

## **TRABAJO FINAL DE GRADO**

### **PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS PARA LOS AVIONES CESSNA 150D Y R182. Caso: Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (av.) Miguel Rodríguez”**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Martínez Corrales, Jeison Daniel  
para optar al Título de  
Ingeniero de Procesos Industriales.

Cagua, octubre de 2019

## **TRABAJO FINAL DE GRADO**

### **PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS PARA LOS AVIONES CESSNA 150D Y R182.** Caso: Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (av.) Miguel Rodríguez”

**Tutor Académico:** Ing. M. Sc. Luis Alexander Díaz M.

**Tutor Industrial:** Ing. Francisco Ybarra

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por el Br. Martínez Corrales, Jeison Daniel  
para optar al Título de  
Ingeniero de Procesos Industriales.

Cagua, octubre de 2019

## ACTA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado evaluador designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería de Procesos Industriales, Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, para evaluar el Trabajo Final de Grado presentado por el bachiller **Jeison Daniel Martínez Corrales**, C.I. 23.795.367, titulado: **PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS PARA LOS AVIONES CESSNA 150D Y R182**. Caso: Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (av.) Miguel Rodríguez”, consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Proceso Industriales, sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, por lo que lo declaran **APROBADO**.

En Cagua, estado Aragua, a los 28 días del mes de octubre de 2019.

**Prof. Ligia Hernández**  
CI. 11.183.865  
Jurado Principal



**Prof. Gustavo León**  
CI. 11.685.939  
Jurado Principal

**Prof. Luis Alexander Díaz M.**  
CI. 14.730.037  
Tutor / Coordinador del Jurado

lad/oct 2019

## DEDICATORIA

A **Dios**, por haberme permitido alcanzar esta meta que me hace muy feliz, que a pesar de los tropezones me ha permitido superarlos y llegar a ser quien soy.

A mi madre **Jeannet Corrales**, por siempre estar a mi lado durante todo el transcurso de esta gloriosa etapa de mi vida, ayudándome en todo lo que necesitaba para hacer mis actividades y apoyarme en cada uno de mis pasos, llevándome por el buen camino y confiando siempre en mí, en fin, la amo!

A mi padre **Jhonny Martínez**, por ser siempre el mejor papá del mundo, por el apoyo que me brindó sacándome de muchas dudas que me agobiaban en el trascurso de mi trabajo final de grado, en fin, lo amo!

A mi hermano **Jhonner Martínez**, que siempre ha sido mi ejemplo a seguir, por su tolerancia y apoyo para la culminación de esta meta, enseñándome a nunca rendirme y que uno siempre puede ser mejor, en fin lo amo!

A toda mi familia, amigos, compañeros y personas que siempre me apoyaron y creyeron en mí.

*¡Lo logramos!*

*Jeison Martínez*

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios todopoderoso**, por darme salud y bienestar que permitió poder alcanzar otra meta más en mi vida.

A mis padres, **Jeannet Corrales** y **Jhonny Martínez**, por quererme tanto, acompañarme y apoyarme en todos los tropezones que tuve a lo largo de este triunfo.

A mi hermano, **Jhonner Martínez**, por sus excelentes consejos que me han servido en mi vida y en este proceso profesional que he logrado, por su apoyo incondicional que a pesar de la distancia, siempre está pendiente de mí y mi familia.

A mi querida y apreciada Alma mater la **Universidad Central de Venezuela**, por permitir mi formación profesional, ¡es un orgullo haber pertenecido a esta institución! ¡La casa que vence las sombras! La UCV!!

A mi querida UCV Núcleo Cagua “**Armando Mendoza**”, que a pesar de las circunstancias me permitió recorrer un largo camino para formarme como ingeniero.

A mi tutor académico, compañero y amigo, **Luis Alexander Díaz**, por su compromiso, esfuerzo, dedicación, responsabilidad y apoyo brindado. Por sus “regaños” que me inducían a seguir adelante y no rendirme, se lo agradezco mucho.

A el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil (CIAC), por su apoyo y permitir realizar mi trabajo de investigación dentro de sus instalaciones.

A todos los profesores, que me acompañaron en este camino, por sus conocimientos, experiencias y consejos, que me permitieron crecer profesionalmente.

Al jurado evaluador, Profesores Ligia Hernández y Gustavo León, por su tiempo y dedicación para hacer sus observaciones al presente trabajo y lograr una investigación de mayor calidad académica.

A todos mis compañeros, amigos y personas especiales, que me acompañaron en este camino, pues sin ellos, no habría aprendido muchas cosas, como por ejemplo, todos esos momentos de alegría, echadera de broma y pare de contar.

*Jeison Martínez*

**Martínez Corrales Jeison Daniel**  
**PROPUESTA PARA LA APLICACIÓN DE PRUEBAS NO**  
**DESTRUCTIVAS PARA LOS AVIONES CESSNA 150D Y R182.**  
**Caso: Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (av.) Miguel**  
**Rodríguez”. Tutor académico: Ing. M. Sc. Luis Alexander Díaz M.**  
**Trabajo Final de Grado. Cagua, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería**  
**de Procesos Industriales. Ingeniero de Procesos Industriales. Núcleo Armando**  
**Mendoza. Año 2019. 100 p.**

**RESUMEN**

La presente investigación fue llevada a cabo con la idea de proponer la aplicación de las pruebas no destructivas en el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil. Debido que las aeronaves en dicha organización tienen una vida útil de 25 años, y tienen excedidos más de 19 años, representando un 76% más del uso para lo cual fueron diseñados, provocando la fatiga de los materiales del avión, generando mantenimientos correctivos que producen largas paradas. Dicho trabajo se encontró contextualizado en una investigación proyectiva, de nivel comprensivo y diseño de campo no experimental. Se realizó la observación directa, entrevista semiestructurada y revisiones documentales para la descripción de las aeronaves. Se tomaron en cuenta los requisitos legales del país que influyen en la aplicación de las pruebas. Se realizó un diagrama causa-efecto que sirvió para determinar las causas que pudieran estar afectando a que las aeronaves fallen, el cual sirvió como base para la aplicación de los diagramas de Pareto, que fue útil para el análisis de los reportes de fallas en el periodo de 2012 a 2018, permitiendo priorizar las fallas potenciales, para un posterior análisis de modo y efecto de fallas. Con respecto a la descripción de las aeronaves, se logró identificar todas las características de cada una para conocer sus dimensiones y zonas más críticas. Considerando los requisitos legales, se evidenció que no se establecen en ciencia cierta la ejecución de las pruebas no destructivas. Además, se determinaron las zonas de fallas más relevantes, las cuales son: el tren de aterrizaje, combustible, motor y fuselaje. Por último, a partir del análisis de modo y efectos de fallas, se recomendó el uso de la inspección visual con modificaciones derivadas de esta investigación, asociadas con la ejecución de las pruebas no destructivas, considerando los sentidos de la vista, el oído, tacto y el olfato.

**Palabras claves:** Pruebas no destructivas, inspección visual, aeronaves, mantenimiento, fallas.

**PROPOSAL FOR THE APPLICATION OF NON-DESTRUCTIVE TESTS FOR CESSNA 150D AND R182 AIRCRAFTS. Case: Civil Aviation Instruction Center “May (av.) Miguel Rodríguez”**

**ABSTRACT**

The present investigation was carried out with the idea of proposing the application of non-destructive tests in the Civil Aeronautics Instruction Center. Because the aircraft in this organization have a useful life of 25 years, and have exceeded more than 19 years, representing 76% more of the use for which they were designed, causing fatigue of the materials of the aircraft, generating corrective maintenance that produce long stops This work was found contextualized in a projective, comprehensive level research and non-experimental field design. Direct observation, semi-structure interview and documentary reviews were performed for the description of the aircraft. The legal requirements of the country that influence the application of the tests were taken into account. A cause-effect diagram was made that was used to determine the causes that could be affecting the aircraft to fail, which served as the basis for the application of Pareto diagrams, which was useful for the analysis of the reports of failures in the period from 2012 to 2018, allowing to prioritize potential failures, for a subsequent analysis of mode and effect of failures. With respect to the description of the aircraft, it was possible to identify all the characteristics of each one to know its dimensions and most critical areas. Considering the legal requirements, it was evidenced that they do not establish in certain science the execution of the non-destructive tests. In addition, the most relevant fault zones were determined, which are: the undercarriage, fuel, engine and fuselage. Finally, from the analysis of the mode and effects of failures, the use of visual inspection was recommended with modifications derived from this investigation, associated with the execution of non-destructive tests, considering the senses of sight, hearing, touch and smell.

**Keywords:** Non-destructive tests, visual inspection, aircraft, maintenance, failures.

## ÍNDICE

<b>PORTADA</b> .....	i
<b>CONTRAPORTADA</b> .....	ii
<b>ACTA DE APROBACIÓN</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b> .....	3
<b>EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	3
<b>Objetivos de la investigación</b> .....	7
General .....	7
Específicos .....	7
<b>CAPÍTULO II</b> .....	8
<b>MARCO DE REFERENCIA</b> .....	8
Antecedentes.....	8
Bases teóricas.....	9
<b>CAPÍTULO III</b> .....	21
<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	21
Tipo de investigación.....	21
Nivel de investigación.....	22
Diseño de la investigación .....	22
Unidad de análisis y de observación.....	22
Población y muestra.....	23
Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	24
Diseño de instrumentos.....	25
Técnicas para el análisis y presentación de la información .....	26
Fases metodológicas .....	27

<b>CAPÍTULO IV</b> .....	36
<b>PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	36
<b>Fase I.</b> Describir los aviones Cessna 150D y R182.....	36
<b>Fase II.</b> Considerar los requisitos legales para la aplicación de las pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182. ....	42
<b>Fase III.</b> Desarrollar las estrategias para la aplicación de las pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182.....	45
<b>Fase IV.</b> Diseñar la propuesta para la aplicación de las pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182. ....	54
<b>CONCLUSIONES</b> .....	61
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	63
<b>REFERENCIAS CONSULTADAS</b> .....	64
<b>ANEXOS</b> .....	67

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro para Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF). .....	19
Tabla 2. Criterio para estimar el rango de severidad. ....	32
Tabla 3. Criterio para estimar el rango de ocurrencia. ....	33
Tabla 4. Criterio para estimar el rango de detección. ....	34
Tabla 5. Especificaciones de aeronave Cessna 150D. ....	36
Tabla 6. Especificaciones de aeronave Cessna R182.....	37
Tabla 7. Zonas críticas de las aeronaves 150D y R182.....	41
Tabla 8. Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) de las aeronaves Cessna 150D y R182. ...	55
Tabla 9. Plan de actividades de pruebas no destructivas para las aeronaves Cessna 150D y R182. .....	60

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Instrumentos para inspección visual.....	13
Figura 2. Ensayo no destructivos con líquidos penetrantes.....	14
Figura 3. Instrumentos para inspección con partículas magnéticas. ....	15
Figura 4. Instrumentos para inspección con corriente de Eddy. ....	16
Figura 5. Herramientas utilizadas para la aplicación de pruebas con ultrasonido. ....	16
Figura 6. Estaciones de fuselaje Cessna 150D.....	38
Figura 7. Dimensión Frontal del Cessna 150D. ....	39
Figura 8. Dimensiones principales Cessna 150D.....	39
Figura 9. Estaciones de fuselaje Cessna R182.....	40
Figura 10. Dimensión Frontal Cessna R182. ....	40
Figura 11. Dimensiones principales Cessna R182.....	41
Figura 12. Diagrama Causa-Efecto de las fallas de las aeronaves Cessna 150D y R182, en el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil .....	47
Figura 13. Diagrama de Pareto por zona general de la aeronave Cessna 150D. ....	48
Figura 14. Diagrama de Pareto por reporte de fallas en tren de aterrizaje en la aeronave Cessna 150D.....	49
Figura 15. Diagrama de Pareto por reporte de fallas en fuselaje en la aeronave Cessna 150D. ....	50
Figura 16. Diagrama de Pareto por reporte de fallas en motor de la aeronave Cessna 150D. ....	50
Figura 17. Diagrama de Pareto por zona general de la aeronave Cessna R182.....	51
Figura 18. Diagrama de Pareto por reporte de fallas en motor de la aeronave Cessna R182. ....	52
Figura 19. Diagrama de Pareto por reporte de fallas en fuselaje de aeronave Cessna R182. ....	52
Figura 20. Diagrama de Pareto por reporte de fallas en tren de aterrizaje. ....	53

## INTRODUCCIÓN

La aeronáutica es un sector caracterizado por contar con un gran avance tecnológico, grandes inversiones y en consecuencia, elevados costos, ya que está basado en el estudio, diseño y fabricación de equipos mecánicos capaces de elevarse del suelo, y mantenerse en vuelo, además de procesos que permiten el control de las aeronaves. Es por ello, que este tipo de industria requiere de estándares de calidad y seguridad altos, que permitan garantizar las operaciones de los equipos de manera óptima. Esto debido, a que una falla en plena operación del equipo, puede acarrear consecuencias grave para la vida humana, como también para los equipos. Por lo tanto, la detección de fallas a tiempo, es un factor clave en el sector aeronáutico. De ahí que, la aplicación de técnicas, estudios y pruebas para detectar fallas a tiempo en el mundo aeronáutico se volvieron necesarios, pues una pequeña falla, por ejemplo una pequeña grieta, no detectada a tiempo, puede suponer un riesgo en la seguridad de una aeronave, provocando grandes consecuencias.

Es por ello, que el mantenimiento aeronáutico es imprescindible, ya que busca asegurar que los equipos se mantengan o mejoren en los aspectos operativos relativos a su funcionalidad, calidad y seguridad, con la idea de garantizar la aeronavegabilidad de los vehículos aeronáuticos, adicionando a estos mantenimientos, técnicas aplicadas para detectar fallas a tiempo, como lo son las pruebas no destructivas.

Por este motivo y para solventar dicha situación, proponer la aplicación de pruebas no destructivas en el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil, les permitirá detectar fallas a tiempo en las aeronaves que disponen, utilizando como base, los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación académica como ingeniero de Procesos Industriales, el cual posee un enfoque por competencias y dividido en módulos, entre los cuales cabe destacar, el relacionado con el aseguramiento de la calidad; la administración, evaluación y control de procesos de mantenimiento y ambiente, seguridad e higiene, junto a los cursos asociados a cada uno de estos módulos, tales como: confiabilidad de procesos, gerencia de

mantenimiento, gerencia de calidad, detección y diagnóstico de fallas, ambiente, seguridad e higiene, entre otros.

Siguiendo este mismo orden de ideas, el presente trabajo de investigación, está estructurado de la siguiente manera: el capítulo I, compuesto por el planteamiento del problema y los objetivos de la investigación, el capítulo II, que involucra los antecedentes asociados al tema de investigación y todos aquellos fundamentos teóricos que le dan sustento al presente trabajo, el capítulo III, que abarca todo lo relacionado con la metodología de la investigación así como las fases metodológicas llevadas a cabo para el alcance de los objetivos planteados, seguidamente el capítulo IV, en el cual se presentan la discusión de los resultados obtenidos según el desarrollo de cada una de las fases de acuerdo a la metodología planteada y finalmente las conclusiones que comprenden las ideas consecuentes al estudio realizado y recomendaciones que se consideren ventajosas para el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (av.) Miguel Rodríguez”.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La revolución industrial fue un hito en la historia que marcó un antes y un después en la forma en que se producía, distribuía e incluso en la comercialización del producto, al pasar de una producción artesanal, lenta e ineficiente por una producción industrializada que pasó a ser efectiva, rápida y abarcar una amplia población en menor tiempo, repercutiendo de forma positiva en el estilo de vida de la sociedad. Siendo este, el nacimiento de las industrias en el mundo propiciando un acelerado desarrollo que de alguna manera, generó alteraciones en la estructura económica, social y mental del hombre (Hobsbawm, 1968; Chaves, 2004).

Ahora bien, cada organización se diferencia debido a las características propias de cada una de ellas, pues dependerá del objetivo y necesidades que estas quieran abarcar. Es por ello, que cada organización que forma parte de una industria deberá tener sus estrategias bien definidas para lograr competir contra cada una de las organizaciones que conforman esa misma industria (Porter, 1990; Ceceña 2013). De esta manera, existen distintos tipos de industrias, entre las cuales se destaca a la industria espacial y aeronáutica o también llamada industria aeroespacial.

Por consiguiente, se destaca a este tipo de industrias como un sector dinámico, que tiene un crecimiento significativo en el mercado de transporte, debido a los grandes avances tecnológicos, la alta demanda de los clientes y los cambios de nuevos modelos (Carrincazeaux y Frigant, 2007).

En tal sentido, el sector aeronáutico percibe grandes desafíos en lo que a calidad y confiabilidad se refiere, esto debido a la adaptación de cambios tecnológicos y al gran auge que hizo evidente que los aviones estaban excediendo sus vidas de diseño original. Por tal motivo, las inspecciones y mantenimiento dentro de esta área son muy significativas, por lo

que, la detección y reparación de fallas tempranas eran factores críticos para evitar catástrofes (Ibarra *et al.*, 2006).

Cabe destacar que los componentes que son fabricados dentro de esta industria pueden sufrir distintos tipos de daños, que son ocasionados por procedimientos de fabricación inadecuados, fallas sub-superficiales (como vacíos), des-laminaciones, mecanizado posterior (por ejemplo, cortar o taladrar que pudiera ocasionar grietas), como también que las aeronaves pudieran sufrir daños en su uso normal de vuelo, como por ejemplo, daños por impactos de aves o artillería (provocando roturas en la armadura de la nave), además, el aire y agua que pudieran ingresar por las posibles imperfecciones en las uniones de la estructura del avión (Ibarra *et al.*, 2006).

En consecuencia, existen métodos que favorecen la detección anticipada y oportuna de las disconformidades en los componentes que son elaborados por esta industria, como bien lo son las pruebas no destructivas. Es por ello que, la implementación de este tipo de pruebas dentro de tales organizaciones trae consigo muchos beneficios a corto, mediano y largo plazo, debido al diagnóstico oportuno de las fallas, lo cual tiene como repercusión, la disminución de los costos de mantenimiento, así como en las garantías de los estándares de control de calidad regidos por normativas nacionales e internacionales, acceso a más licencias y permisos para ofrecer servicios a más tipos de marcas, y finalmente aumento en la productividad (Méndez, Velandia y Pérez, 2007).

Es por ello, que el éxito de las organizaciones dentro de un sector tan dinámico como lo es la aeronáutica dependerá de ventajas competitivas que lo puedan posicionar dentro del mercado, tomando en cuenta a las pruebas no destructivas como dichas ventajas, ya que sin ellas, el costo de mantenimiento aumentaría drásticamente, mientras que la confiabilidad del vuelo de las aeronaves disminuiría (Rojas, 2016).

Dentro de este contexto, Venezuela cuenta con diferentes organizaciones dedicadas al sector aeronáutico. Es conveniente destacar, que en 1999 se celebró una auditoría dentro

de la aviación venezolana por parte de técnicos de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), ente rector de la aviación civil en el ámbito mundial y adscrito a la Organización de las Naciones Unidas, quienes señalaron las fallas todavía presentes en materia de seguridad, por esta razón, las diversas organizaciones de aeronáutica civil de Venezuela, han venido implementando nuevas estrategias para mejorar en el área de calidad y seguridad de los equipos, siendo las pruebas no destructivas parte de ellas (Instituto Nacional de Aviación Civil, 2016).

De esta realidad no escapa el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (Av.) Miguel Rodríguez”, ubicado en Maracay, estado Aragua, el cual fue fundado el 16 de diciembre de 1937, el cual es una organización dedicada a la formación de nuevos pilotos. En tal sentido, este Centro de Instrucción, cuenta con aeronaves tipo Cessna, de diferentes modelos como lo son el 150D y R182, además de un simulador de vuelo instrumental, todos habilitados para impartir las clases y entrenamientos de los futuros pilotos privados y comerciales del país.

Cabe destacar, que dicha organización cuenta con personal calificado dedicado a la docencia aeronáutica y mantenimiento de las aeronaves. El personal docente, encargado de impartir las clases teóricas y prácticas, a los estudiantes en formación de ser pilotos. Por su parte el personal de mantenimiento, pertenece a la Organización de Mantenimiento Aeronáutico, el cual es un departamento que forma parte del Centro, de acuerdo con las directrices emanadas por el Instituto Nacional de Aeronáutica Civil (INAC), según lo establecido en las regulaciones internacionales establecidas en este ámbito.

En los últimos diez (10) años, el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (Av.) Miguel Rodríguez”, ha experimentado variaciones significativas en los costos de mantenimiento de sus aeronaves. En condiciones normales, el mantenimiento de las aeronaves Cessna 150D y R182, cuesta entre unos US\$400 a US\$500 por cada 50 horas de vuelo. En la actualidad, se han estimado cifras de hasta US\$1000 por cada actividad de esta

índole, con una variación anual del 25%, debido a daños que los aviones han presentado por el desgaste de las aeronaves.

Las aeronaves Cessna 150D y R182 tienen una vida útil de 25 años, donde cada una de ellas tienen excedidos más 19 años, luego de finalizada su vida útil, lo que representa un 76% más del uso para lo cual fue diseñado, provocando la fatiga de los materiales y equipos del avión, haciéndose necesario el uso de detecciones de fallas más rigurosas para evitar accidentes por obsolescencia de las aeronaves.

Ahora bien, considerando que son fallas que no son fáciles de detectar a simple vista, las cuales deben detectarse tempranamente, para evitar llegar a la condición de falla funcional, y aprovechar al máximo la oportunidad para la aplicación de los planes de mantenimiento tempranos, evitando así, la ocurrencia de planes de mantenimientos correctivos que producen largas paradas inesperadas, o también no poder contar con el repuesto necesario para la falla ocurrida, situaciones que ocurren el 50% por cada 50 horas de vuelo, evidenciándose altos costos en mantenimiento y poca competitividad con respecto a otras organizaciones del sector aeronáutico, tanto nacional como internacional.

Es por esto que la organización se encuentra en la necesidad de aplicar las pruebas no destructivas para las aeronaves Cessna 150D y R182, con la finalidad de aumentar la confiabilidad en el uso de sus aeronaves, y así lograr detectar fallas a tiempo, consiguiendo de esta manera la reducción de los costos y tiempos en mantenimiento.

De acuerdo con la problemática expuesta anteriormente, surgió la siguiente interrogante de investigación, ¿Cuáles pruebas no destructivas deben ser aplicadas en las aeronaves Cessna 150D y R182, para cumplir con los requisitos de mantenimiento asociados al diagnóstico y detección de fallas, en el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (av.) Miguel Rodríguez”, ubicado en Maracay, estado Aragua?

## **Objetivos de la investigación**

### **General**

Proponer la aplicación de pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182 en el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (AV) Miguel Rodríguez”.

### **Específicos**

1. Describir los aviones Cessna 150D y R182.
2. Considerar los requisitos legales para la aplicación de las pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182.
3. Desarrollar las estrategias para la aplicación de las pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182.
4. Diseñar la propuesta para la aplicación de las pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182.

## CAPÍTULO II

### MARCO DE REFERENCIA

El marco de referencia involucra documentos, investigaciones y artículos que poseen relación con el trabajo de investigación, las cuales son considerados pertinentes para fundamentar el estudio, además de las bases teóricas que fundamentan y sustentan a la problemática planteada.

#### **Antecedentes**

**Ramírez (2012)**, en su trabajo investigativo que lleva por título: “**Análisis de confiabilidad de la flota de aeronaves de la escuela de aviación del pacífico**”, la presente investigación describe el análisis de confiabilidad realizado a la flota de aeronaves de la Escuela de Aviación del Pacífico ubicada en la ciudad de Cali. En la cual, se realiza sobre una flota de 6 aeronaves, dos de ellas tipo Piper PA-28 y 4 aeronaves tipo Cessna. En el análisis se realiza un proceso para la identificación de las fallas, análisis de riesgos en la operación, análisis causa-raíz y análisis de la disponibilidad y operación de las aeronaves. La finalidad de lo antes expuesto, fue proporcionar una perspectiva general de las aeronaves tipo Cessna, además de facilitar estrategias que permitieron identificar las posibles fallas de las aeronaves, como también el análisis de los riesgos de los aviones.

**Rojas (2016)**, realizó una investigación titulada, “**Desarrollo y elaboración del manual de procedimientos de inspección para talleres aeronáuticos de reparación de ensayos no destructivos**”, donde se desarrolló y elaboró un manual de procedimientos de inspección para talleres aeronáuticos de reparación, orientado a incrementar y fomentar los tiempos operativos de implementación del mismo, tomando en cuenta las regulaciones y normativas colombianas, permitiendo los más altos estándares de calidad y además contar con los medios e instrumentos necesarios para estandarizar los procesos de tipo técnicos, operacionales y administrativos en cada uno de los distintos talleres que presten servicios de

ensayos no destructivos. Aportando de este modo información relevante para la investigación sobre las pruebas no destructivas y algunos procedimientos necesarios para implementar este tipo de ensayos no destructivos y además ofrece una orientación sobre las regulaciones y normativas que se deben considerar para la aplicación de las pruebas no destructivas.

**Ruiz (2014)**, en su trabajo investigativo titulado, “**Mejora del proceso productivo de una aeronave con Análisis de Criticidad según RPN y Análisis Causa Raíz**”, en el cual se desarrolló y planteó los pasos a seguir para realizar un análisis de riesgo más rápido eficaz en el proceso productivo de una aeronave, esto debido a que las aeronaves tienen modos de fallos que están afectando directamente al equipo. En consecuencia, se aplicó un análisis de criticidad según RPN y un análisis causa raíz para solventar la situación y permitiendo su aplicación en cualquier empresa. De esta manera, dicha investigación aportó información relevante para conocer el proceso productivo de una aeronave, además de permitir conocer y entender la metodología planteada sobre el análisis de riesgo basado en el análisis de criticidad según RPN y el análisis causa raíz, sirviendo de apoyo para la investigación.

### **Bases teóricas**

La **industria aeroespacial** y **aeronáutica** es definida como todas aquellas actividades productivas consignadas al diseño y fabricación de aviones, helicópteros, lanzacohetes, misiles y satélites, al mismo tiempo de los motores y equipos electrónicos manejados a bordo. Cabe destacar que, la diferencia entre **aeroespacial** y **aeronáutica** radica en que la primera tiene que ver con productos finales que circulan fuera de la atmósfera terrestre y la segunda con productos finales que circulan dentro de la atmósfera terrestre (Carrincazeaux y Frigant, 2007).

Ahora bien, la presente investigación se centró en la industria aeronáutica, esto debido a que se analizaron **aeronaves**, que no son más que un vehículo capacitado para el traslado de personas, objetos o cosas, destinado a desplazarse en el espacio aéreo, en el cual,

se mantiene por reacciones del aire con independencia del suelo. Cabe destacar que, para la fabricación de las aeronaves en la industria aeronáutica se debe contar con un equipo de multidisciplinario, en el cual se tienen a ingenieros expertos, los cuales elaboran y perfeccionan todas las características estructurales de cada avión., además, se debe contar con técnicos capacitados encargados de los niveles de resistencias y durabilidad de los materiales de los componentes. Por otro lado, todo lo referente a cálculos, trabajos de delineación y detalles de medición, son realizados a través de ordenadores basados en sistemas informáticos integrados, que facilitan la construcción de las aeronaves, sin la necesidad de planos en papel ni modelos estructurales a escala (Ramírez, 2012).

Entonces, el proceso de fabricación empieza desde la elaboración de las piezas de los materiales generales, luego la fase de montaje, la cual comienza con la fabricación de submontajes a partir de las piezas componentes. Entre los submontajes principales se tienen las alas, el tren de aterrizaje, los estabilizadores, las puertas, las secciones del fuselaje y los componentes interiores. En la fase final del montaje, se realiza en ensambladoras inmensas, catalogadas entre los edificios de construcción más grandes del mundo. Dicho proceso final, consiste en dejar la estructura del avión hasta más de una semana en una línea de montaje, mientras se realizan los trabajos correspondientes a cada detalle final de la aeronave (Ramírez, 2012).

Finalmente, las últimas estaciones o fases por la que pasa la aeronave en fabricación, es la Línea de Vuelo, en el cual, la aeronave completamente ensamblada es sometida a una serie de pruebas funcionales y vuelos de industria, con la idea de certificar que la aeronave y sus diversos componentes cumplan con todos los requisitos exigidos por la industria aeronáutica. Cabe destacar, que el proceso de elaboración de la aeronave es totalmente independiente a la funcionalidad de la aeronave, ya que esta última va relacionada a su proceso de mantenimiento, pues una vez finalizada su elaboración, en el transcurso de su vida útil, la aeronave estará sometida a condiciones que pueden generar cambios en su operatividad, habitualmente estos cambios van asociados a eventos de corrosión, abrasión, acumulación de deformaciones, distorsión, sobrecalentamiento, fatiga. En consecuencia,

ocasionando desviaciones de las características de su funcionalidad llevándolos consecuentemente a un estado de fallo (Ruiz, 2014).

Por consiguiente, las aeronaves deben reunir características o condiciones necesarias para realizar en forma segura y satisfactoria maniobras o vuelos para lo que han sido diseñadas y autorizadas, demostrando ser aptas y seguras para funcionar en el aire en condiciones normales de vuelo, en otras palabras, la **Aeronavegabilidad** del equipo. Entonces, para cumplir con lo anteriormente dicho, se debe tomar en cuenta al **mantenimiento de la aeronave**, que no es más que el conjunto de acciones eficaces que se realizan en sistemas y subsistemas del equipo para asegurar que continúe su operatividad con calidad esperada, manteniendo o mejorando los aspectos operativos relevantes tales como su funcionalidad, seguridad, productividad, confort, salubridad e higiene y racionalizando costos de operación, de manera que, garantice la aeronavegabilidad (Ramírez, 2012).

Por esta razón, el principal objetivo del **mantenimiento** es la seguridad y calidad, por ello, se deben cumplir los requerimientos del manual de fabricante y servicios, realizar planificaciones referentes a los mantenimientos de las aeronaves durante el avión en tierra. Es por este motivo, que la aplicación de actividades que incrementan la confiabilidad de las aeronaves, son clave fundamental dentro de la industria aeronáutica.

Con base en lo anterior, un elemento importante dentro de este tipo de organizaciones que permiten incrementar la confiabilidad de las aeronaves, son las **pruebas no destructivas** que se definen como una serie de ensayos que permitirán conocer y evaluar el estado de los materiales y medios de transporte sin afectar sus propiedades y funcionalidad del objeto examinado, además tienen como objetivo principal la detección de fallas lo suficientemente tempranas para evitar daños graves (Wu *et al*, 2018).

Este objetivo principal se extiende en la detección, evaluación y calificación, donde la **detección** tiene que ver con revelar discontinuidades en materiales y estructuras sin destrucción de los mismos, la **evaluación** determinar la ubicación, orientación, forma,

tamaño y tipo de discontinuidades, y por último la **calificación**, en el cual se establece la calidad del material, basándose en el estudio de los resultados y en la severidad de las discontinuidades y/o defectos de acuerdo a las normas de calidad y los objetivos del diseño (Araujo, 2017).

Entre los **beneficios de las pruebas no destructivas**, se tiene en primera instancia que su aplicación junto a un análisis estadístico contribuirá a mejorar el control de procesos de fabricación de un equipo, componente o servicio, en segunda parte el mejoramiento de la productividad de la organización, al prevenir paradas inesperadas por falla de componentes críticos, y como tercer punto el mejoramiento de los planes de mantenimiento que permitirá la reducción tanto en tiempo y costos en la reparación de los equipos (Wu *et al*, 2018).

Se debe destacar que las pruebas no destructivas no garantizarán que la falla en los equipos y materiales no ocurra, sin embargo, la importancia de las pruebas no destructivas radican en reducir esta probabilidad de ocurrencia en los distintos procesos (Araujo, 2017). Ahora bien, existen diferentes tipos de pruebas no destructivas que pueden usarse a nivel industrial dependiendo de la aplicación que se requiera, entre las cuales se tiene: (a) técnicas de inspección superficial, (b) técnicas de inspección volumétrica, (c) técnicas de inspección de la integridad o hermeticidad (Rojas, 2016).

Entre las técnicas de inspección superficial se tienen:

**Ensayos visuales:** es una técnica que requiere de una gran cantidad de información acerca de las características de la pieza a ser examinada, para una aceptada interpretación de las posibles indicaciones. Esta ampliamente demostrado que cuando se aplica correctamente como inspección preventiva, detecta problemas que pudieran ser mayores en los pasos subsecuentes de producción o durante el servicio de la pieza (Araujo, 2017).

En adición, los ensayos visuales se pueden dividir en dos tipos, la **inspección visual directa y remota**, la primera se hace a una distancia corta del objeto, aprovechando al

máximo la capacidad visual natural del inspector. Se usan lentes de aumento, microscopios, lámparas o linternas, y con frecuencia se emplean instrumentos de medición como calibradores, micrómetros, galgas para inspección visual, para medir y clasificar las condiciones encontradas, mientras que la remota se utiliza en aquellos casos en que no se tiene acceso directo a los componentes a inspeccionar, o en aquellos componentes en los cuales, por su diseño, es muy difícil ganar acceso a sus cavidades internas, como por ejemplo, boroscopios, fotómetros, radiómetros, estroboscopios, proyector de perfiles y magnificadores (Rojas, 2016).



Figura 1. Instrumentos para inspección visual.

**Líquidos penetrantes:** es un método que permite hallar de una manera rápida y confiable discontinuidades abiertas a la superficie (fisuras, porosidades, pliegues, entre otros) sobre casi cualquier componente (ferroso o no ferroso) independientemente de la geometría y del material de la pieza, está basada en los fenómenos de capilaridad, tensión superficial y viscosidad (Bautista, 2013).

Los materiales penetrantes para inspecciones en aeronaves pueden ser aplicados por inmersión o pulverización para examinar rápidamente grandes áreas y se pueden detectar defectos como grietas por fatiga, sobrecarga y fractura de impacto, porosidad, agujeros de

alfiler en las soldaduras, falta de fusión a lo largo del borde de la línea de unión (Bautista, 2013).



Figura 2. Ensayo no destructivos con líquidos penetrantes.

**Partículas magnéticas:** esta prueba se basa en magnetizar la pieza a inspeccionar, luego aplicar las partículas magnéticas (polvo fino de limaduras de hierro) y evaluar las indicaciones producidas por la agrupación de las partículas en ciertos puntos. Cuando es necesario una inspección más rápida que la de líquidos penetrantes, se usa este tipo de pruebas. Este método se utiliza en materiales ferromagnéticos como el hierro, el cobalto y el níquel. Debido a su baja permeabilidad magnética, no se aplica ni en los materiales paramagnéticos (como el aluminio, el titanio o el platino) ni en los diamagnéticos (como el cobre, la plata, el estaño o el zinc) (Rojas, 2016).



Figura 3. Instrumentos para inspección con partículas magnéticas.

Corrientes de Eddy o electromagnetismo: se emplea para inspeccionar materiales que sean electro conductores, siendo especialmente aplicable aquellos que no son ferro-magnéticos. La inspección por corriente Eddy está basada en el efecto de inducción electromagnética. Con este tipo de pruebas se tiene la posibilidad de detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales (aquellas que se encuentra debajo de la superficie pero muy cercanas a ella) (Lorient, 2011).

Este tipo de pruebas se aplican específicamente en aquellos materiales que no son ferro-magnéticos, y su principio de aplicación implica emplear un generador de corriente alterna, que se conecta a una bobina produciendo un campo magnético. La bobina se coloca cerca de un material que es eléctricamente conductor (material a ensayar), el campo magnético de la bobina (llamado primario), inducirá una corriente eléctrica (Corrientes Eddy) en el material a inspeccionar. A su vez, esta corriente generará un nuevo campo magnético (campo secundario), siendo proporcional al primario, pero de signo opuesto (Araujo, 2017).



Figura 4. Instrumentos para inspección con corriente de Eddy.

Por otro lado, se tienen las técnicas de inspección volumétrica:

**Ultrasonido industrial:** Esta prueba no destructiva utiliza ondas de alta frecuencia (más de 20 kHz) que son introducidas en el material a inspeccionar y a partir de ello detectar defectos superficiales e internos. Las ondas atraviesan el material con cierta atenuación y son reflejadas en las interfaces. Estas ondas reflejadas son detectadas y analizadas definiendo entonces la presencia y la localización de las discontinuidades (Araujo, 2017).



Figura 5. Herramientas utilizadas para la aplicación de pruebas con ultrasonido.

**Radiografía industrial:** Es un método diseñado para la detección de discontinuidades macroscópicas, variaciones en la estructura interna o configuración física de la materia. A partir de radiaciones penetrantes, rayos x o rayos gamma, son utilizados para atravesar el equipo o material a inspeccionar permitiendo evaluar su interior, esta radiación es absorbida parcialmente por el cuerpo y dicha radiación se registrará en imágenes visuales, como radiografías. Una de las ventajas de esta prueba, es que proporciona registros permanentes para el estudio y evaluación de las discontinuidades (Araujo, 2017).

Seguidamente, se tiene la inspección de la integridad o hermeticidad:

**Prueba de fuga:** se utiliza en sistemas o componentes presurizados o que trabajan en vacío, para la detección, localización de fugas y la medición del fluido que escapa por éstas. Las fugas son orificios que pueden presentarse en forma de grietas, fisuras, hendiduras, entre otros., donde puede recluirse o escaparse algún fluido (Méndez, Velandia y Pérez, 2007).

**Prueba de presión hidrostática:** es el ensayo que se realiza, con fluido líquido (generalmente agua), a aquellos recipientes, tanques, líneas y ductos sometidos a presiones de trabajo superiores a la presión atmosférica. La validación o renovación de su capacidad hermética y de su resistencia estructural es de vital importancia para la integridad del recipiente, componentes, instalaciones y la seguridad laboral de los operadores (Barrera y Camus 2017).

En otro orden de ideas, es importante mencionar que cuando las pruebas no destructivas se aplican como parte de la inspección preventiva, reduce notablemente los costos de reparación o proceso, pero sobre todo ayudan a ahorrar tiempo y recursos que de otra forma se desperdiciarían en una pieza que finalmente puede tener un costo de producción muy superior al presupuestado, como por ejemplo, la aplicación de las pruebas no destructivas en la industria norteamericana evita pérdidas en el orden del 2% del PIB de ese país (Ibarra *et al.* 2006).

El **análisis de modo y efecto de fallas** (AMEF) es una metodología analítica usada para asegurar que problemas potenciales se han considerado y abordado a través del proceso de desarrollo del producto y proceso, es considerado una herramienta tradicional para identificar y analizar los riesgos. De ahí que, los **modos de fallas** son aquellos eventos que pueden causar una falla, mientras que la falla es la pérdida de función del equipo. Es decir, una **falla** es aquello que incapacita a cualquier equipo (aeronave), de hacer lo que el usuario quiere que haga; al mismo tiempo, un defecto en la aeronave puede considerarse un riesgo si no se ha producido la falla, pues hay una probabilidad de que ocurra, mientras que un defecto que ya ha ocurrido se consideraría una falla actual, o un riesgo para futuros defectos similares en las aeronaves, que pudiesen ser evitados al elaborar medidas de seguridad (Ruiz, 2014).

A propósito, el **AMEF** es considerado una herramienta para evaluar riesgo, asimismo permite identificar la severidad de efectos potenciales de fallas y ofrece entradas para medidas de mitigación para reducir riesgos, incluso permite la estimación de la probabilidad de ocurrencia de las causas de las fallas y sus modos de fallas, lo que ayuda a tener una amplia información para un mejor análisis; Por consiguiente, las tareas que resulten de un análisis de modo y efecto fallas, pueden reducir o eliminar la probabilidad de implementar un cambio que crearía aún un aspecto de preocupación más grande, cabe destacar, que el Análisis de modo y efecto de falla es una herramienta que da pie al mejoramiento de la confiabilidad de los equipos.

A modo de ejemplo, en la tabla 1, se puede apreciar el cuadro del Análisis De Modo y Efecto de Fallas (AMEF) utilizado en la presente investigación.

Tabla 1. Cuadro para Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF).

Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF)										
Item:					Número de AMEF:					
Preparado por:		Fecha de AMEF:			Página:					
Zonas	Modo de Falla Potencial	Efectos Potenciales	S	Causas Potenciales de la Falla	Controles de Prevención	O	Controles de Detección Existentes	D	NPR	Recomendaciones

Para finalizar con el apartado teórico, es de importancia definir algunos términos metodológicos usados para la realización del trabajo, entre los cuales se tiene:

El **diagrama de causa-efecto** es una representación gráfica que sirve para organizar y ordenar todos los elementos y causas que inciden en el origen de un problema, de esta manera estudiar y analizar la relación entre un efecto (problema) y las posibles causas que lo puedan ocasionar, fue creado por el Dr. Kaoru Ishikawa, 1943 y también es llamado diagrama de espina de pescado, debido a su forma en el que la espina dorsal conduce a la cabeza del pescado donde se coloca el problema que se quiere analizar, y las espinas indican las causas que lo provocan. Esta herramienta es usada para ordenar ideas, correspondientes a un efecto generado por diferentes causas, que pudiesen ocasionar una falla (Gonzales, 2014).

Ahora bien, así como la herramienta anterior que es usada para ordenar ideas, se tiene el **Diagrama de Pareto** que no es más que una herramienta útil para presentar datos en orden de importancia, de tal manera que se pueda priorizar cada elemento que tiene una contribución a un efecto (problema) en general. Por lo que, el **Diagrama de Pareto** es una técnica gráfica para ordenar datos, desde el más frecuente al menos frecuente, basándose en el principio del “80-20” o “los pocos vitales y muchos triviales”, esto debido a su creador Vilfredo Pareto, pues se dio cuenta que la mayor riqueza de Italia estaba en manos de la minoría de la población, mientras que el resto quedaba distribuido entre la mayoría, o de igual forma se podría decir, que el 20% de las causas están inmerso en el 80% del problema (UNIT, 2009).

Por otro lado, cabe mencionar como instrumento de recolección de datos a la **entrevista**, el cual es una técnica eficaz, puesto que permite obtener información más completa y profunda; además presenta la posibilidad de aclarar dudas durante el proceso, asegurando respuestas más útiles. Dicho instrumento, se clasifica en tres tipos: estructuradas, semiestructuras y no estructuradas, siendo la entrevista semiestructurada la que más se adaptó a la investigación, debido a la flexibilidad con que se realizan las preguntas, pudiéndose ajustar de ser necesario, además de identificar ambigüedades y evitar formalismo (Díaz *et al*, 2013). Para ello, se requiere de la **validación de instrumento**, que consiste en un procedimiento que pone a prueba un instrumento a partir de varios métodos, como lo son la consulta y prueba con expertos que analizarán, evaluarán y calificarán el instrumento y darán posibles recomendaciones al diseño (Rojas, 2011). De esta manera, se podrá asegurar de que el instrumento mida lo que tiene que medir, ayudando a contar con información útil y fidedigna sobre el problema de estudio, haciéndolo autentico y veraz (Corral, 2009).

Del mismo modo, se puede mencionar como técnica de recolección de datos a la **observación directa**, ya que es aquella donde el investigador entra en contacto directo con el objeto de observación y en ella se apoya para obtener el mayor número de datos, además se debe tener una percepción atenta, racional, planificada y sistemática que permita desarrollar de manera efectiva el registro para su posterior análisis (Puente, 2000). Dicha técnica, permite llevar a cabo un **Registro anecdótico**, que no es más que un informe que describe hechos, sucesos o situaciones concretas que se consideran importantes para el investigador sobre una situación real, donde se toma en cuenta comportamientos, actitudes, intereses o procedimientos. Esto con la finalidad de hacer un seguimiento sistemático que sirva para obtener datos útiles y así analizar y evaluar determinada situación (Ruiz, 2015).

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

Una vez identificado el problema de investigación, se procede a realizar una serie de pasos, técnicas y procedimientos que permitirán darle respuesta a los objetivos planteados, de tal forma, que pueda dar solución a la presente problemática.

#### **Tipo de investigación**

El presente trabajo se encontró contextualizado en una investigación proyectiva, la cual se ocupa de cómo deberían ser las cosas, para lograr unos fines y funcionar adecuadamente, además involucró capacidad para descubrir relaciones entre el mantenimiento, las aeronaves y las pruebas no destructivas, de esta manera propició procesos explicativos que permitieron comprender de mejor manera tales eventos, con la finalidad de diseñar una propuesta que permitió darle solución a la situación que se planteó, lo cual, posibilitó satisfacer la necesidad presente en el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (Av.) Miguel Rodríguez” (Hurtado, 2000), asociada con la detección de las fallas en los equipos objeto de estudio, y así poder reducir los costos y tiempos en mantenimiento e incrementar la competitividad en el mercado aeronáutico.

A través de ello, se prepararon y diseñaron estrategias y procedimientos específicos que permitieron la aplicación de algunas pruebas no destructivas que podrán satisfacer las necesidades del medio aeronáutico en el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (Av.) Miguel Rodríguez”. Cabe destacar que, luego de la investigación proyectiva se debe precisar la acción, tomando en cuenta los lineamientos u orientaciones que ayudaron a realizar dicha propuesta, sin embargo, la aplicación de la propuesta de la presente investigación escapa de las manos del investigador, quedando bajo responsabilidad de la organización.

## **Nivel de investigación**

El estudio estuvo enmarcado en el nivel comprensivo, por lo tanto, se proporcionó una explicación de los acontecimientos en la organización y la relación que tienen con las pruebas no destructivas, teniendo en cuenta la idea de generar predicciones que encaminaron a la aplicación de las pruebas no destructivas necesarias para las aeronaves Cessna 150D y R182 de la organización, teniendo en cuenta a las situaciones que se observaron para hacer inferencias que ayudaron en la investigación (Hurtado, 2000).

## **Diseño de la investigación**

La investigación se consideró como un diseño de campo, no experimental, ya que los datos se recolectaron de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar el proceso de mantenimiento de las aeronaves, es decir, se obtuvo la información sin alterar las condiciones de trabajo existentes. De lo anterior, derivaron registros y mediciones que luego de su análisis se pudo caracterizar el fenómeno de estudio, estableciendo una estructura que permitió la aplicación de las pruebas no destructivas en los equipos Cessna 150D y R182, dentro del Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (Av.) Miguel Rodríguez”, cubriendo la necesidad de este medio aeronáutico respecto al tema de mantenimiento (Arias, 2012).

## **Unidad de análisis y de observación**

La unidad de análisis fue el área donde se hace la actividad de mantenimiento o donde se aplican las pruebas no destructivas. Las unidades de observación fueron las aeronaves, en la presente investigación se consideró como unidad de observación a las aeronaves que se alojan dentro de la organización, siendo los equipos más usados e importantes para el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (Av.) Miguel Rodríguez”, ya que son necesarios para realizar las prácticas de vuelo de los futuros pilotos que se entrenan dentro de la misma.

## **Población y muestra**

La población estuvo reflejada por los aviones marca Cessna, siendo en total siete (07) aeronaves disponibles en la organización. La muestra estuvo representada por dos aviones marca Cessna, el primer equipo, un ejemplar 150D y el segundo un modelo R182. Cabe destacar que, la muestra seleccionada en la presente investigación fue de tipo intencional, esto debido a que se quería solucionar un problema particular de estos modelos y que debido al tiempo de vida de las aeronaves y la cantidad de hora de vuelos que estos realizan, fueron los modelos más relevantes que se tiene la necesidad de aplicarles las pruebas no destructivas, con la intención de mejorar la confiabilidad y detectar fallas a tiempo para reducir costos y evitar posibles accidentes.

Por otro lado, se tiene al personal técnico que labora dentro del Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (Av.) Miguel Rodríguez” en el área de mantenimiento, este personal pertenece al área de la Organización de Mantenimiento Aeronáutico (OMA), el mismo forma parte importante dentro de la investigación, ya que son personas experimentadas que se desempeñan en el mantenimiento de las aeronaves objetos de estudio y cuentan con amplios conocimientos aeronáuticos que propiciaron datos importantes al investigador, este departamento cuenta con un total de 22 trabajadores, desglosándose: en tres (03) supervisores, seis (06) Técnicos de mantenimiento Aeronáutico con licencia 2 (TMA2), seis (06) técnicos de Mantenimiento Aeronáutico con licencia 1 (TMA1) y siete (07) ayudantes.

Se seleccionó intencionalmente a cinco (05) personas, tres (03) supervisores del departamento que eran los únicos en el área, que debido a sus conocimientos y experiencia propiciaron datos relevantes a la investigación, también un (01) TMA2 con conocimientos sobre las pruebas no destructivas que fue seleccionado de manera intencional habiendo este realizado cursos sobre el tema de pruebas no destructivas y finalmente un (01) técnico sin conocimiento sobre este tema en particular, que fue seleccionado al azar de los seis (06)

TMA1. A los individuos seleccionados se les aplicó un instrumento de recolección de datos que permitió recabar información relevante para la investigación.

## **Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **Fuentes Primarias**

Se utilizó la observación directa, debido a que el investigador tenía acceso a cada una de las aeronaves, en el cual, se obtuvieron datos relevantes sobre la situación actual del equipo, de esta manera se realizó un registro anecdótico que sirvió para poder determinar características necesarias para posteriores análisis.

Posteriormente, se utilizó la entrevista semiestructurada, por medio del cual se recabó información más detallada sobre las pruebas no destructivas aplicadas en las aeronaves. El objetivo de la entrevista fue conocer al personal, tomando en cuenta cómo perciben el proceso de mantenimiento y cómo lo relacionan con la aplicación de las pruebas no destructivas (Díaz *et al.* 2013). Es importante resaltar que el instrumento a utilizar fue diseñado y validado por el autor, para que el mismo tenga la validez científica.

### **Fuentes secundarias**

Se realizó de una amplia revisión de la documentación encontrada dentro de la organización, tales como: manuales de operaciones, datos históricos, reportes, manuales de instalación, manuales de servicios, a fin de conocer las características y especificaciones de las aeronaves. Además de la revisión de libros, páginas web, trabajos de grados, revistas científicas, entre otros, que proporcionaron información pertinente en el desarrollo de la investigación (Hurtado, 2000).

## **Diseño de instrumentos**

La entrevista semiestructura (Anexo A), estuvo orientada al tema de las pruebas no destructivas (Anexo A), y constó de 10 preguntas. Las dos primeras sirvieron como referencia para conocer un poco más sobre el proceso de mantenimiento de las aeronaves dentro de la organización, así como descubrir si contaban con algún tipo de programa de mantenimiento y como podía influir dentro del proceso. Los otros ítemes iban dirigidos al tema de pruebas no destructivas, donde se quería saber el conocimiento y habilidades del personal respecto a las pruebas no destructivas, particularmente en los equipos objeto de estudio.

Se debe destacar que para la ejecución de dicho instrumento, fue necesario la validación de la entrevista semiestructurada, pues, lo que se quería tener era un instrumento autentico que midiera lo que tiene que medir, ya que, se trataba de determinar hasta dónde los ítemes o reactivos de este instrumento eran representativos del universo de contenido que se quería medir (Corral, 2009).

Para ello, el investigador elaboró una serie de ítemes, acordes con las variables utilizadas y sus respectivas dimensiones. Luego, se seleccionó los ítemes más adecuados para la investigación y finalmente se elaboró el instrumento, que su contenido fue validado por un grupo de tres expertos, que certificaron, efectivamente, que las preguntas, reactivos o afirmaciones seleccionadas eran claras y tenían coherencia con el trabajo desarrollado (Corral, 2009).

La validación del contenido del instrumento se hizo a través del método de Agregados Individuales, en el cual, se le pidió individualmente a cada experto que diera una estimación directa de los ítemes del instrumento, como se requiere que sea individual la validez por parte de cada experto, no podían intercambiar opiniones o ideas entre ellos, sin embargo, esta limitante precisamente era lo que se quería para evitar los sesgos que pudiesen ser ocasionados por la presión entre expertos, entre otras cosas.

Entonces, se procedió a realizar el método, en primer lugar se seleccionaron tres (3) jueces, que sirvieron para juzgar de manera independiente el contenido teórico, la claridad de la redacción y el sesgo en la formulación de los ítems. Cada experto recibió la información escrita sobre el objetivo del instrumento a ejecutar. Por otro lado, cada experto recibió un instrumento de validación que contenía; congruencia ítem-dominio, claridad, sesgo y observaciones, instrumento que está reflejado en el Anexo B (Corral, 2009).

Finalmente, según Corral (2009), se recolectaron y analizaron los instrumentos de validación, donde:

1. Los ítems que tenían el 100% de coincidencia favorable entre los jueces (congruentes, claros en su redacción y no tendenciosos) quedan incluidos en el instrumento.
2. Los ítems que tenían 100% de coincidencia desfavorable entre los jueces quedaban excluidos del instrumento.
3. Los ítems que tenían una coincidencia parcial entre los jueces debían ser revisados, reformulados o sustituidos, si era necesario, y nuevamente validarlos.

Aunado a ello, la aplicación del alfa de Cronbach, el cual, es un coeficiente utilizado para medir la fiabilidad de una escala de medida o prueba, cabe destacar que, este coeficiente va desde 0 a 1, donde mientras más cercano esté a 1, más consistentes serán los ítems.

### **Técnicas para el análisis y presentación de la información**

Una vez que se colectó la información, fue preciso seguir una serie de pasos a fin de organizar e intentar dar respuesta a los objetivos planteados en la investigación. Los datos empíricos obtenidos luego de aplicar las técnicas e instrumentos de recolección de datos, se clasificaron, registraron y tabularon para su posterior análisis e interpretación.

En primera instancia, se usó un diagrama de causa-efecto con la metodología 5M, el cual ayudó al investigador a representar, categorizar y evaluar todos los posibles motivos de fallas relacionados a los aviones Cessna 150D y R182. Además, se hizo uso del diagrama de Pareto, con la finalidad de ordenar y analizar los reportes de fallas para poder de esta manera, asignar un orden de prioridades para las fallas reportadas.

Una vez aplicado el diagrama de Pareto basado en los reportes de fallas de las aeronaves Cessna 150D y R182, los datos arrojados por dicha herramienta, fueron analizados, procesados y presentados a través de un Análisis de modo y efecto de la falla (AMEF) con la idea de priorizar las fallas potenciales y de esta manera utilizar las pruebas no destructivas como un plan de prevención, supervisión y respuesta para las aeronaves Cessna 150D y R182. En adición, se hizo uso de herramientas de cálculo y estadística como Excel y Minitab® v. 17.

## **Fases metodológicas**

Para la realización de esta investigación, fue necesario llevar a cabo una serie de etapas, en las que de forma progresiva se fueron desarrollando cada una de las acciones y tareas involucradas en la consecución de los objetivos planteados del estudio. Para ello, las fases metodológicas estuvieron asociadas con los objetivos de la investigación, los cuales se describen a continuación:

### **Fase I.** Describir los aviones Cessna 150D y R182.

En primera instancia, se procedió a detallar las aeronaves objeto de estudio, a través de la revisión documental, en donde se describieron las especificaciones generales de cada uno de los equipos. Dichos datos fueron ordenados y presentados en cuadros de doble entrada, considerando: peso bruto, capacidad de tripulación, altura, superficie alar, velocidad máxima al nivel del mar, capacidad de combustible, ala estándar (total), ala estándar (utilizable), ala de largo alcance (total), ala de largo alcance (utilizable), capacidad de aceite, sin filtro externo, con filtro externo, modelo de motor, hélice, neumático de rueda principal,

presión de neumático de rueda principal, neumático de rueda de nariz, presión de neumático de rueda de nariz, presión del punto de engranaje de nariz (puntal extendido), alineación de las ruedas, capacidad de combustible, capacidad de tripulación.

Luego, se representaron esquemas de las aeronaves Cessna 150D y R182, para visualizar las dimensiones y las estaciones o zonas de los aviones, que permiten identificar alguna novedad que haya ocurrido en tales lugares. Adicional a ello, se identificaron las partes críticas del equipo mediante la observación directa y con ayuda del personal de mantenimiento aeronáutico de la organización, el cual se presentó por medio de un cuadro, los cuales se usaron como datos para la fase III del presente trabajo de investigación.

En otro orden de ideas, se realizó la entrevista semiestructurada (Anexo A), dirigida al personal perteneciente a la Organización de Mantenimiento Aeronáutico (OMA), dado que el investigador recabó datos sobre el tema de la investigación de una manera más flexible, lo que permitió obtener información más profunda y detallada.

Esta entrevista constó de 10 preguntas orientadas a conocer el proceso de mantenimiento que se maneja en el área, también se quería saber si tenían algún tipo de programa de mantenimiento y cómo influían en dicho proceso, luego de ello, se hizo hincapié en el tema de las pruebas no destructivas, donde se precisó el conocimiento y habilidad que poseía el personal de la OMA respecto al tema, dirigiendo así la entrevista, a las aeronaves objeto de estudio (Díaz *et al.* 2013).

Cabe destacar que, dicho instrumento de recolección de datos, se realizó una vez validado el instrumento, donde a través del método Agregados Individuales, se seleccionaron los 3 expertos, que juzgaron de manera independiente el contenido, la claridad de la redacción y el sesgo en la formulación de los ítems. Que luego a través del instrumento de validación (Anexo B) cada experto colocó datos referentes a la congruencia ítem-dominio, claridad, sesgo y observaciones, en el cual los ítems tenían 100% de coincidencia favorable entre los jueces (congruentes, claros en su redacción y no tendenciosos) de tal forma, tales ítems

quedaron incluidos, velando de esta manera, la validez científica del instrumento, y finalmente la aplicación del alfa de Cronbach que se usó para saber la fiabilidad de este instrumento.

**Fase II.** Considerar los requisitos legales para la aplicación de las pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182.

Una vez estudiados los requisitos técnicos derivados de la descripción, se analizaron los aspectos legales más relevantes para la investigación, como lo fueron de manera directa las Regulaciones Aeronáuticas Venezolanas (RAV). A los fines, se revisaron los siguientes documentos:

1. Ley de Aeronáutica Civil (Gaceta Oficial 39140 del 17 de marzo de 2009), la cual regula todas las actividades relacionadas con el transporte aéreo, la navegación aérea y otras vinculadas con el empleo de aeronaves civiles donde ejerza su jurisdicción la República Bolivariana de Venezuela.
2. La Gaceta Oficial 5896, Extraordinario, del 06 de Octubre de 2008, en donde se estipulan las actividades de mantenimiento de los equipos aeronáuticos (conocida como RAV 43).
3. La Gaceta Oficial 6279, Extraordinario, del 23 de Diciembre de 2016, que trata sobre las licencias del personal que labora en el entorno de la aeronáutica civil (RAV 60), y finalmente
4. La Gaceta Oficial 6279, Extraordinario, del 23 de Diciembre de 2016 (RAV 91), que indica las reglas de vuelo y operación general.

**Fase III.** Desarrollar las estrategias para la aplicación de las pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182.

Para el cumplimiento de esta fase, se realizaron tormentas de ideas junto al personal de la organización de mantenimiento aeronáutico que sirvió para realizar un diagrama de causa-efecto con las 5 “M” como método para localizar la causa raíz de las fallas de las aeronaves Cessna 150D y R182, así mismo se representó, categorizó y evaluó todas las posibles causas de fallas en las aeronaves objeto de estudio. Para ello, se tomó en cuenta el sistema de análisis estructurado donde se fijaron 6 factores fundamentales en el cual giraran las posibles causas del problema. Para la investigación, las 5 “M” fijadas fueron:

- **Método:** este factor lo que se quiere es evaluar cómo se hacen las cosas. Así pues, al evaluar los métodos, se está evaluando si la forma en que se desarrollan las actividades están significando resultados.
- **Mano de obra:** se consideran aquellos aspectos asociados a las personas, al personal, a la mano de obra.
- **Medio ambiente:** este tendrá que ver con las condiciones y entorno en el que se trabaja, además de la cultura organizacional, clima organizacional, y aspectos físicos (temperatura, luz, ventilación, entre otros).
- **Medición:** en este apartado recae todo lo que se hace en torno a la inspección, las diferentes medidas con que se trabajan, el aseguramiento de la calidad, calibración, tamaño de muestra, error de medición, entre otros.
- **Maquinaria:** este factor se refiere directamente a la infraestructura. Es decir, va relacionado a todas las herramientas con las que se cuenta para producir o realizar el producto final. Como por ejemplo, el software, hardware, máquinas de fabricación, montacargas, entre otros.

Posterior a ello, se procedió a utilizar los diagramas de Pareto para cada uno de los equipos objetos de estudio, donde se examinaron, ordenaron y analizaron todos los reportes de fallas de las aeronaves Cessna 150D y R182. Para ello, se tomaron en cuenta las fallas por

área del equipo y por fallas específicas, de esta manera se facilitó la reducción y organización de los datos, luego se compararon las diversas fallas de las aeronaves y se asignó un orden de prioridad para las fallas reportadas. Dichos análisis fueron necesarios posteriormente para la realización del análisis de modo y efecto de fallas (AMEF).

**Fase IV.** Diseñar la propuesta para la aplicación de las pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182.

Una vez estudiado los equipos, se presentaron los resultados a través de un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF), que permitió descubrir fallas potenciales y precisar acciones de mantenimientos para dichas fallas, con la ayuda de una acción correctiva, que fueron indicadas en un informe. Para dicho AMEF, se presentó a través de un cuadro, donde se tomó en consideración a las zonas del equipo, proveniente de los diagramas de Pareto, así como los modos de fallas potenciales, causas potenciales, controles de prevención, controles de detección existentes, grado de severidad, grado de ocurrencia, grado de detección, estas tres últimas usadas para determinar el número prioritario de riesgo (NPR).

Para estimar los valores de severidad (Tabla 2), ocurrencia (Tabla 3) y grado de detección (Tabla 4), según el manual del AMEF, se tomó en consideración los siguientes criterios:

Tabla 2. Criterio para estimar el rango de severidad.

<b>EVENTO</b>	<b>CRITERIOS: SEVERIDAD</b>	<b>RANGO</b>
Falla en el cumplimiento con requerimientos de seguridad y/o regulatorios	Modo de falla potencial afecta a la operación segura de la aeronave y/o involucra incumplimientos en las regulaciones aeronáuticas, sin advertencia.	10
	Modo de falla potencial afecta a la operación segura del vehículo y/o involucra incumplimientos en regulaciones aeronáuticas con advertencia.	9
Pérdida o degradación de alguna función primaria	Pérdida de alguna función primaria (aeronave inoperable, no afecta la operación segura de la aeronave)	8
	Degradación de alguna función primaria (aeronave operable, pero con un nivel de desempeño reducido).	7
Pérdida de alguna función secundaria	Pérdida de alguna función secundaria (aeronave operable, pero algunas funciones de confort / conveniencia inoperables).	6
	Degradación de alguna función secundaria (aeronave operable, pero algunas funciones de confort / conveniencia con un nivel de desempeño reducido).	5
Incomodidad / Molestia	Apariencia o ruido audible, aeronave operable, algún ítem no cumple y es notado por la mayoría de los clientes.	4
	Apariencia o ruido audible, aeronave operable, algún ítem no cumple y es notado por muchos clientes.	3
	Apariencia o ruido audible, aeronave operable, algún ítem no cumple y es notado por un mínimo de clientes.	2
Sin efecto	Sin efecto discernible.	1

Tabla 3. Criterio para estimar el rango de ocurrencia.

<b>PROBABILIDAD DE FALLA</b>	<b>CRITERIOS: OCURRENCIA</b>	<b>RANGO</b>
Muy Alta	Falla es inevitable con el nuevo diseño, nueva aplicación o cambio en las condiciones de operación/ciclos debidos.	10
	Falla es probable con el nuevo diseño, nueva aplicación o cambio en las condiciones de operación/ciclos debidos.	9
	Falla es incierta con el nuevo diseño, nueva aplicación o cambio en las condiciones de operación/ciclos debidos.	8
Alta	Fallas frecuentes asociadas con diseños similares o en simulaciones y pruebas de diseños.	7
	Fallas ocasionales asociadas con diseños similares o en simulaciones y pruebas de diseños	6
	Fallas aisladas asociadas con diseños similares o en simulaciones y pruebas de diseños.	5
Moderada	Sólo fallas aisladas asociadas con diseños casi idénticos o en simulaciones y pruebas de diseños.	4
	No se observan fallas asociadas con diseños casi idénticos o en simulaciones y pruebas de diseños.	3
Baja		2
	La falla es eliminada a través de controles preventivos.	1

Tabla 4. Criterio para estimar el rango de detección.

<b>OPORTUNIDAD PARA LA DETECCIÓN</b>	<b>CRITERIOS: PROBABILIDAD DE DETECCIÓN</b>	<b>RANGO</b>	<b>PROBABILIDAD DE DETECCIÓN</b>
No detección	No Puede detectarse	10	Casi imposible
Sin probabilidad de detección en ninguna etapa	Controles de análisis/detección del diseño débil.	9	Muy remota
Parada posterior al Diseño y previo al lanzamiento	Verificación/Validación del producto después de una parada del diseño y previo al lanzamiento con pruebas pasa/falla (Pruebas del sistema y subsistemas con criterios de aceptación tales como, conducción y manejo, evaluación de envío, etc.).	8	Remota
	Verificación/Validación del producto después de una parada del diseño y previo al lanzamiento con pruebas para fallas (pruebas del sistema y subsistemas hasta que una falla ocurre, pruebas de las interacciones del sistema, etc.).	7	Muy baja
	Verificación/Validación del producto después de un parada del diseño y previo al lanzamiento con pruebas de degradación (pruebas del sistema y subsistemas después de pruebas de durabilidad, ej., chequeo de funcionamiento).	6	Baja
Congelamiento previo al Diseño	Validación del producto (pruebas de confiabilidad, pruebas de desarrollo o validación) previo a la parada del diseño usando pruebas pasa/falla.	5	Moderada
	Validación del producto (pruebas de confiabilidad, pruebas de desarrollo o validación) previo al congelamiento del diseño usando pruebas para fallas.	4	Moderadamente alta
	Validación del producto (pruebas de confiabilidad, pruebas de desarrollo o validación).	3	Alta
Análisis Virtual – Correlacionado	Controles de análisis/detección del diseño cuentan con una fuerte capacidad de detección.	2	Muy alta
Detección no aplica; Prevención de Fallas	Causas de fallas o modos de fallas no pueden ocurrir porque está totalmente prevenido a través de soluciones de diseño.	1	Casi cierta

Todo este basamento estadístico, apoyado de las recomendaciones de los fabricantes descritos dentro de los manuales de instalación y servicio de las aeronaves, fue utilizado para identificar cuales pruebas no destructivas eran las más necesarias para aplicar en los aviones Cessna 150D y R182.

Para esta última fase y una vez cumplidos con los procedimientos descritos en la fases anteriores, se procedió a diseñar la propuesta necesaria para cumplir con el objetivo de aplicar las pruebas no destructivas en los aviones Cessna 150D y R182, en el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (Av.) Miguel Rodríguez”.

## CAPÍTULO IV

### PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

**Fase I.** Describir los aviones Cessna 150D y R182.

Inicialmente se procedió a realizar la revisión documental extensiva de los manuales de servicio de las aeronaves, en el cual se pudo evidenciar a detalle las especificaciones generales de los modelos Cessna 150 y R182, así como la descripción general de los mismos, destacando la opinión de los trabajadores de la Organización de Mantenimiento Aeronáutico, mediante la aplicación de la entrevista. A continuación, se presenta las especificaciones de las aeronaves a través de un cuadro de doble de entrada (tabla 5 y tabla 6).

Tabla 5. Especificaciones de aeronave Cessna 150D.

Descripción	Especificación
Peso bruto	725 kg
Capacidad de tripulación	1
Altura	2,6 m
Superficie alar	15 m <sup>2</sup>
Velocidad máxima al nivel del mar	122 mph
Capacidad de combustible	
Ala estándar (total)	98,42 lts
Ala estándar (utilizable)	85,17 lts
Ala de largo alcance (total)	143,85 lts
Ala de largo alcance (utilizable)	132,5 lts
Capacidad de aceite	
Sin filtro externo	5,7 lts
Con filtro externo	6,62 lts
Modelo de motor	Continental O-200
Hélice	69" McCAULEY
Neumático de rueda principal	6.00 x 6, clasificación de 4 capas
Presión de neumático de rueda principal	21 psi

neumático de rueda de nariz	5.00 x 5, clasificación de 4 capas
Presión de neumático de rueda de nariz	30 psi
Presión del punto de engranaje de nariz (puntal extendido)	20 psi
Alineación de las ruedas	Curvatura 3° a 5°
	Punta de pie en 00" a +.16"
Dimensiones principales	
Envergadura	32' 8-1/2"
Longitud	23ft 9"
Altura de la aleta	8' 00"
Ancho de vía	6' 6 - 1/2"
Tramo de cola	10' 0"
Ubicación de la batería	Corta fuego

Tabla 6. Especificaciones de aeronave Cessna R182.

Descripción	Especificación
Peso bruto	1406 kg
Tripulación	3
Altura	2,8 m
Superficie alar	16,2 m <sup>2</sup>
Velocidad máxima al nivel del mar	167 mph
Capacidad de combustible	
Ala estándar (total)	61 gal
Ala de largo alcance (total)	80 gal
Capacidad de aceite	
Sin filtro externo	12qts
Con filtro externo	13qts
Modelo de motor	Continental O-470
Hélice	82" McCAULEY
Neumático de rueda principal	6.00 x 6, clasificación de 6 capas
Presión de neumático de rueda principal	42 psi
neumático de rueda de nariz	5.00 x 5, clasificación de 6 capas
Presión de neumático de rueda de nariz	49 psi
Presión del punto de engranaje de nariz (puntal extendido)	55 psi to 60 psi
Alineación de las ruedas	Camber 5° a 7°
	Punta de pie 0" a ,06"
Dimensiones principales	

Envergadura	432,00''
Longitud	337,47''
Altura de la aleta	109,68''
Ancho de vía	109,25''
Tramo de cola	140,00''
Ubicación de la batería	A popa del compartimento de equipaje

Una vez descrito las características de cada una de las aeronaves objetos de estudio, se representó a continuación de manera sencilla, por medio de diagramas a los aviones, evidenciándose las zonas o estaciones que estas abarcan. En primera instancia en la Figura 6 del Cessna 150, se puede apreciar el área del fuselaje delimitado según estaciones, que facilitan la ubicación y demarcación de alguna falla, reporte de reparación o daño estructural, de esta manera, saber dónde realizar un mantenimiento en la zona afectada.

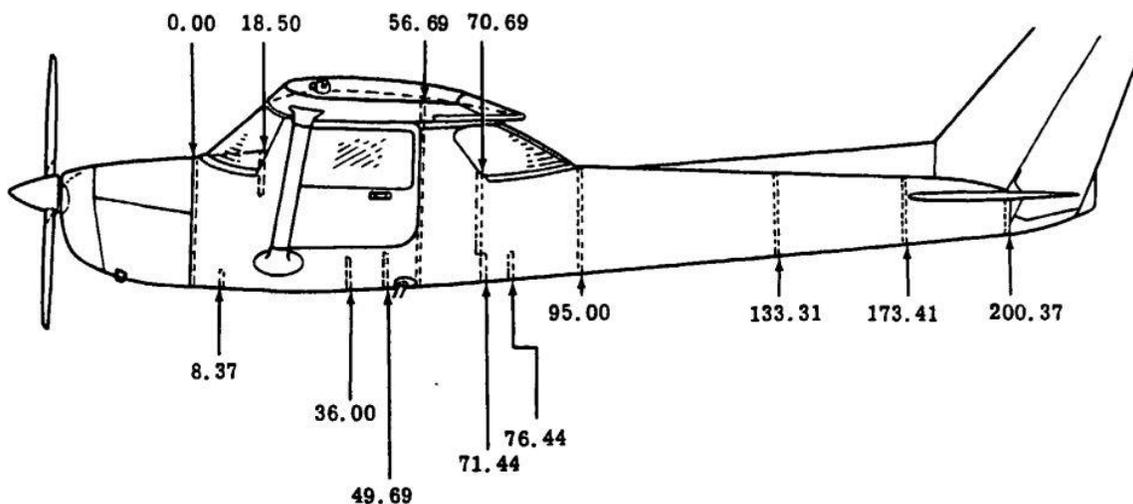


Figura 6. Estaciones de fuselaje Cessna 150D.

En adición, en la Figura 7, se muestra las dimensiones frontales del Cessna 150D, con la intención de tener una noción de la envergadura de esta aeronave.

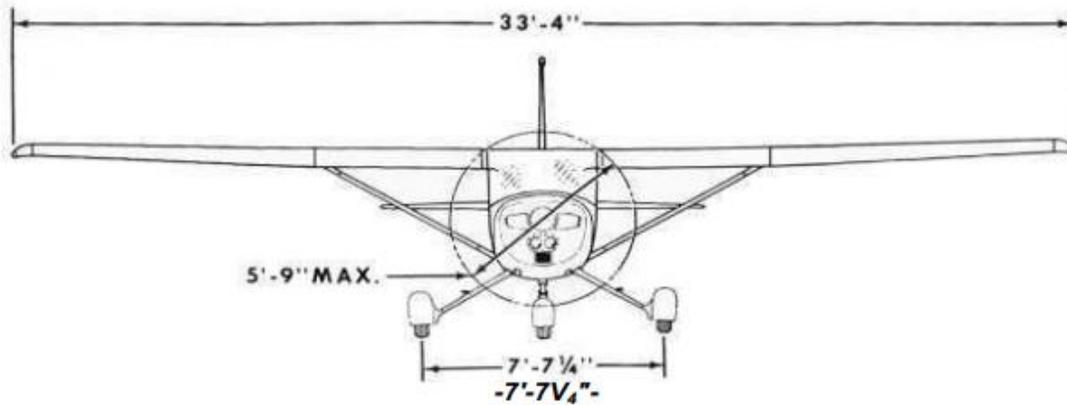


Figura 7. Dimensión Frontal del Cessna 150D.

Siguiendo el mismo orden de ideas, en la Figura 8, se representan las principales dimensiones de la aeronave 150D, con la intención de apreciar la magnitud del equipo, en adición, se tiene que la longitud de la base de la rueda es de 58", además, la distancia al suelo de la hélice es de 12", el área del ala es de 160 pies cuadrados.

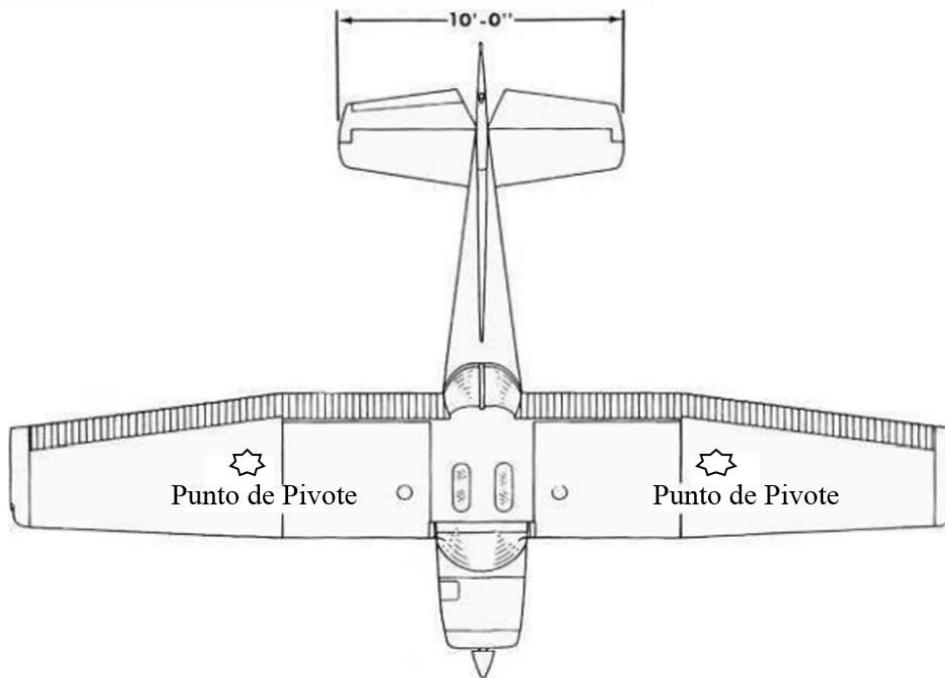


Figura 8. Dimensiones principales Cessna 150D.

Por otro lado, la aeronave Cessna R182 se muestra a continuación en la Figura 9, referenciando el área del fuselaje delimitado según estaciones, que facilitan la ubicación y demarcación de alguna falla, reporte de reparación o daño estructural, para saber dónde realizar un mantenimiento.

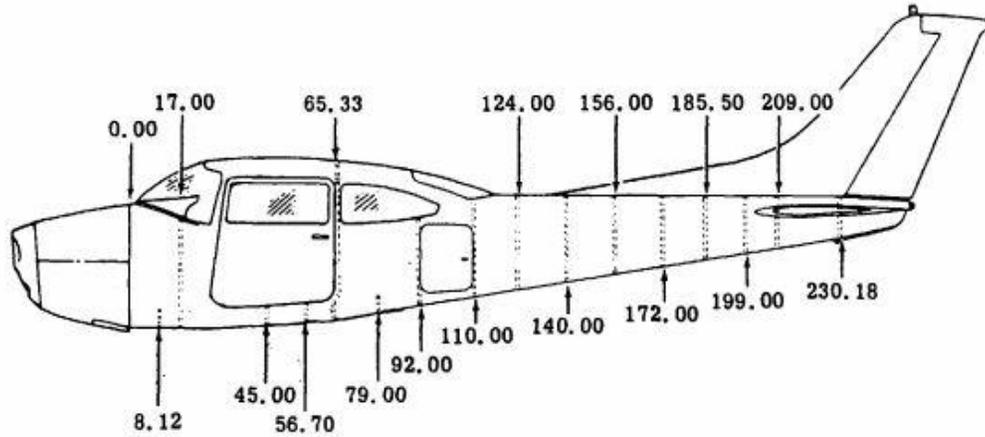


Figura 9. Estaciones de fuselaje Cessna R182.

A su vez, en la Figura 10 y 11, se muestran las dimensiones principales y frontales del Cessna R182, con la intención de tener una noción física del tamaño esta aeronave.

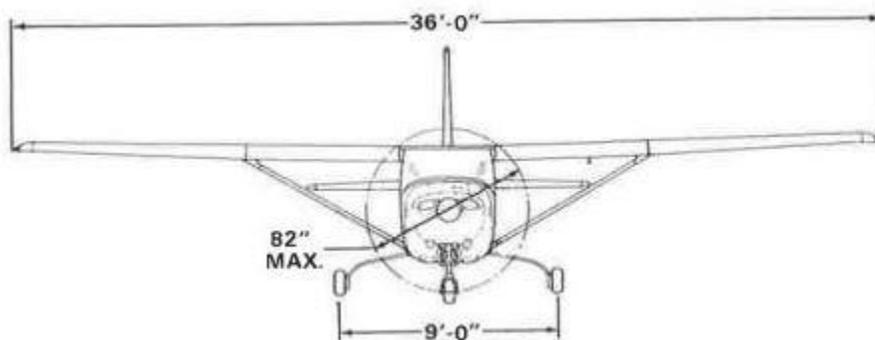


Figura 10. Dimensión Frontal Cessna R182.

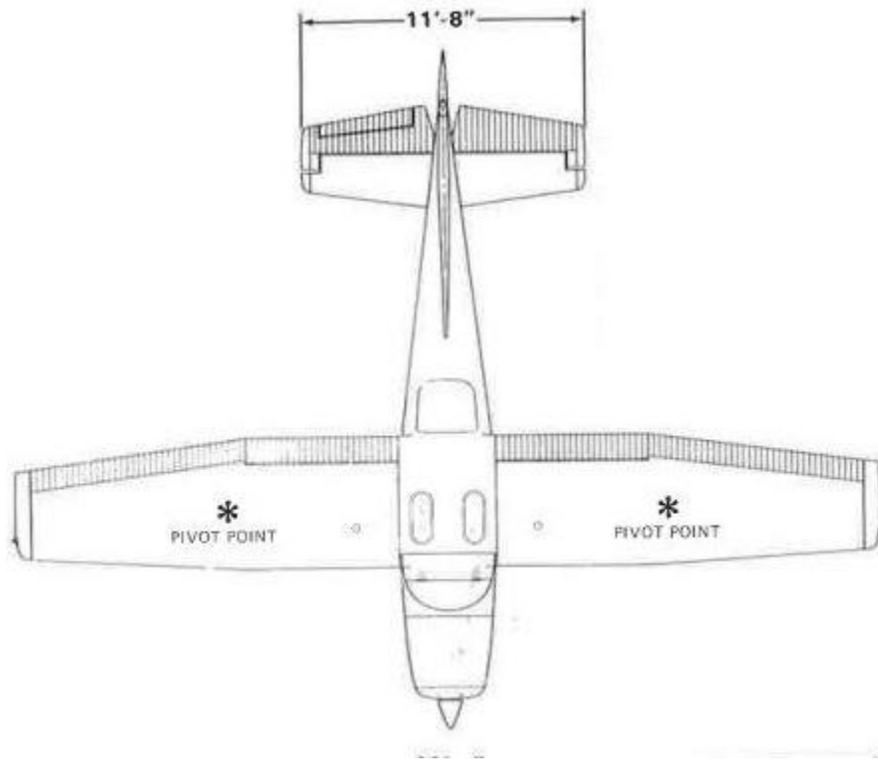


Figura 11. Dimensiones principales Cessna R182.

Luego de haber descrito a las aeronaves, se observaron las zonas críticas de las mismas, entre las cuales se destacaron para ambos aviones zonas en común, así como se presenta en el siguiente cuadro.

Tabla 7. Zonas críticas de las aeronaves 150D y R182.

<b>ZONAS DE LA AERONAVE 150D</b>
Tren de aterrizaje
Fuselaje
Motor
Combustible
Frenos

**Fase II.** Considerar los requisitos legales para la aplicación de las pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182.

Una vez realizada la descripción de las aeronaves en la fase anterior, se procedió a tomar en cuenta requisitos legales pertinentes para esta investigación.

Entre los requisitos legales, se tiene la Ley de Aeronáutica Civil (Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39140, del 17 de marzo de 2009), la cual tiene por objeto regular todas las actividades relacionadas con el transporte aéreo, la navegación aérea y otras vinculadas con el empleo de aeronaves civiles donde ejerza su jurisdicción la República Bolivariana de Venezuela.

En el Título III, capítulo I, de la actividad aeronáutica, del Artículo 16 señala que la aeronave es toda máquina que pueda sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire, que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra y que sea apta para transportar personas o cosas. Por su parte el Artículo 37, indica que se debe contar con un certificado de aeronavegabilidad el cual certifica a la aeronave a operar de manera segura, debido que se encuentra en condiciones técnicas aceptables conforme a las especificaciones establecidas por la Autoridad Aeronáutica.

Por otro lado, en el Capítulo II, del personal, del mismo Título, Artículo 39, señala que el personal aeronáutico está integrado por todas las personas que en vuelo o tierra, desarrollan actividades que están directamente vinculadas al vuelo y mantenimiento de las aeronaves. A su vez, en el Artículo 40, indica que dicho personal aeronáutico debe contar con certificaciones y licencias, expedidas por la Autoridad Aeronáutica de acuerdo con las funciones que quiera ejercer y requisitos establecidos por la normativa técnica aeronáutica respectiva.

Finalmente, el Capítulo VII, de la plataforma tecnológica, del mismo Título, Artículo 84, indica que la Autoridad Aeronáutica es la que regulará el uso de nuevas tecnologías que

favorezcan a la aeronáutica venezolana y estén relacionadas con el surgimiento de las tendencias mundiales y de esta manera optimizar el desarrollo seguro, ordenado y eficiente de la aviación venezolana.

En adición, se tiene la Regulación Aeronáutica Venezolana (RAV), que es el conjunto normativo conformado por reglas, preceptos, requisitos, métodos y procedimientos de ámbito técnico operacional, emitido por la Autoridad Aeronáutica Nacional a través de una Providencia Administrativa, las cuales son de cumplimiento obligatorio para la comunidad en general.

Inicialmente, se tomó en cuenta la Regulación Aeronáutica Venezolana 91 (RAV 91), Reglas de vuelo y operación general (Gaceta oficial 6.279, del 23 de Diciembre de 2016), considerando el capítulo A, Generalidades. En el cual, se establecen las reglas que rigen la operación de las aeronaves dentro del territorio venezolano, cabe destacar, que esta regulación aplica para toda persona que este a bordo de una aeronave que siendo operada bajo estas regulaciones. En la sección 91.4. Aeronavegabilidad de aeronaves civiles, señala que para poder operar una aeronave civil, la aeronave debe estar en condiciones de aeronavegabilidad.

Finalmente, en el capítulo E, Mantenimiento, Mantenimiento preventivo y Alteraciones. En la sección 91.78, se establece que el propietario u operador de una aeronave es el responsable primario de mantener esa aeronave en condición de aeronavegabilidad, y debe asegurarse de cumplir con todas las exigencias emitidas previstas en esta sección. Por lo tanto, la realización de una inspección antes de lo estipulado por el manual del fabricante, puede hacerse si la aeronave lo amerita y debe notificarse a la autoridad correspondiente para realizar la inspección.

Siguiendo el mismo orden de ideas, se tiene la Regulación Aeronáutica Venezolana 43 (RAV 43). Mantenimiento (Gaceta Oficial 5896 Extraordinario, del 06 de Octubre de 2008). Considerando estipulaciones referente a las actividades de mantenimiento de los

equipos aeronáuticos, en la sección 43.8. Personas y organizaciones autorizadas a realizar inspecciones, resalta el hecho de que solo personas y organizaciones certificadas como las organizaciones de mantenimiento aeronáutico (OMA), titulares de licencias de técnicos de mantenimiento aeronáutico (TMA) y organizaciones de mantenimientos titulares de certificado de explotador de transporte aéreo (CETA), pueden realizar inspecciones a un producto aeronáutico.

Además, la Regulación Aeronáutica Venezolana 60 (RAV 60). Licencias del personal (Gaceta Oficial 6279, Extraordinario, del 23 de Diciembre de 2016). La cual tiene por objeto establecer las disposiciones que rigen esta regulación al otorgamiento de licencias, habilitaciones y otros documentos que sean requeridos para poder cumplir con las funciones aeronáuticas, en el cual, también se establecen las atribuciones y requisitos para su obtención. Considerando el Capítulo D. Atribuciones y restricciones de las licencias. En la sección 60.49, que tiene que ver con las atribuciones para el personal aeronáutico que no pertenezca a la tripulación de vuelo, se destacan los técnicos de mantenimiento de aeronaves con habilitación nivel 1, el cual puede realizar mantenimientos, mantenimientos preventivos de estructuras, realizar cambios en componentes y estructuras, llevar registros de mantenimientos.

Por otro lado, se tiene al técnico de mantenimiento de aeronaves con habilitaciones nivel 2. Los cuales pueden realizar y supervisar mantenimientos, mantenimientos preventivos de estructura, certificar la aeronavegabilidad, certificar los registros de mantenimiento de los ítems de inspección, firmar una conformidad (visto bueno) de un mantenimiento, certificar la condición para el vuelo de una aeronave, entre otras. Es decir, los técnicos de mantenimiento de aeronaves avalados por la máxima autoridad descrita en las RAV, son los encargados de poder manipular, mantener, inspeccionar, reparar y reacondicionar una aeronave, de tal manera, que la inspección a través de pruebas no destructivas deben ser llevado a cabo por personas con licencias de TMA.

En conclusión, las leyes nacionales y Reglamentos De Aeronáutica Venezolana (RAV), no establecen en ciencia cierta la ejecución de las pruebas no destructivas, sin embargo, la aplicación de tales pruebas no se dejan de lado, ya que estos requisitos legales, exigen cumplir con todas las directrices previstas en el manual del fabricante, en el cual, se indica el uso obligatorio de las pruebas no destructivas para mantener la aeronave en condiciones de aeronavegabilidad, promocionando la calidad y seguridad.

**Fase III.** Desarrollar las estrategias para la aplicación de las pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182.

Una vez considerado los requisitos técnicos y legales en la fase anterior, se procedió a desarrollar las estrategias pertinentes para esta investigación.

Ahora bien, con el propósito de representar un enfoque central en las aeronaves Cessna 150D y R182, se construyó un diagrama de Causa-Efecto generado a través de una tormenta de ideas, en el cual, se discutieron todos los aspectos referentes a las aeronaves y se consideraron todos aquellos elementos que de alguna forma podían influir en que el equipo fallara. Para ello, se identificaron los factores o grupos de causas en que éstas pueden clasificarse siguiendo el método de las 5M (mano de obra, medio ambiente, métodos, medición y máquina). De esta manera, el diagrama de causa-efecto tiene como problema raíz la falla de las aeronaves Cessna 150D y R182, donde se identificaron cada una de las fallas descritas a continuación.

Cada uno de los factores, fueron jerarquizados según el grado de importancia y la influencia en las aeronaves Cessna 150D y R182, considerando en primera instancia la medición, en el cual se pudo identificar que existe una falta de inspecciones, como también equipos de inspección y personal calificado para realizar dichas inspecciones. En segundo lugar, el método donde se evidenció la escasa documentación de registros históricos referente a las fallas de las aeronaves, además de no contar con un diagrama de procesos que permita detallar las actividades referente a las aeronaves, así como también falta de cursos para

capacitar a su personal para las determinadas actividades de mantenimiento y calidad de los equipos. En el tercer lugar, la mano de obra, que tiene una gran importancia, pues la falta de compromiso del personal con la organización generado por una falta de motivación, de esta manera, produciendo falta de personal capacitado para el mantenimiento de los equipos.

En el mismo orden de ideas, en cuarto lugar, se consideró la maquinaria, donde las herramientas se encuentran en malas condiciones por falta de mantenimiento, además de falta de equipos para las inspecciones necesarias de las aeronaves, generando adversidades que influyen directamente en las fallas de los equipos. Por último, se describe el medio ambiente, aspecto que genera un gran impacto eventual en las fallas de las aeronaves, cuando ocurre un impacto con ave en pleno vuelo, provocando fallas importantes en el equipo.

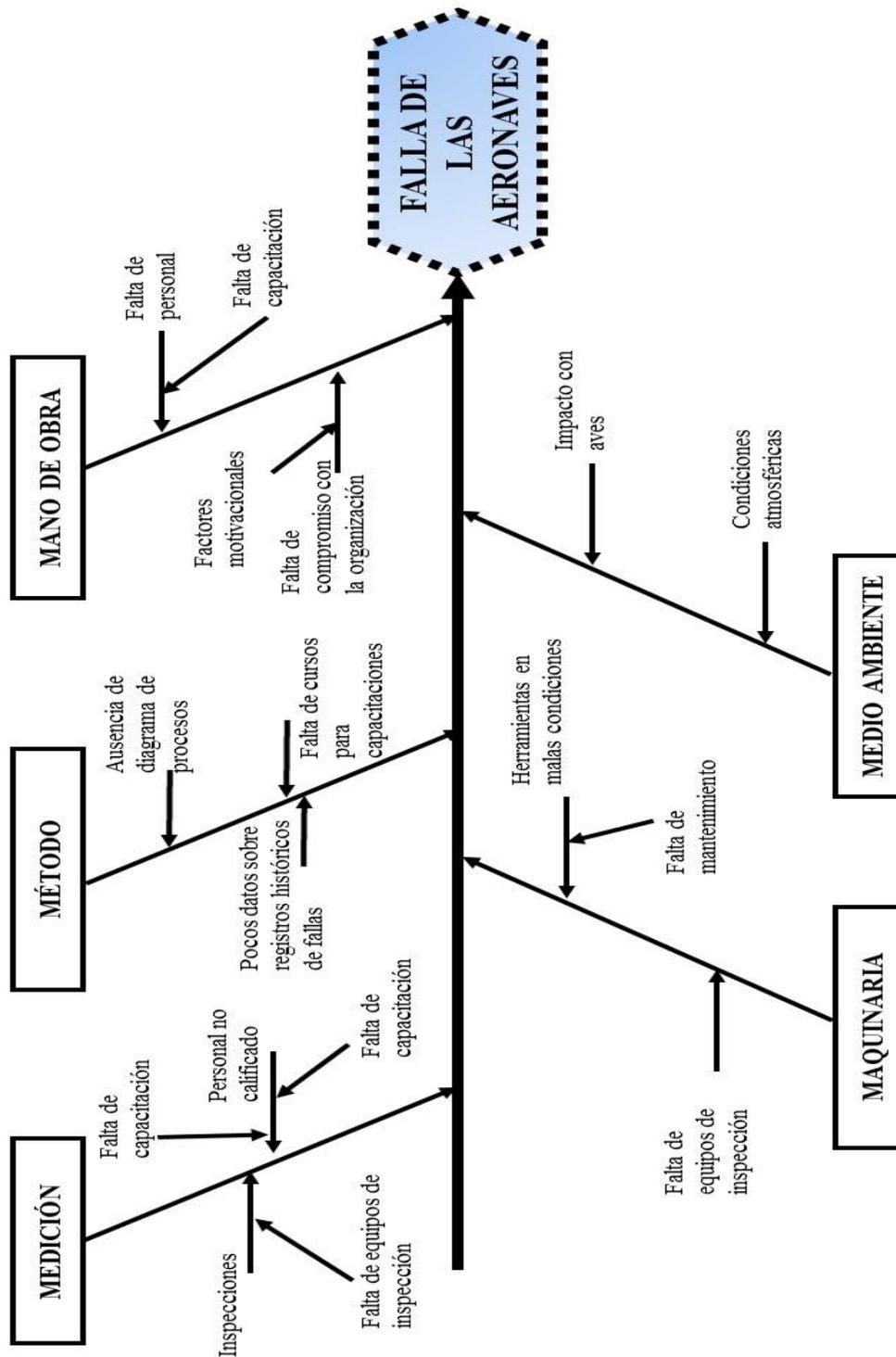


Figura 12. Diagrama Causa-Efecto de las fallas de las aeronaves Cessna 150D y R182, en el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (av.) Miguel Rodríguez”.

Una vez identificadas las causas relacionadas a las posibles fallas de las aeronaves Cessna 150D y R182, considerando todos aquellos elementos influyentes; se procedió a realizar diagramas de Pareto para el análisis de los reportes de falla con la finalidad de ordenarlas y priorizarlas.

De esta manera, en la Figura 13, se puede observar que en estos resultados, la mayor Zona de fallas de la aeronave Cessna 150D, está determinada por el tren de aterrizaje, mostrando un total de 42 fallas en dicha zona. Además, el 66,3% de todas las zonas de fallas, proviene de las dos primeras categorías, tren de aterrizaje y fuselaje. Por otro lado, más del 90% de todas las zonas de fallas provienen de las 4 primeras categorías.

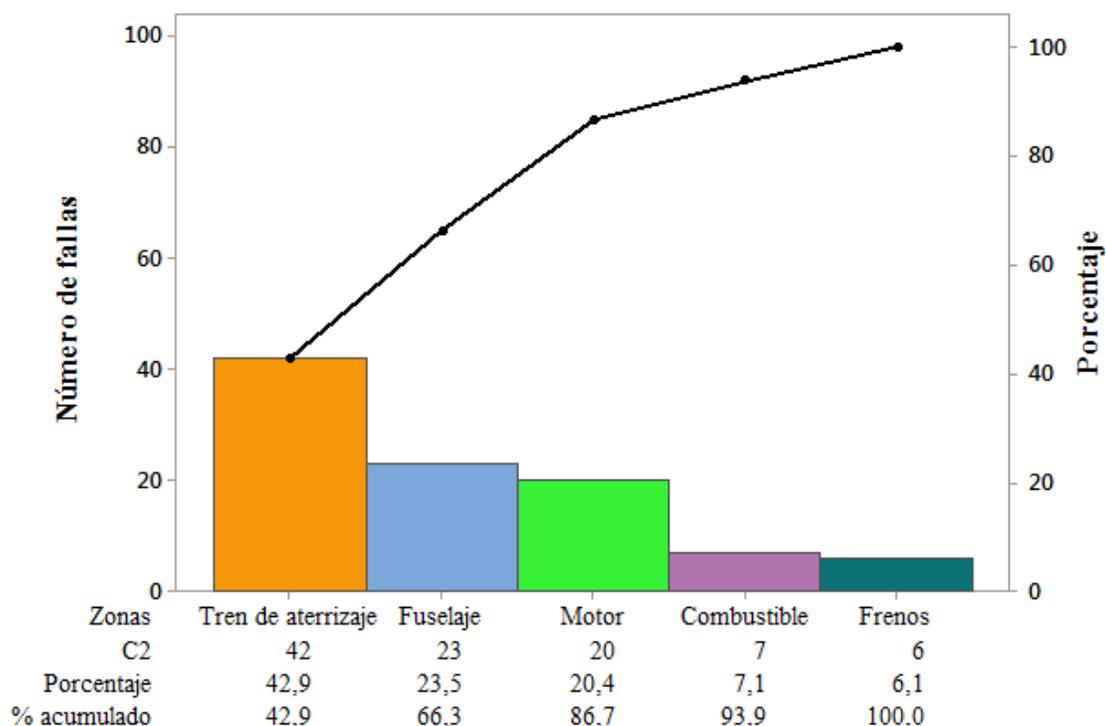


Figura 13. Diagrama de Pareto por zona general de la aeronave Cessna 150D.

Una vez analizado la Figura 13, se tomaron en cuenta las zonas de fallas más relevantes y se priorizaron las fallas existentes en dichas zonas, en la cual se empezó con la más influyente, que se muestra en la Figura 14, en este sentido, se detalla en los resultados,

que la mayor falla de la aeronave Cessna 150D en la zona de tren de aterrizaje, está determinada por la categoría A, mostrando un total de 15 eventos. Además, el 78,6% de todas las fallas, proviene de las cuatro primeras categorías, A, F, D y E. Por otro lado, más del 85% de todas fallas provienen de las 5 primeras categorías.

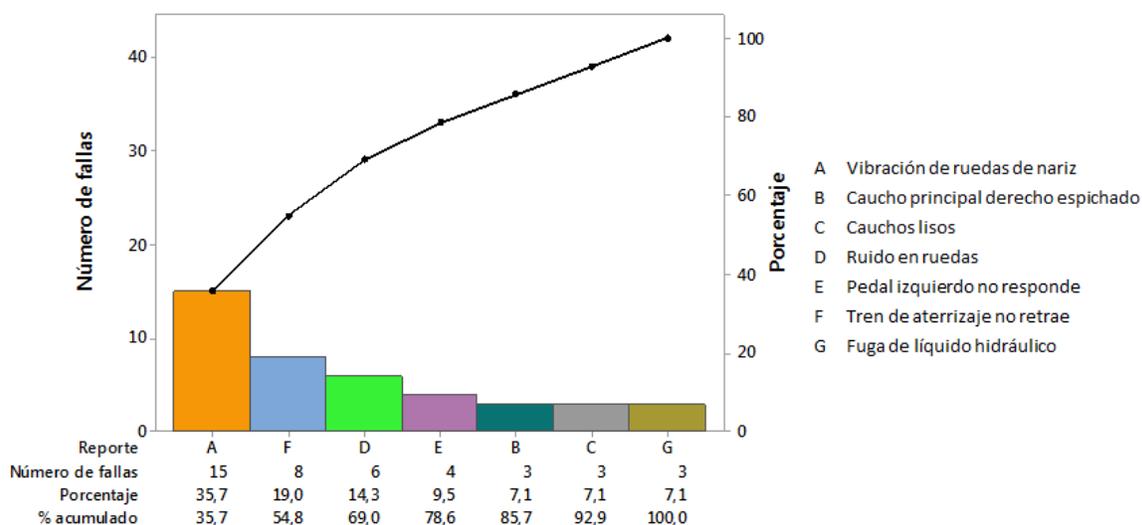


Figura 14. Diagrama de Pareto por reporte de fallas en tren de aterrizaje en la aeronave Cessna 150D.

Ahora bien en la Figura 15, se puede apreciar en los resultados, que la mayor falla de la aeronave Cessna 150D en la zona de tren de fuselaje, está explícita por la categoría I, mostrando un total de 8 eventos. Además, el 71,4% de todas las fallas, proviene de las dos primeras categorías, I y H. Por otro lado, más del 90% de todas las fallas provienen de las 3 primeras categorías.

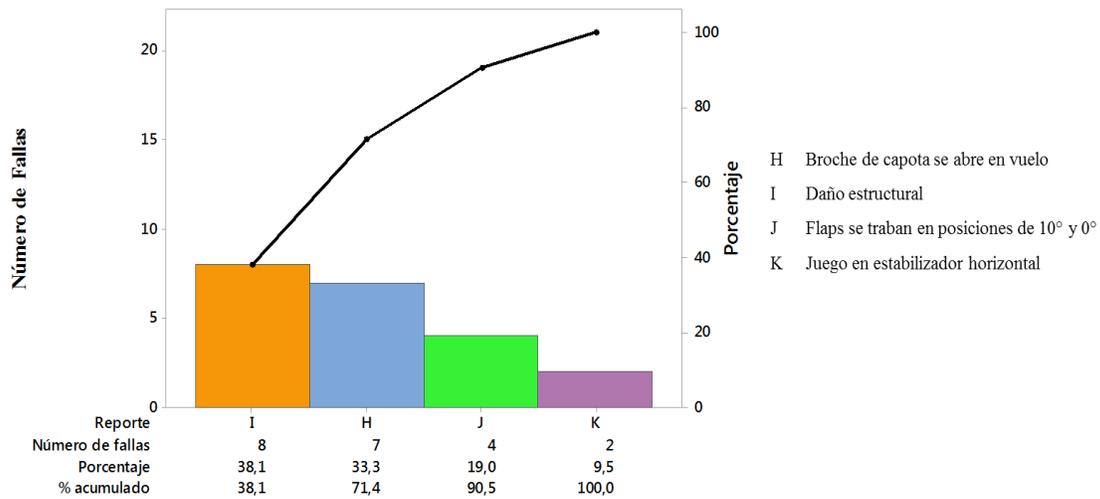


Figura 15. Diagrama de Pareto por reporte de fallas en fuselaje en la aeronave Cessna 150D.

A su vez, en la Figura 16, se nota en los resultados, que la mayor falla de la aeronave Cessna 150D en la zona de motor, está dada por la categoría L, mostrando un total de 6 eventos. Además, el 80% de todas las fallas, proviene de las cuatro primeras categorías, L, N, Q y P. Por otro lado, más del 90% de todas las fallas provienen de las 5 primeras categorías.

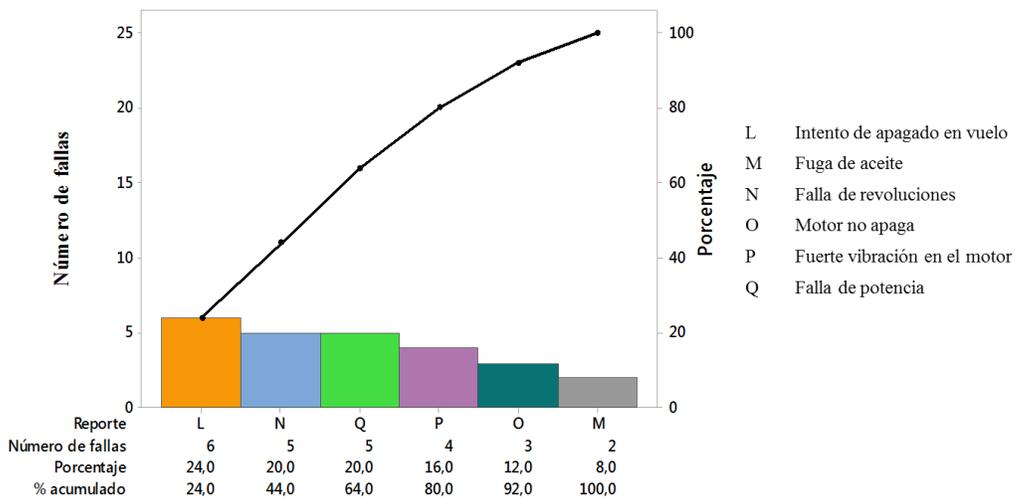


Figura 16. Diagrama de Pareto por reporte de fallas en motor de la aeronave Cessna 150D.

Por otro lado, para la aeronave Cessna R182 que se aprecia en la Figura 17, se evidencia en los resultados, que la mayor zona de fallas está expresada por el combustible, mostrando un total de 26 fallas en dicha zona. Además, el 64,4% de todas las zonas de fallas, proviene de las tres primeras categorías, combustible, motor y fuselaje. Por otro lado, más del 80% de todas las fallas provienen de las 4 primeras categorías.

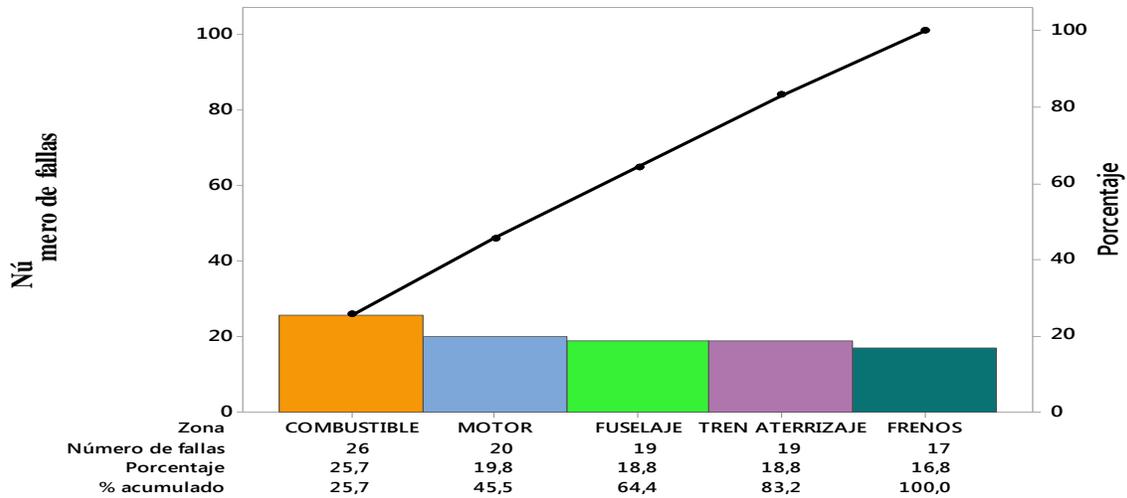


Figura 17. Diagrama de Pareto por zona general de la aeronave Cessna R182.

Una vez analizado la Figura 17, se tomaron en cuenta las zonas de fallas más relevantes y se priorizaron las fallas existentes en dichas zonas, en la cual se empezó con la más influyente, que en este caso, viene siendo la zona del combustible, sin embargo, por la cantidad de elementos que contiene no se realizará el Pareto correspondiente, esto debido a que ambos son significativos para su análisis.

Aunado a lo anterior, en la Figura 18, se puede apreciar en los resultados, que la mayor falla de la aeronave Cessna R182 en la zona de motor, está explicada por la categoría C, mostrando un total de 5 eventos. Además, el 80% de todas las fallas, proviene de las cuatro primeras categorías, E, C, H y G. Por otro lado, más del 90% de todas las fallas provienen de las 5 primeras categorías.

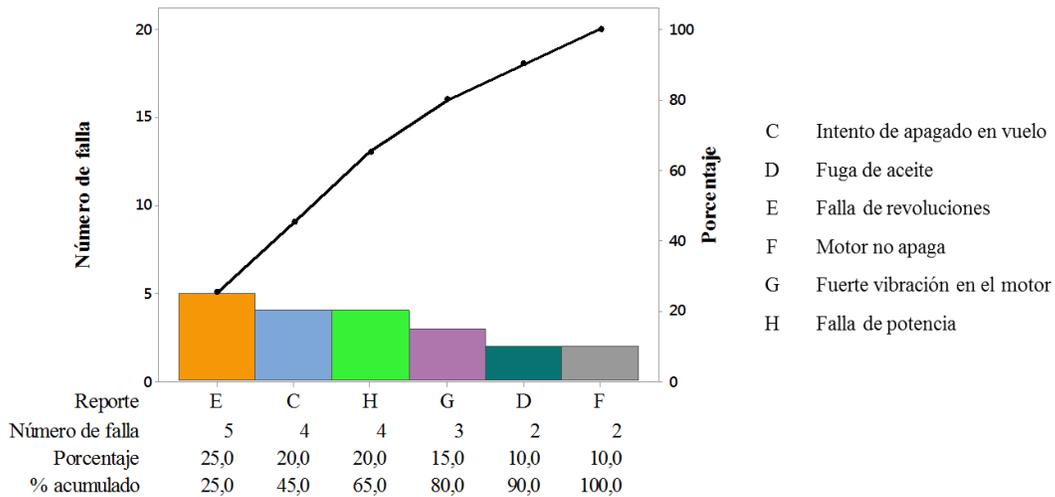


Figura 18. Diagrama de Pareto por reporte de fallas en motor de la aeronave Cessna R182.

Siguiendo con el mismo orden de ideas, en la Figura 19, se puede observar en los resultados, que la mayor falla de la aeronave Cessna R182 en la zona de fuselaje, está representada por la categoría J, mostrando un total de 7 eventos. Además, el 63,2% de todas las fallas, proviene de las dos primeras categorías, J e I. Por otro lado, más del 80% de todas las fallas provienen de las 3 primeras categorías.

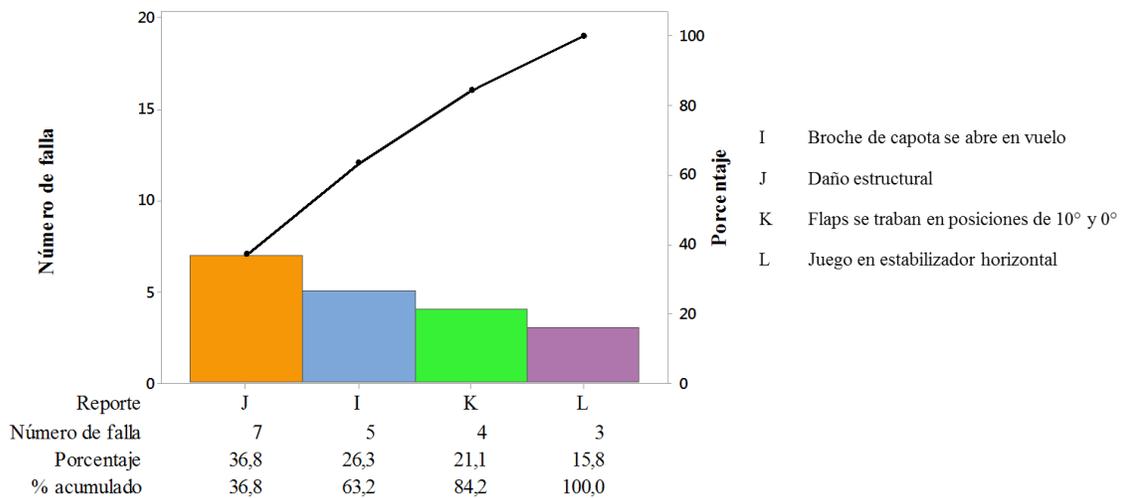


Figura 19. Diagrama de Pareto por reporte de fallas en fuselaje de aeronave Cessna R182.

Finalmente en la Figura 20, se observa en los resultados, que la mayor falla de la aeronave Cessna R182 en la zona de tren de aterrizaje, está representada por las categorías M y R, mostrando un total de 6 eventos cada uno. Además, el 63,2% de todas las fallas, proviene de las dos primeras categorías, M y R. Por otro lado, más del 90% de todas las fallas provienen de las 6 primeras categorías.

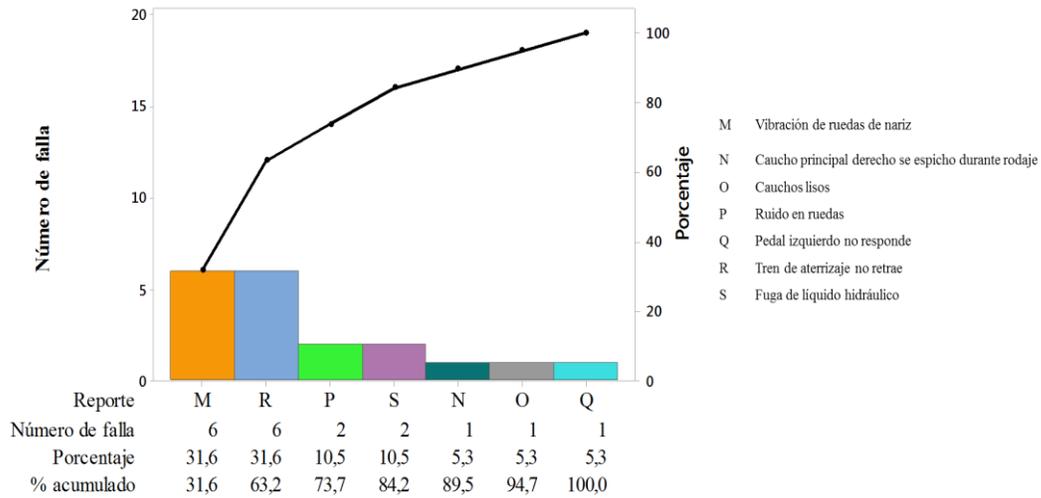


Figura 20. Diagrama de Pareto por reporte de fallas en tren de aterrizaje.

**Fase IV.** Diseñar la propuesta para la aplicación de las pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182.

Una vez desarrolladas las estrategias utilizadas para el análisis de los reportes de fallas, en el cual, se ordenó y priorizó cada una de ellas, considerando las más significativas para la realización del Análisis de Modo y Efectos de Fallas (AMEF), así como se muestra en la Tabla 8. Por medio del cual, se evidenciaron las posibles recomendaciones sobre la aplicación de pruebas no destructivas pertinentes para la zona y falla indicada, que permitieron diseñar la propuesta de aplicación de dichas pruebas.

Tabla 8. Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) de las aeronaves Cessna 150D y R182.

Ítem: CESSNA 150D y R182		Número de AMEF: 1								
Preparado por: JEISON MARTÍNEZ		Fecha de AMEF: 01/09/2019								
		Página: 1/1								
Zonas	Modo de Falla Potencial	Efectos Potenciales	S	Causas Potenciales de la Falla	Controles de Prevención	O	Controles de Detección Existentes	D	NPR	Recomendaciones
Combustible	Combustible contaminado	No enciende motor / Daño de motor y posible siniestro de la aeronave	10	Abastecer la aeronave bajo un clima lluvioso / Condensación del tanque de combustible por no estar completamente lleno	Abastecer combustible con clima adecuado/Al inicio de las operaciones chequear el combustible en cada punto de drenaje para detectar presencia de agua / Después de las operaciones dejar los tanques completamente llenos.	8	No posee	10	800	Inspección Visual, a partir de drenadores.
	Consumo asimétrico de combustible	No hay estabilidad y puede perder sustentación.	7	Obstrucción de la ventilación. / Obstrucción de la línea de combustible. / Defectos de las selectoras de tanque de combustible	Efectuar reglaje a la línea de ventilación según Manual de servicio.	6	No posee	10	420	Inspección Visual y operacional.
Motor	Falla de las revoluciones	Puede provocar que la aeronave entre en barrena / siniestro	10	Mal funcionamiento de las bujías / exceso de mezcla rica	Piloto hace uso de manual de vuelo según lo indicado por el fabricante.	5	Visual / percepción del piloto	6	300	Inspección visual con boroscopio y líquidos penetrantes.
	Intento de apagado en vuelo	Barrena / siniestro	10	Pérdida de potencia	Mantenimiento preventivo durante cada inspección.	3	Visual según la percepción del piloto, mediante los indicadores de parámetros de los instrumentos del motor.	6	180	Inspección visual con boroscopio.
	Falla de potencia	Puede provocar que la aeronave entre en barrena	10	Mal funcionamiento de las bujías / exceso de mezcla rica	Piloto hace uso de manual de vuelo según lo indicado por el fabricante.	5	Visual / percepción del piloto / star warning (pito de pérdida)	6	300	Inspección visual con boroscopio y líquidos penetrantes.
	Fuerte vibración en motor	Falla de bujía / Contaminación de combustible	10	Mala operatividad de los controles del motor.	Mantenimiento preventivo en función del manual del fabricante.	10	Percepción del piloto	10	1000	Inspección visual mediante el chequeo de ignición y sistemas de combustible.
Fuselaje	Daño estructural	Turbulencias / desplome de la aeronave	10	Fricción por el viento relativo / impactos con ave / mal aterrizaje	Análisis del área donde sufrió el impacto.	9	No posee	10	900	Inspección visual con boroscopio y corrientes de Eddy.
	Broche de capota se abre en vuelo	Turbulencias dentro del motor	10	Ausencia del precinto de seguridad del broche	Chequeo de broche de capota al realizar la inspección a la aeronave.	2	No posee	10	200	Inspección visual con boroscopio y corrientes de Eddy.
Tren de aterrizaje	Vibración de rueda de nariz	Daño de Struck (amortiguador)	10	Deficiencia de operatividad del Shimmy damper	Chequeo minucioso durante inspección de la aeronave	9	Percepción del piloto	8	720	Mantenimiento al Shimmy damper e inspección visual.
	Tren de aterrizaje no retrae / extienden	Imposibilita el aterrizaje de la aeronave si están retraídos / Genera resistencia al avance durante el vuelo si quedan extendidas.	10	Pérdida de presión hidráulica / deficiencia del power pack / deficiencia eléctrica	Sistema de emergencia para extensión del tren de aterrizaje / mantenimiento preventivo	10	Visual a través de luces indicadoras de color verde y ámbar.	2	200	Inspección visual y prueba de fuga.
	Ruido en ruedas	Desprendimiento de las ruedas en aterrizaje y carrera de ascenso	10	Desgaste de las rolineras.	Chequeo / inspecciones / mantenimiento recomendadas por el fabricante	4	Percepción del piloto	8	320	Inspección visual.

Nota: La falla en el tren de aterrizaje que tiene que ver con la retracción y extensión del mismo, solo es referente a la aeronave Cessna R182, esto debido a que el tren de aterrizaje del 150D es fijo.

## **LA PROPUESTA**

En esta sección, se diseñó las estrategias pertinentes para la aplicación de las pruebas no destructivas, con el propósito de mostrar las actividades a realizar para enfrentar cada contingencia presentada en alguna zona crítica de las aeronaves, de esta manera contar con un plan de mantenimiento y seguimiento de las actividades.

Ahora bien, las actividades señaladas en dicha propuesta, servirán como complemento a lo especificado por el manual del fabricante de cada uno de las aeronaves, pues, siendo un factor importante el alto tiempo de uso que han estado sometidas estas aeronaves, que la fatiga de sus componentes y equipos pueden tender a fracturarse o dañarse más rápidamente, de tal manera, que la calidad y seguridad de estas aeronaves deben priorizarse, con la intención de que una simple falla no se convierta en una consecuencia de gran impacto, que pueda generar altos costos de mantenimientos correctivos, como también grandes consecuencias para la vida humana como para el equipo mismo.

## **FUNDAMENTACION DE LA PROPUESTA**

La presente propuesta está basada en lo desarrollado en las fases metodológicas y los resultados de ello, que permitieron los análisis correspondientes y necesarios para formular dicha propuesta, con la cual, se pretende detectar fallas a tiempo en los componentes y piezas más relevantes de las aeronaves, basados en los reportes de fallas que fueron analizados, categorizado y priorizados, de tal manera, que permita mejorar la mantenibilidad y fiabilidad de las aeronaves Cessna 150D y R182. Esto debido a que estas aeronaves han superado por mucho tiempo su vida útil para lo que fueron diseñados, lo que ha producido más gastos en mantenimiento y largas paradas.

Por lo tanto, en función de la aplicación de las pruebas no destructivas, se quiere dar solución a dicha problemática, lo cual tiene que ver con utilizar métodos de inspección no agresivos para cada componente o equipo que lo amerita, dependiendo de lo reflejado en el párrafo anterior. Entre las cuales se pueden destacar: las pruebas de inspección visual,

corrientes de Eddy, radiografía, ultrasonido, partículas magnéticas, líquidos penetrantes, termografía, prueba de fuga e hidrostática, que servirán para detectar fisuras o grietas en el interior de las piezas, como también la detección de fugas que produzcan la disminución de la presión hidráulica o neumática en algún equipo.

## **OBJETIVOS DE LA PROPUESTA**

### **Objetivo General**

Aplicar las pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182 en el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (AV) Miguel Rodríguez”.

### **Objetivos específicos**

1. Desarrollar las estrategias para la aplicación de las pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182.
2. Diseñar la propuesta para la aplicación de las pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182.

### **Viabilidad de la propuesta:**

- **Técnica:** Esta propuesta es viable técnicamente, puesto que el personal posee conocimientos teóricos/prácticos necesarios para la ejecución de los ensayos no destructivos dentro de la misma, además de contar con recursos bibliográficos y tecnológicos.
- **Legal:** la presente propuesta se fundamenta en las Regulaciones de aeronáutica venezolana (RAV), entre las cuales se pueden nombrar la RAV 91, RAV 43, RAV 39.

- **Ambiental:** la propuesta no generará algún impacto ambiental, sin embargo, ayudará a minimizar el impacto ambiental al mantener las aeronaves en buen estado.
- **Económica:** la aplicación de la propuesta requiere de una inversión de recursos económicos de gran impacto y serán costeados por la organización según corresponda a sus necesidades.

### **Administración de la propuesta**

En base a los resultados arrojados por la metodología aplicada en el presente trabajo de investigación, se pudo observar que para los modos de falla de las aeronaves, se tiene como recomendación y métodos de prevención a las pruebas no destructivas por ser las más frecuentes y fácil de aplicar, a aquellas basadas en la inspección visual.

Se propone darle un enfoque distinto en relación con la forma de ejecución de la prueba no destructiva, pues en un principio, la utilización de esta prueba solo abarca la inspección a través del sentido de la visión, sin embargo, la inspección visual es más compleja de lo que parece, ya que este tipo de pruebas no destructivas está relacionado a la percepción, que a su vez, involucra a cuatro sentidos del ser humano, entre los cuales se tiene: la visual que pudiese ser directa o indirecta, el auditivo, el olfativo y el tacto, que permitirán dar indicios a priori de lo que pudiera estar sucediendo, sirviendo como indicadores para la realización de inspecciones de más envergadura o mantenimiento, por lo tanto, su aplicación conllevará a un mejor análisis de lo que pudiera estar sucediendo en la aeronave, con el fin, de mitigar fallas potenciales.

De tal manera que, el buen desarrollo de la propuesta abarcará la aplicación y el control de la misma, además, irá de la mano a lo estipulado en el manual del fabricante de

cada aeronave, quedando bajo responsabilidad de la Organización de Mantenimiento Aeronáutico. A continuación, en la tabla 9, se desarrolla la propuesta.

Tabla 9. Plan de actividades de pruebas no destructivas para las aeronaves Cessna 150D y R182.

SISTEMA	FALLA	ENSAYO NO DESTRUCTIVO A APLICAR	DESCRIPCIÓN DE APLICACIÓN	CONDICIONES DE APLICACIÓN	RECURSO DE LA ACTIVIDAD			
					Mano de obra	Materiales	Equipos	Herramientas
Combustible	Combustible contaminado	Inspección visual y percepción olfativa del operador.	Verificación visual de drenaje en tanques de combustible / Apreciación de olor a combustible en la aeronave.	Cada vez que se carga el combustible en climas lluviosos / Excesivo olor de combustible	Mecánico / Técnico	N/A	Drenadores	Juego de llaves ¼” para abrir válvulas de drenajes
	Consumo asimétrico de combustible	Inspección visual y percepción táctil del operador.	Inspección visual de los tanques / Controlar instrumentos de combustibles	Desestabilización de la aeronave / Indicadores de tanques	Mecánico / Técnico / Operador	N/A	N/A	N/A
Motor	Falla de revoluciones / potencia	Inspección visual con boroscopio, percepción auditiva y líquidos penetrantes.	Verificación visual de los indicadores / percepción auditiva del piloto star warning (pito de pérdida) / aplicación de líquido penetrante para determinar roturas en cilindros de motor.	Desaceleración de la aeronave / Visualización de bujías y exceso de mezcla rica	Mecánico / Técnico / Operador	Pintura penetrante	Boroscopio / lámpara infrarroja	N/A
	Intento de apagado en vuelo	Inspección visual con boroscopio y percepción auditiva	Visualizar instrumentos de parámetros del motor / Escuchar si motor deja de funcionar.	Descenso de la aeronave / reducción de velocidad	Operador	N/A	Boroscopio	Herramientas manuales (Llave ajustable, alicate, destornilladores)
	Fuerte vibración en el motor	Inspección visual / percepción táctil	Visualizar bujías / observar combustible	Presencia de vibración al encendido de la aeronave.	Mecánico / Técnico / Operador	N/A	Drenadores	N/A
Fuselaje	Daño estructural	Inspección visual y uso de boroscopio / percepción auditiva / corrientes de Eddy	Visualizar fuselaje por impactos de objetos y golpes por aterrizaje / Estar atento a sonidos por impactos / corriente para detectar grietas.	Al impactar algún objeto	Mecánico / Técnico / Operador	N/A	Equipos generadores de corrientes inducidas.	Herramientas manuales (Llave ajustable, alicate, destornilladores)
	Broche de capota se abre en vuelo		Visualizar remaches de capota.	Apertura repentina de capota.	Mecánico / Operador	N/A		
Tren de aterrizaje	Vibración de rueda de nariz	Inspección visual / percepción táctil	Visualizar amortiguador de rueda / sentir vibraciones distintas en la aeronave.	Vibración en volante de la aeronave	Operador	N/A	N/A	Herramientas manuales (Llave ajustable, alicate, destornilladores)
	Tren de aterrizaje no retrae / extienden	Inspección visual / percepción táctil / prueba de fuga	Visualizar presión hidráulica / power pack	Resistencia en el avance durante vuelo	Mecánico / Técnico / Operador	N/A	N/A	N/A
	Ruido en ruedas	Inspección visual / percepción auditiva.	Visualización de las rolineras.	Ruido al desplazarse por tierra la aeronave	Mecánico / Técnico / Operador	N/A	N/A	N/A

## CONCLUSIONES

Los equipos reflejan la necesidad de la aplicación de pruebas no destructivas como mecanismo para la detección temprana de fallas, debido al largo tiempo de uso que le han dado, una vez finalizado su vida útil para lo cual fueron diseñados.

En la descripción de las aeronaves, se evidenciaron las características generales de cada uno de ellos, en las cuales se destacaron el peso bruto, capacidad de tripulación, altura, superficie alar, velocidad máxima al nivel del mar, capacidad de combustible, capacidad de aceite y sus dimensiones principales. Para un mejor detalle, se esquematizaron las aeronaves mostrando las dimensiones, evidenciándose las estaciones o zonas en lo que se pueden dividir las aeronaves, y se determinó las zonas más críticas de las mismas.

De acuerdo a los requisitos legales, que podrían tener relación a las pruebas no destructivas, se tomaron en cuenta a la ley de aeronáutica civil, las Regulaciones de Aeronáutica Civil (RAV), destacando a las RAV 91, RAV 61 y RAV 43, evidenciándose que no establecen en ciencia cierta la ejecución de las pruebas no destructivas, sin embargo, estos requisitos legales, exigen cumplir con todas las directrices previstas en el manual del fabricante, el cual indica el uso obligatorio de las pruebas no destructivas para mantener la aeronave en condiciones de aeronavegabilidad, promocionando la calidad y seguridad.

Con respecto a las estrategias desarrolladas para la aplicación de las pruebas no destructivas, con la aplicación de un diagrama de causa-efecto, se identificaron los factores influyentes en las fallas de las aeronaves, se logró definir que los métodos, mano de obra, medio ambiente, maquinaria y medición, que intervienen en que las aeronaves fallen, además se priorizaron las zonas de fallas más críticas tomando como mecanismo a los diagramas de Pareto, obteniendo como resultados a las zonas del tren de aterrizaje, motor, fuselaje y combustible.

Finalmente, las pruebas no destructivas que se deben aplicar para las fallas determinadas por el análisis de los reportes de fallas, son la inspección visual, que al determinar su gran aplicación, se propuso a la inspección visual como mecanismo para la detección de fallas a priori mediante los aspectos relacionado al uso de los sentidos, visual, auditivo, olfativo y táctil; además de los líquidos penetrantes y corrientes de Eddy Current.

## **RECOMENDACIONES**

Analizar los resultados obtenidos en la investigación, en lo que respecta a los reportes de fallas ocurridas en las aeronaves, para planificar las pruebas no destructivas que se aplicarán y relacionarlo a lo indicado por el fabricante, de tal manera, que se pueda tener una aeronave de calidad y segura, sin importa en gran medida la vida del equipo.

Adiestrar y capacitar al personal de la Organización de Mantenimiento Aeronáutico (OMA), para el cumplimiento de las pruebas no destructivas, especialmente la capacitación que permita sensibilizar los sentidos y lograr atender cualquier evento que pudiese ser una falla.

## REFERENCIAS CONSULTADAS

- Araujo, J.** (2017). Estudio de inversión para la competitividad: propuesta de innovación a un laboratorio de ensayos no destructivos. Tesis de postgrado no publicada, Centro de Investigación Tecnológica Avanzada Queretaro, México. 27-28 p.
- Barrera, J. y Camus, M.** (2017). Ensayo de presión hidrostático de recipientes sometidos a presión. Instituto de Salud Pública. Chile. 3 p.
- Bautista, R.** (2013). Propuesta de la automatización parcial del proceso de inspección de masas para uso aeronáutico por el método de líquidos penetrantes. Tesis de pregrado no publicada, Instituto Politécnico Nacional, México D.F. 9 p.
- Carrincazeaux, C y Frigant, V.** (2007). The internationalisation of the French aerospace industry: to what extent were the 1990s a break with the past? France, university of Montesquieu, review: Competition and change, Vol. 11, N° 3, pp. 261-285.
- Ceceña, G.** (2013). Ventajas competitivas de las empresas cárnicas en Sinaloa. Revista escuela de administración de negocios. Universidad EAN. Bogotá, Colombia. pp. 40-53.
- Chaves, J.** (2004). Desarrollo tecnológico en la primera revolución industrial. Norba: revista de historia. Vol. 17. Universidad de Extremadura. España. pp. 93-109.
- Corral, Y.** (2009). Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación para la recolección de datos. Revista Ciencias de la Educación. Valencia, Venezuela. pp. 228-247.
- Díaz, L., Torruco, U., Martínez, M., Varela, M.** (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. Departamento de Investigación en Educación Médica, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. pp. 162-167.
- Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela extraordinario N° 5.896 del 06 de octubre de 2008.** Providencia administrativa N° PRE-CJU-099-08. Regulación Aeronáutica Venezolana 43 (RAV 43). Mantenimiento. pp. 56-66.
- Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela extraordinario N° 6.279 del 23 de diciembre de 2016.** Providencia administrativa N° PRE-CJU-1649-16. Regulación Aeronáutica Venezolana 60 (RAV 60). Licencias al personal aeronáutico. pp. 73-86.
- Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela extraordinario N° 6.279 del 23 de diciembre de 2016.** Providencia administrativa N° PRE-CJU-1651-16. Regulación Aeronáutica Venezolana 91 (RAV 91). Reglas de vuelo y operación general. pp. 111-169.

- Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.140 del 17 de marzo de 2009.** Ley de Aeronáutica Civil.
- García, J. y Casanueva, C.** (2001). Prácticas de la Gestión empresarial. Madrid: Mc Graw Hill, pp. 3.
- Gonzales, G.** (2014). Herramientas de calidad y el trabajo en equipo para disminuir la reprobación escolar. Revista Conciencia tecnológica. Instituto Tecnológico de Aguascalientes Aguas calientes, México. pp 19.
- Gonzales, J.** (2011). Tipos y diseños de investigación en los trabajos de grado. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela. pp. 3.
- Hobsbawm, E.** (1968). Industria e Imperio: Una historia económica de Gran Bretaña desde 1750. Harmondsworth; London: Penguin Books; pp. 55-76.
- Hurtado, J.** (2000). Metodología de la investigación holística. Tercera Edición. Fundación Sypal: Caracas. pp. 149-346.
- Ibarra, C., Mohr, C., Maldague X. y Bendada, A.** (2006). Nondestructive assessment of aerospace components by means of pulsed thermography. Review: Computer Vision and Systems Laboratory. Laval University, Quebec City, Canada. pp. 2.
- Instituto uruguayo de Normas Técnicas.** (2009). Herramientas para la mejora de la calidad. Montevideo, Uruguay. pp. 28.
- Loriente, O.** (2011). Ensayos no destructivos. Editorial Educalia, S.L. España, pp. 8-9.
- Manual de referencia** (2008). Análisis de modos y efectos de fallas potenciales. Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation, 4ª edición. pp. 1-151.
- Martínez, C.** (2012). Estadística y muestreo. 13ª. ed. -- Bogotá: Ecoe Ediciones. pp. 663.
- Méndez, F., Velandia, A y Pérez, C.** (2007). Estudio de la implementación de un taller de pruebas no destructivas NDT para una empresa de reparación de hélices. Tesis de pregrado no publicada, Universidad de San Buenaventura, Bogotá. pp. 23.
- Porter, M.** (1990). “Ser competitivo”. Editorial Deusto, España. pp. 171.
- Puente, W.** (2000). Técnicas de investigación. Recuperado el 14 de mayo de 2019 de: <http://www.rppnet.com.ar/tecnicasdeinvestigacion.htm>.
- Ramírez, Y.** (2012). Análisis de Confiabilidad de la Flota de Aeronaves de la Escuela de Aviación del Pacífico. Tesis de pregrado no publicada, Universidad de San Buenaventura, Bogotá. pp. 26-39.
- Rojas, D.** (2016). Desarrollo y elaboración del manual de procedimientos de inspección para talleres aeronáuticos de reparación de ensayos no destructivos. Tesis de pregrado no publicada, Institución Universitaria Los Libertadores, Bogotá. pp. 30-39.

- Rojas, I.** (2011). Elementos para el diseño de técnicas de investigación: una propuesta de definiciones y procedimientos en la investigación científica. Revista tiempo de educar. México. pp. 280-281.
- Ruiz, A.** (2015). La observación. Recuperado el 14 de mayo de 2019 de: [http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/67610/1/LA\\_OBSERVACION\\_\\_Parte\\_II.pdf](http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/67610/1/LA_OBSERVACION__Parte_II.pdf).
- Ruiz, E.** (2014). Mejora del proceso productivo de una aeronave con Análisis de Criticidad según RPN y Análisis Causa Raíz. Tesis de pregrado no publicada, universidad de Sevilla. España. pp. 1-108.
- Wu, D., Salerno, A y Busse, G.** (2018). Lock-in Thermography for Nondestructive Evaluation of Aerospace Structures. Universität Stuttgart. Pfaffenwaldring, Germany; pp. 693-703.
- Yañez, M., Gómez, H., Valvueda, G.** (2004). Ingeniería de confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo. Reliability and Risk Management, S.A. Venezuela. pp. 182.

## ANEXOS

### **Anexo A.** Guión de entrevista semiestructura

#### **Dirigida a:**

Personal perteneciente a la Organización de Mantenimiento Aeronáutica.

1. ¿Cómo es el proceso de mantenimiento de las aeronaves Cessna 150D y R182?
2. ¿Cuáles son las fallas más comunes en las aeronaves Cessna 150D y R182?
3. ¿Podría usted explicar en qué consisten las pruebas no destructivas?
4. ¿Toman en cuenta las pruebas no destructivas dentro de estos programas?
5. ¿Cuáles tipos de pruebas no destructivas usted conoce?
6. ¿Por qué cree usted que sea necesario la aplicación de este tipo de pruebas en el CIAC?
7. ¿En qué condiciones se le debe realizar las pruebas no destructivas a una aeronave de este tipo?
8. ¿Cuáles pruebas no destructivas crees son necesarios realizar en los aviones Cessna 150D y R182?
9. ¿Considera usted que el CIAC cuenta con los espacios físicos, personal técnico calificado y herramientas necesarias para aplicar las pruebas no destructivas?

**Anexo B.** Documento usado para validar el instrumento de recolección de datos (entrevista).

### **Juicio de Expertos**

Respetado juez:

Usted ha sido seleccionado para evaluar el instrumento **Entrevista Semiestructurada** que hace parte de la investigación **Propuesta para la aplicación de pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182 en el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil**

**“Mayor (AV) Miguel Rodríguez”.** La evaluación de los instrumentos es de gran relevancia para lograr que los resultados obtenidos sean válidos y tengan veracidad, a partir de éstos sean utilizados eficientemente en los resultados de la investigación antes indicada.

Nombres y apellidos del juez: \_\_\_\_\_

Formación Académica: \_\_\_\_\_

Áreas de experiencia profesional: \_\_\_\_\_

Tiempo: \_\_\_\_\_ cargo actual: \_\_\_\_\_

Institución: \_\_\_\_\_

**Objetivo de la investigación:** Proponer la aplicación de pruebas no destructivas para los aviones Cessna 150D y R182 en el centro de instrucción de Aeronáutica Civil “Mayor (AV). Miguel Rodríguez”.

**Objetivo del juicio de expertos:** Validar en términos de suficiencia del instrumento, claridad, coherencia y relevancia de las preguntas, si el cuestionario refleja un alto grado de dominio con respecto al contenido que se quiere medir, este caso particular sobre el proceso de mantenimiento de las aeronaves y la relación con las pruebas no destructivas.

**Objetivo de la prueba:** Conocer en detalle el proceso de mantenimiento de las aeronaves Cessna 150D y R182, como también la relación que tiene con el tema de las pruebas no destructivas.

Agradezco su valiosa colaboración.

De acuerdo con los siguientes indicadores califique cada uno de las preguntas según corresponda.

**Evaluación del cuestionario/instrumento:**

Suficiencia	Calificación	Indicador
Las preguntas que pertenecen al instrumento/cuestionario bastan para obtener la medición que este requiere.	1	Las preguntas no son suficientes para medir la dimensión de estudio
	2	Las preguntas miden algún aspecto de la dimensión pero no corresponden con la dimensión total de estudio
	3	Se deben incrementar el número de preguntas para poder evaluar la dimensión de estudio completamente.
	4	Las preguntas son suficientes en relación con la dimensión de estudio
	5	Las preguntas superan la dimensión de estudio

**Evaluación de las preguntas incluidas en el cuestionario/instrumento:**

Claridad	Calificación	Indicador
La pregunta se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.	1	La pregunta no es clara/ es ambigua
	2	El ítem requiere bastantes modificaciones/ debe reorientarse
	3	Se requiere una modificación muy específica de la pregunta
	4	La pregunta se comprende fácilmente
	5	La pregunta se comprende muy fácilmente

Coherencia	Calificación	Indicador
La pregunta tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo.	1	La pregunta no tiene relación lógica con la dimensión
	2	La pregunta tiene una relación tangencial con la dimensión.
	3	La pregunta tiene una relación moderada con la dimensión que está midiendo.
	4	La pregunta tiene una relación completa con la dimensión que está midiendo.
	5	La pregunta supera la relación con la dimensión que está midiendo.

Relevancia	Calificación	Indicador
La pregunta es esencial o importante, es decir	1	La pregunta puede ser eliminada sin que se vea afectada la medición de la dimensión

debe ser incluida obligatoriamente en el instrumento.	2	La pregunta tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo lo que mide éste.
	3	Es indiferente si la pregunta se incluye, o no.
	4	La pregunta es relativamente importante.
	5	La pregunta es sumamente importante, por lo que debe ser incluida obligatoriamente en el instrumento.

**A continuación se presenta la entrevista a evaluar:**

Guión de entrevista semiestructura, dirigida al Personal perteneciente a la Organización de Mantenimiento Aeronáutica.

¿Cómo es el proceso de mantenimiento de las aeronaves Cessna 150D y R182?

¿Cuáles son las fallas más comunes en las aeronaves Cessna 150D y R182?

¿Explique usted en qué consisten las pruebas no destructivas?

¿Usted cree que toman en cuenta las pruebas no destructivas dentro de estos programas?

¿Qué relación tienen las pruebas no destructivas con los programas de mantenimiento de las aeronaves?

¿Cuáles tipos de pruebas no destructivas usted conoce?

¿Por qué cree usted que sea necesario la aplicación de este tipo de pruebas en el CIAC?

¿En qué condiciones se le debe realizar las pruebas no destructivas a una aeronave de este tipo?

¿Cuáles pruebas no destructivas crees son necesarios realizar en los aviones Cessna 150D y R182?

¿Considera usted que el CIAC cuenta con los espacios físicos, personal técnico calificado y herramientas necesarias para aplicar las pruebas no destructivas?

**Objetivo de la entrevista:** Conocer en detalle el proceso de mantenimiento de las aeronaves Cessna 150D y R182, como también la relación que tiene con el tema de las pruebas no destructivas.

**Instrucciones:** antes de comenzar a responder el instrumento, lea las siguientes recomendaciones:

1. Lea en forma detenida cada una de las preguntas formuladas.
2. Sea lo más objetivo posible al momento de responder.
3. Trate de no dejar alguna pregunta sin responder.
4. No firme el instrumento. Sus datos son confidenciales y la información que proporcione se utilizará para fines investigativos.
5. En caso de dudas consulte con el investigador.
6. Al finalizar el llenado del instrumento, por favor entregarlo al investigador.

Muchas gracias por su colaboración,

*Jeison Martínez*

Para el proceso de evaluación/ calificación, marque con una equis su selección:

Suficiencia del cuestionario:

Calificación	Suficiencia seleccionada por el evaluado
1	
2	
3	
4	
5	

Evaluación/calificación de cada una de las preguntas del instrumento, considerando la claridad, la coherencia y la relevancia:

Pregunta/ Ítem:	Claridad				Coherencia				Relevancia						
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
¿Cómo es el proceso de mantenimiento de las aeronaves Cessna 150D y R182?															
¿Cuáles son las fallas más comunes en las aeronaves Cessna 150D y R182?															
¿Podría usted explicar en qué consisten las pruebas no destructivas?															
¿Toman en cuenta las pruebas no destructivas dentro de estos programas?															
¿Qué relación tienen las pruebas no destructivas con los programas de mantenimiento de las aeronaves?															
¿Cuáles tipos de pruebas no destructivas usted conoce?															
¿Por qué cree usted que sea necesario la aplicación de este tipo de pruebas en el CIAC?															
¿En qué condiciones se le debe realizar las pruebas no destructivas a una aeronave de este tipo?															
¿Cuáles pruebas no destructivas crees son necesarios realizar en los aviones Cessna 150D y R182?															

¿Considera usted que el CIAC cuenta con los espacios físicos, personal técnico calificado y herramientas necesarias para aplicar las pruebas no destructivas?																
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Anexo C.** Aplicación de Cronbach para análisis de respuestas expertos.

Análisis de elementos de Suficiencia. Claridad. Coherencia. Relevancia.
Alfa de Cronbach
Alfa 0,6426