



TRABAJO DE GRADO

**GESTIÓN DEL PROCESO DE CALIBRACIÓN DE TORQUÍMETROS, PESAS Y  
EQUIPOS DE MEDICIÓN ELECTRÓNICA EN TALLERES AERONÁUTICOS**

Stiven Maldonado Osorio  
Stiven.maldonado075@pascualbravo.edu.co

Asesor:  
Alejandra Amaya Cossio

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Mecánica  
Tecnología en Gestión del Mantenimiento  
25/05/2025

**Tradición - Transformación - Innovación**



SC 7134-1



Resolución 012512 del MEN. 29 de junio de 2022 - 6 años.  
Calle 73 No. 73A - 226, Vía El Volador  
Apartado aéreo: 6564 / Línea única de atención: 604 448 0520 / Medellín - Colombia



**Alcaldía de Medellín**  
Distrito de  
Ciencia, Tecnología e Innovación

**GESTIÓN DEL PROCESO DE CALIBRACIÓN DE TORQUÍMETROS, PESAS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN ELECTRÓNICA EN TALLERES AERONÁUTICOS**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Tecnólogo en Mantenimiento Aeronáutico**

**Autor:**

**Stiven Maldonado Osorio**

**Asesora:**

**Ing. Alejandra Amaya Cossío**

**Institución Universitaria Pascual Bravo**

**Facultad de Ingeniería**

**Programa de Tecnología en Gestión Del Mantenimiento Aeronáutico**

**Medellín**

**2025**

## GLOSARIO

**Aerocivil:** Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil de Colombia, autoridad encargada de regular, vigilar y controlar la aviación civil y la infraestructura aeronáutica del país.

**Auditoría:** Revisión sistemática de una actividad o de una situación para evaluar el cumplimiento de las reglas o criterios objetivos a que aquellas deben someterse.

**Calibración:** Conjunto de operaciones que establecen la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición y los valores conocidos de una magnitud patrón, asegurando la trazabilidad a estándares nacionales o internacionales.

**CPCP (Corrosion Prevention and Control Program):** Programa de Prevención y Control de la Corrosión aplicado en aeronaves para garantizar la integridad estructural y la seguridad operacional.

**EASA (European Union Aviation Safety Agency):** Agencia Europea de Seguridad Aérea, autoridad responsable de la regulación y supervisión de la aviación civil en la Unión Europea.

**FAA (Federal Aviation Administration):** Administración Federal de Aviación de Estados Unidos, autoridad encargada de la regulación y supervisión de la aviación en ese país.

**Instrumento de medición:** Dispositivo utilizado para determinar un valor cuantitativo de una magnitud física (ejemplo: torquímetro, balanza, multímetro).

**ISO/IEC 17025:** Norma internacional que establece los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

**Lista de capacidades:** Documento aprobado por la autoridad aeronáutica que especifica los trabajos de mantenimiento que una Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) está autorizada a realizar.

**Metrología:** Ciencia que tiene por objeto el estudio de los sistemas de pesas y medidas.

**OMA (Organización de Mantenimiento Aprobada):** Entidad certificada por la Aerocivil para realizar trabajos de mantenimiento en aeronaves, motores, hélices o componentes, bajo el marco del RAC-145.

**ONAC (Organismo Nacional de Acreditación de Colombia):** Entidad encargada de acreditar laboratorios de ensayo y calibración en Colombia, garantizando la competencia técnica y la confiabilidad de los resultados.

**Patrón de referencia:** Instrumento o material con un valor de medición conocido y certificado, utilizado como base para la calibración de otros instrumentos.

**RAC (Reglamento Aeronáutico Colombiano):** Conjunto de normas técnicas y operativas expedidas por la Aerocivil para regular la aviación civil en Colombia.

**RAC-145:** Reglamento Aeronáutico Colombiano que regula la certificación, requisitos y funcionamiento de las Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas (OMA).

**SMS (Safety Management System):** Sistema de gestión de seguridad operacional implementado por organizaciones aeronáuticas para identificar, evaluar y mitigar riesgos de manera proactiva.

**Torquimetro:** Herramienta de precisión utilizada para aplicar un torque específico en tornillos, tuercas o pernos, asegurando un ajuste correcto según especificaciones técnicas.

**Trazabilidad:** Posibilidad de identificar el origen y las diferentes etapas de un proceso de producción y distribución de bienes de consumo.

**IRIS:** (Inspection and Reporting Information System): Sistema de información implementado por la Aeronáutica Civil de Colombia (Aerocivil) para registrar, coordinar y controlar las auditorías, inspecciones y hallazgos en las Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas (OMA). Permite el seguimiento del cumplimiento normativo, incluyendo el control de calibraciones y la gestión documental de las organizaciones certificadas.

## **Tabla de contenido**

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>11</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1 OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>13</b>
<b>5. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>6. METODOLOGÍA .....</b>	<b>17</b>
<b>6.1 TIPO DE ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>6.2 POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>18</b>
<b>6.3 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>6.4 DISEÑO Y VALIDACIÓN DE LAS ENCUESTAS .....</b>	<b>20</b>
<b>6.5 FASES DEL PROYECTO .....</b>	<b>20</b>
<b>6.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....</b>	<b>23</b>
<b>7. RESULTADOS .....</b>	<b>23</b>
<b>7.1 RESULTADOS ENCUESTA 1 .....</b>	<b>24</b>
<b>7.2 RESULTADOS ENCUESTA 2 .....</b>	<b>32</b>

7.3 RESULTADOS GENERALES DE LAS DOS ENCUESTAS .....	35
7.4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y ALCANCE DE LOS RESULTADOS .....	35
8. PROPUESTA DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIBRACIÓN .....	37
8.1 POLÍTICAS DE CALIBRACIÓN EN UNA OMA DE MEDIANA CAPACIDAD .....	37
8.2 CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS .....	40
8.3 MATRIZ DE CRITICIDAD DE INSTRUMENTOS EN UNA OMA DE MEDIANA CAPACIDAD .....	41
8.4 CRONOGRAMA DE CALIBRACIÓN .....	46
8.5 FORMATOS DE REGISTRO .....	47
8.6 ASIGNACIÓN DE RESPONSABILIDADES .....	48
8.7 GUÍA TÉCNICA DEL PROCESO DE CALIBRACIÓN .....	50
8.8 INDICADORES DE GESTIÓN .....	54
8.9 GESTIÓN DE RIESGOS DEL PROCESO DE CALIBRACIÓN .....	55
8.10 REFERENCIAS NORMATIVAS .....	55
8.11 DIAGRAMA DE FLUJO .....	56
9. COMPARACIÓN DEL PROCESO ACTUAL VS PROPUESTO .....	57
10. RECOMENDACIONES .....	60
11. CONCLUSIONES .....	61

<b>12. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>63</b>
<b>13. ANEXOS .....</b>	<b>65</b>

**Tabla de contenido de tablas y figuras**

<b>TABLA 1. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....</b>	<b>23</b>
<b>TABLA 2. CARGO DE LOS ENCUESTADOS .....</b>	<b>24</b>
<b>TABLA 3. FRECUENCIA DE USO DE HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN .....</b>	<b>25</b>
<b>TABLA 4. CONOCIMIENTO DEL PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN .....</b>	<b>25</b>
<b>TABLA 5. INFLUENCIA DE LA CALIBRACIÓN EN LA SEGURIDAD OPERACIONAL .....</b>	<b>26</b>
<b>TABLA 6. CONTROL DOCUMENTADO DE CALIBRACIONES .....</b>	<b>27</b>
<b>TABLA 7. RETRASO POR FALTA DE CALIBRACIÓN .....</b>	<b>27</b>
<b>TABLA 8. FAMILIARIDAD CON LA NORMATIVA RAC 145 .....</b>	<b>28</b>
<b>TABLA 9. DIFICULTADES EN LA GESTIÓN DE CALIBRACIÓN .....</b>	<b>28</b>
<b>TABLA 10. FORMA DE CONTROL DE CALIBRACIÓN .....</b>	<b>29</b>
<b>TABLA 11. HERRAMIENTAS CALIBRABLES MÁS USADAS .....</b>	<b>30</b>
<b>TABLA 12. INFORMACIÓN CONTENIDA EN LA ETIQUETA .....</b>	<b>30</b>
<b>TABLA 13. FRECUENCIA DE AUDITORÍAS INTERNAS .....</b>	<b>31</b>
<b>TABLA 14. PROCEDIMIENTO ANTE HERRAMIENTA VENCIDA .....</b>	<b>31</b>
<b>TABLA 15. PARTICIPANTES EN LA ENCUESTA 2 .....</b>	<b>32</b>
<b>TABLA 16. EXPERIENCIA LABORAL .....</b>	<b>32</b>

<b>TABLA 17. CLARIDAD DE LA GUÍA .....</b>	<b>33</b>
<b>TABLA 18. COMPRENSIBILIDAD DEL LENGUAJE .....</b>	<b>33</b>
<b>TABLA 19. APLICABILIDAD DE LA GUÍA .....</b>	<b>34</b>
<b>TABLA 20. UTILIDAD PRINCIPAL DE LA GUÍA .....</b>	<b>34</b>
<b>TABLA 21. MATRIZ DE CRITICIDAD DE INSTRUMENTOS .....</b>	<b>41</b>
<b>TABLA 22. CRONOGRAMAS DE CALIBRACIÓN .....</b>	<b>46</b>
<b>TABLA 23. FORMATOS DE REGISTRO .....</b>	<b>47</b>
<b>TABLA 24. GESTIÓN DE RIESGOS DEL PROCESO DE CALIBRACIÓN .....</b>	<b>55</b>
<b>TABLA 25. COMPARACIÓN DEL PROCESO ACTUAL VS PROPUESTO .....</b>	<b>58</b>
<b>FIGURA 1. MAPA DE CRITICIDAD DE INSTRUMENTOS .....</b>	<b>45</b>
<b>FIGURA 2. DIAGRAMA DE FLUJO .....</b>	<b>56</b>

## 1. Introducción

En el ámbito de la aviación, la seguridad operacional constituye el objetivo fundamental de todas las actividades vinculadas al mantenimiento aeronáutico, siendo la confiabilidad de las mediciones realizadas uno de sus pilares principales. Instrumentos como los torquímetros, las pesas patrón y los equipos de medición electrónica permiten asegurar que los procedimientos técnicos se ejecuten con la precisión requerida para mantener la aeronavegabilidad, prevenir desviaciones y minimizar riesgos operacionales. La utilización de equipos no verificados o fuera de tolerancia puede generar errores acumulativos en los procesos de mantenimiento, afectar la calidad de las intervenciones técnicas y, en consecuencia, comprometer la seguridad del vuelo.

A pesar de su importancia, muchos talleres aeronáuticos no cuentan con un sistema organizado, estandarizado y documentado para la gestión de calibraciones, lo que dificulta la correcta trazabilidad metrológica de sus instrumentos. Esta situación se agrava en aquellas organizaciones que no aplican de manera rigurosa las directrices establecidas por entidades internacionales como la Federal Aviation Administration (FAA, 2018), la European Union Aviation Safety Agency (EASA, 2022) y la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO, 2018), así como por la normativa nacional dispuesta en el Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas (Aerocivil, 2015). Estos marcos regulatorios enfatizan la necesidad de implementar controles documentados sobre los instrumentos de medición, incluyendo registros de calibración, fechas de vencimiento, identificación, tolerancias y responsables del control, con el fin de asegurar la confiabilidad de las mediciones utilizadas en tareas críticas de mantenimiento.

Diversos estudios han evidenciado que la implementación de sistemas formales de gestión metrológica en talleres aeronáuticos contribuye significativamente al mejoramiento de los indicadores de mantenimiento, a la optimización de la disponibilidad de herramientas y a la reducción de hallazgos críticos durante auditorías técnicas (Gómez, Herrera & Torres, 2022). De igual manera, la aplicación de los principios establecidos en la norma ISO/IEC 17025:2017 y el uso de sistemas digitales especializados para la gestión de calibraciones han demostrado fortalecer la trazabilidad, mejorar la organización de la información y aumentar la capacidad de respuesta de las organizaciones frente a inspecciones y procesos de certificación.

En este contexto, el presente trabajo de grado propone el diseño de un sistema de gestión para la calibración de torquímetros, pesas patrón y equipos de medición electrónica aplicable a organizaciones de mantenimiento aeronáutico que operan bajo los lineamientos del Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145. La propuesta tiene como finalidad estandarizar el proceso de gestión de calibración, facilitar el cumplimiento normativo, fortalecer la confiabilidad de las mediciones y promover una cultura de calidad en el mantenimiento aeronáutico, mediante la integración de modelos de control, formatos de registro y estrategias de implementación adaptadas a diferentes contextos operativos. El desarrollo del proyecto se fundamenta en el análisis de la situación actual de los talleres aeronáuticos, identificando los factores críticos que afectan la trazabilidad metrológica y promoviendo un enfoque preventivo basado en la mejora continua, la incorporación de tecnología y la capacitación del personal técnico.

**Palabras clave:** Calibración, Torquímetros, Mantenimiento Aeronáutico, Seguridad Operacional, RAC 145, ISO 17025, FAA, EASA, Gestión Metrológica.

## 2. Planteamiento del problema

En las Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas (OMA) de mediana capacidad, la calibración de torquímetros, pesas y equipos de medición electrónica constituye un requisito crítico para garantizar la trazabilidad metrológica, la calidad del mantenimiento y la seguridad operacional, tal como lo establece el Reglamento Aeronáutico Colombiano “Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas”. Sin embargo, a partir del diagnóstico realizado en la OMA SIALAS, ubicada en Medellín, se evidenció que el 100 % del personal técnico desconoce el procedimiento de calibración de las herramientas que utiliza diariamente, a pesar de emplearlas de manera constante en sus actividades de mantenimiento, y que el control de las calibraciones se lleva a cabo principalmente mediante métodos manuales, tales como tableros físicos, registros en almacén y carpetas de certificados. Asimismo, se identificó la dependencia total de laboratorios externos para la ejecución del proceso de calibración, sin que exista un sistema interno estructurado de gestión metrológica que integre indicadores de seguimiento, trazabilidad digital, planificación sistemática y control preventivo. Esta situación incrementa el riesgo de uso involuntario de instrumentos vencidos, fuera de tolerancia o sin identificación adecuada, lo que podría derivar en errores en las labores de mantenimiento, hallazgos recurrentes en auditorías por parte de la autoridad aeronáutica y posibles afectaciones a la aeronavegabilidad. Por lo tanto, surge la necesidad de diseñar e implementar un sistema estructurado de gestión de calibraciones que permita fortalecer el control metrológico, optimizar la trazabilidad de los instrumentos, mejorar el cumplimiento

normativo bajo el “ Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas” y contribuir al fortalecimiento de la seguridad operacional en las OMA de mediana capacidad.

### **3. Justificación**

El presente trabajo de grado responde a una necesidad real en el sector aeronáutico: la mejora en la gestión del proceso de calibración de instrumentos. A nivel teórico, contribuye al desarrollo de modelos de gestión integrados con normas aeronáuticas vigentes y sistemas de calidad como ISO 9001 e ISO/IEC 17025. Prácticamente, permite implementar una herramienta aplicable en cualquier aeropuerto o taller autorizado, mejorando la eficiencia y reduciendo errores en mantenimiento.

En Colombia, la certificación de Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas (OMA) bajo el Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 es responsabilidad de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC), la cual establece los lineamientos obligatorios para la gestión de herramientas, equipos de medición y su trazabilidad metrológica. Asimismo, el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) dispone del Directorio Oficial de Acreditados, donde se listan los laboratorios reconocidos “según la Norma ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”, responsables de realizar calibraciones con trazabilidad nacional e internacional.

Si bien existen registros oficiales de acreditación y certificación, no se cuenta con un listado público consolidado y actualizado que indique el número exacto de OMAs certificadas y activas bajo “ Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas”. Por ello, se reconoce la importancia de fortalecer la gestión metrológica en el mantenimiento aeronáutico mediante la implementación de sistemas documentados, indicadores de desempeño y herramientas tecnológicas que permitan asegurar el cumplimiento normativo y la trazabilidad.

Desde el punto de vista social, esta investigación aporta a la seguridad aérea mediante la prevención de fallas provocadas por equipos fuera de calibración. También responde a vacíos metodológicos al integrar las exigencias del “ Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas” con prácticas modernas de gestión técnica y automatización mediante software de gestión metrológica (como MET/CAL o Beamex CMX). Finalmente, su aplicación no se limita a una sola institución,

sino que puede ser replicada en diferentes contextos aeronáuticos, tanto nacionales como internacionales, contribuyendo a la estandarización de procesos y a la mejora continua.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

Desarrollar una propuesta para gestionar eficientemente el proceso de calibración de torquímetros, pesas y equipos de medición electrónica en talleres aeronáuticos de mediana capacidad, garantizando la trazabilidad, cumplimiento normativo y seguridad operacional.

### **4.2 Objetivos específicos**

- Diagnosticar el estado actual del proceso de calibración en talleres aeronáuticos.
- Identificar brechas con respecto a los requisitos del “ Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobado” y otras normativas internacionales.
- Diseñar un sistema de gestión de calibraciones que incluya formatos, responsables y programación preventiva.
- Elaborar una guía técnica de calibración con base en normas FAA, EASA y RAC.
- Evaluar teóricamente el impacto de la implementación del sistema en un contexto aeronáutico simulado.

## **5. Marco Teórico**

En la aviación, la seguridad operacional depende en gran medida de la confiabilidad de los procesos de mantenimiento, en los que las herramientas de precisión y los equipos de medición cumplen un papel determinante. La correcta gestión de instrumentos con trazabilidad vigente, como torquímetros, pesas patrón y equipos electrónicos, asegura que cada tarea técnica se ejecute con exactitud, evitando desviaciones que puedan comprometer la aeronavegabilidad [1]. La calibración no debe entenderse como una actividad aislada, sino como un proceso sistémico que integra la ingeniería de mantenimiento, la gestión de la calidad, la seguridad operacional y la trazabilidad metrológica. Una verificación inadecuada puede generar que un par de aprietes no cumpla con las especificaciones del fabricante, que

un indicador electrónico muestre valores erróneos o que una pesa no garantiza mediciones confiables, lo cual podría derivar en fallas mecánicas, estructurales o funcionales [5].

En la práctica, las Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas (OMA) se clasifican según su tamaño y alcance. Una OMA pequeña suele estar orientada a la aviación ligera y depende de laboratorios externos para sus calibraciones; una OMA grande, en cambio, atiende aerolíneas comerciales y dispone de laboratorios internos acreditados, hangares múltiples y sistemas de gestión avanzados. La OMA mediana, que constituye el objeto de este proyecto, se ubica en un punto intermedio: atiende aeronaves regionales, jets ejecutivos o helicópteros, cuenta con instalaciones y personal calificado, pero mantiene dependencia parcial de laboratorios externos acreditados [5].

El marco regulatorio colombiano, mediante el “ Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobado”, establece lineamientos específicos para el control, la calibración y la trazabilidad de los instrumentos empleados en las OMAs. En el artículo 145.320(a) se indica que la organización debe contar con el equipamiento, herramientas y materiales adecuados para ejecutar las tareas incluidas en su lista de capacidades, entendida como el documento que define las actividades y tipos de aeronaves o componentes que una OMA está autorizada a mantener bajo aprobación de la Aeronáutica Civil. El artículo 145.320(b) señala que los equipos y herramientas que requieran calibración deben ser controlados y verificados conforme a normas aceptadas por la autoridad, y que los registros deben conservarse durante toda la vida útil del equipo o al menos por dos años desde la última calibración. Finalmente, el artículo 145.340(d)(5) establece que el sistema de inspección debe incluir el control de las calibraciones de herramientas con intervalos definidos y documentados [1]. Esto implica que cada instrumento debe estar identificado, etiquetado con su vigencia visible, segregado si está vencido o fuera de tolerancia y respaldado por un certificado de calibración que garantice su trazabilidad hacia patrones nacionales o internacionales [11].

Estas disposiciones se articulan con marcos regulatorios internacionales. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), en su Anexo 6, establece que los Estados deben garantizar que las organizaciones de mantenimiento implementen controles de calidad, entre los cuales la verificación y calibración de herramientas son obligatorias [2]. En Estados Unidos, la Federal Aviation Administration (FAA) exige, mediante la Advisory Circular (AC) 43.13-1B – Acceptable Methods, Techniques, and Practices: Aircraft Inspection and Repair, que los torquímetros sean calibrados al menos una vez al año o después de cualquier impacto que pueda alterar su precisión. Asimismo, la AC 145-9A – Guide for Developing and Evaluating Repair Station and Quality Control Manuals, refuerza

la obligación de que las estaciones de reparación certificadas cuenten con programas documentados de calibración y control de equipos de medición [3]. En Europa, la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA), a través de la Parte 145 – Maintenance Organisation Approvals, dispone que todas las herramientas de medición deben estar verificadas y ser trazables a estándares reconocidos, además de conservar registros verificables [4].

La calibración se justifica por varias razones fundamentales. Primero, garantiza la seguridad operacional: un torquímetro desajustado puede provocar fallas en uniones críticas, desprendimiento de componentes o fatiga estructural [7][8][9]. Segundo, asegura el cumplimiento regulatorio, pues el “ Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas” exige que toda OMA mantenga un programa documentado de control metrológico, cuyo incumplimiento puede derivar en sanciones o la suspensión del certificado de operación [1]. Tercero, mejora la confiabilidad de los procesos al reducir retrabajos y costos derivados de fallas repetitivas [3]. Finalmente, los registros de calibración son esenciales durante auditorías internas, inspecciones de la Aeronáutica Civil o investigaciones de incidentes [5].

En Colombia no se han reportado accidentes directamente atribuibles a instrumentos mal calibrados en talleres certificados bajo el “ Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas”. No obstante, la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil de Colombia (Aerocivil) supervisa los programas de calibración a través del Sistema IRIS (Inspection and Reporting Information System), una plataforma que permite coordinar y controlar auditorías, inspecciones y hallazgos dentro de las OMAs [6]. A nivel internacional, sí existen casos documentados: en Estados Unidos (2025), un accidente fatal en aviación general fue causado por un magneto mal asegurado debido a torque incorrecto [7]; en Canadá (1995), un Fokker F28 sufrió la separación de ruedas de su tren de aterrizaje por un fallo de torque [8]; y la National Transportation Safety Board (NTSB) reportó en 2014 la separación de una hélice en vuelo debido a pernos instalados con torque insuficiente [9]. Estos incidentes demuestran que pequeñas desviaciones en las mediciones pueden tener consecuencias graves, lo que refuerza la necesidad de un control riguroso y continuo.

En el contexto internacional, los requisitos establecidos en el Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 mantienen una alineación técnica con los estándares aplicados por la Federal Aviation Administration (FAA) en Estados Unidos y la European Union Aviation Safety Agency (EASA) en Europa. Las tres autoridades aeronáuticas exigen que las organizaciones de mantenimiento implementen procedimientos documentados para el

control, calibración y verificación de herramientas e instrumentos utilizados en actividades de mantenimiento aeronáutico [1][3][4].

En particular, el “ Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas” exige que las OMAs establezcan un sistema para asegurar que los equipos de medición utilizados en procesos técnicos mantengan su exactitud y tengan trazabilidad metrológica, preferiblemente bajo “la Norma ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración” [1][10]. De forma equivalente, la FAA establece en 14 CFR Part 145 y AC 145-9 que las herramientas críticas para mantenimiento deben estar identificadas, controladas documentalmente y calibradas con trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, usualmente NIST [3][11][12]. Por su parte, la EASA, mediante Part-145.A.40 y material guía asociado, requiere que todo instrumento utilizado en tareas certificadas mantenga registros verificables, certificados técnicos y trazabilidad hacia estándares metrológicos reconocidos, también bajo criterios “la Norma ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración” [4][10].

En consecuencia, puede afirmarse que el sistema propuesto en este trabajo no solo responde a las obligaciones del “ Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas”, sino que está plenamente alineado con las prácticas internacionales exigidas por FAA y EASA, garantizando una gestión metrológica equivalente y compatible con estándares globales del sector aeronáutico [1][3][4].

“la Norma ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración” define los requisitos generales para garantizar la competencia técnica de los laboratorios de ensayo y calibración, incluyendo la estimación de la incertidumbre y la trazabilidad de los resultados [10]. En Colombia, el Instituto Nacional de Metrología (INM) y el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) son responsables de garantizar la trazabilidad hacia patrones internacionales [11], mientras que a nivel global el National Institute of Standards and Technology (NIST) proporciona los patrones de referencia que aseguran la equivalencia de mediciones [12].

Los procedimientos técnicos de calibración varían según el tipo de instrumento. En los torquímetros, se aplican cargas controladas comparadas con patrones de referencia, generando un certificado con los errores detectados y las correcciones aplicadas [13]. En las pesas patrón, las verificaciones se realizan bajo condiciones ambientales controladas mediante comparaciones con masas de referencia [14]. En los equipos electrónicos, como

multímetros o bancos de prueba de aviónica, se utilizan simuladores y patrones eléctricos que producen voltajes, resistencias o frecuencias estandarizadas para comprobar la conformidad con las especificaciones del fabricante [15].

Las OMAs medianas enfrentan desafíos específicos en la gestión de sus programas de calibración, tales como los costos de envío a laboratorios acreditados, la limitada oferta de servicios en el país, la falta de capacitación del personal y el riesgo de pérdida documental [11]. Las buenas prácticas incluyen la digitalización de registros mediante plataformas como Beamex o MET/CAL, la alineación con los principios de “la Norma ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración” y la promoción de una cultura de seguridad operacional que entienda la calibración como una medida preventiva y no meramente administrativa [12][6].

En conclusión, la calibración constituye un elemento esencial en la gestión del mantenimiento aeronáutico y un componente crítico de la seguridad operacional. Su aplicación rigurosa garantiza la aeronavegabilidad, la trazabilidad metrológica y el cumplimiento normativo. Para una OMA de mediana capacidad, la implementación de un sistema documentado y trazable de calibración, sustentado en el RAC 145 y en estándares internacionales, representa una estrategia técnica clave para fortalecer la confiabilidad, optimizar recursos y mantener altos niveles de seguridad [1][5].

Con base en los fundamentos teóricos, normativos y técnicos expuestos, en la siguiente sección se presenta la metodología desarrollada para estructurar e implementar el proceso de calibración dentro de una Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) de mediana capacidad, en concordancia con la normativa RAC 145 y los lineamientos internacionales aplicables.

## **6. Metodología**

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto de grado, en la cual se describe el tipo y enfoque de investigación, la población y muestra seleccionada, los instrumentos de recolección de información empleados, así como las fases y técnicas de análisis aplicadas. La metodología fue estructurada con el propósito de garantizar un proceso ordenado, sistemático y coherente, que permitiera diagnosticar la situación actual del proceso de calibración, desarrollar una propuesta de mejora y evaluar su aplicabilidad en una Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) de mediana capacidad, en cumplimiento de la normativa técnica vigente.

## **6.1 Tipo de enfoque de la investigación**

Este proyecto de grado se desarrolló bajo un enfoque de investigación aplicada, con una metodología de tipo descriptiva–propositiva, orientada al diseño de una solución técnica que permita mejorar la gestión del proceso de calibración de torquímetros, pesas patrón y equipos de medición electrónica en una Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) de mediana capacidad.

El enfoque aplicado se fundamenta en la búsqueda de una solución práctica a una problemática real identificada en la organización objeto de estudio, mientras que el carácter descriptivo permite analizar la situación actual del proceso de calibración, y el componente propositivo se orienta al diseño de una guía técnica y un sistema estructurado de gestión de calibraciones.

La investigación es de tipo no experimental, ya que no se manipuló deliberadamente ninguna variable, sino que se observó, analizó y evaluó el estado actual del proceso de calibración de los instrumentos de medición utilizados en la OMA, con el fin de proponer mejoras alineadas “según el Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas” y a “la Norma ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”.

La metodología empleada se sustenta en el ciclo PHVA (Planear – Hacer – Verificar – Actuar), ampliamente reconocido en sistemas de gestión de calidad como la norma ISO 9001, ya que permite estructurar un proceso continuo de diagnóstico, diseño, evaluación y mejoramiento del sistema de gestión de calibración propuesto.

## **6.2 Población y muestra**

La población objeto de estudio estuvo conformada por el personal técnico de la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) SIALAS, ubicada en la ciudad de Medellín, la cual realiza mantenimiento a aeronaves que operan bajo normativa nacional e internacional.

La muestra correspondió al 100 % del personal técnico operativo disponible en la organización durante el periodo de ejecución del proyecto, conformado por un total de seis (6) técnicos aeronáuticos, quienes interactúan de manera directa con los instrumentos que requieren calibración periódica.

Debido al tamaño reducido de la población, se empleó un muestreo de tipo censal, ya que se trabajó con la totalidad de las personas que conforman la población de interés, garantizando así una mayor representatividad de los resultados obtenidos.

### **6.3 Instrumentos de recolección de información**

Para la recolección de la información se emplearon las siguientes técnicas e instrumentos:

- Revisión documental de normativa técnica aplicable, incluyendo “el Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas”, “la Norma ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”, y documentos técnicos de referencia en calibración y control metrológico en entornos aeronáuticos.
- Observación directa del proceso actual de control de herramientas e instrumentos en la OMA objeto de estudio.
- Aplicación de dos (2) encuestas estructuradas, elaboradas mediante la plataforma Google Forms, dirigidas al personal técnico de la organización:
  - Encuesta 1: Diagnóstico del proceso actual de calibración y control de instrumentos de medición.
  - Encuesta 2: Evaluación de la guía técnica y del sistema de gestión de calibración propuesto.

Las encuestas estuvieron conformadas por un total de trece (13) preguntas de tipo cerrado, entre las cuales se incluyeron preguntas dicotómicas (sí/no), de selección múltiple y de percepción, orientadas a recopilar información clara y cuantificable sobre el conocimiento, uso y control de los instrumentos de medición en la OMA.

#### **6.4 Diseño y validación de las encuestas**

El diseño de las encuestas se realizó tomando como base los objetivos específicos del proyecto, así como los requerimientos establecidos en el “Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas” y en “la Norma ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”. Cada pregunta fue estructurada de forma clara, precisa y coherente, buscando obtener información relacionada con:

- El nivel de conocimiento del personal sobre el proceso de calibración.
- La forma en que se realiza actualmente el control de los instrumentos de medición.
- La frecuencia de uso de los equipos.
- La percepción del personal frente a la guía técnica propuesta.

Previo a su aplicación definitiva, los instrumentos fueron sometidos a una validación de contenido mediante revisión por parte de un docente del área de mantenimiento aeronáutico, con el fin de verificar la claridad, pertinencia y coherencia de las preguntas, garantizando así la calidad de la información recopilada.

#### **6.5 Fases del proyecto**

##### **Fase 1. Revisión documental y normativa (Planear)**

En esta fase se realizó la consulta y análisis de la normativa nacional e internacional relacionada con la calibración de instrumentos en entornos aeronáuticos, tales como:

- Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas
- Norma ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración

- Documentación técnica de referencia sobre calibración y trazabilidad metrológica en la industria aeronáutica

Esta revisión permitió establecer el sustento teórico y normativo para el diseño del sistema de gestión de calibración propuesto.

## Fase 2. Diagnóstico de la situación actual (Planear – Hacer)

En esta fase se realizó el diagnóstico del proceso actual de calibración de instrumentos en la OMA SIALAS, mediante la aplicación de la Encuesta 1 al personal técnico, así como la observación directa del control de herramientas e instrumentos existentes.

El objetivo de esta fase fue identificar las debilidades, fortalezas y oportunidades de mejora del sistema de control de calibraciones, haciendo énfasis en aspectos como:

- Conocimiento del procedimiento de calibración
- Métodos actuales de control
- Gestión de registros
- Frecuencia de calibración
- Identificación de instrumentos críticos

Los resultados de esta fase sirvieron como base para el diseño del sistema propuesto.

## Fase 3. Diseño del sistema de gestión de calibración (Hacer)

Con base en la información obtenida en el diagnóstico y la revisión normativa, se diseñó una guía técnica estructurada para la gestión del proceso de calibración, la cual contempla:

- Clasificación de instrumentos según su nivel de criticidad
- Establecimiento de frecuencias de calibración

- Asignación de responsabilidades generales
- Definición de procedimientos de control
- Diseño de formatos de registro y seguimiento
- Propuesta de indicadores de gestión

Esta fase corresponde a la estructuración técnica de la propuesta, la cual se desarrolla con mayor profundidad en el capítulo correspondiente a la Propuesta del Sistema de Gestión de Calibración.

#### Fase 4. Validación de la propuesta (Verificar)

Una vez diseñada la guía técnica, se aplicó la Encuesta 2 al personal técnico de la OMA, con el propósito de evaluar la comprensión, pertinencia y posible aplicabilidad de la propuesta dentro del entorno real de trabajo.

Las respuestas obtenidas permitieron identificar observaciones y sugerencias, las cuales fueron tenidas en cuenta para ajustar y mejorar la versión final del sistema de gestión de calibración.

#### Fase 5. Análisis de la información (Verificar – Actuar)

La información obtenida a través de las encuestas fue organizada y procesada mediante el uso de estadística descriptiva básica, empleando frecuencias absolutas y porcentajes, los cuales posteriormente fueron representados en tablas y gráficos con el fin de facilitar su interpretación.

El análisis permitió establecer la relación entre los resultados obtenidos, los objetivos específicos del proyecto y la hipótesis planteada. Este análisis se presenta en el capítulo de Resultados.

#### Fase 6. Redacción y consolidación del documento (Actuar)

En la fase final se realizó la integración de todos los capítulos del trabajo de grado, incluyendo los resultados, la propuesta del sistema de gestión y las conclusiones,

asegurando coherencia, secuencia lógica y cumplimiento de los requisitos académicos y normativos.

## 6.6 Cronograma de actividades

**Tabla 1.** Cronograma de actividades

Semana	Actividad
1-2	Revisión documental y recopilación normativa (RAC 145, ISO, FAA, EASA).
3-4	Diagnóstico de la situación actual en talleres aeronáuticos.
5-7	Diseño del sistema de gestión de calibración.
8-9	Elaboración de la guía técnica de calibración.
10-11	Validación teórica y ajustes del sistema propuesto
12-14	Se realiza las encuestas propuestas en la OMA
15-16	Redacción final del documento de trabajo de grado.

**Fuente:** Elaboración propia

## 7. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de las encuestas dirigidas al personal técnico y administrativo de una Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) de mediana capacidad, con el objetivo de analizar la situación actual del proceso de calibración de herramientas e instrumentos de medición.

Los resultados se muestran de forma cuantitativa mediante tablas y gráficos, utilizando frecuencias y porcentajes que permiten identificar tendencias, debilidades y oportunidades de mejora en la gestión de calibración, trazabilidad metrológica y control documental, en relación con los requerimientos establecidos “según el Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas” y “la Norma ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”.

### 7.1 Resultados encuesta 1

La encuesta fue aplicada a un total de XX personas pertenecientes a una OMA de mediana capacidad, entre los cuales se incluyen técnicos de mantenimiento, encargados de herramientas, personal de calidad y jefes de área.

La distribución de los encuestados fue la siguiente:

**Tabla 2.** Cargo de los encuestados

Cargo	Número de encuestados	Porcentaje (%)
Técnicos de mantenimiento	5	83,3 %
Encargado de herramientas	0	0 %
Jefe de calidad	0	0 %
Jefe de taller	1	16,7 %
Total	6	100 %

**Fuente:** Elaboración propia

El 100 % de los participantes son técnicos aeronáuticos, es decir, personal directamente encargado del uso de herramientas calibrables, lo cual garantiza la validez de la información obtenida.

**Tabla 3.** Frecuencia de uso de herramientas de medición

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Siempre	6	100 %
Frecuentemente	0	0 %
Ocasionalmente	0	0 %
Total	6	100 %

**Fuente:** Elaboración propia

Todos los encuestados utilizan herramientas de medición a diario, confirmando que la calibración es un proceso crítico dentro del taller.

**Tabla 4.** Conocimiento del procedimiento de calibración

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Sí lo conozco	0	0 %
De manera general	0	0 %
No lo conozco	6	100 %

Total	6	100 %
-------	---	-------

**Fuente:** Elaboración propia

Se evidencia una brecha en el conocimiento del procedimiento de calibración (100 %). Este resultado está relacionado con el hecho de que la calibración se terceriza, por no contar la OMA con la habilitación correspondiente.

**Tabla 5.** Influencia de la calibración en la seguridad operacional

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Sí	6	100 %
No	0	0 %
No seguro	0	0 %
Total	6	100 %

**Fuente:** Elaboración propia

Todos reconocen que la calibración influye directamente en la seguridad de vuelo, lo que indica una adecuada conciencia de riesgo en el personal técnico.

**Tabla 6.** Control documentado de calibraciones

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Siempre	6	100 %
A veces	0	0 %
No	0	0 %
Total	6	100 %

**Fuente:** Elaboración propia

La OMA cuenta con control documental riguroso: carpetas físicas, tableros de control y verificación mensual, en concordancia con el RAC 145.

**Tabla 7.** Retraso por falta de calibración

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Sí	0	0 %
No	6	100 %
Total	6	100 %

**Fuente:** Elaboración propia

No se presentan retrasos debido a que la empresa mantiene herramientas de respaldo y controla anticipadamente la vigencia de calibración.

**Tabla 8.** Familiaridad con la normativa RAC 145

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Muy familiarizado	6	100 %
Algo familiarizado	0	0 %
Poco familiarizado	0	0 %
Nada familiarizado	0	0 %
Total	6	100 %

**Fuente:** Elaboración propia

El personal domina la normativa, aunque no ejecute directamente los procesos de calibración.

**Tabla 9.** Dificultades en la gestión de calibración

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
-----------	------------	------------

Ninguna	6	100 %
Otras	0	0 %
Total	6	100 %

**Fuente:** Elaboración propia

El control está centralizado, lo cual evita inconvenientes operativos.

**Tabla 10.** Forma de control de calibración (respuesta abierta)

Método de control utilizado
Por medio del almacén
Carpeta + certificados físicos
Tablero de control

**Fuente:** Elaboración propia

El método es funcional, pero manual. Se identifica oportunidad de digitalización.

**Tabla 11.** Herramientas calibrables más usadas

Herramienta	Frecuencia de mención
Torquímetro	Alta
Manómetro	Alta
Tensiómetro	Media

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 12.** Información contenida en la etiqueta

Elemento presente en etiqueta
Marca
Modelo
Serie
Número de parte
Fecha de calibración

Fecha de vencimiento
Número del certificado
Estado

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 13.** Frecuencia de auditorías internas

Periodicidad	Frecuencia	Porcentaje
Cada 30 días	6	100 %

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 14.** Procedimiento ante herramienta vencida

Acción	Frecuencia
Retiro inmediato del servicio	6
Envío a laboratorio autorizado	6

**Fuente:** Elaboración propia

## 7.2 Resultados Encuesta 2

Evaluación de la guía técnica de calibración

**Tabla 15.** Participantes en la encuesta 2

Cargo	Cantidad
Jefe de mantenimiento	1
Técnicos	5
Total	6

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 16.** Experiencia laboral

Años de experiencia
24
12
10
8

6
5

**Fuente:** Elaboración propia

Promedio aproximado: 10,8 años

**Tabla 17.** Claridad de la guía

Respuesta	Frecuencia	%
Totalmente de acuerdo	5	83 %
De acuerdo	1	17 %
En desacuerdo	0	0 %

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 18.** Comprensibilidad del lenguaje

Respuesta	Frecuencia
Totalmente de acuerdo	6

De acuerdo	0
------------	---

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 19.** Aplicabilidad de la guía

Respuesta	Frecuencia
De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	2

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 20.** Utilidad principal de la guía

Aspecto	Frecuencia
Indicadores de gestión	Alta
Procedimientos	Media

**Fuente:** Elaboración propia

### **7.3 Resultados generales de las dos encuestas**

Los resultados de ambas encuestas permiten evidenciar que, aunque la OMA SIALAS cumple actualmente con los requerimientos establecidos en el “Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas” en cuanto al control, registro y trazabilidad de sus herramientas e instrumentos de medición, existe una brecha de conocimiento en el personal técnico respecto al procedimiento formal de calibración. Esta situación no se deriva de una deficiencia en las competencias del personal, sino del hecho de que la organización no cuenta con habilitación para realizar calibraciones internas, por lo que este proceso es tercerizado a laboratorios acreditados.

No obstante, se identificó una alta conciencia sobre la importancia de la calibración y su relación directa con la seguridad operacional, así como la existencia de un sistema organizado de control documental y seguimiento periódico de las herramientas, lo cual demuestra el compromiso de la OMA con el cumplimiento normativo y las buenas prácticas del mantenimiento aeronáutico.

Por otra parte, la evaluación de la guía técnica elaborada en este trabajo de grado confirmó que se trata de un documento claro, aplicable, comprensible y funcional, tanto para el personal técnico como para el personal directivo. Los participantes destacaron especialmente la utilidad de los indicadores de gestión incluidos, los cuales permiten fortalecer la toma de decisiones, mejorar el control metrológico y facilitar los procesos de auditoría bajo el marco del “Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas”.

En consecuencia, se valida la hipótesis planteada, demostrando que la implementación de una guía técnica estandarizada para la gestión del proceso de calibración contribuye significativamente a mejorar la trazabilidad, el control de los instrumentos, la capacitación del personal y, en general, la seguridad operacional en los talleres de mantenimiento aeronáutico que operan bajo la normativa RAC 145.

### **7.4 Limitaciones del estudio y alcance de los resultados**

Es importante señalar que los resultados obtenidos en el presente trabajo de grado corresponden exclusivamente al estudio de caso realizado en la Organización de Mantenimiento Aprobada SIALAS S.A.S., la cual fue seleccionada debido a la

accesibilidad institucional, la disposición del personal para participar en las encuestas y la viabilidad para aplicar el instrumento de recolección de información dentro del tiempo establecido para el desarrollo del proyecto.

La muestra estuvo conformada por seis personas, entre ellas cinco técnicos de mantenimiento y un jefe de taller, quienes representan el total del personal operativo directamente relacionado con el uso de herramientas calibrables en dicha OMA. Si bien esta muestra permitió obtener información relevante y coherente con los objetivos del estudio, su tamaño no permite realizar inferencias estadísticas generalizables a todas las Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas (OMA) del sector aeronáutico.

Para que los resultados pudieran ser considerados estadísticamente representativos a nivel general, sería necesario desarrollar un muestreo multicéntrico que incluya, como mínimo, entre 30 y 50 OMA, o en su defecto, una muestra no menor a 30 técnicos de mantenimiento, lo que permitiría aplicar análisis inferenciales con un mayor nivel de confianza y validez estadística.

La elección de trabajar únicamente con la OMA SIALAS S.A.S. también estuvo condicionada por factores externos, tales como:

- Las restricciones de acceso a instalaciones aeronáuticas por razones de seguridad.
- La confidencialidad de la información técnica y operativa en otras organizaciones.
- La falta de respuesta positiva por parte de algunas OMAs contactadas inicialmente.
- Las limitaciones de tiempo y recursos disponibles para el desarrollo del trabajo de grado.

Por lo tanto, las conclusiones del presente estudio se aplican principalmente al contexto específico de la OMA SIALAS S.A.S. y deben ser interpretadas como una base referencial para futuras investigaciones más amplias. No obstante, los hallazgos obtenidos ofrecen un insumo valioso para otras OMA de características similares, ya que permiten identificar tendencias, debilidades comunes y oportunidades de mejora en la gestión del proceso de calibración de herramientas bajo el marco del Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas.

## **8. Propuesta del sistema de gestión de calibración**

La presente propuesta desarrolla un sistema estructurado para la gestión del proceso de calibración de torquímetros, pesas patrón y equipos de medición electrónica en una Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) de mediana capacidad, alineado con los requerimientos del “Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas” y con estándares internacionales como la ISO/IEC 17025, EASA Part-145 y FAA AC 43.13-1B.

Este sistema busca garantizar que todos los instrumentos de medición empleados en las actividades de mantenimiento aeronáutico cuenten con calibración vigente, trazabilidad metrológica y control documental adecuado, reduciendo así los riesgos asociados a mediciones incorrectas que puedan comprometer la seguridad operacional y la aeronavegabilidad.

La propuesta incluye la formulación de políticas de calibración, una matriz de criticidad, un cronograma anual, una guía técnica del proceso, la asignación de responsabilidades, formatos de control y un sistema de indicadores para la evaluación de su desempeño, constituyéndose como una herramienta aplicable y adaptable a los procedimientos internos de una OMA de mediana capacidad.

### **8.1 Políticas de calibración en una OMA de mediana capacidad**

#### **1 Objetivo**

-Establecer las directrices que aseguren que todas las herramientas de precisión e instrumentos de medición empleados en el mantenimiento aeronáutico se encuentren calibrados, controlados y trazables a patrones nacionales o internacionales, garantizando así la seguridad operacional, la calidad del mantenimiento y el cumplimiento normativo establecido en el “Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas”.

#### **2 Alcance**

-Estas políticas aplican a todos los instrumentos y equipos de medición utilizados en la OMA de mediana capacidad, incluyendo torquímetros, pesas patrón, multímetros,

manómetros, equipos de aviónica, bancos de prueba y demás herramientas críticas que influyan directa o indirectamente en la aeronavegabilidad de las aeronaves atendidas.

### 3 Responsabilidades

- Jefe de Calidad / SMS: Supervisar el cumplimiento de las políticas y realizar auditorías internas.
- Encargado de Control de Herramientas: Mantener actualizado el inventario, las fechas de vigencia y los certificados de calibración.
- Técnicos de mantenimiento: Verificar la vigencia de calibración antes de utilizar cualquier herramienta y reportar irregularidades.
- Jefe de Taller: Garantizar que los equipos descalibrados o vencidos sean segregados y no se utilicen en tareas de mantenimiento.

### 4 Definiciones

- Calibración: Conjunto de operaciones que establecen la relación entre los valores indicados por un instrumento y los valores conocidos de un patrón de referencia.
- Verificación: Confirmación de que un instrumento cumple con los requisitos metrológicos establecidos.
- Trazabilidad: Propiedad del resultado de una medición que permite relacionarlo con patrones nacionales o internacionales a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones.
- Instrumento crítico: Aquel cuya descalibración puede comprometer la seguridad operacional o la calidad del mantenimiento.

### 5 Política de calibración

- Todos los instrumentos de medición y herramientas de precisión empleados en el taller deberán estar calibrados y contar con un certificado vigente emitido por un laboratorio acreditado por ONAC o equivalente internacional (ISO/IEC 17025).

- No se permitirá el uso de herramientas que presenten calibración vencida, etiquetas ilegibles o se encuentren fuera de tolerancia.
- Los instrumentos críticos deberán ser priorizados en el plan de calibración de acuerdo con su impacto en la seguridad operacional y la frecuencia de uso.
- Todo equipo fuera de servicio por vencimiento o descalibración deberá ser segregado, identificado y apartado físicamente para evitar su uso inadvertido.

## 6 Clasificación de instrumentos

Los instrumentos se clasifican según su nivel de criticidad (Crítico, Alto, Medio, Bajo), siguiendo criterios de seguridad operacional, calidad del mantenimiento, redundancia y frecuencia de uso. La Matriz de Criticidad será la herramienta principal para esta clasificación.

## 7 Frecuencia de calibración

- Instrumentos críticos: cada 6 a 12 meses.
- Instrumentos de alto impacto: cada 12 meses.
- Instrumentos de criticidad media: cada 12 a 24 meses, según frecuencia de uso.
- Instrumentos de baja criticidad: cada 24 meses o mediante verificaciones internas respaldadas.
- La frecuencia podrá ajustarse según recomendaciones del fabricante, normativa aplicable o resultados de auditorías.

## 8 Procedimiento general

- Identificación y codificación de cada instrumento.
- Registro en el inventario de herramientas con su fecha de última calibración y vigencia.
- Etiquetado visible con el estado de calibración.
- Envío a calibración en laboratorios acreditados según los intervalos definidos.
- Recepción y verificación del certificado de calibración.

- Actualización de registros en la base de datos.
- Segregación inmediata de instrumentos vencidos o fuera de tolerancia.

## 9 Registros

- Certificados de calibración emitidos por laboratorios acreditados.
- Formatos de control de calibración de herramientas.
- Base de datos o listado actualizado con fechas de vencimiento.
- Registros de segregación y disposición de instrumentos no conformes.

## 10 Auditorías y mejora continua

- Se realizarán auditorías internas y externas (Aerocivil, ONAC) para verificar el cumplimiento de estas políticas.
- Todo hallazgo deberá generar un plan de acción correctiva y preventiva.
- El sistema de calibración será revisado anualmente para evaluar su efectividad y realizar ajustes cuando sea necesario.

### **8.2 Clasificación de instrumentos**

Los instrumentos se clasifican según su nivel de criticidad (**Crítico, Alto, Medio, Bajo**), siguiendo criterios de seguridad operacional, calidad del mantenimiento, redundancia y frecuencia de uso.

La Matriz de Criticidad será la herramienta principal para esta clasificación.

### 8.3 Matriz de criticidad de instrumentos en una OMA de mediana capacidad

**Tabla 21.** matriz de criticidad de instrumentos

Instrumento	Función / Uso	Seguridad (1-5)	Calidad (1-5)	Redundancia (1-3)	Frecuencia de uso (1-5)	Nivel de criticidad	Intervalo recomendado	Acciones recomendadas
Torquímetro (manual/digital)	Aplicar torque especificado en pernos estructurales y componentes críticos	5	5	1	5	Crítico	6 meses	Calibración en laboratorio acreditado; inspección previa a cada uso; plan de respaldo
Pesas patrón (M1/M2)	Verificación y calibración de balanzas y sistemas de pesaje de aeronaves	4	5	1	3	Alto	12 meses	Calibración en laboratorio acreditado; mantener instrumento de respaldo
Multímetro de referencia (Fluke)	Mediciones eléctricas en aviónica y sistemas	4	4	2	5	Alto	12 meses	Instrumentos con trazabilidad vigente; inspección

	eléctricos							previa a cada uso
Tester de aviónica / Radio test set	Pruebas y verificación de transmisores, transponders y radios	5	5	1	4	Crítico	6-12 meses	Instrumentos con trazabilidad vigente; inspección previa; plan de respaldo
Banco de prueba de motores	Medición de parámetros de motor y combustión	5	5	1	2	Crítico	12 meses	Equipos verificados conforme a norma; plan de contingencia
Calibrador de presión / Manómetros	Verificación de sistemas hidráulicos, neumáticos y presión de combustión	4	4	2	4	Alto	12 meses	Equipos verificados conforme a norma; inspección previa a cada uso
Boroscopio / Endoscopio	Inspección interna de motores y	4	4	2	3	Medio	12-24 meses	Verificaciones internas; calibración externa periódica

	estructuras							
Balanzas / Scales aeronáuticas	Determinación de peso y centro de gravedad de aeronaves	5	5	1	2	Crítico	12 meses	Equipos verificados conforme a norma; plan de respaldo
Generador de señales / Patrón de frecuencia	Calibración y verificación de equipos electrónicos y receptores	4	4	2	3	Medio	12-24 meses	Calibración externa periódica; inspección funcional
Termohigrómetro	Registro de condiciones ambientales en calibraciones	3	4	2	3	Medio	12-24 meses	Verificación interna; calibración externa
Pinzas amperimétricas / Clamp meter	Medición de corriente en circuitos eléctricos	3	3	2	4	Medio	12-24 meses	Verificación interna; inspección previa

Detector de fugas / Leak tester	Verificación de sistemas presurizados y de combustible	5	4	1	2	Crítico	12 meses	Equipos verificados conforme a norma; plan de respaldo
---------------------------------	--	---	---	---	---	---------	----------	--

**Fuente:** Elaboración propia con base en RAC 145, ISO/IEC 17025 y FAA AC 43.13-1B.

#### Escalas utilizadas

##### 1. Seguridad (1–5):

Evalúa cuánto afecta el instrumento a la seguridad operacional si está descalibrado.

- o 1 = Sin impacto
- o 3 = Impacto moderado
- o 5 = Impacto crítico (puede causar un accidente)

##### 2. Calidad (1–5):

Mide el efecto en la calidad del mantenimiento y la confiabilidad de la aeronave.

- o 1 = Bajo impacto en calidad
- o 3 = Puede generar retrabajo o fallas no críticas
- o 5 = Impacto directo en calidad (puede causar falla grave si está mal)

##### 3. Redundancia (1–3):

Indica si hay otros instrumentos de respaldo disponibles.

- o 1 = Sin respaldo (si se daña, no hay reemplazo → muy crítico)
- o 2 = Algún respaldo limitado
- o 3 = Totalmente redundante (hay varios disponibles)

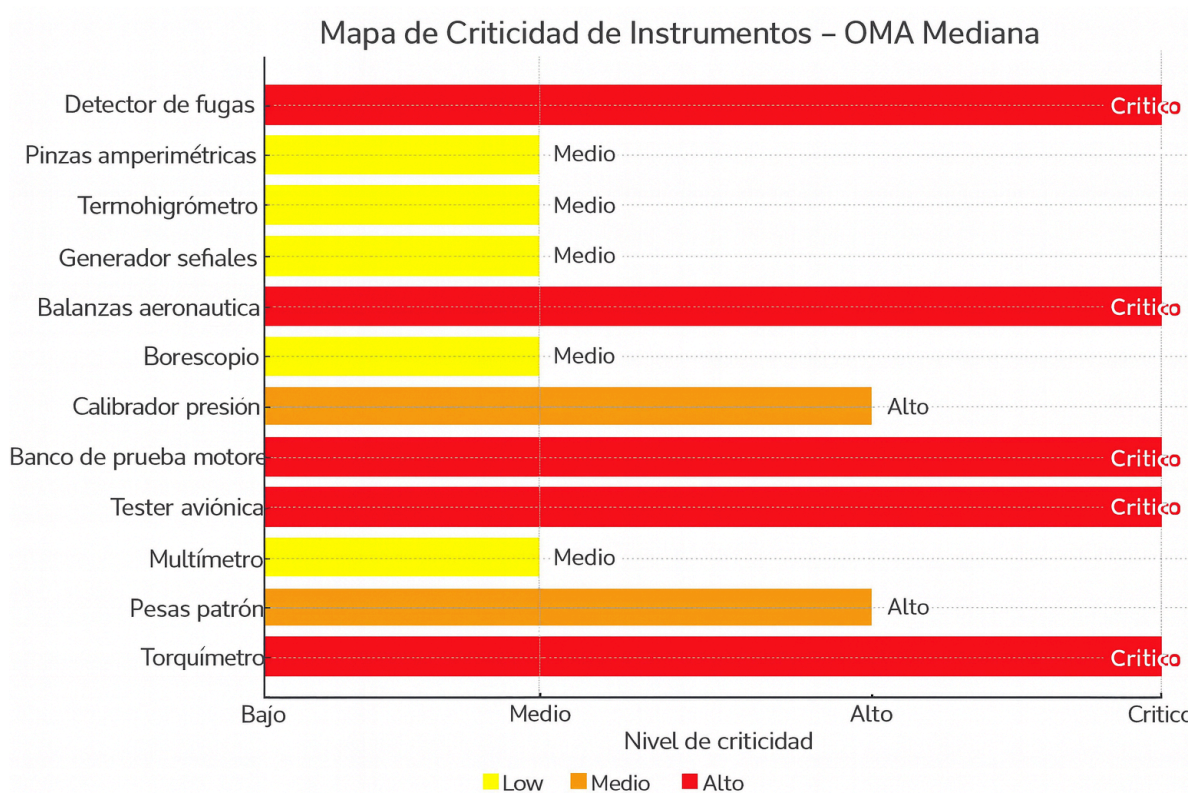
##### 4. Frecuencia de uso (1–5):

Representa qué tan seguido se utiliza el instrumento en el taller.

- o 1 = Uso muy esporádico
- o 3 = Uso moderado

- o 5 = Uso diario o constante

**Figura 1.** Mapa de criticidad de instrumentos



**Fuente:** Elaboración propia

-En rojo: instrumentos críticos (torquímetro, tester de aviónica, banco de prueba de motores, balanzas, detector de fugas).

-En naranja: instrumentos de criticidad alta.

-En amarillo: instrumentos de criticidad media.

### 8.4 Cronogramas de calibración

Horizonte: Enero – Diciembre 2025

Versión: 01

Responsable: Encargado de Herramientas

**Tabla 22.** Cronogramas de calibración

Código	Instrumento	Nivel de criticidad	Frecuencia (meses)	Última calibración	Próxima calibración	Estado actual	Responsable
TQ-001	Torquímetro 0–300 Nm	Crítico	6	Ene 2025	Jul 2025	Vigente	Jefe Taller
BL-002	Balanza 500 kg	Crítico	12	Feb 2025	Feb 2026	Vigente	Calidad
AV-003	Tester de aviónica	Crítico	12	Mar 2025	Mar 2026	Vigente	Aviónica
MT-004	Multímetro digital Fluke	Alto	12	Ene 2025	Ene 2026	Vigente	Eléctrico
MN-005	Manómetro hidráulico	Medio	24	Abr 2024	Abr 2026	Vigente	Mecánico
DG-006	Detector de fugas	Crítico	12	May 2025	May 2026	Vigente	Calidad
GP-007	Generador de señal	Medio	24	Jul 2024	Jul 2026	Vigente	Aviónica

**Fuente:** Elaboración propia con base en RAC 145 y FAA AC 145-9A



#### 4 Formato de Plan Anual de Calibraciones

Código: F-CAL-004 | Versión: 01

Código	Nombre	Nivel criticidad	Frecuencia	Fecha programada	Fecha real	Estado	Responsable
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

**Fuente:** Elaboración propia con base en RAC 145 e ISO/IEC 17025:2017.

#### 8.6 Asignación de responsabilidades

El proceso de calibración en la OMA de mediana capacidad requiere la participación de diferentes actores organizacionales, cada uno con responsabilidades específicas para garantizar la trazabilidad metrológica, la seguridad operacional y el cumplimiento de la normativa RAC 145.

##### 1 Director de Mantenimiento

Su trabajo es aprobar el plan anual de calibraciones y así poder garantizar la disponibilidad de recursos financieros y logísticos para el para el cumplimiento del cronograma en el taller y también coordinar con proveedores y laboratorios acreditados en calibración para cuando se requiera una calibración externa

##### 2 Jefe de Calidad

Verificar que los procedimientos de calibración cumplan con la normativa del RAC 145 y todos los requisitos internacionales (FAA, EASA, ISO/IEC 17025), realizar auditorías internas del taller para evaluar el estado de las calibraciones de todas las herramientas, emitir informes de hallazgos y coordinar acciones correctivas o preventivas y validar los certificados de calibración recibidos de laboratorios acreditados.

### 3 Encargado de Control de Herramientas

- Mantener actualizado el inventario de instrumentos sujetos a calibración.
- Etiquetar los equipos con su estado de calibración (vigente, vencido, segregado).
- Programar las calibraciones de acuerdo con el cronograma anual aprobado.
- Segregar inmediatamente cualquier instrumento vencido, dañado o fuera de tolerancia.
- Archivar los certificados de calibración en físico y en formato digital.

### 4 Técnicos de Mantenimiento

- Verificar la vigencia de calibración de cada instrumento antes de su uso.
- Reportar cualquier anomalía detectada en el funcionamiento de los equipos.
- Cumplir con el uso adecuado de las herramientas para evitar daños o descalibraciones.

### 5 Laboratorio de Calibración Externo (ONAC / ISO 17025)

- Ejecutar las calibraciones de acuerdo con estándares internacionales.
- Emitir certificados con trazabilidad a patrones nacionales o internacionales.
- Informar sobre cualquier condición de “fuera de tolerancia” en los instrumentos con trazabilidad vigente

### 6 Aerocivil (Autoridad Aeronáutica – Supervisión externa)

- Realizar inspecciones y auditorías periódicas al sistema de calibración de la OMA.
- Verificar que los registros de calibración estén completos, trazables y actualizados.
- Aplicar sanciones o medidas correctivas en caso de incumplimiento.

## 8.7 Guía técnica del proceso de calibración

### 1. Objetivo

Establecer las directrices técnicas y administrativas para la calibración y verificación metrológica de los instrumentos y herramientas de precisión utilizadas en el mantenimiento aeronáutico, garantizando la trazabilidad metrológica, la seguridad operacional y el cumplimiento de la normativa RAC 145, así como de los estándares internacionales ISO/IEC 17025, FAA y EASA. Esta guía busca además proporcionar un marco práctico para la gestión, ejecución, registro y control de las calibraciones dentro de una Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) de mediana capacidad.

### 2. Alcance

2.1. Esta guía aplica a todos los equipos e instrumentos de medición empleados en el taller de mantenimiento, incluyendo:

- 2.1.1. Instrumentos mecánicos: torquímetros, manómetros, dinamómetros.
  - 2.1.2. Instrumentos eléctricos: multímetros, testers de aviónica, generadores de señal.
  - 2.1.3. Equipos de pesaje: balanzas patrón, básculas portátiles de aeronaves.
  - 2.1.4. Instrumentos especiales: detectores de fugas, bancos de prueba de motores.
- 2.2. Incluye tanto la calibración realizada en laboratorios acreditados externos (ONAC/ISO 17025) como la verificación interna realizada en la OMA cuando aplique.

### 3. Documentos de referencia

- 3.1. RAC 145 – Aerocivil Colombia (Artículos 145.320 y 145.340).
- 3.2. ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de laboratorios de calibración y ensayo.
- 3.3. FAA AC 43.13-1B / AC 145-9A – Procedimientos aceptables de calibración en talleres de reparación.
- 3.4. EASA Part-145 – Control de equipos de medición en mantenimiento aeronáutico.
- 3.5. Manuales de fabricantes: Fluke, Keysight, OIML, Snap-On.

#### 4. Responsables

4.1. Director de Mantenimiento: aprobación del plan de calibración y recursos asignados.

4.2. Jefe de Calidad / SMS (Safety Management System): verificación del cumplimiento normativo, validación de certificados y realización de auditorías internas.

4.3. Encargado de Herramientas: control de inventario, programación de calibraciones, etiquetado y segregación.

4.4. Técnicos de Mantenimiento: uso adecuado de instrumentos y verificación de vigencia antes de cada trabajo.

4.5. Laboratorio acreditado (ONAC/ISO 17025): ejecución de calibraciones externas y emisión de certificados trazables.

#### 5. Procedimiento técnico paso a paso

##### 5.1. Identificación de instrumentos

Cada herramienta recibe un código único (ej. TQ-001 para torquímetro, MT-004 para multímetro). Se registra en el inventario indicando marca, modelo, número de serie, rango de medición y nivel de criticidad según la Matriz de Criticidad.

##### 5.2. Etiquetado y estado de calibración

Cada instrumento debe tener una etiqueta visible con fecha de última calibración, fecha de vencimiento y estado (vigente, vencido o segregado).

Ejemplo: un torquímetro calibrado en enero de 2025 tendrá vencimiento en julio de 2025 (6 meses).

##### 5.3. Planificación del cronograma de calibración

Se construye un cronograma anual con fechas y responsables:

- Torquímetro (crítico): cada 6 meses.
- Multímetro (alto): cada 12 meses.
- Generador de señal (medio): cada 24 meses.

##### 5.4. Envío a calibración

Los equipos se envían al laboratorio acreditado con formato de entrega (F-CAL-001). Los equipos críticos se priorizan para no afectar la operación.

#### 5.5. Recepción y verificación

Se recibe el equipo calibrado junto con su certificado. El Jefe de Calidad válida que incluya: valores medidos, incertidumbre, patrones utilizados y número de acreditación.

#### 5.6. Actualización de registros

El encargado actualiza la base de datos y guarda los certificados en formato físico y digital.

#### 5.7. Segregación de instrumentos vencidos o no conformes

Todo instrumento vencido o fuera de tolerancia debe retirarse inmediatamente de servicio y ubicarse en el área designada con rótulo “NO USAR”.

#### 5.8. Auditoría y control

Se realizan auditorías internas semestrales. La Aerocivil puede inspeccionar mediante el Sistema IRIS (Inspection and Reporting Information System).

### 6. Verificación interna de emergencia

Cuando no sea posible enviar el instrumento al laboratorio acreditado dentro del plazo establecido, la OMA podrá realizar una verificación interna de emergencia utilizando patrones secundarios trazables y personal calificado.

Los resultados se registran en el formato F-CAL-002 con:

- Fecha de verificación.
- Nombre y firma del verificador.
- Patrón utilizado y número de certificado.
- Resultado (aprobado o fuera de tolerancia).
- Fecha programada para la calibración externa.

Este procedimiento no sustituye la calibración formal, pero permite mantener la trazabilidad metrológica mientras se gestiona la calibración definitiva. Todo este procedimiento debe estar documentado en el Manual de Control de Herramientas del MOM (Manual de la Organización de Mantenimiento) aprobado por la autoridad aeronáutica.

## 7. Riesgos asociados a la calibración deficiente

7.1. Uso de torquímetro fuera de tolerancia → fallas estructurales críticas.

7.2. Balanza con error → distribución incorrecta de peso → riesgo de accidente.

7.3. Multímetro desajustado → diagnósticos eléctricos inexactos.

7.4. Tester de aviónica fuera de calibración → fallas en sistemas de navegación.

Por lo anterior, la calibración constituye una actividad de seguridad operacional crítica.

## 8. Registros asociados

- F-CAL-001: Formato de control de calibración de herramientas.
- F-CAL-002: Formato de recepción de instrumentos calibrados.
- F-CAL-003: Formato de segregación de instrumentos no conformes.
- F-CAL-004: Plan anual de calibraciones.
- Certificados de calibración emitidos por laboratorios acreditados.

## 9. Alcances y limitaciones de la guía técnica

Es importante aclarar que la guía técnica desarrollada en el presente trabajo de grado no incluye el cálculo de la incertidumbre de medida ni los procedimientos técnicos detallados de calibración para cada instrumento, debido a que estas actividades son exclusivas de los laboratorios acreditados bajo la norma ISO/IEC 17025:2017.

La estimación de incertidumbre requiere el uso de patrones certificados, software especializado, control metrológico de las condiciones ambientales (temperatura, humedad, presión), así como personal calificado y autorizado, lo cual excede el alcance operativo y normativo de una Organización de Mantenimiento Aeronáutico (OMA) bajo el Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145, que no posee acreditación como laboratorio de calibración.

Por tanto, esta guía se enfoca en estandarizar el proceso de gestión de la calibración desde el punto de vista administrativo, organizacional y operativo dentro de la OMA, incluyendo la planificación, identificación, control, trazabilidad, almacenamiento, segregación y

seguimiento de las herramientas calibrables, garantizando el cumplimiento del RAC 145 y la trazabilidad a laboratorios acreditados, sin reemplazar las funciones propias de un laboratorio metrológico certificado.

### 8.8 Indicadores de gestión

- % de instrumentos calibrados vs. programados → Meta  $\geq 95$  %.
- % de hallazgos de calibración en auditorías → Meta  $\leq 5$  %.
- Tiempo promedio de segregación de equipos vencidos → Meta  $\leq 24$ h.
- Cumplimiento del cronograma anual → Meta  $\geq 90$  %.

Para evaluar el impacto del sistema propuesto, se establecen criterios cuantificables que permiten verificar el cumplimiento normativo, la mejora en la trazabilidad metrológica y la eficiencia operacional en la gestión de calibraciones dentro de la OMA. Estos indicadores permiten medir objetivamente el desempeño del sistema y validar si su implementación aporta a la seguridad operacional y al cumplimiento de los estándares RAC 145 e ISO/IEC 17025.

#### -Indicadores y metas

Reducción de hallazgos de calibración en auditorías: Meta  $-20\%$  en 12 meses

Cumplimiento del cronograma de calibraciones:  $\geq 95\%$

Tiempo promedio de segregación de equipos vencidos:  $\leq 24$  horas

Instrumentos con trazabilidad vigente:  $\geq 98\%$

Tiempo promedio de ciclo de calibración:  $\leq 10$  días (externas) /  $\leq 3$  días (verificación interna)

Hallazgos repetitivos relacionados con calibración:  $\leq 5\%$

#### - Método de evaluación

Los indicadores serán medidos mensualmente y validados trimestralmente por el Jefe de Calidad, siguiendo el enfoque PHVA (Planear — Hacer — Verificar — Actuar). La línea

base se determinará con datos previos disponibles o mediante un periodo de observación inicial de tres meses en caso de no existir registros históricos. Esto permitirá establecer comparaciones efectivas y medir la mejora progresiva del sistema de calibración implementado.

### 8.9 Gestión de riesgos del proceso de calibración

La OMA identifica los riesgos potenciales del proceso de calibración para prevenir fallas que afecten la aeronavegabilidad: pérdida de trazabilidad, uso de instrumentos vencidos, daño en etiquetas, errores de registro o retrasos en calibraciones externas.

Se aplican controles como revisiones mensuales del inventario, alertas de vencimiento, verificaciones visuales y auditorías internas, asegurando el cumplimiento con “ El Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas”, ISO/IEC 17025 y SMS.

**Tabla 24.** Gestión de riesgos del proceso de calibración

<b>Riesgo</b>	<b>Causa</b>	<b>Control Preventivo</b>	<b>Responsable</b>
Uso de equipo vencido	Falta de revisión	Etiquetado visible y alertas automáticas	Encargado de herramientas
Pérdida de trazabilidad	Certificados incompletos	Digitalización y archivo seguro	Jefe de calidad
Retraso en calibraciones externas	Saturación de laboratorios	Planificación anual con prioridad	Director de mantenimiento

**Fuente:** Elaboración propia

### 8.10 Referencias normativas

11.1. RAC 145 – Aerocivil Colombia.

11.2. ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de laboratorios de calibración y ensayo.

11.3. FAA AC 43.13-1B – Acceptable Methods, Techniques and Practices: Aircraft Inspection and Repair.

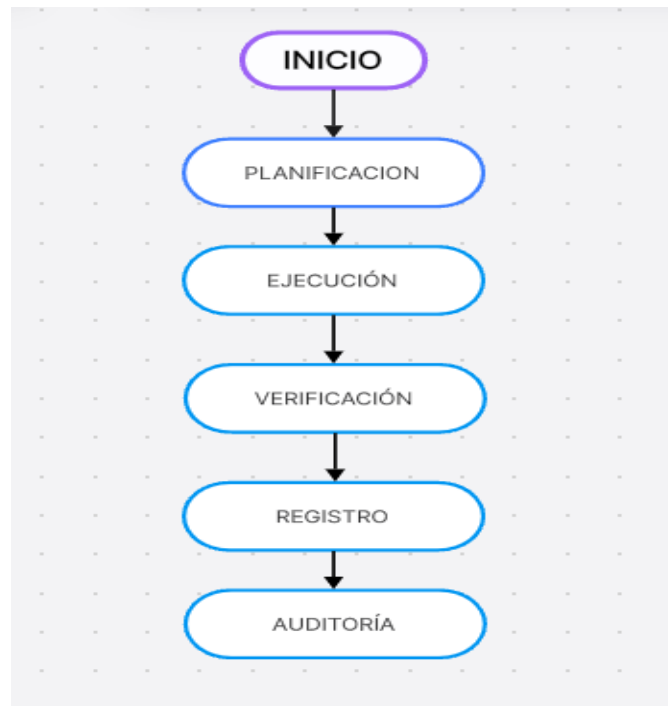
11.4. FAA AC 145-9A – Guide for Developing and Evaluating Repair Station and Quality Control Manuals.

11.5. EASA Part-145 – Maintenance Organisation Approvals.

11.6. Fluke Corporation (2021). Calibration: Principles, Procedures and Best Practices for Precision Measurement Tools.

### 8.11 Diagrama de flujo

**Figura 2.** Diagrama de flujo



**Fuente:** Elaboración propia

- Planificación de calibraciones
- Revisión del plan maestro de calibración
- Identificación de instrumentos por vencer
- Asignación de prioridades y recurso

#### Ejecución de la calibración / verificación

- Preparación del equipo y condiciones ambientales
- Calibración interna o envío a laboratorio externo
- Control de equipos fuera de servicio

#### Evaluación y verificación de resultados

- Revisión del certificado de calibración
- Análisis de resultados (confirmación o rechazo)
- Acciones ante resultados fuera de tolerancia (O.T. / segregación)

#### Registro y trazabilidad documental

- Registro en software o base de datos metrológica
- Actualización de etiquetas y estados (vigente / vencido / fuera de tolerancia)
- Archivo del certificado según RAC-145 e ISO 17025

#### Auditoría y control de cumplimiento

- Auditorías internas y externas
- Indicadores de desempeño del sistema
- Acciones correctivas y mejora PHVA

### **9. Comparación del proceso actual vs proceso propuesto de calibración en una OMA**

Con el fin de evidenciar la mejora que representa la implementación de la guía técnica propuesta en este trabajo de grado, se realiza una comparación entre el proceso actual de calibración en la OMA SIALAS y el proceso propuesto basado en la guía de gestión de calibración diseñada bajo el marco normativo del RAC 145, ISO/IEC 17025 y las buenas prácticas de la industria aeronáutica.

Esta comparación permite identificar debilidades del sistema actual y resaltar los aportes, ventajas y mejoras del modelo propuesto, orientado al fortalecimiento de la trazabilidad, la estandarización documental y la seguridad operacional.

**Tabla 25.** Comparación del proceso actual vs proceso propuesto

Elemento	Proceso actual en la OMA	Proceso propuesto mediante la guía técnica
Tipo de calibración	Totalmente tercerizada a laboratorios externos acreditados.	Mantiene la calibración externa, pero incorpora un sistema interno estandarizado de control y seguimiento.
Conocimiento del personal	Los técnicos no conocen el procedimiento de calibración, sólo utilizan las herramientas.	El personal recibe capacitación y conoce el procedimiento general de calibración.
Control de calibración	Manual: carpetas físicas, tableros y registros impresos en almacén.	Digital y físico: registros sistematizados, base de datos y formatos estandarizados.
Trazabilidad metrológica	Existe, pero está centrada en el área administrativa.	Se fortalece y se comparte con todo el personal mediante la guía.
Clasificación de instrumentos	No existe clasificación por nivel de criticidad.	Se implementa una matriz de criticidad (crítico, alto, medio, bajo).
Frecuencia de calibración	Definida por el laboratorio externo o experiencia empírica.	Definida por la matriz de criticidad y la normativa aplicable.

Gestión de riesgos	Basada en experiencia y control manual.	Integra un enfoque preventivo alineado con el SMS y PHVA.
Indicadores de gestión	No existen indicadores formales documentados.	Se incluyen indicadores de desempeño (cumplimiento, vencimientos, no conformidades).
Auditorías internas	Realizadas, pero sin documentación estandarizada del proceso.	Auditorías internas documentadas conforme a la guía técnica.
Homogeneidad del proceso	Variable, depende de la persona encargada.	Estandarizada mediante procedimiento escrito.
Capacitación	No existe formación específica en calibración.	Incluye plan básico de capacitación en control metrológico.
Preparación para auditorías de Aerocivil	Adecuada, pero apoyada en documentos físicos dispersos.	Mejorada, con documentación organizada y digitalizada.
Disponibilidad de herramientas	Garantizada por uso de herramientas de respaldo.	Se mantiene y se optimiza con planificación anticipada.
Orientación del sistema	Reactiva (cuando se acerca el vencimiento).	Preventiva (alertas, planificación).

**Fuente:** Elaboración propia con base en encuestas aplicadas y normativa RAC 145, ISO/IEC 17025, FAA y EASA.

El análisis evidencia que, aunque la OMA cumple actualmente con los requerimientos mínimos establecidos en el RAC 145, el proceso presenta debilidades principalmente en la estandarización documental, la socialización del conocimiento técnico y el uso de herramientas digitales de gestión.

La implementación del proceso propuesto no pretende reemplazar la calibración externa —la cual es realizada por laboratorios acreditados—, sino fortalecer el sistema interno de gestión de calibración, mediante una guía técnica estandarizada, una matriz de criticidad, un sistema de registros estructurado y un conjunto de indicadores de desempeño.

## **10. Recomendaciones**

A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo de grado, se recomienda a las Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas (OMA), especialmente a aquellas clasificadas como de mediana capacidad, considerar la implementación de una guía técnica estandarizada para la gestión de la calibración de torquímetros, pesas y equipos de medición electrónica, alineada con lo establecido en el Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas, así como con los lineamientos generales de la Norma ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. La adopción de este tipo de guías permitiría unificar criterios internos, fortalecer la trazabilidad metrológica y asegurar que todos los instrumentos críticos utilizados en el mantenimiento aeronáutico cumplan con los niveles de exactitud exigidos por la normativa vigente, reduciendo los riesgos asociados a errores de medición y contribuyendo al aumento de la seguridad operacional.

Se recomienda, además, fortalecer los programas de capacitación del personal técnico en temas relacionados con metrología básica, conceptos de calibración, verificación, trazabilidad e interpretación de certificados, aun cuando la organización continúe tercerizando estos procesos a laboratorios externos acreditados. El conocimiento general del procedimiento de calibración por parte de los técnicos contribuye a una mayor conciencia sobre la importancia del uso adecuado de los instrumentos, la correcta lectura de sus etiquetas, la detección temprana de posibles desviaciones y la prevención de errores en tareas críticas, en concordancia con los principios de mejora continua promovidos por el Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional (SMS).

Asimismo, se recomienda que las OMAs evalúen la viabilidad de implementar un sistema digital para el control, registro y seguimiento de las calibraciones, que permita la gestión electrónica de certificados, la generación automática de alertas por vencimiento, el registro

histórico de cada instrumento y una mayor facilidad en la preparación de auditorías internas y externas, tanto bajo el marco del Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas como de otros estándares internacionales. La digitalización de este proceso contribuiría a incrementar la eficiencia, reducir el riesgo de pérdida de información y fortalecer el control documental exigido durante las inspecciones de la Aeronáutica Civil y auditorías de calidad.

También se aconseja que las organizaciones establezcan, dentro de su Manual de Operaciones de Mantenimiento (MOM) o Manual de Organización y Exposición (MOE), procedimientos más detallados y específicos relacionados con la gestión de herramientas calibrables, incluyendo la asignación clara de responsabilidades, la periodicidad de las revisiones, los criterios de segregación de herramientas vencidas o fuera de tolerancia, los protocolos de almacenamiento y las rutas de acción ante no conformidades. Esto permitirá una mayor estandarización interna, facilitará la supervisión por parte del área de calidad y fortalecerá el cumplimiento de los requisitos establecidos por la autoridad aeronáutica.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones amplíen el alcance del presente estudio, involucrando un mayor número de Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas (OMA) a nivel nacional, mediante un muestreo multicéntrico que incluya, como mínimo, entre 30 y 50 OMAs, o al menos 30 técnicos de mantenimiento, lo cual permitiría obtener resultados estadísticamente más representativos y desarrollar conclusiones de mayor alcance general. Este tipo de estudios podría servir como base para la formulación de lineamientos de referencia que apoyen a la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil en el fortalecimiento de las políticas de control y gestión de herramientas sujetas a calibración dentro del sector aeronáutico colombiano.

## **11. Conclusiones**

El desarrollo del presente proyecto permitió comprender de manera integral la importancia de la calibración de torquímetros, pesas y equipos de medición electrónica dentro de los procesos de mantenimiento aeronáutico, en cumplimiento del Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas. A través de la revisión normativa, el análisis técnico y el estudio realizado en la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) SIALAS S.A.S., se evidenció que una adecuada gestión de estos instrumentos constituye un elemento fundamental para garantizar la aeronavegabilidad continua, la confiabilidad de las tareas de mantenimiento y el cumplimiento de los estándares nacionales e internacionales de seguridad operacional.

Los resultados obtenidos confirmaron que, aunque el Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas establece de forma clara la obligatoriedad del control metrológico, en muchas OMA —especialmente las de mediana capacidad— aún existen vacíos en la estandarización del proceso de calibración. En el caso particular de SIALAS S.A.S., se identificó la existencia de un sistema administrativo organizado, que incluye carpetas de registros, certificados vigentes, formatos de verificación periódica y mecanismos de segregación de herramientas. Sin embargo, también se evidenció que el personal técnico no posee un conocimiento detallado sobre el proceso formal de calibración, principalmente porque la empresa no está acreditada como laboratorio y terceriza este proceso a entidades avaladas bajo la Norma ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, lo que genera una brecha entre la gestión documental y el conocimiento operativo del proceso.

La elaboración de la guía técnica desarrollada en este trabajo permitió estructurar, de manera clara y coherente, los pasos que componen la gestión del proceso de calibración, integrando lineamientos establecidos en el Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas, la Norma ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, la Federal Aviation Administration (FAA), Advisory Circular 43.13-1B – Acceptable Methods, Techniques, and Practices: Aircraft Inspection and Repair y la European Union Aviation Safety Agency (EASA), Part 145 – Approved Maintenance Organizations. Esta integración normativa permitió cumplir con el objetivo general del proyecto, al proponer una herramienta práctica, organizada y aplicable a una OMA de mediana capacidad.

La validación de la guía técnica mediante la segunda encuesta aplicada al jefe de mantenimiento y a cinco técnicos de la organización evidenció un alto nivel de aceptación y pertinencia, reflejado en una aprobación del 100 % de los participantes, quienes consideraron el documento claro, comprensible y funcional para su aplicación en el entorno real de trabajo. Este resultado permitió corroborar el cumplimiento de los objetivos específicos relacionados con la evaluación de la propuesta y demostró que la guía no solo cumple un propósito académico, sino que puede convertirse en una herramienta útil dentro de un sistema de gestión de calidad en mantenimiento aeronáutico.

El análisis de los equipos empleados en SIALAS S.A.S., como torquímetros, tensiómetros, manómetros, balanzas, multímetros y equipos de aviónica, confirmó su alta criticidad dentro de los procesos de mantenimiento, especialmente en trabajos sobre motores recíprocos y turbohélice. Se determinó que cualquier desviación en la precisión de estos instrumentos podría afectar directamente el ajuste de componentes críticos y, en

consecuencia, comprometer la seguridad del vuelo. Esto ratifica la necesidad de contar con un sistema de calibración organizado, documentado y alineado con la normativa aeronáutica vigente.

Si bien la organización demuestra buenas prácticas en cuanto a la verificación mensual de herramientas, la segregación de equipos vencidos, el uso de herramientas de respaldo, el etiquetado adecuado y el control de almacenamiento, también se identificó como oportunidad de mejora la dependencia de registros manuales, lo cual limita la eficiencia del seguimiento y la trazabilidad. Este hallazgo respalda la propuesta de, a futuro, implementar sistemas digitales de control de calibraciones, que optimicen la gestión de la información y fortalezcan el cumplimiento normativo durante auditorías internas y externas.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten afirmar que la hipótesis planteada al inicio del proyecto es válida, ya que se demostró que la implementación de una guía técnica estandarizada para la gestión del proceso de calibración contribuye de manera significativa a mejorar la trazabilidad metrológica, el control de los instrumentos de medición, la capacitación del personal técnico y la preparación de la OMA ante procesos de inspección y auditoría bajo el marco del Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas. No obstante, es importante precisar que estas conclusiones aplican específicamente al caso de SIALAS S.A.S.; para lograr una mayor representación a nivel del sector aeronáutico colombiano, sería necesario ampliar la muestra mediante estudios futuros que incluyan un mayor número de Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas o, al menos, un mínimo de 30 técnicos, lo que permitiría obtener resultados estadísticamente más robustos y generalizables.

## 12. Bibliografía

[1] Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. (2019). Reglamento Aeronáutico Colombiano (RAC 145): Organizaciones de mantenimiento aprobadas. Aerocivil. <https://www.aerocivil.gov.co> (Consulta: 28/10/2025)

[2] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2018). Annex 6 to the Convention on International Civil Aviation: Operation of aircraft. <https://www.icao.int> (Consulta: 28/10/2025)

[3] Federal Aviation Administration (FAA). (2018). Advisory Circular 43.13-1B: Acceptable methods, techniques, and practices—Aircraft inspection and repair. <https://www.faa.gov> (Consulta: 28/10/2025)

- [4] European Union Aviation Safety Agency (EASA). (2022). EASA Part-145: Approved maintenance organisations. <https://www.easa.europa.eu> (Consulta: 28/10/2025)
- [5] Aristizábal Zuluaga, A. F., García Arroyave, H. H., & Picamill Londoño, J. G. (2015). Guía de investigación de accidentes e incidentes en talleres aeronáuticos de reparación (TAR). Institución Universitaria Pascual Bravo.
- [6] Aeronáutica Civil de Colombia. (2025, abril 28). Equipo de la Aerocivil calibró el Sistema de Aterrizaje por Instrumentos del Aeropuerto Internacional Matecaña. Alcaldía de Pereira. <https://www.pereira.gov.co/publicaciones/9474> (Consulta: 28/10/2025)
- [7] General Aviation News. (2025, junio 3). Improperly torqued magneto hardware fatal for pilot. <https://www.generalaviationnews.com/2025/06/03/improperly-torqued-magneto-hardware-fatal-for-pilot> (Consulta: 28/10/2025)
- [8] Transportation Safety Board of Canada. (1995). Aviation investigation report A95W0202: Canadian Regional Airlines Fokker F28 Mk1000, Calgary, Alberta. <https://www.bst.gc.ca> (Consulta: 14/08/2025)
- [9] National Transportation Safety Board (NTSB). (2014). Accident report ERA14FA412: Propeller separation due to improper torque. <https://www.nts.gov> (Consulta: 14/08/2025)
- [10] International Organization for Standardization. (2017). ISO/IEC 17025 — General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. <https://www.iso.org/standard/66912.html> (Consulta: 15/08/2025)
- [11] Instituto Nacional de Metrología (INM). (2020). Metrología y trazabilidad en Colombia. <https://www.inm.gov.co> (Consulta: 15/08/2025)
- [12] National Institute of Standards and Technology (NIST). (2019). NIST handbook 150: NVLAP procedures and general requirements. <https://www.nist.gov> (Consulta: 15/08/2025)
- [13] Fluke Corporation. (2021). Torque tool calibration and testing guide. <https://us.flukecal.com> (Consulta: 15/08/2025)
- [14] Organización Internacional de Metrología Legal (OIML). (2013). OIML R111-1: Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M2, M3. <https://www.oiml.org> (Consulta: 28/10/2025)

[15] Keysight Technologies. (2020). Electronic test equipment calibration methods and best practices. <https://www.keysight.com> (Consulta: 15/08/2025)

[16] International Civil Aviation Organization (ICAO). (2018). Annex 6 — Operation of Aircraft, Part I: International Commercial Air Transport — Aeroplanes. Montreal, Canada: Author.

[17] Instituto Nacional de Metrología (INM). (2020). Guía técnica para la calibración y trazabilidad metrológica en laboratorios de ensayo y calibración. Bogotá D.C., Colombia.

[18] Organización Internacional de Metrología Legal (OIML). (2019). OIML D 10: Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments. París, Francia: OIML Publications.

[19] European Union Aviation Safety Agency (EASA). (2020). Part-145 — Maintenance Organisation Approvals. Cologne, Germany: EASA.

[20] Fluke Corporation. (2021). Calibration: Principles, Procedures and Best Practices for Precision Measurement Tools. Everett, WA, United States: Fluke Technical Publications.

### 13. ANEXOS

#### **ANEXO A – Encuesta 1:** Evaluación del proceso actual de calibración en la OMA SIALAS

Empresa: OMA SIALAS – Medellín

Actividad principal: Mantenimiento de aeronaves con motores recíprocos y turbohélice

Población encuestada: 6 técnicos (100 % del personal técnico operativo disponible)

Instrumento de recolección: Google Forms

Tipo de encuesta: Cerrada y mixta (opciones múltiples + respuestas abiertas)

Objetivo: Evaluar el proceso actual de calibración de herramientas utilizadas en la OMA

#### Contexto de aplicación

Se realizaron dos encuestas mediante Google Forms al personal técnico de la empresa de mantenimiento aeronáutico SIALAS, ubicada en Medellín. Esta OMA, dedicada al mantenimiento de aeronaves con motores recíprocos y turbohélice, permitió el desarrollo

del instrumento debido a su naturaleza operativa y el uso constante de herramientas de medición y precisión.

Es importante resaltar que solo fue posible aplicar las encuestas en esta organización, ya que el ingreso a hangares y zonas de mantenimiento requiere autorizaciones estrictas y protocolos de seguridad rigurosos. En total se encuestaron seis (6) personas, correspondiente al total de técnicos disponibles al momento de la recolección de la información. El resto del personal estaba conformado por ingenieros y administrativos que se encontraban realizando labores críticas relacionadas con la preparación de una auditoría programada.

Por tanto, la muestra representa el universo completo del personal técnico operativo disponible en la OMA durante el periodo de aplicación.

#### Resultados completos de la encuesta

1. ¿Actualmente qué cargo desempeña?

- Técnico: 6
- Tecnólogo: 0
- Ingeniero: 0

El 100 % de los participantes son técnicos aeronáuticos, es decir, personal directamente encargado del uso de herramientas calibrables.

2. ¿Con qué frecuencia utiliza herramientas de medición o torquímetros?

- Siempre: 6
- Frecuentemente: 0
- Ocasionalmente: 0

Todos los encuestados afirman que siempre utilizan herramientas de medición, lo que confirma la importancia crítica del proceso de calibración.

3. ¿Conoce el procedimiento de calibración de las herramientas que utiliza?

- Sí lo conozco: 0
- Sí, de manera general: 0
- No lo conozco: 6

El 100 % de los encuestados desconoce el procedimiento de calibración. Esta situación se debe a que la OMA no cuenta con habilitación para realizar calibración interna, por lo que este proceso es completamente tercerizado a laboratorios acreditados.

En Colombia, la mayoría de las OMA bajo el “Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas” no realizan calibración interna debido al alto costo de los patrones, la infraestructura requerida y los requisitos de la norma ISO/IEC 17025, optando por servicios externos especializados.

4. ¿La calibración de herramientas influye en la seguridad de las operaciones aéreas?

- Sí: 6
- No: 0
- No estoy seguro: 0

Todos los participantes reconocen el impacto directo de la calibración en la seguridad operacional.

5. ¿En su taller se lleva un control documentado de calibraciones?

- Sí, siempre: 6
- A veces: 0
- No: 0

Existe una gestión documental organizada: cada herramienta cuenta con su registro físico en una carpeta de control, con hojas individuales y cuadros mensuales firmados por el responsable.

6. ¿Ha detenido o repetido un trabajo por falta de calibración o vencimiento de una herramienta?

- Sí: 0
- No: 6

La OMA mantiene herramientas de respaldo y realiza control permanente de la vigencia de calibración, evitando interrupciones en el mantenimiento.

7. Familiaridad con la normativa RAC 145 respecto a calibración

- Muy familiarizado: 6
- Algo familiarizado: 0
- Poco familiarizado: 0
- Nada familiarizado: 0

El personal conoce la normativa pero no participa directamente en el proceso técnico de calibración.

8. ¿Qué dificultades encuentra en la gestión de calibración?

- Ninguna: 6
- Costo / demora / falta de capacitación / pérdida de registros: 0

La gestión está centralizada en el área administrativa, lo que reduce problemas operativos.

9. ¿Cómo se lleva el control y seguimiento de la calibración? (*respuestas abiertas*)

- Por medio del almacén
- Tablero y carpeta con certificados

Se utilizan métodos manuales (tableros y carpetas físicas), lo cual representa una oportunidad de mejora mediante digitalización.

10. ¿Qué herramientas calibrables se utilizan en su taller?

- Torquímetros
- Manómetros
- Tensiómetros

Instrumentos críticos según RAC 145, FAA AC 43.13-1B y EASA Part-145.

11. ¿Qué información contiene la etiqueta de calibrado?

- Modelo, serie y próxima calibración
- Marca, serie, número de parte, fecha de calibración

Las etiquetas cumplen con los requisitos normativos completos.

12. ¿Cada cuánto hacen auditorías de herramientas?

- Cada 30 días: 6 respuestas

Esto garantiza preparación continua frente a auditorías de Aerocivil.

13. ¿Qué procedimiento aplica cuando una herramienta está con calibración vencida?

- Se retira del servicio
- Se envía a laboratorio autorizado (TAR)

Cumple con RAC 145.65 sobre control de herramientas.

Análisis general — Encuesta 1

Los resultados evidencian que la calibración es un proceso crítico dentro de la OMA, ya que todas las herramientas utilizadas requieren control metrológico constante. Aunque los

técnicos no conocen el procedimiento de calibración, reconocen plenamente su importancia para la seguridad operacional.

La organización mantiene un control documental sólido mediante registros físicos y supervisión mensual. No obstante, se identificó un área de mejora: la migración a un sistema digital de control de calibraciones, que aumentaría la trazabilidad, eficiencia y preparación para auditorías.

Estos hallazgos respaldan la necesidad de una guía técnica estandarizada que fortalezca el conocimiento del proceso y optimice la gestión de calibración en OMA's bajo el “Reglamento Aeronáutico Colombiano RAC 145 – Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas”.

## **ANEXO B – Encuesta 2:** Evaluación de la guía técnica de calibración

Participantes:

- 1 Jefe de mantenimiento
- 5 Técnicos aeronáuticos

Objetivo: Evaluar la claridad, aplicabilidad y utilidad de la guía técnica propuesta

Resultados completos

1. Cargo en la empresa

- Jefe de mantenimiento
- Cinco técnicos

Aporta visión operativa y administrativa para la evaluación.

2. Experiencia en mantenimiento aeronáutico

- 24 años
- 12 años

- 10 años
- 8 años
- 6 años
- 5 años

Existe un alto nivel de experiencia, lo que valida la calidad de la evaluación.

### 3. Habilitación según RAC 65

- Respuesta: “Varios” (todos)

Los encuestados trabajan en múltiples áreas del mantenimiento aeronáutico.

### 4. Claridad del proceso en la guía

Respuesta predominante: Totalmente de acuerdo

La guía es clara y comprensible.

### 5. Comprensibilidad del lenguaje técnico

Respuesta: Totalmente de acuerdo (mayoría)

Lenguaje adecuado para técnicos y personal directivo.

### 6. Organización y secuencia del procedimiento

Respuestas:

- “Totalmente de acuerdo”
- “De acuerdo”

Se sugiere fortalecer con elementos visuales (diagramas y tablas).

7. Aplicabilidad en una OMA mediana

Respuesta principal: De acuerdo

Es adaptable al Manual de Operación de la organización.

8. Utilidad para técnicos en formación

Respuesta: Totalmente de acuerdo

Facilita formación técnica y operativa.

9. Funcionalidad operativa general

Respuesta: Totalmente de acuerdo

La guía está alineada con los procesos reales en taller.

10. Recomendación para integrar al sistema de calidad

Respuesta: De acuerdo (mayoría)

Puede incorporarse al MOM o MOE de la OMA.

11. Aspecto más útil de la guía

Respuesta: Indicadores de gestión

Permiten medir desempeño y respaldar auditorías bajo RAC 145.

## 12. Mejoras sugeridas

No se recibieron sugerencias.

## 13. Inclusión de otros instrumentos o procesos

Respuesta:

“Creo que está bien.”

El contenido es suficiente en su alcance actual.

## Conclusión general — Encuesta 2

La evaluación realizada por el jefe de mantenimiento y cinco técnicos confirma que la guía técnica es clara, aplicable y funcional dentro de una OMA de mediana capacidad. Los participantes destacan especialmente los indicadores de gestión y la organización del contenido.

Aunque la OMA no realiza calibraciones internas, el personal reconoce que la guía constituye una herramienta valiosa para fortalecer la trazabilidad, estandarizar procesos y mejorar la capacitación del personal técnico. Estos resultados validan la pertinencia normativa y operativa del documento y respaldan la hipótesis del proyecto.