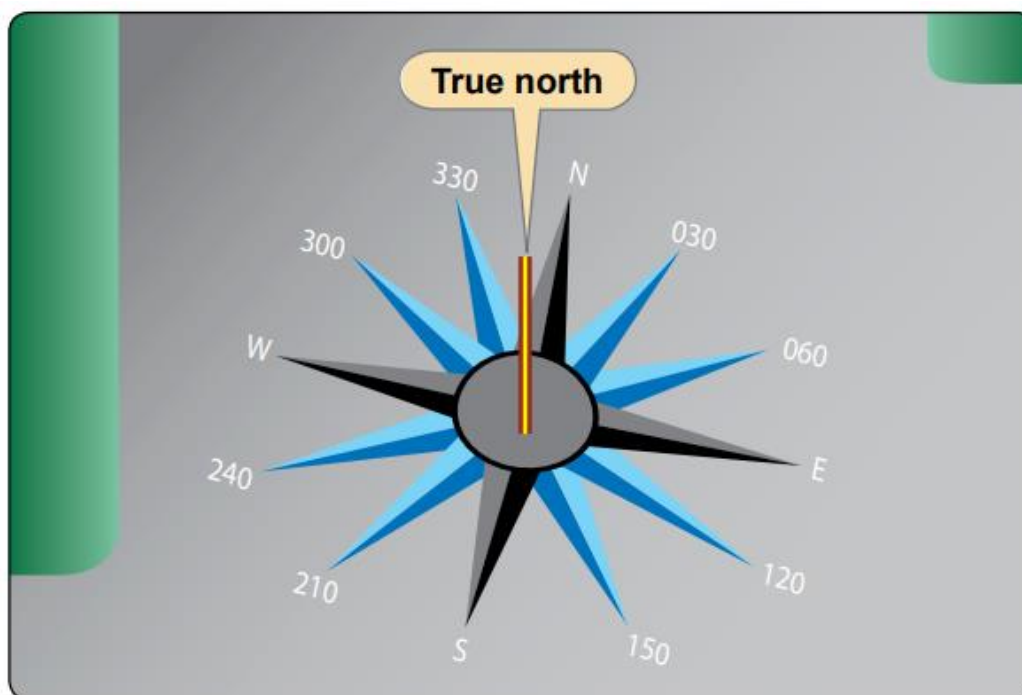
Según (Williams, 2001) define a la desviación como la diferencia angular entre el meridiano magnético y la dirección que toma la aguja de la brújula. Dependiendo de si el extremo norte de la aguja de la brújula está al este o al oeste del meridiano magnético, la desviación se denomina este u oeste.

Un AMT puede sugerir formas de reducir el error de desviación realizando el procedimiento de reparación conocido como Balanceo de la brújula (Compass Swing). Acorde a (FAA, 2018) el procedimiento consiste en que, un AMT sitúa el avión en una rosa de los vientos, posteriormente con una tarjeta de desviación (compass deviation card), se coloca cerca de la brújula mostrando la suma o resta requerida para corregir la desviación en varios

rumbos, comúnmente a intervalos de 30°. El rumbo magnético, una vez corregida la desviación, se conoce como rumbo de la brújula (compass heading).

**Figura 16**

*Rosa de vientos*



**Tabla 5**

*Carta de corrección de la brújula magnética*

COMPASS CARD						
	<b>N</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>E</b>	<b>120</b>	<b>150</b>
For Steer	0	28	57	86	117	148
Magnetic	<b>S</b>	<b>210</b>	<b>240</b>	<b>W</b>	<b>300</b>	<b>330</b>
(Compass)	180	212	243	274	303	332

Es fundamental que los operadores de aeronaves y el personal de mantenimiento comprueben y ajusten periódicamente la brújula magnética para garantizar que las desviaciones se encuentren dentro de los límites aceptables.

### ***Inmersión Magnética (Magnetic dip)***

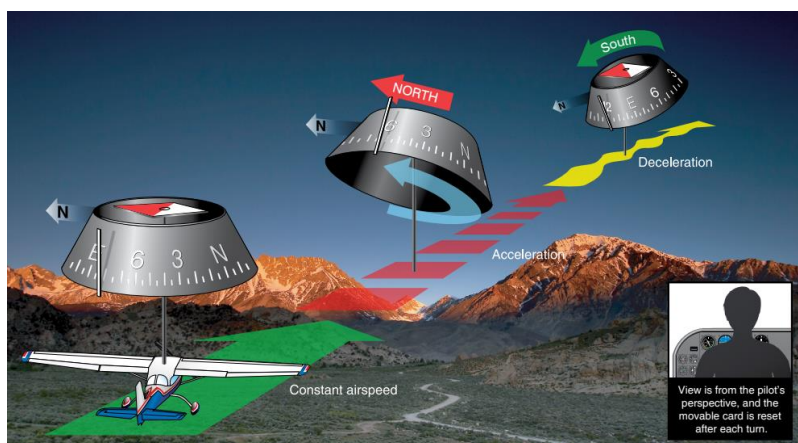
Este tipo de errores magnéticos se presentan durante vuelo ocasionado por el movimiento de la aeronave durante los giros o los cambios de velocidad. A causa de la influencia del magnetismo terrestre, se originan líneas de flujo que son paralelas a su superficie sólo en el Ecuador Magnético, pero a medida que el avión se distancia del Ecuador Magnético en dirección a los polos magnéticos, se origina un ángulo denominado ángulo de inclinación. El ángulo de inclinación según (FAA HANDBOOK, 2018) aumenta en dirección descendente conforme la aeronave se acerque al Polo Norte Magnético y aumenta en dirección ascendente a medida que nos acercamos al Polo Sur Magnético.

### **Error de Aceleración**

La brújula siempre está ligeramente inclinada con respecto a la tierra porque el imán está suspendido debajo de un punto de giro (pivot point). El centro de gravedad del imán no se encuentra directamente debajo del punto de giro y, cuando el avión acelera o desacelera, el centro de gravedad se retrasa y hace girar la brújula. Según (Navarro, Manual de vuelo, 2019) este fallo es evidente en los rumbos Este y Oeste, de tal modo que en los rumbos Norte y Sur no existiría tal error.

## Figura 17

### Efectos del error de aceleración



### Error de viraje

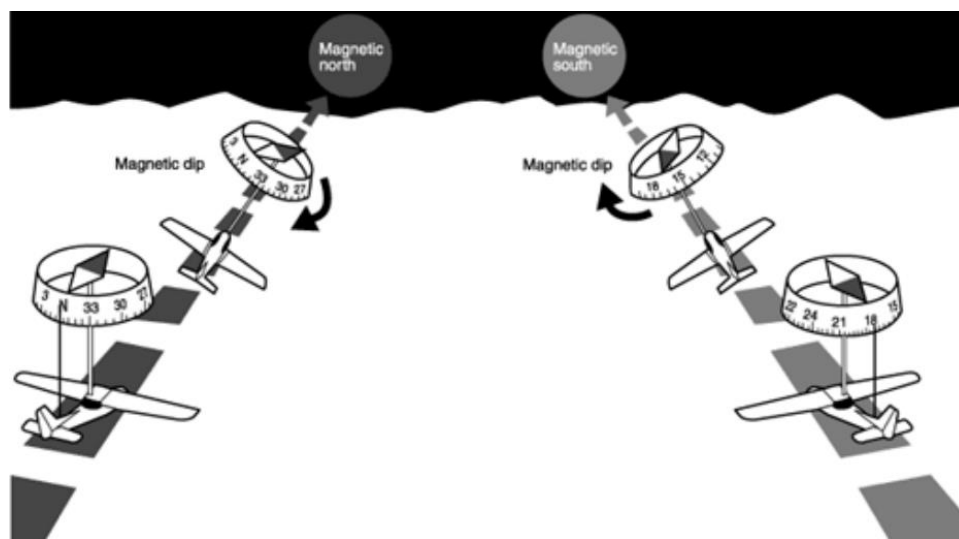
Este tipo de error magnético es contrario al anterior se producen errores de viraje en los rumbos Norte con un máx de ( $0^\circ$ ) y Sur de ( $180^\circ$ ) tanto de retraso como adelanto, pero en los rumbos Este y Oeste son nulos.

A consecuencia, durante un viraje equilibrado, la barra magnética permanece alineada con el avión y, por tanto, aumenta su ángulo con el horizonte. Para compensar esto, al virar hacia el norte el piloto debe continuar el giro más allá del rumbo indicado, y al virar hacia el sur, detener el giro antes del rumbo deseado de la brújula. De la tal manera refiere (Navarro, Manual de vuelo, 2019) que para obtener a la aeronave en dirección correcta durante un viraje se debe seguir la regla: Norte (NO me paso) Sur (Si me paso).



**Figura 18**

*Errores de giro hacia el norte y hacia el sur*



### **Corrección de error de la brújula magnética**

#### ***Compass swing***

Se conoce como Calibración de la brújula (compass swing) al procedimiento general para delimitar si existe desviación al momento de comparar los datos de lectura del componente a bordo, con el rumbo magnético definido por una brújula de "tierra o referencia" de alta calidad. Esta comparación de las lecturas de los datos magnéticos y de la brújula de la aeronave se lleva a cabo en un área seleccionada específicamente para este propósito.

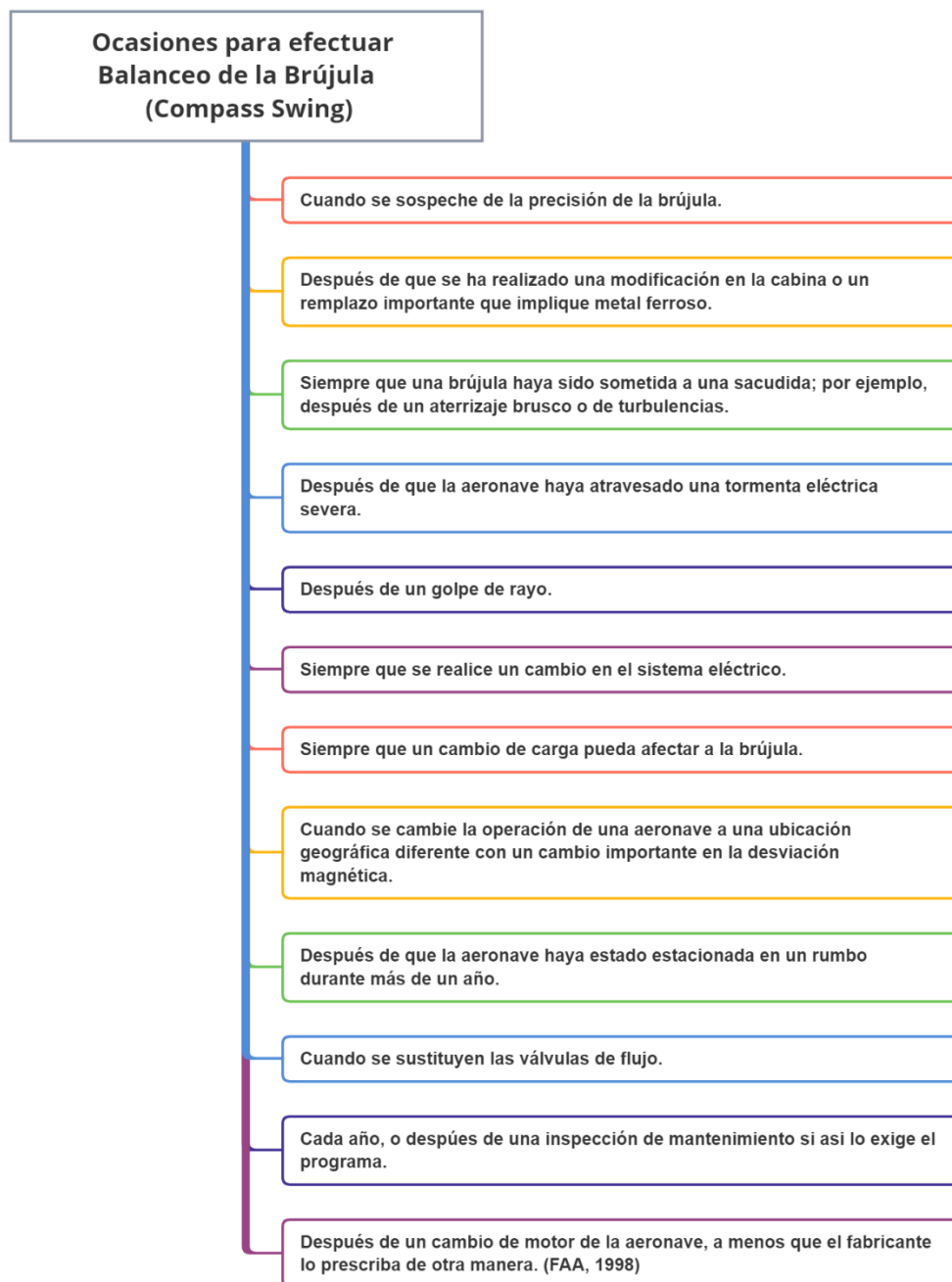
Por lo tanto, la tarea tiene como objetivos principales observar y determinar las desviaciones o diferencias de datos entre el Norte magnético (tomados en una brújula en tierra) y el Norte de la brújula (observada en el avión) en una serie de rumbos. De esta manera corregir y descartar la mayor desviación posible y posteriormente registrar la desviación residual que queda después de ajustar la brújula.

#### ***Ocasiones/Causas para efectuar Compass Swing***

Acorde a la Circular de Asesoramiento AC 43.13-1B, detalla diferentes ocasiones en las que se debe efectuar la calibración de la brújula magnética de una aeronave, las cuales son:

**Figura 19**

*Lista de causas para efectuar calibración del compás magnético.*



### ***Procedimientos de Compass Swing***

Preliminarmente para ejecutar la calibración de la brújula magnética se deben tomar en cuenta ciertas precauciones con respecto al entorno en donde se va a realizar este

procedimiento. Así como, comprobar la precisión de la brújula magnética en una zona libre de construcciones de acero, tuberías o cables subterráneos, o equipos que generen campos magnéticos. Así mismo el personal técnico que va a estar inmerso en la tarea, debe deshacerse de cualquier objeto ferroso o magnético que puedan tener en su poder. Al ajustar la brújula, sólo deben utilizarse instrumentos no magnéticos. Un mínimo de 100 metros debe separar la aeronave de cualquier objeto metálico.

Posteriormente el personal técnico de mantenimiento posiciona la aeronave gradualmente en una serie de trayectorias reconocidas, específicamente en una rosa de vientos, la cual es un conjunto de líneas situadas en la plataforma de un aeropuerto, separadas 30 grados entre sí y orientadas en la dirección del norte magnético. La localización de la rosa de los vientos presenta mínimas interferencias magnéticas. Con la autorización del AMT, el piloto o el AMT pueden rodar hasta la rosa de los vientos y dirigir la aeronave en la dirección indicada por el AMT.

Conforme la aeronave se alinea con respecto a las direcciones cardinales de la rosa de vientos, el “conjunto compensador” ubicada en la parte superior o inferior del instrumento, este consta de dos ejes accesibles desde la parte delantera de la brújula a través de ranuras para destornilladores en sus extremos.

Uno o dos pequeños imanes de compensación giran con cada eje y estos poseen una marcación E-W en el extremo y, dependiendo de la orientación del avión, sus imanes tendrán un impacto en la brújula. En cambio, cuando el avión está orientado al norte o al sur, la brújula se ve influida por los imanes del otro eje, marcado N-S.

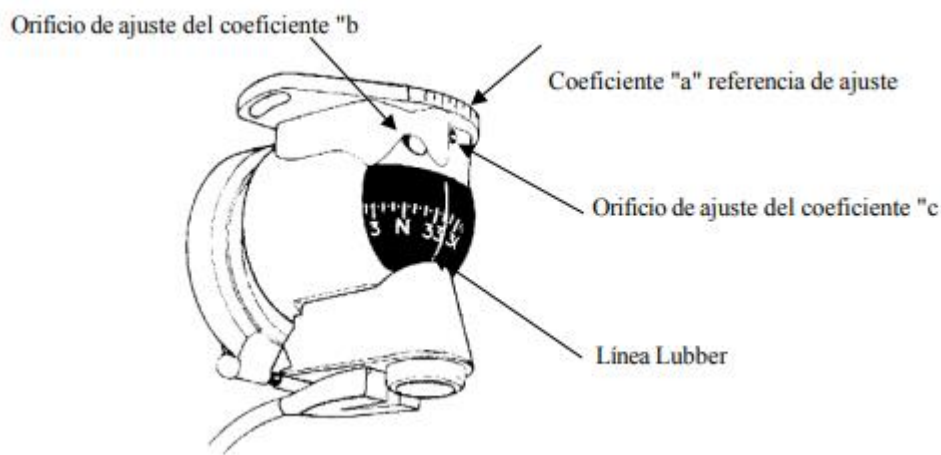
Como consecuencia de este ajuste, los imanes de compensación reducen la discrepancia entre el rumbo magnético de la aeronave y la lectura de la brújula. El error de cálculo restante es registrado por el AMT en una tarjeta de corrección de la brújula, que luego se coloca en un soporte cerca de la brújula.

### **Coeficientes de corrección.**

La brújula magnética de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER, con el P/N KCA0104W, puede corregirse por errores inducidos por la aeronave. Los errores del coeficiente 'a' a menudo se deben a una desalineación de la brújula y se pueden corregir girando todo el cuerpo de la brújula. Los errores de los coeficientes 'b' (este-oeste) y 'C' (norte-sur) se corrigen con el uso de imanes de compensación ubicados en la parte superior del cuerpo de la brújula.

### **Figura 20**

*Elementos de la Brújula magnética P/N KCA0104W*



### **Coeficiente "a"**

La causa de corrección de este coeficiente es un problema mecánico en el desplazamiento de la línea de fé (Lubber Line), para lo cual el manual de mantenimiento del componente ATA 34-23-00 indica realizar el siguiente procedimiento:

- Alinear la aeronave hacia el Norte, registrar el error de la brújula en la Casilla A
- Alinear la aeronave hacia el Sur, registrar el error de la brújula en la Casilla B
- Alinear la aeronave hacia el Este, registrar el error de la brújula en la Casilla C
- Alinear la aeronave hacia el Oeste, registrar el error de la brújula en la Casilla D

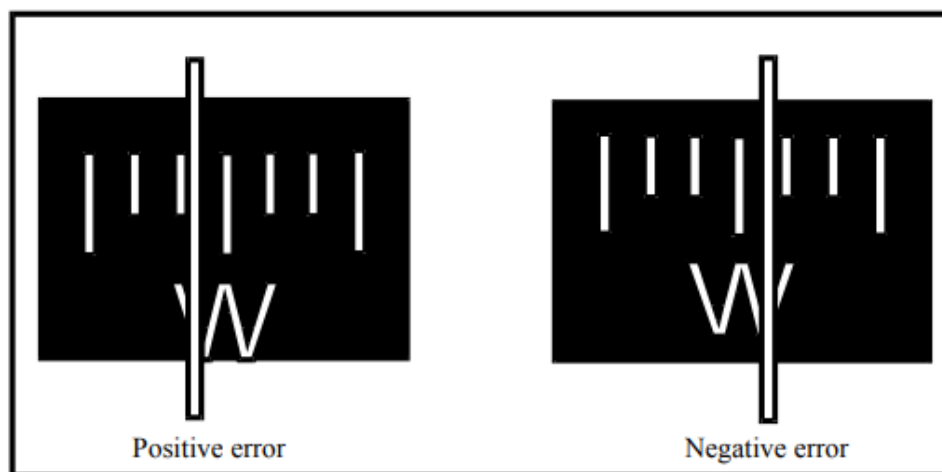
NOTA: Los valores registrados en el instrumento deben ser colocados en una tabla, de modo que los errores a la izquierda del rumbo verdadero deben ir precedidos de un signo positivo (+). Así mismo los errores a la derecha de la lectura verdadera deben ir precedidos de un signo negativo (-).

- Se efectúa una sumatoria con los datos introducidos de las casillas A a D, para registrar en la casilla E el resultado.
- El valor resultante de la casilla E se divide por 4, este resultado se coloca en la casilla F, siendo esta cifra el error ocasionado por la desalineación y se puede corregir de la siguiente forma.

De tal modo que, para corregir el error, primero se procede a aflojar los dos tornillos de fijación, posteriormente se ajusta mediante un giro del cuerpo de la brújula dentro del soporte del montante (mounting). Se gira la brújula hacia izquierda o hacia la derecha, sin apretar con exceso los tornillos. Es posible realizar el ajuste hasta 10 grados.

### Figura 21

*Lecturas de error de la brújula*



### Coeficiente "b"

Para efectuar la corrección del coeficiente "b" se ajusta insertando una llave especial (CE2-40) en el agujero izquierdo localizado en la parte superior delantera de la brújula. De tal

manera que esta llave especial desviará automáticamente la tarjeta de la brújula. La llave girará continuamente sin parar y la tarjeta de la brújula girará respectivamente hacia la izquierda y la derecha de la lectura inicial.

- Alinee la aeronave hacia el Este, gire la llave en cualquier dirección con el propósito de que el punto Este de la tarjeta esté alineado con la línea Lubber.
- Alinee la aeronave hacia el Oeste, gire la llave en cualquier dirección con el propósito de que el punto Oeste de la tarjeta esté alineado con la línea Lubber.
- Si existe un error resultante, entre las dos rúbricas, puede corregirse reajustando para eliminar la MITAD del valor de error. Esto repartirá el error entre las rúbricas opuestas.

#### **Coefficiente “c”**

Para efectuar la corrección del coeficiente “c” es similar al del coeficiente “b”. Se ajusta insertando una llave especial (CE2-40) en el agujero derecho localizado en la parte superior delantera de la brújula. De tal manera que esta llave especial desviará automáticamente la tarjeta de la brújula. La llave girará continuamente sin parar y la tarjeta de la brújula girará respectivamente hacia la izquierda y la derecha de la lectura inicial.

- Alinee la aeronave hacia el Norte, gire la llave en cualquier dirección con el propósito de que el punto Norte de la tarjeta esté alineado con la línea Lubber.
- Alinee la aeronave hacia el Sur, gire la llave en cualquier dirección con el propósito de que el punto Sur de la tarjeta esté alineado con la línea Lubber.
- Si existe un error resultante, entre las dos rúbricas, puede corregirse reajustando para eliminar la MITAD del valor de error. Esto repartirá el error entre las rúbricas opuestas.

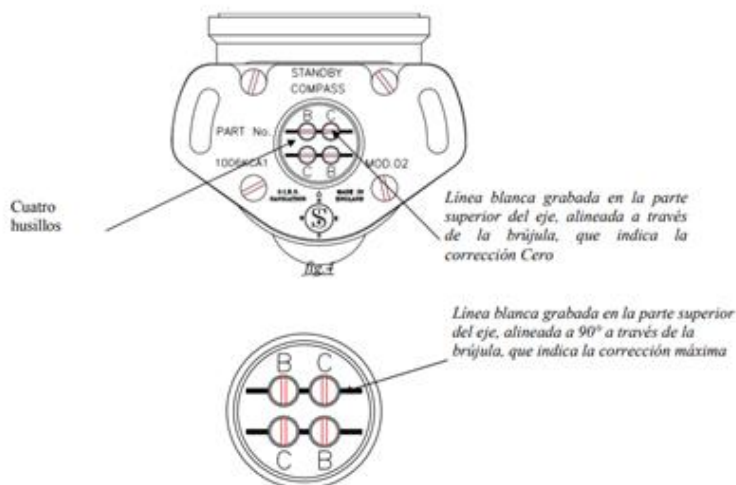
#### **Corrección Cero**

La brújula de reserva la aeronave se suministra con la “corrección cero”. En la parte superior del instrumento se puede observar cuatro ejes con líneas blancas marcadas, los cuales giran automáticamente cuando se acciona la llave de ajuste dentro de los agujeros de

corrección situados en la parte delantera del instrumento. En el momento que las cuatro líneas están paralelas y alineadas a lo largo del cuerpo de la brújula, la corrección magnética aplicada es Cero.

## Figura 22

### Ajuste de corrección cero



## Mantenimiento Aeronáutico

### Programas de mantenimiento aplicable a la aeronave DHC-6 TWIN OTTER

Un programa de mantenimiento es un documento que enumera las acciones y requisitos que deben llevarse a cabo en una aeronave para mantenerla en condiciones de aeronavegabilidad. Los programas y calendarios de mantenimiento proporcionan una lista de trabajos con intervalos especificados en horas de vuelo, ciclos de vuelo o tiempo de calendario. Estos intervalos se determinan utilizando criterios como el tiempo de inactividad, el mantenimiento o la supervisión del estado (Khan, 2022).

Los requisitos de mantenimiento programado para la flota de un operador se enumeran en un documento aprobado denominado Programa de Mantenimiento de Aeronaves. Cada aeronave de una flota determinada está cubierta por el programa de mantenimiento de

aeronaves, que se crea para cada tipo de flota. Un programa de mantenimiento de aeronaves está diseñado para garantizar que se alcanzan los niveles de seguridad y fiabilidad inherentes a los equipos.

Los requisitos de inspección sugeridos por Viking Air Limited para el DHC-6 Twin Otter, Series 1, 100, 200, 300 y 400 están contenidos en el INSPECTION REQUIREMENTS MANUAL y en el programa EMMA. El cumplimiento de estas normas garantiza la aeronavegabilidad y la seguridad operacional de la aeronave durante toda su vida útil.

Para facilitar la utilización eficiente de la aeronave de acuerdo con los requisitos operativos, el operador puede elegir entre dos programas de inspección estándar. Estos programas de inspección contienen los requisitos detallados para la realización de las inspecciones programadas de las aeronaves. La frecuencia con la que se realizan las inspecciones se expresa en horas de vuelo, horas de calendario y ciclos o vuelos, según corresponda.

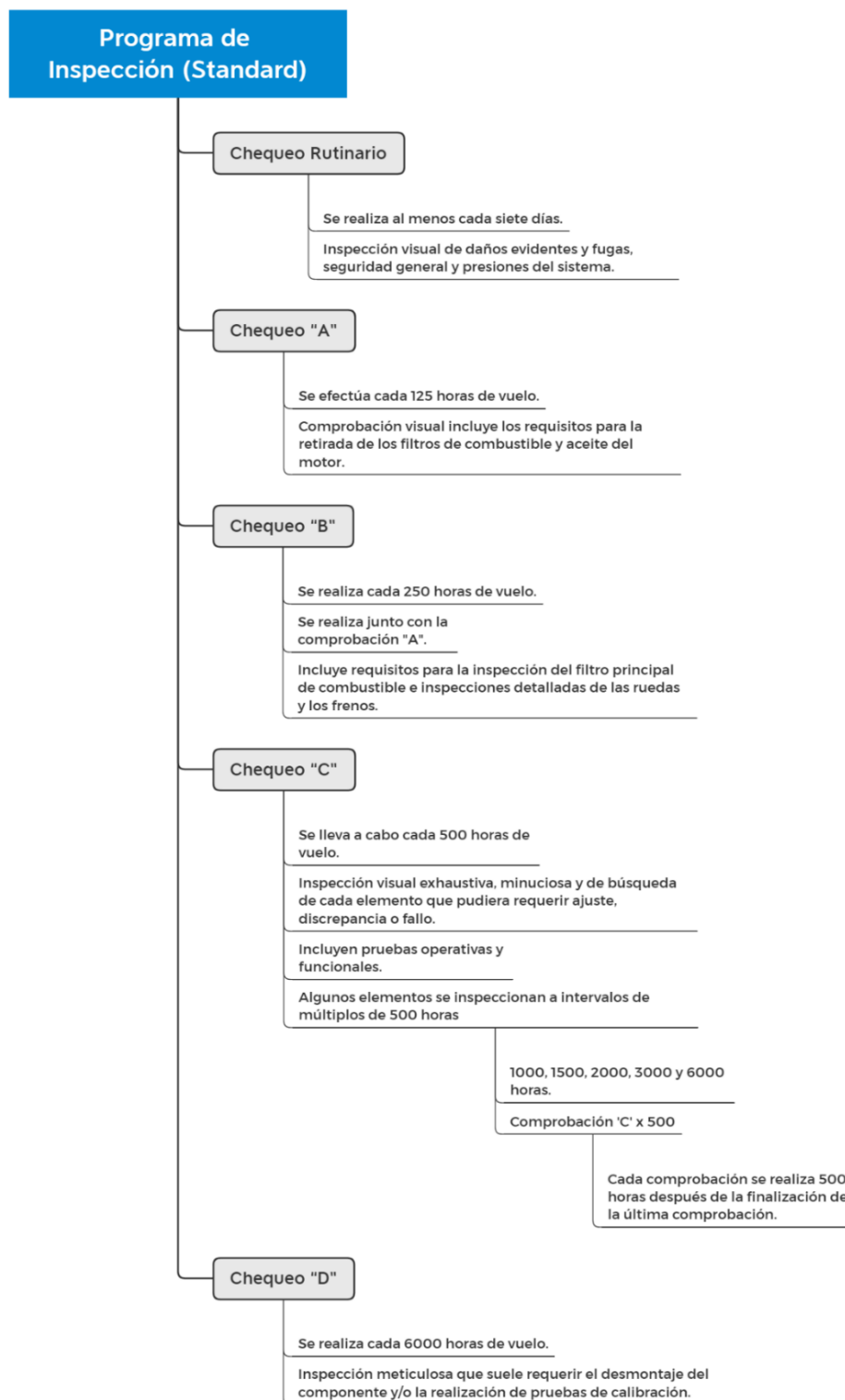
### ***Programa de Inspección (Estándar)***

Este programa de inspección incluye los Requisitos básicos de inspección, los cuales detallan las inspecciones rutinarias y periódicas entre 125 y 6000 horas. La inspección de los componentes en funcionamiento para determinar la capacidad de servicio continuada se realiza a varios intervalos hasta las 6000 horas; la retirada para pruebas en banco o inspección interna es el requisito general. Los tipos de inspecciones, su frecuencia y alcance son los siguientes:



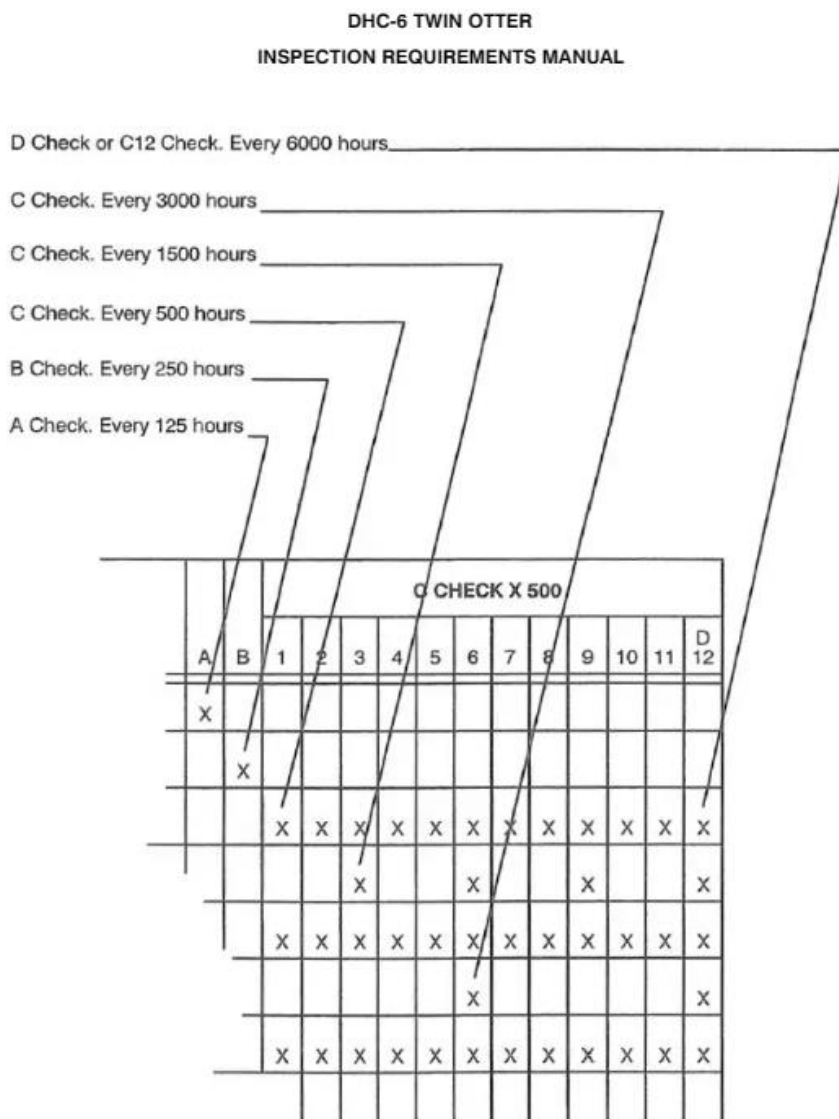
Figura 23

## Programa de Inspección de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER



**Figura 24**

*Documentación técnica del programa de inspección*



Explanation of Basic Inspection Form  
Figure 1

# Inspection Requirements

Figura 25

Programa de Inspección del Sistema de Navegación

SYSTEM AND ITEM	INSPECTION REQUIREMENT	ROUTINE	A	B	C CHECK X 500 HOURS											D or 12		
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
8. (Cont'd)																		
g. Standby Compass	(1) Condition and security. Clean as required. (Card 16-04a)						X		X		X		X		X		X	
	(2) Compass swing. (SP2-L1, Card 16-04b, Cal 16-4)						Every 12 months or in accordance with the local regulatory authority											
h. Air Temperature Gage Pre Mod 6/2049	Condition and security. (Card 23-06)							X			X			X			X	
i. Flux Detector Pre Mod 6/2049	Condition and security; cables and connectors for security, mounting brackets for security. Clean as required. (Card 28-05)							X			X			X			X	
j. Radio Magnetic Indicator Pre Mod 6/2049	Condition and security; cables and connectors for security. (Card 16-03g)						X		X		X		X		X		X	
k. Annunciator Pre Mod 6/2049	Condition; connectors for security. (Card 16-03g)						X		X		X		X		X		X	
l. Radio Altimeter Pre Mod 6/2049	Condition and security of mounting; cables for condition and connector for security. (Card 18-12c)							X			X			X			X	
m. DME Unit	Condition and security of mounting; cables for condition and connector for security. (Card 18-12b)							X			X			X			X	
9. Pitot Heads	(1) Condition and obstruction. (Card RA-EXT-15)		X															
	(2) Operational test. (Power on) (Card RA-DPR-01)		X															
	(3) Security and corrosion. (Card 08-13)						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
10. Static Vents	Condition and obstruction. (Card RA-EXT-15)		X															

DHC-6 TWIN OTTER  
INSPECTION REQUIREMENTS MANUAL

Basic Inspection — 34

Page 6 of 18  
Nov 25/11

## **Documentación Técnica**

### **Regulaciones Técnicas parte 091 y 121 de la DGAC.**

Para operar en territorio ecuatoriano, los proveedores, pilotos y tripulantes de cabina, deben cumplir la normativa de aviación civil (RDAC). La Dirección General de Aviación Civil (DGAC), cuya misión es controlar y proteger las operaciones aéreas y terrestres, respalda estas leyes. De tal manera que las Regulaciones de Aviación Civil tienen un papel crucial relacionado a la regulación del mantenimiento aeronáutico, para garantizar la seguridad, fiabilidad y aeronavegabilidad de las aeronaves civiles o extranjeras en Ecuador. El mantenimiento, el mantenimiento preventivo, los ajustes y las modificaciones se tratan específicamente en la Parte 43 “Mantenimiento” de las RDAC, en ella se describen las condiciones que deben cumplir los proveedores de mantenimiento para garantizar el funcionamiento correcto y seguro de los sistemas de aviación.

En cuanto a la normativa referente a la brújula magnética (Magnetic compass) instrumento empleado dentro del sistema de navegación en aeronaves, tiene vínculo con La parte 091 del RDAC, la cual trata de los procedimientos generales de operación y las reglas de vuelo específicamente en el tema “Reglas de Vuelo Visual (VFR) y Reglas de Vuelo por Instrumentos (IFR)” en el cual define las altitudes mínimas, las normas de tráfico y los requisitos de comunicación, entre otras condiciones y procedimientos para los vuelos VFR e IFR que deben cumplirse en el territorio nacional y dentro de sus fronteras.

Del mismo modo La parte 121 “Requisitos de Operación: operaciones domésticas e internacionales regulares y no regulares” de las regulaciones técnicas complementa de forma detallada los requerimientos mencionados en la parte 091 con respecto a los instrumentos y equipos para operaciones de vuelo en VFR e IFR, resaltando la importancia de los instrumentos de navegación básicos entre los cuales se encuentra la brújula magnética (DGAC, 2023).

## Figura 26

### Requerimientos de navegación acorde RDAC 121

CAPÍTULO H - INSTRUMENTOS Y EQUIPOS: AVIONES		Establece los requisitos de instrumentos y equipos para los aviones de todos los explotadores que operan según esta regulación.
REGULACIONES TÉCNICAS RDAC PARTE 121	121.815 - Requerimientos para todos los vuelos	<p>a) Todos los aviones deben estar equipados con instrumentos de vuelo y de navegación que permitan a la tripulación:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Controlar la trayectoria de vuelo del avión;</li> <li>(2) Realizar cualquiera de las maniobras reglamentarias requeridas; y</li> <li>(3) Observar las limitaciones operacionales del avión en las condiciones operacionales previstas.</li> </ol>
	121.830 - Equipo para operaciones VFR	<p>a) Todos los aviones que operen con sujeción a las VFR según esta regulación deben llevar el siguiente equipo:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Una brújula (compás) magnética(o);</li> <li>(2) Un reloj de precisión que indique la hora en horas, minutos y segundos;</li> <li>(3) Un altímetro barométrico de precisión;</li> <li>(4) Un indicador de velocidad aerodinámica;</li> <li>(5) Un indicador de velocidad vertical (variómetro);</li> <li>(6) Un indicador de viraje y de desplazamiento lateral;</li> <li>(7) Un indicador de actitud de vuelo (horizonte artificial);</li> <li>(8) Un indicador de rumbo (giróscopo direccional);</li> <li>(9) Un dispositivo que indique, en la cabina de la tripulación, la temperatura exterior;</li> </ol>
	121.835 - Equipo para operaciones IFR	<p>a) Todos los aviones que operen con sujeción a las IFR según esta regulación o cuando no puedan mantenerse en la actitud deseada sin referirse a uno o más instrumentos de vuelo, deben estar equipados con:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Una brújula (compás) magnética(o);</li> <li>(2) Un reloj de precisión que indique la hora en horas, minutos y segundos;</li> <li>(3) Dos altímetros barométricos de precisión con contador de tambor y agujas o presentación equivalente, calibrados en hectopascales o milibares, ajustables durante el vuelo a cualquier presión barométrica probable;</li> <li>(4) Un sistema indicador de la velocidad aerodinámica con dispositivos que impidan su mal funcionamiento debido a condensación o a formación de hielo, incluyendo una indicación de aviso de mal funcionamiento;</li> <li>(5) Un indicador de viraje y de desplazamiento lateral;</li> <li>(6) Un indicador de actitud de vuelo (horizontal artificial);</li> <li>(7) Un indicador de rumbo (giróscopo direccional);</li> <li>(8) medios para comprobar si es adecuada la energía que acciona los instrumentos giroscópicos;</li> <li>(9) Un dispositivo que indique, en la cabina de la tripulación, la temperatura exterior; y</li> <li>(10) Un variómetro</li> </ol>

### Documentación técnica aplicable a la Calibración del compás magnético de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER.

Los procedimientos escritos dictan casi totalmente el trabajo diario en el entorno de mantenimiento aeronáutico. Cada tarea que hay que realizar en el avión tiene un procedimiento establecido.

Cumplir estos procedimientos es esencial para mantener la seguridad y evitar errores.

No obstante, los datos sugieren que una causa común directa o indirecta de incidentes

relacionados con el mantenimiento es el incumplimiento o la lectura errónea de los procedimientos.

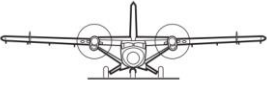

En este contexto, la documentación de mantenimiento incluye la documentación proporcionada por los fabricantes, las tarjetas de instrucciones de trabajo personalizadas y la documentación emitida por las autoridades reguladoras. (Scarborough, 2010)



La documentación técnica que debe acompañar a la aeronave para permitir su correcto funcionamiento y las tareas de apoyo a lo largo de su vida útil incluye:




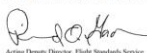
- Manual de Mantenimiento de Aeronaves (AMM)
- Manual de Mantenimiento de Componentes (CCM),
- Manual de Requerimientos de Inspección (IRM)
- Manual de Equipo de Apoyos Terrestre (GEM)
- Circular de Asesoramiento (AC)

**Tabla 6**

*Documentación Técnica aplicable a la Calibración de la Brújula magnética*

Título	Descripción	Tarea de mantenimiento
<p>AMM (Aircraft Maintenance Manual)</p> <p>PSM 1-63-2</p>  <p><b>DHC-6 TWIN OTTER SERIES 300 MAINTENANCE MANUAL VOLUME 1</b></p>  <p><small>Copyright © 2008, 2010 by Viking Air Limited. All rights reserved. No part of this work may be reproduced or stored in any form or by any means without written permission from Viking Air Limited.</small></p> <p>Revision 21 - Sep. 28/18</p>	<p>Describe instrucciones necesarias para realizar tareas de mantenimiento rutinarias y programadas del operador, además está organizado por un estándar de referencia del sistema de capítulos de la Asociación de Transporte Aéreo (ATA)</p>	<p>Standby Magnetic Compass</p> <p>- General Data. ATA: 34-25-00 Pag.1-2</p>

Título	Descripción	Tarea de mantenimiento
<p>CCM (Component Maintenance Manual)</p>  <p style="text-align: center;"><b>34-23-00</b></p>	<p>Contiene instrucciones y datos específicos para el mantenimiento, la reparación y la revisión de un determinado componente de aeronave.</p> <p>Además proporciona tareas enfocadas a Pruebas y calibración del componente, Lista de equipos de prueba recomendados para verificar el rendimiento del componente.</p>	<p>STANDBY COMPASS Correction/Calibration Procedure. ATA: 34-23-00</p>
<p>IRM (Inspection Requirements Manual)</p> <p style="text-align: right;">PSM 1-6-7</p>  <p style="text-align: center;">DHC-6 TWIN OTTER ALL SERIES INSPECTION REQUIREMENTS MANUAL</p> <p style="text-align: center;"><b>VIKING</b></p> <p style="text-align: center;">Copyright © 2006 by Viking Air Limited. All rights reserved. No part of this work may be reproduced or copied in any form or by any means without written permission of Viking Air Limited.</p> <p style="text-align: center;">January 18, 1974 Revision 15 — November 25, 2011</p>	<p>Proporciona a los operadores programas de inspección que mantengan la aeronave en un estado continuo de aeronavegabilidad.</p> <p>Orienta sobre el "qué", el "cuándo" y las condiciones que deben comprobarse durante una inspección.</p>	<p>Basic Inspection-34 Page 1 of 18. Number 8 Navigational Instruments - ITEM "G"</p>

Título	Descripción	Tarea de mantenimiento
<p>GSM (Ground Support Manual)</p> <p>PSM 1-6-2T</p>  <p><b>DHC-6 TWIN OTTER</b> (SERIES 100/200/300/400)</p> <p><b>GROUND SUPPORT MANUAL</b></p>  <p>Copyright © 2008 by Viking Air Limited. All rights reserved. No part of this work may be reproduced or copied in any form or by any means without written permission from Viking Air Limited.</p> <p>Revision 14 - May, 21/19</p>	<p>Contiene información de asistencia en tierra para el servicio, mantenimiento y reparación de aeronaves DHC-6 Twin Otter.</p> <p>Incluye listas de herramientas y equipos especializados necesarios para el mantenimiento, las reparaciones y los servicios especiales.</p> <p>Métodos, técnicas y</p>	<p>Chapter 9 – Towing and Taxiing. PART 2 Page 12-13</p>
<p>AC (Advisory Circular) 43.13-1B</p>  <p><b>Advisory Circular</b></p> <p><b>TITLE 14 OF THE CODE OF FEDERAL REGULATIONS (14 CFR) GUIDANCE MATERIAL</b></p> <p><b>Subject: ACCEPTABLE METHODS, TECHNIQUES, AND PRACTICES—AIRCRAFT INSPECTION AND REPAIR</b> Date: 05/05 AC No: 43.13-1B Initiated by: AFS-640 Change: 1</p> <p><b>1. PURPOSE.</b> This advisory circular (AC) contains methods, techniques, and practices acceptable to the Administrator for the inspection and repair of nonpressurized areas of civil aircraft, only when there are no manufacturer repair or maintenance instructions. This data generally pertains to minor repairs. The repairs identified in this AC may only be used as a basis for FAA approval for major repairs. The repair data may also be used as approved data, and the AC chapter, page, and paragraph listed in block 9 of FAA Form 337 when:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. the user has determined that it is appropriate to the product being repaired;</li> <li>b. it is directly applicable to the repair being made; and</li> <li>c. it is not contrary to manufacturer's data.</li> </ul> <p><b>2. CANCELLATION.</b> The AC 43.13-1A dated 1985 is cancelled.</p> <p><b>3. REFERENCE:</b> Title 14 of the Code of Federal Regulations part 43, section 43.13(a) states that each person performing maintenance, alteration, or preventive maintenance on an aircraft, engine, propeller, or appliance shall use the methods, techniques, and practices prescribed in the current manufacturer's maintenance manual or Instructions for Continued Airworthiness prepared by its manufacturer, or other methods, techniques, or practices acceptable to the Administrator, except as noted in section 43.16. FAA inspectors are prepared to answer questions that may arise in this regard. Persons engaged in the inspection and repair of civil aircraft should be familiar with 14 CFR part 43, Maintenance, Preventive Maintenance, Rebuilding, and Alteration, and part 45, Subparts A, D, and E, of Certification: Airman Other Than Flight Crewmembers, and the applicable airworthiness requirements under which the aircraft was type certificated.</p> <p><b>4. ACKNOWLEDGMENTS.</b> The FAA would like to thank the following persons and organizations for their assistance in producing AC 43.13-1B: Richard Finch, Richard Fischer, Michael Grimes, Roy Sims, William A. Watkins, and the SAE, Aerospace Electronics and Electrical Systems Division. Acknowledgment is also extended to all in the aviation community who commented on the document.</p> <p><b>5. COMMENTS INVITED.</b> Comments regarding this AC should be directed to DOT/FAA, ATTN: Airworthiness Programs Branch, AFS-610, PO Box 25062, Oklahoma City, OK 73125</p>  <p>Acting Deputy Director, Flight Standards Service</p>	<p>Alteraciones de aeronaves</p> <p>Proporciona orientación en forma de protocolos, directrices y prácticas requeridas para realizar el mantenimiento</p> <p>Se aplican a secciones no presurizadas de aeronaves civiles que no superen las 12.500 libras de peso bruto.</p>	<p>SECTION 3. GROUND OPERATIONAL CHECKS FOR AVIONICS EQUIPMENT (NON ELECTRICAL). 12-37 COMPASS SWING, page 12-14</p>



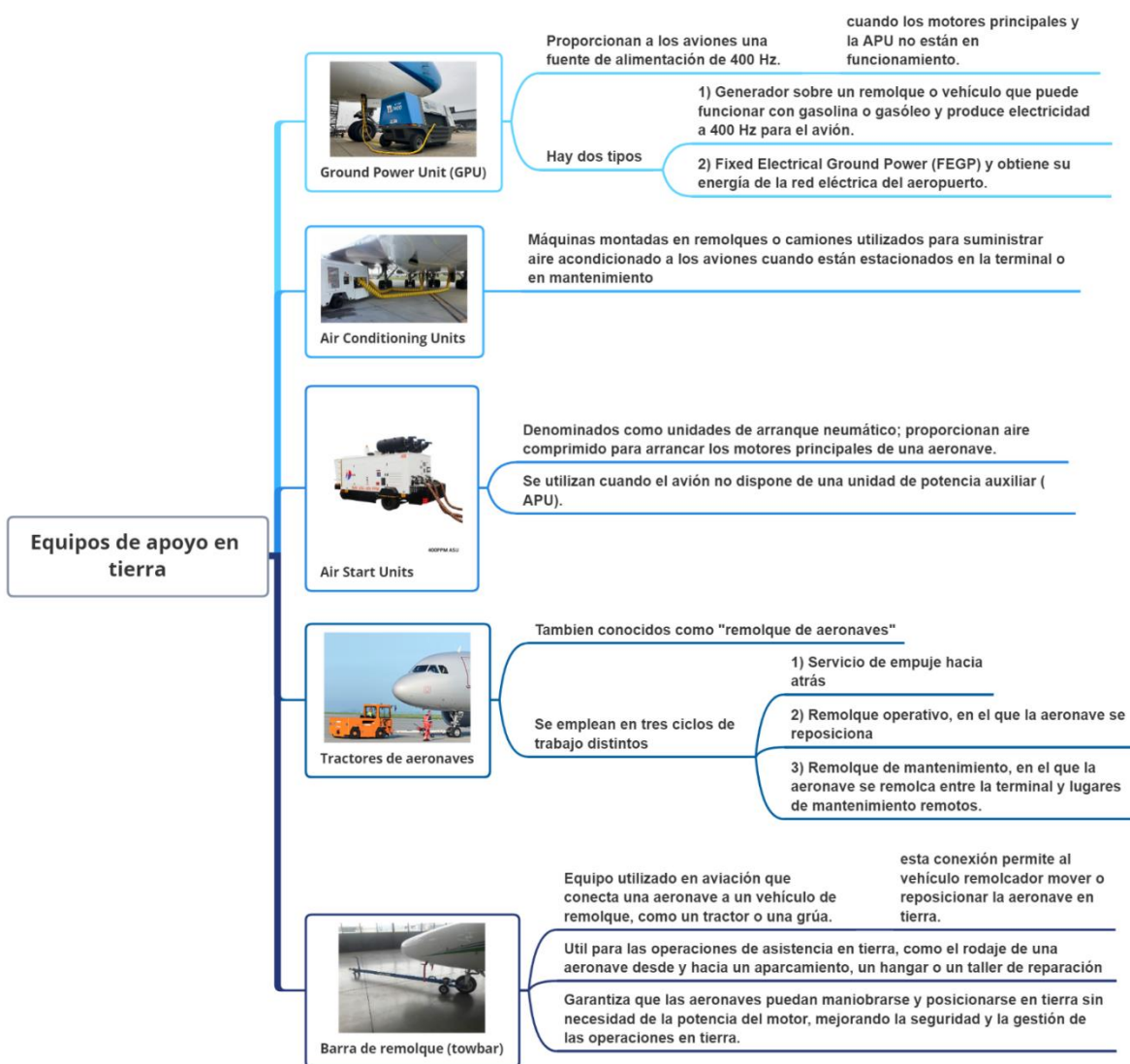
## Equipos de apoyo en tierra

El concepto de "equipo de apoyo en tierra" (GSE) abarca una amplia selección de vehículos y equipos que ayudan en las operaciones de las aeronaves, como el remolque, el mantenimiento, la carga y descarga de mercancías y el acceso de las aeronaves al combustible, suministro de energía y otros recursos.

### Tipos de Equipos de Apoyo en Tierra

#### Figura 27

#### Equipos de apoyo en tierra



## **Remolque y Rodaje (Towing and Taxiing) ATA 09**

En aviación, el capítulo sobre remolque y rodaje se refiere generalmente a una sección de un manual de operaciones de una aeronave o de una tripulación de vuelo que proporciona orientación sobre los procedimientos y consideraciones para el remolque y el rodaje. Este capítulo es esencial para que las tripulaciones de vuelo y el personal de tierra garanticen unas operaciones en tierra seguras y eficientes.

Por regla general, un tractor de remolque, también conocido como "remolcador" se utiliza para remolcar aviones pesados por el aeropuerto, la línea de vuelo y el hangar. Las aeronaves más pequeñas pueden desplazarse empujando manualmente las partes pertinentes de la aeronave.

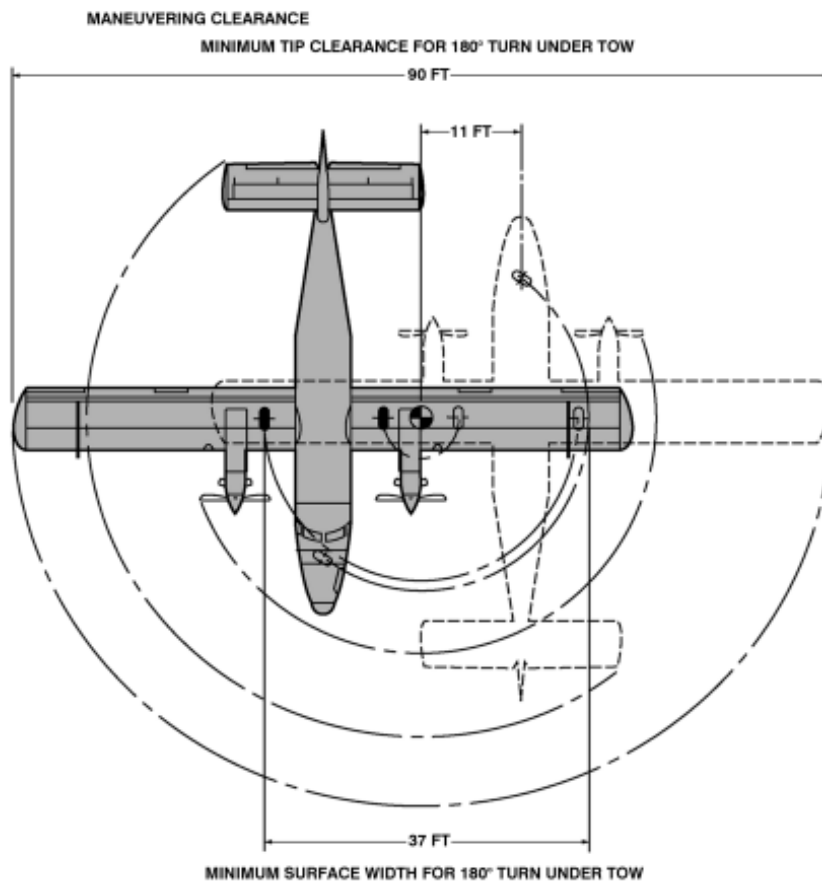
La acción de remolcar una aeronave puede ser una operación peligrosa que puede dañar la aeronave y lesionar al personal si se realiza de forma descuidada o negligente.

No obstante, las instrucciones específicas para cada modelo de aeronave se detallan en el manual de servicio del fabricante y deben seguirse siempre. Antes de mover la aeronave que se va a remolcar, debe haber una persona capacitada en la cabina para aplicar los frenos en caso de que la barra de remolque se rompa o se desconecte. La aeronave puede entonces detenerse para evitar cualquier daño potencial.

Existen varios tipos de barras de remolque de uso general permiten realizar diversas tareas de remolque. Estos dispositivos están diseñados con suficiente resistencia a la tracción para remolcar la mayoría de las aeronaves, pero no están pensados para soportar cargas de torsión. Antes de trasladar la aeronave, compruebe que todos los dispositivos de enganche no estén dañados o funcionen mal una vez que la barra de remolque esté fijada a la aeronave.

**Figura 28**

*Remolque y rodaje de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER*



## Capítulo III

### Desarrollo del Tema

#### Introducción

En el presente capítulo tiene como objetivo detallar el proceso técnico de mantenimiento correspondiente a la inspección anual del instrumento de navegación Compás Magnético de reserva (Standby Compass) acorde al programa de mantenimiento de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER perteneciente a la Fuerza Aérea Ecuatoriano. Dicho procedimiento fue efectuado en el Ala de Transportes N° 11 provincia del Cotopaxi, con el soporte técnico y profesional de la escuadrilla encargada de la flota de aeronaves TWIN OTTER, los cuales fueron fundamentales en la instrucción del correcto uso de equipamiento de seguridad, documentación técnica, asistencia de equipos y herramientas para cumplir de la tarea de mantenimiento.

Acorde a la información técnica del IRM (ver figura 25) específicamente en el título “Basic Inspection – 34” página 1 al 18, numeral 8 “Navigational Instruments” - ITEM "G" describe el requerimiento de inspección del instrumento el cual dispone llevarse a cabo en el periodo de 12 meses o acorde a lo que dictamine la autoridad aeronáutica. Examinado esto, en la figura 29 se detalla la fecha del intervalo de inspección de la brújula magnética realizada el 13 de enero del 2023, por resultado se tiende a realizar la calibración en la segunda semana de febrero de 2024.

**Figura 29**


Carta de calibración de la brújula magnética registrada en el 2023.

**MAGNETIC COMPAS**

A/C: TWIN OTTER FAE-452  
P/N: KCA0104W  
S/N: BJ7270513

**CALIBRATED WITH RADIO ON**

FOR	N	030	060	E	120	150	S	210	240	W	300	330
STEER	000	031	061	091	121	151	182	212	242	272	302	332

**SIGNATURE:**  ATMEPCC  
MH.8670 13/04/2023

DIAF FORM QCO26 REV.3

En la carta de calibración se analiza que en el punto Norte no existe desviación, posteriormente hasta el punto Sur existe una desviación de +1°, mientras que después del punto Sur hasta el ángulo 330° de la carta, se tiene registro de +2° de desviación, los cuales pueden ser causados por factores magnéticos que probablemente estuvieron cerca de la aeronave, una de ellas puede ser la barra de remolque, ya que al ser de un material ferroso originó un campo magnético.

### Figura 30

Brújula magnética de la Aeronave DHC-6 TWIN OTTER P/N KCA0104W



### Implementación barra de remolque

El remolque y rodaje de la aeronave es un procedimiento importante dentro de la tarea de mantenimiento correspondiente a la Calibración del compás magnético de una aeronave, debido a que la aeronave se remolca hasta una ubicación especial denominada “rosa de vientos”.

Una vez posicionada la aeronave en dirección norte, el sistema de brújula se "balancea" a través de una serie de rumbos. Durante este proceso, se toman lecturas de los sistemas de brújula de la aeronave y se comparan con una brújula de referencia precisa que es independiente del sistema de la aeronave.

En este contexto, el Escuadrón de transportes N° 1113 (TWIN OTTER) cuenta con una barra de remolque (towbar) de material de acero negro, el cual se encuentra obsoleto y posiblemente pueda ocasionar un accidente en las operaciones terrestre debido a su falta de seguridad. A tal efecto el grupo de mantenimiento ha solicitado la implementación de un nuevo equipo de apoyo en tierra que cumpla con los requisitos correspondientes para mejorar el

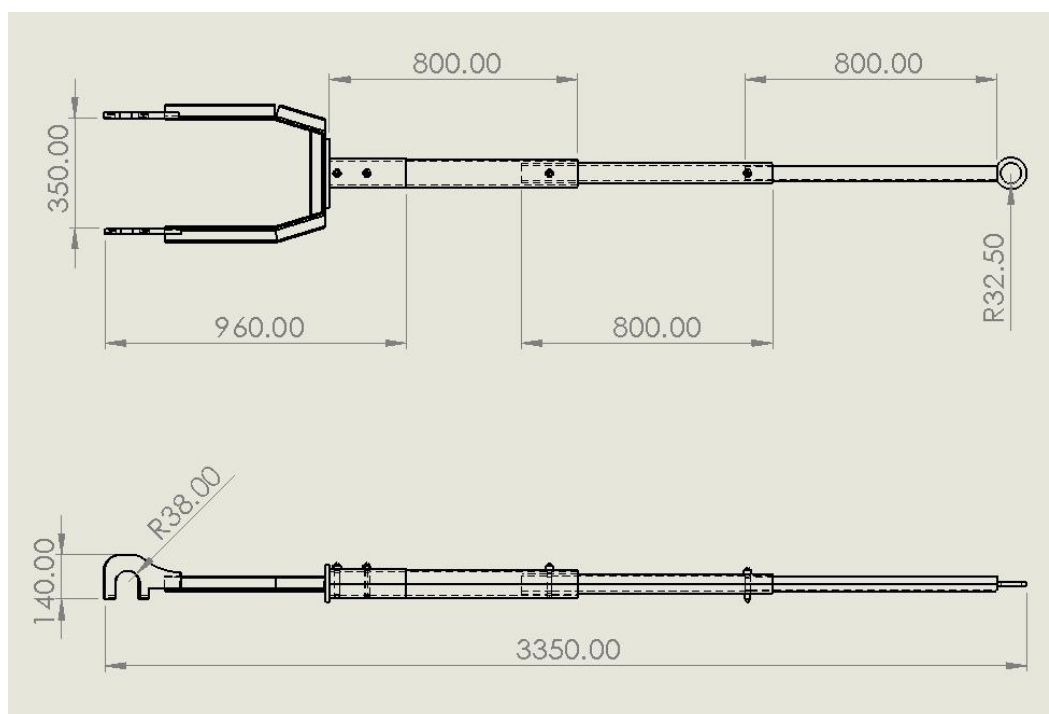
desempeño de las operaciones en tierra y de mantenimiento. En este caso al ser de material no magnético se puede obtener un mejor resultado en la oscilación de la brújula magnética.

### ***Proceso de construcción de la Barra de remolque (towbar)***

El diseño del equipo de apoyo en tierra fue elaborado en base al GSM en donde indica el P/N SD12502-13 correspondiente a la aeronave, posteriormente se realizó una simulación de la barra de remolque en SOLIDWORKS un software especial para este tipo de trabajos, el cual permite la edición en 3D del boceto, de tal manera que se pueden aplicar datos, cálculos, para obtener un factor de seguridad del diseño conforme a la necesidad de su autor.

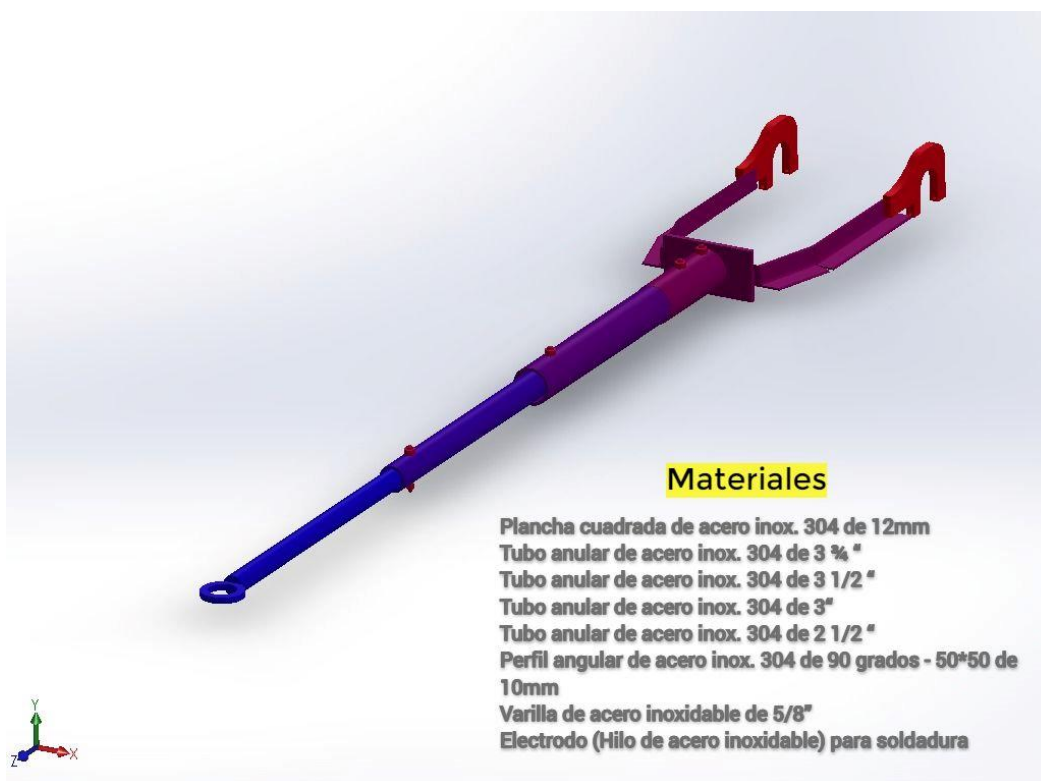
### **Figura 31**

*Medidas de la barra de remolque*



### ***Materiales y herramientas aplicadas***

El material seleccionado para la construcción de la barra de remolque es de Acero Inoxidable (Stainless Steel) SAE 304, debido a sus propiedades mecánicas y químicas específicamente por su propiedad antimagnética (Greenwood, 2015).

**Figura 32***Lista del material principal***Tabla 7***Listado de herramientas utilizadas*

Herramienta	Descripción	Cantidad
Software "SolidWork"	Programa digital para análisis de diseño estructural.	n/a
Software "Ansys"	Programa digital para análisis de factor de seguridad estructural.	n/a
Escuadra, flexómetro	Herramientas de medición.	1
Disco de corte	Máquina eléctrica utilizada para cortes de metal.	1
Soldadura	Máquina eléctrica para unir/reforzar metales.	1



Herramienta	Descripción	Cantidad
Torno	Máquina eléctrica para pulir objetos.	1
Taladro	Máquina eléctrica para hacer orificios.	1

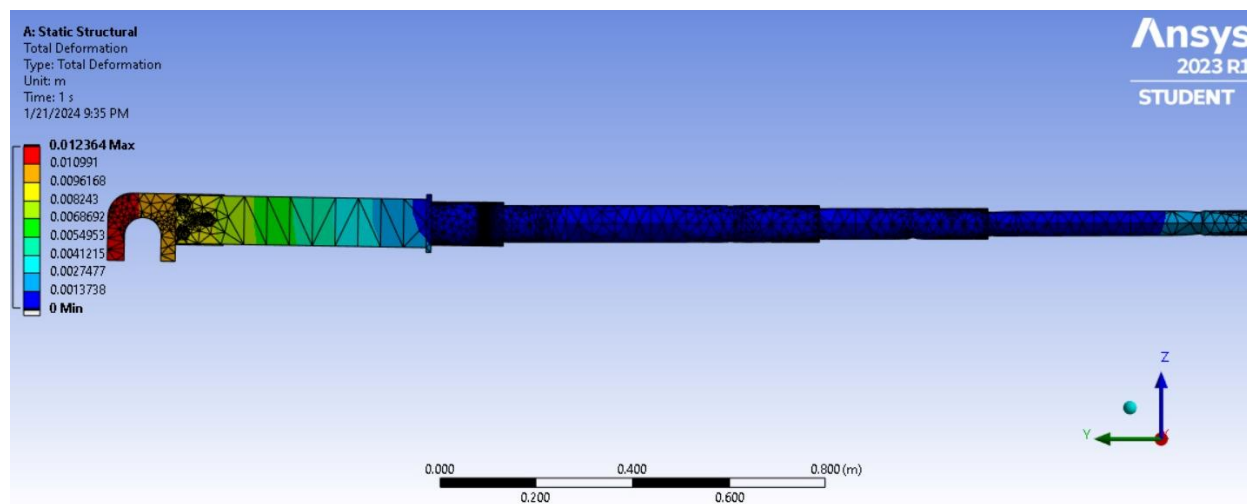
### **Desarrollo de análisis estructural**

El factor de seguridad es un parámetro crítico utilizado para garantizar que un diseño es resistente y puede soportar las condiciones de carga previstas sin fallar según (Sanchez, 2022). El factor de seguridad es esencialmente una forma de medir la resistencia de una estructura en comparación con la carga máxima que se espera que soporte.

Para obtener resultados de la tensión máxima, se pudo determinarse mediante simulación con software de análisis de elementos finitos como ANSYS, en el que se aplican al modelo diversas condiciones de carga y restricciones de contorno para analizar su comportamiento en diferentes escenarios. En este caso específico la barra de remolque soportaría de un extremo la tensión tanto de la carga de la aeronave (máx 12.500 lbs) y del otro extremo al remolcador de aeronaves.

### **Figura 33**

*Análisis de seguridad de la barra de remolque (Software Ansys)*



**Tabla 8***Análisis estructural de los elementos de la barra de remolque*

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Factor de Seguridad</b>
Gancho del tren de morro	Presenta color rojo en un 50% debido a su alto estrés de tensión estructural.	Media
Cabeza de la barra	Se visualiza tono verde en un 40% y 60 en color azul, debido a su buena resistencia estructural.	Alta
Tubo anular 3 ¾"	Presentan coloración azul en 100%.	Alta
Tubo anular 3 ½"	Presentan coloración azul en 100%.	Alta
Tubo anular 2 ½"	Presentan coloración azul en 100%.	Alta
Gancho de remolque	Se observa color turqués, siendo el otro extremo que resiste mayor fatiga.	Alta

Una vez obteniendo los resultados, se resalta un aspecto fundamental de las propiedades del material en el análisis, ya que al ser construido de Acero Inoxidable 304 soporta notablemente las cargas límites a las que puede llegar a tolerar la barra de remolque, de tal manera que existe riesgo nulo en el que pueda ocurrir fallos mecánicos en sus operaciones.

### ***Corte y soldadura del material***

Para la construcción de la barra de remolque en base a las medidas estipuladas, con la ayuda de herramientas eléctricas de corte se consiguió una correcta forma de los componentes de la barra.

**Figura 34**

*Corte del Gancho del tren de nariz*

**Figura 35**

*Corte de la cabeza de la barra*



**Figura 36**

*Corte y soldadura de los tubos anulares*

**Figura 37**

*Barra de remolque terminada*



**Figura 38**

*Colocación de cinta reflectiva*

**Calibración del compás magnético acorde AC 43.13-1B*****Precauciones***

Se debe considerar ciertas prevenciones al momento de realizar una calibración del compás magnético de una aeronave las cuales son detallados la subsección 12-37 literal (b) de la AC 43.131B:

- Según manifiesta (FAA, 1998), se deberá comprobarse la precisión de la brújula magnética en un lugar libre de estructuras de acero, tuberías o cables subterráneos o equipos que produzcan campos magnéticos.
- El personal encargado de la compensación de la brújula deberá retirar de su posesión todo material magnético o ferroso.
- Se debe utilizar únicamente herramientas no magnéticas cuando ajuste la brújula.
- También posicionar la aeronave al menos a 100 yardas de cualquier objeto metálico.

Finalmente indica que todo el equipo de la aeronave que tenga algún efecto magnético sobre la brújula debe estar asegurado en la posición ocupada en vuelo normal.

## **Procedimientos**

### **Remolque y rodaje de la aeronave**

Instalación de la barra de remolque implementada a la aeronave para su posterior remolque.

#### **Figura 39**

*Conexión de la barra de remolque con el tren de nariz*



#### **Figura 40**

*Conexión de la barra de remolque con el remolcador*



Después se retira el pin de seguro (lock pin) del tren de nariz de la aeronave.

**Figura 41**

*Separación del lockpin del tren de nariz*



**Figura 42**

*Remolque de la aeronave hacia la rosa de los vientos.*



### Oscilación de la brújula magnética.

Se dirige la aeronave hacia el radio NORTE ( $0^\circ$ ) en la rosa de los vientos, utilizando una brújula goniométrica reticular (brújula maestra) para situar la aeronave en la zona correspondiente.

Con la aeronave orientada hacia el Norte y la persona en la cabina de mando haciendo funcionar el motor(es) a 1000 rpm, un mecánico, de pie aproximadamente a 30 pies delante de la aeronave y orientado hacia el Sur, "dispara" o alinea la brújula maestra con la línea central de la aeronave.

### Figura 43

*Alineación de brújula maestra con la aeronave*





**Figura 44**

*Brújula Maestra apuntando al Norte magnético*



Utilizando señales manuales, el mecánico indica a la persona en la cabina que realice ajustes adicionales para alinear la aeronave con la brújula maestra. Una vez alineado en el rumbo, la persona en la cabina hace funcionar el motor o motores a aproximadamente 1.700 rpm para duplicar el campo magnético de la aeronave y, a continuación, la persona lee la brújula.

**Figura 45***Encendido de motores*

Si la brújula de la aeronave no está alineada con el Norte magnético de la brújula maestra, corrija el error realizando pequeños ajustes en el tornillo de ajuste Norte-Sur de latón con un destornillador no metálico (hecho de material de latón, o varilla de soldadura de acero inoxidable). Ajuste el tornillo compensador N-S hasta que la brújula indique Norte (0°).

**Figura 46**

*Compás magnético apuntando al NORTE 000°*

**Figura 47**

*Indicación de RMI a 365° (Norte)*



Gire el avión hasta que esté alineado con el Este-Oeste, apuntando al Este. Ajuste el tornillo compensador E-O hasta que indique 90°.

**Figura 48**

*Compás magnético alineado al ESTE 90°*

**Figura 49**

*Indicación de RMI a 87° (Este)*



Continúe girando el avión 180° hacia el Sur y ajuste el tornillo N-S para eliminar la mitad del error de rumbo del Sur. Esto desviará el Norte, pero el total Norte-Sur debe dividirse por igual entre los dos rumbos.

### Figura 50

*Compás magnético en dirección al SUR 180°*



### Figura 51

*Indicación de RMI a 179° (Sur)*



Gire el avión hasta que se dirija al Oeste  $270^\circ$ , y ajuste el tornillo E-O en el compensador para eliminar la mitad del error Oeste. Esto debería dividir por igual el error total E-O. Los motores deben estar en marcha.

### Figura 52

*Compás magnético alineado al OESTE  $270^\circ$*



### Figura 53

*Indicación de RMI a  $271^\circ$  (Oeste)*



Con la aeronave en dirección Oeste, la tarjeta de calibración y se registra el rumbo magnético de 270° y la lectura de la brújula con los sistemas de aviónica/eléctricos encendidos y apagados. Girando la aeronave para alinearla con cada una de las líneas de la rosa de los vientos y registre la lectura del paso de la brújula cada 30°. No debe haber más de 10° de diferencia entre el rumbo de la brújula y el rumbo magnético de la aeronave.

#### Figura 54

*Comprobación operacional del Compás magnético*



#### Figura 55

*Registro de datos en la tabla*

<b>MAGNETIC COMPASS</b>	
A/C: TWIN OTTER FAE 452	
P/N: KCA 0104W	
S/N: BJ7270513	
<b>CALIBRATED WITH RADIO ON</b>	
<b>FOR</b>	<b>STEER</b>
<b>N</b>	000
<b>030</b>	030
<b>060</b>	059
<b>E</b>	088
<b>120</b>	118
<b>150</b>	149
<b>S</b>	178
<b>210</b>	208
<b>240</b>	238
<b>W</b>	271
<b>300</b>	299
<b>330</b>	330

DATE: 11/01/2024

SIGNATURE:

DIAF FORM QC 026

REV. 3

Una vez realizada la oscilación de la brújula magnético en base a la calibración de 12 meses con los motores en operación, se tuvo el registro de datos del instrumento en donde se analiza que el punto Norte hasta los 030° no existe desviación, mientras que posterior al ángulo Este 090° se verifica una mínima desviación que varían desde -1° a -2° en los puntos de verificación Este, Sur, Oeste, el cual no implica un notorio error en la brújula magnética y no necesita un ajuste de coeficientes.

### Figura 56

*Carta de calibración de la brújula (Inspección anual)*

MAGNETIC COMPASS												
A/C: TWIN OTTER FAE 452												
P/N: KCA 0104W						S/N: BJ7270513						
CALIBRATED WITH RADIO ON												
FOR	N	30	60	E	120	150	S	210	240	W	300	330
STEER	000	030	059	088	118	149	178	208	238	271	299	330
DATE: 11/ENE/2024												
SIGNATURE:												
DIAF FORM QC						REV. 3						
026												

Posteriormente la aeronave DHC-6 Twin Otter recibió un reporte del motor que a consecuencia requería un intercambio de componente. Se realizó el remplazo del motor de la aeronave un mes después, específicamente el motor N° 2, de tal modo que cumpliendo a las directrices de aeronavegabilidad se realizó nuevamente Compass Swing de la brújula magnética, dando como resultado datos precisos en cada ángulo de medición, sin ninguna desviación.



**Figura 57**

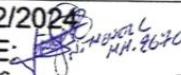
*Cambio de motor de la aeronave*



**Figura 58**

Registro de datos en la tabla posterior al cambio de motor

<b>MAGNETIC COMPASS</b>	
A/C: TWIN OTTER FAE 452	
P/N: KCA 0104W	
S/N: BJ7270513	
<b>CALIBRATED WITH RADIO ON</b>	
<b>FOR</b>	<b>STEER</b>
N	000
030	030
060	060
E	090
120	120
150	150
S	180
210	210
240	240
W	270
300	300
330	330

DATE: 09/02/2024  
 SIGNATURE:   
 DIAF FORM QC 026 REV. 3

Como se puede observar en la figura 58, posterior al cambio de motor de la aeronave y realizado la oscilación de la brújula magnética, todos los puntos geográficos se encuentran correctamente direccionados geográficamente, sin ningún grado de desviación.

**Figura 59**

*Carta de calibración de la brújula (Cambio de motor)*

<b>MAGNETIC COMPASS</b> A/C: TWIN OTTER FAE 452 P/N: KCA 0104W                      S/N: BJ7270513 <b>CALIBRATED WITH RADIO ON</b>													
FOR	N	30	60	E	120	150	S	210	240	W	300	330	
STEER	000	030	060	090	120	150	180	210	240	270	300	330	
DATE: 09/FEB/2024  SIGNATURE:													
<b>DIAF FORM QC</b> <b>026</b> <span style="float: right;"><b>REV. 3</b></span>													

Cuando la brújula oscile satisfactoriamente, se rellena correctamente la tarjeta de calibración y se coloca en el soporte a la vista para referencia del piloto.

**Figura 60**

*Reemplazo de la tarjeta de calibración de la brújula magnética*



Se cumplió correctamente con la calibración de la brújula magnética con el P/N KCA0104W de la aeronave DHC-6 TWIN OTTER, perteneciente a la Fuerza Aérea

Ecuatoriana, puesto que requería inspección periódica y cumplir acorde al programa de mantenimiento de la aeronave, en vista que esta tarea de mantenimiento se realiza en el intervalo de 12 meses o dependiendo posibles causas que establece la autoridad aeronáutica FAA, siendo uno de estos por el intercambio de motor de la aeronave.

Para el respectivo proceso de calibración, se contó con la asistencia y supervisión del personal técnico de mantenimiento, además del respectivo equipo de calibración necesario para este tipo de inspección. Asimismo, se implementó una barra de remolque de acero inoxidable que se utilizó en el proceso de calibración con el objetivo de disminuir el campo magnético alrededor de la aeronave y obtener una mejor toma de datos con respecto a la brújula magnética, cumpliendo con los requerimientos descritos en la circular de asesoramiento AC 43.13-1B.

Al registrar los datos de calibración por el intervalo anual, se evidencio una cifra de desviación de  $-1^{\circ}$  a  $-2^{\circ}$  en cada punto de la carta de calibración, probablemente por el efecto del motor de la aeronave, sin embargo, esta cifra de desviación no presenta riesgo ni necesita un ajuste de compensación. También se realizó una lectura de datos de la brújula magnética, posterior al cambio del motor N°2 de la aeronave, dando como resultado una exacta precisión de la brújula magnética en cada ángulo geográfico de la carta de calibración. Obteniendo un resultado perfecto para las operaciones aéreas de la aeronave y también cumpliendo con los requerimientos por parte de la autoridad aeronáutica detalladas en la RDAC 121.

## Capítulo IV

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- Se investigó información técnica sobre el principio de operación del compás magnético utilizado en aeronaves como instrumento de emergencia y también los errores a los que está inmerso por factores relacionados al magnetismo terrestre.
- Se recopiló documentación técnica aplicable al procedimiento de Calibración de la brújula magnética con P/N KCA0104W, perteneciente a la aeronave DHC-6 TWIN OTTER de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.
- Se implementó el modelo de un equipo de apoyo en tierra (barra de remolque) con un diseño de extensión y retracción mecánica para facilitar el remolque de la aeronave durante mantenimiento y operaciones terrestres, con su respectivo análisis de factor de seguridad.
- Se realizó satisfactoriamente el procedimiento de Calibración de la brújula magnética, perteneciente a la aeronave DHC-6 TWIN OTTER de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, en base a los pasos estipulados en la Circular de Asesoramiento 43.13-1B subsección 12-37 y también del Manual de mantenimiento de la aeronave ATA: 34-25-00 Pag.1-2.
- Se cumplió con la inspección anual de la brújula magnética, en la cual se obtuvo una precisión correcta de la brújula magnética de la aeronave en relación con la brújula en tierra, con un grado de desviación  $\pm 1^\circ$  estando en los parámetros establecidos, en el cual no debe existir más de  $10^\circ$  de diferencia.
- Se realizó nuevamente la comprobación operacional de la brújula magnética posterior al cambio de motor de la aeronave, en el cual se registró con exactitud los datos de orientación del instrumento, de tal forma que no se obtuvo registro de desviación.

- Se cumplió con los requerimientos establecidos en la RDAC parte 121 en relación con los instrumentos de vuelo fundamentales en operaciones aéreas para volar en territorio ecuatoriano, siendo uno de estos la brújula magnética.

## Recomendaciones

- Para un mejor resultado y precisión en la calibración de la brújula magnética se recomienda evitar el uso de herramientas magnéticas o ferrosas alrededor de la aeronave como lo detalla en la Circular de Asesoramiento 43.13-1B.
- Es importante tener en cuenta la distancia del lugar en la que se debe efectuar la calibración de la brújula ya que no debe existir interferencia alguna que pueda afectar con la operación del instrumento de la aeronave y el equipo en tierra.
- Se recomienda cumplir con el proceso de calibración de la brújula magnética, ya que la autoridad aeronáutica DGAC especifica en la RDAC 121 como un instrumento obligatorio y fundamental para las operaciones en vuelo VFR e IFR.
- Se recomienda efectuar el proceso de calibración del compás magnético siguiendo estrictamente los periodos establecidos por el programa de mantenimiento de la aeronave o su manual de mantenimiento.
- Se sugiere que en este tipo de mantenimiento se realice con la supervisión de personal expertamente cualificado en inspecciones de calibración con el fin de ejecutarlos de la mejor manera.
- Se aconseja contar con los equipos y herramientas especificadas en la documentación técnica con su debido documento de trazabilidad y fecha de calibración.
- Es recomendable usar equipo de protección personal durante el proceso de mantenimiento, ya que conlleva el encendido del grupo moto propulsor para comprobaciones de la brújula magnética.

## Bibliografía

Ackert, S. (mayo de 2018). *Aircraft Maintenance Handbook for Financiers*. Obtenido de Aircraft Monitor.:

[http://www.aircraftmonitor.com/uploads/1/5/9/9/15993320/aircraft\\_mx\\_handbook\\_for\\_financiers\\_v1.pdf](http://www.aircraftmonitor.com/uploads/1/5/9/9/15993320/aircraft_mx_handbook_for_financiers_v1.pdf)

Aeronautic Guide. (2018). *Explanation of Primary Regulations (Parts 43 and 91)*. Obtenido de Section 43.13—Performance Rules (General):

<https://www.aircraftsystemstech.com/2021/12/explanation-of-primary-regulations.html>

Aeronautic Guide. (2018). *FAA Documents*. Obtenido de Advisory Circulars (AC):

<https://www.aircraftsystemstech.com/2022/06/faa-documents.html>

Alcubilla, a. J. (septiembre de 2013). *ResearchGate*. Obtenido de SISTEMAS DE

COMUNICACIONES Y NAVEGACIÓN AÉREA (VOL1):

[https://www.researchgate.net/publication/277006523\\_SISTEMAS\\_DE\\_COMUNICACIONES\\_Y\\_NAVEGACION\\_AEREA\\_VOL1](https://www.researchgate.net/publication/277006523_SISTEMAS_DE_COMUNICACIONES_Y_NAVEGACION_AEREA_VOL1)

DGAC. (JULIO de 2023). Obtenido de <https://www.aviacioncivil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/09/7-RDAC-Parte-121-FINAL.pdf>

Downes, M. W. (2013). *A Brief Description of NDT Techniques*. Obtenido de

<https://www.insight-ndt.com/papers/technical/t001.pdf>

FAA. (abril de 1978). *AIRCRAFT INSPECTION FOR THE GENERAL*. Obtenido de AC 20-106: AIRCRAFT INSPECTION FOR THE GENERAL

FAA. (octubre de 1998). *AC 43.13-1B*. Obtenido de SECTION 3. GROUND OPERATIONAL CHECKS FOR AVIONICS EQUIPMENT:

[https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/AC\\_43.13-1B\\_w-chg1.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_43.13-1B_w-chg1.pdf)



FAA. (04 de agosto de 2007). *Advisory Circular 43-12A* . Obtenido de Preventive Maintenance :

[https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/AC\\_43-12A\\_CHG\\_1.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_43-12A_CHG_1.pdf)

FAA. (2010). *FAA-G-8082-19* . Obtenido de ANNUAL AND PROGRESSIVE INSPECTIONS:

[https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/training\\_testing/testing/ia\\_info\\_guide.pdf](https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/training_testing/testing/ia_info_guide.pdf)

FAA. (agosto de 2015). *5 Powered civil aircraft with standard category U.S. airworthiness certificates: Instrument and equipment requirements*. Obtenido de

<https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-F/part-91/subpart-C/section-91.205>

FAA. (2018). *PHAK Chapter 16*. Obtenido de

[https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/18\\_phak\\_ch16.pdf](https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/18_phak_ch16.pdf)

FAA HANDBOOK. (2018). *PHAK Chapter 8*. Obtenido de Compass Systems:

[https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aviation/phak/10\\_phak\\_ch8.pdf](https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak/10_phak_ch8.pdf)

Frederich, W. (Julio de 2012). *LESSON G2 – PITOT STATIC INSTRUMENTS*. Obtenido de

[http://fmercuriopublishing.com/Inst\\_guide.pdf](http://fmercuriopublishing.com/Inst_guide.pdf)

Gato Gutiérrez, F. (2013). *Sistemas de aeronaves de turbina. Tomo I*. San Vicente(Alicante):

Editorial Club Universitario. Obtenido de Turbine Aircraft Systems. Volume I .

Greenwood. (2015). *¿CÚAL ES LA DIFERENCIA ENTRE LAS PROPIEDADES MAGNÉTICAS DEL ACERO INOXIDABLE 304 Y 316?* Obtenido de

<https://www.greenwoodmagnetics.com/es/resource/what-is-the-difference-between-304-and-316-stainless-steel/>

Gutierrez, G. (2013). *Sistemas de Aeronaves 1*. Obtenido de

<https://elibro.net/es/ereader/espe/62295?page=134>.

Jaime Beneyto Gómez de Barreda. (junio de 2013). *Escuela Técnica Superior de Ingenieros*.

Obtenido de

<http://www.itmexicali.edu.mx/jljv/mecatronica/aeronaves/avioncs/Sistemas%20de%20Navegación%20-%20Beneyto.pdf>

José Cândido de Almeida Júnior, R. B. (14 de septiembre de 2012). *PREDICTIVE & DETECTIVE MAINTENANCE*. Obtenido de

[https://icas.org/ICAS\\_ARCHIVE/ICAS2018/data/papers/ICAS2018\\_0336\\_paper.pdf](https://icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2018/data/papers/ICAS2018_0336_paper.pdf)

Khan, T. (12 de junio de 2022). *Skybrary*. Obtenido de Aircraft Maintenance Programs - The Fundamentals: <https://www.linkedin.com/pulse/aircraft-maintenance-programs-fundamentals-tabish-khan>

NAVAL AVIATION SCHOOLS COMMAND. (10 de abril de 2017). *INTRODUCTION*. Obtenido de PREFLIGHT COURSE (API) MODULE/UNIT 6::

<https://www.cnatra.navy.mil/training/assets/media/navigation/nav-trainee-guide.pdf>

Navarro, M. A. (abril de 2019). *Manual de vuelo*. Obtenido de

[https://manualvuelo.es/7navg/71\\_intro.html](https://manualvuelo.es/7navg/71_intro.html)

Navarro, M. A. (2019). *Manual de vuelo*. Obtenido de Instrumentación :

[https://manualvuelo.es/2inst/29\\_brujl.html](https://manualvuelo.es/2inst/29_brujl.html)

Plinger, W. R. (agosto de 2017). *Operational Notes on Non-Directional Beacons (NDB) and Associated*. Obtenido de Contents: <https://www.casa.gov.au/sites/default/files/2021-09/operational-notes-non-directional-beacons-ndb-associated-automatic-direction-finding-adf.pdf>

Sanchez, M. D. (19 de enero de 2022). *Linkedin*. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/qué-coeficiente-de-seguridad-debo-usar-which-safety-i-sánchez-mateo>

Scarborough, R. (octubre de 2010). *Maintenance Briefing Notes*. Obtenido de

<https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/4021.pdf>

SKYBRARY. (julio de 2018). *Aircraft Maintenance*. Obtenido de Maintenance Intervals:

<https://skybrary.aero/articles/aircraft-maintenance>

Viking Air Ltd. (15 de may de 2018). *Viking Air* . Obtenido de <https://www.vikingair.com/viking-aircraft/dhc-6-twin-otter>

Williams, E. (7 de Julio de 2001). *Compass Errors*. Obtenido de <https://edwilliams.org/compass/compass.pdf>

# Anexos

