

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOCOLO DE  
INGENIERÍA INVERSA.**

**LINEY JHARITZA ESCOBAR BONILLA  
CARMEN ELENA GARCÍA RIVERA**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AERONÁUTICA  
BOGOTÁ  
2016**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOCOLO DE  
INGENIERÍA INVERSA.**

**AUTORAS:  
LINEY JHARITZA ESCOBAR BONILLA  
CARMEN ELENA GARCÍA RIVERA**

**Trabajo de Grado Para Optar al Título de Ingeniero  
Aeronáutico**

**DIRECTOR:  
LINA XIMENA AGUILAR SIERRA  
Ing. Aeronáutica**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AERONÁUTICA  
BOGOTÁ  
2016**

***Nota de Aceptación***

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bogotá D.C., 20 de Agosto de 2016

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darnos la oportunidad de existir, por acompañarnos y ser nuestro guía en cada paso de nuestras vidas, por abrirnos las puertas y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido soporte y guía en este proceso de vida.

A nuestros padres Miguel Fernando Escobar Rincón, Judith Constanza Bonilla Caicedo, Enrique García Bastidas y Lenys Rivera Bernal, por darnos la vida brindarnos amor, creer en nosotras y porque siempre nos han apoyado. Gracias por los estudios básicos y universitarios, todo esto sé los debemos a ustedes.

A todas las personas; Familia, Profesores, que de una u otra forma nos sirvieron de guía para alcanzar logros a lo largo de nuestro camino.

A la fundación universitaria los libertadores por la educación y formación como ingenieras.

## **AGRADECIMIENTOS**

Las autoras expresan sus agradecimientos a:

Ingeniera Lina Aguilar por ser nuestra directora en el proyecto, su apoyo y confianza en nuestro trabajo y su capacidad para guiarnos ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de este proyecto, sino también en nuestra formación como ingenieras.

Ingeniero Julio Enoc Parra Villamarin, docente de la Fundación Universitaria Los Libertadores, por sus conocimientos y enseñanza en la redacción y conceptos del proyecto, por su disponibilidad, y por sus excelentes aclaraciones en este amplio tema.

Ingeniero Jairo Emilio Reyes Piracuin, docente de ingeniería aeronáutica en la Fundación Universitaria Los Libertadores, que ayudó instruyendo sobre la formalidades institucionales y consejos en temas relacionados al proyecto.

Nuestros compañeros de la facultad de ingeniería aeronáutica de la Fundación Universitaria Los Libertadores por sus ayudas y aportes en complementación de procesos.

Cuerpo docente de la facultad de ingeniería de la Fundación Universitaria Los Libertadores, quienes con su dedicación y conocimientos nos instruyeron en nuestra formación como ingenierías aeronáuticas

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	19
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	21
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	23
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	24
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	24
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
<b>4. MARCO REFERENCIAL</b> .....	25
4.1 INGIENERIA INVERSA.....	25
4.2. PROCESO.....	27
4.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	28
4.3.1. MÉTODO ANALÍTICO.....	28
4.3.2. MÉTODO SINTETICO.....	29
4.4. RE DOCUMENTACIÓN.....	29
4.5. DESIGN RECOVERY.....	29
4.6. RESTRUCTURING.....	30
4.7. REENGINEERING.....	30
4.8. REVERSING DESIGN.....	30
<b>5. METODOLOGÍA</b> .....	32
<b>6. CAPÍTULO I</b>	
<b>IDENTIFICACIÓN Y COMPLEMENTACIÓN DE FORMATOS</b>	
<b>EXISTENTE</b> .....	35
6.1 Criterio evaluativo de formatos existentes.....	34
6.2 Formatos e información relacionada.....	35
6.3 Evaluación de la información existente.....	37
6.3.1 Checklist criterio evaluativo de formatos.....	37
6.3.1.1 MET-CIAC 01.....	38
6.3.1.2 MET-CIAC 02.....	39
6.3.1.3 MET-CIAC 03.....	40
6.4 Complementación de la información de los formatos.....	42
6.5 Creación de formatos faltantes.....	43
6.6 Consecutivo de los nuevos formatos.....	44
<b>7. CAPITULO II</b>	
<b>ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO</b> .....	46
7.1. Identificación procesos para la ingeniería inversa.....	46
7.2. Proceso recolección de datos.....	46
7.2.1 Verificación Normativa.....	47
7.2.2 Manuales Relacionados.....	48
7.2.3 Revistas o Artículos Relacionados.....	48

7.3. Normativas que apliquen en el protocolo.....	49
7.4. Organización la información. ....	50
7.5. Elaboración el diagrama de flujo. ....	51
<b>8. CAPÍTULO III</b>	
<b>CREACIÓN DE PROTOCOLO DE INGENIERÍA INVERSA PARA LOS</b>	
<b>LABORATORIOS DE CIAC.....</b>	<b>58</b>
8.1 Creación de esquema para estudio del componente. ....	58
8.2 Explicación del procedimiento para estudio del componente. ....	59
8.3 Creación de esquema para levantamiento dimensional de modelos pequeños. ....	59
8.4 Creación de esquema para levantamiento dimensional de modelos grandes. ....	60
8.5. Explicación del procedimiento para levantamientos dimensionales	60
8.6 Creación de esquema para programas que se implementarían en el protocolo. ....	61
8.7 Explicación uso de los programas .....	62
8.7.1. Bases de datos. ....	62
8.7.2. Metrología y Escaneo 3D.....	62
8.7.3. Pruebas físicas, químicas y mecánicas.....	63
8.7.4. Análisis computacional: Aerodinámico, Mecánico y estructural	64
8.8 Implementación del PDR y del CDR. ....	65
8.9 Explicación procedimiento para diligenciar el PDR y el CDR. ....	66
8.10 Filtración de la información. ....	66
8.11 Creación del protocolo.....	67
8.11.1. Capítulo I Recolección y análisis de datos. ....	67
8.11.2. Capítulo II Dimensionamiento geométrico....	67_Toc461716584
8.11.3. Capítulo III Caracterización de materiales.....	67
8.11.4. Capítulo IV Reporte final .....	68
<b>9. CAPÍTULO IV EVALUACIÓN DEL PROTOCOLO.....</b>	<b>69</b>
9.1. Creación esquema de calificación. ....	69
9.2. Procedimiento de calificación .....	71
9.3. Evaluación del sistema de calificación.....	73
9.3.1. Tabla evaluativa del proyecto "PANEL DECK ASSY" .....	74
9.4 Análisis de la información existente dentro del "PANEL DECK ASSY"	74
9.4.1. Fuentes de información. ....	75
9.4.2. Dimensionamiento geométrico.....	76
9.4.3. Pruebas de laboratorio.....	77
9.4.4. Reporte final. ....	79
9.5. Conclusión de la evaluación del proyecto.....	82

<b>10. CONCLUSIONES</b> .....	83
<b>11. RECOMENDACIONES</b> .....	84
<b>ANEXOS</b> .....	85

## LISTA DE TABLAS

Pág.

<b>TABLA 1</b> .CHEQUEO DE CUMPLIMIENTO DE LONGITUDES DEL MET-CIAC-01 .....	38
<b>TABLA 2</b> . CHEQUEO DE CUMPLIMIENTO DEL MET-CIAC-02 .....	39
<b>TABLA 3</b> . CHEQUEO DE CUMPLIMIENTO DE LONGITUDES DEL MET-CIAC-03 .....	40
<b>TABLA 4</b> . CHEQUEO DE CUMPLIMIENTO DE RADIOS Y DIÁMETROS DEL MET-CIAC 03 ...	41
<b>TABLA 5</b> . CHEQUEO DE CUMPLIMIENTO DE ÁNGULOS DEL MET-CIAC-03.....	42
<b>TABLA 6</b> .CARACTERIZACIÓN DE PROGRAMAS EN EL PROTOCOLO INGENIERÍA INVERSA..	62
<b>TABLA 7</b> . SISTEMA DE CALIFICACIÓN GENERAL.....	71
<b>TABLA 8</b> .SISTEMA DE CALIFICACIÓN SECCIÓN NO 1.....	72
<b>TABLA 9</b> . SISTEMA DE CALIFICACIÓN SECCIÓN NO 2.....	72
<b>TABLA 10</b> .SISTEMA DE CALIFICACIÓN SECCIÓN NO 3.....	73
<b>TABLA 11</b> .SISTEMA DE CALIFICACIÓN SECCIÓN NO 4.....	73
<b>TABLA 12</b> . EVALUACIÓN DEL “PANEL DESCK ASSY” vs “REP” .....	74

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>IMAGEN 1.</b> MET-CIAC-01 .....	36
<b>IMAGEN 2.</b> MET-CIAC-02 .....	37
<b>IMAGEN 3</b> MET-CIAC-03. ....	37
<b>IMAGEN 4</b> PCOMD001.. ....	37
<b>IMAGEN 5.</b> ENCABEZADO REGISTRO DE ENTRADA .....	43
<b>IMAGEN 6.</b> FINAL REGISTRO DE ENTRADA .....	43
<b>IMAGEN 7.</b> ENCABEZADO INFORME PRUEBAS DE LABORATORIO .....	44
<b>IMAGEN 8.</b> FINAL INFORME PRUEBAS DE LABORATORIO.....	44
<b>IMAGEN 9.</b> NOMENCLATURA REGISTRO DE ENTRADA.....	44
<b>IMAGEN 10.</b> NOMENCLATURA PRUEBAS DE LABORATORIO .....	45
<b>IMAGEN 11.</b> PROCEDIMIENTO RECOLECCIÓN DE DATOS .....	47
<b>IMAGEN 12.</b> PROCEDIMIENTO LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN INICIAL .....	50
<b>IMAGEN 13.</b> FLUJO GRAMA PROCESO DE INGENIERÍA INVERSA.....	51
<b>IMAGEN 14.</b> FLUJO GRAMA PROCESO DE INGENIERÍA INVERSA REESTRUCTURADO.....	52
<b>IMAGEN 15.</b> FLUJO GRAMA PROCESO DE FABRICACIÓN DE PARTES AERONÁUTICAS. ....	53
<b>IMAGEN 16.</b> ZOOM DEL FLUJO GRAMA PROCESO DE FABRICACIÓN DE PARTES AERONÁUTICAS.....	53
<b>IMAGEN 17.</b> FLUJO GRAMA DEL REP.....	55
<b>IMAGEN 18.</b> ESQUEMA DEL COMPONENTE .....	58
<b>IMAGEN 19.</b> ESQUEMA PARA UN COMPONENTE PEQUEÑO .....	60
<b>IMAGEN 20.</b> ESQUEMA PARA COMPONENTE GRANDE.....	60
<b>IMAGEN 21.</b> ESQUEMA PARA LEVANTAMIENTO DIMENSIONAL .....	61
<b>IMAGEN 22.</b> REPRESENTACIÓN DE CORTES, SECCIONES Y ROTURAS EN LEVANTAMIENTO DIMENSIONAL. ....	63
<b>IMAGEN 23.</b> PORTADA DEL INSTRUCTIVO PDR .....	66
<b>IMAGEN 24.</b> PORTADA DEL INSTRUCTIVO CDR.....	66
<b>IMAGEN 25.</b> PORTADA DEL PROTOCOLO DE INGENIERÍA INVERSA (REP) .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>IMAGEN 26.</b> SECCIÓN No 1 ESQUEMA DE CALIFICACIÓN.....	69
<b>IMAGEN 27.</b> SECCIÓN No 2 ESQUEMA DE CALIFICACIÓN .....	70
<b>IMAGEN 28.</b> SECCIÓN No 3 ESQUEMA DE CALIFICACIÓN.....	71
<b>IMAGEN 29.</b> SECCIÓN No 4 ESQUEMA DE CALIFICACIÓN .....	71
<b>IMAGEN 30.</b> FOTOGRAFÍA DEL PROYECTO "PANEL DECK ASSY" ...	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>IMAGEN 31.</b> FOTOGRAFÍA DE CONTENIDO DEL PROYECTO "PANEL DECK ASSY".....	75
<b>IMAGEN 32.</b> FOTOGRAFÍA DEL PROYECTO "PANEL DECK ASSY" .....	75
<b>IMAGEN 33.</b> FOTOGRAFÍA PARCIAL DEL DIMENSIONAMIENTO GEOMÉTRICO .....	76
<b>IMAGEN 34.</b> FOTOGRAFÍA PARCIAL DEL DILIGENCIAMIENTO DEL MET-CIAC-01.....	76
<b>IMAGEN 35.</b> FOTOGRAFÍA PARCIAL DE CAPÍTULO DE METROLOGÍA. ..	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>IMAGEN 36.</b> FOTOGRAFÍA PARCIAL DEL PLAN DE ENSAYOS. ....	77
<b>IMAGEN 37.</b> FOTOGRAFÍA PARCIAL DE PROCEDIMIENTO PARA PRUEBAS DE LABORATORIO. .....	77
<b>IMAGEN 38.</b> FOTOGRAFÍA PARCIAL DE FORMATOS DE REGISTRO DE CADA PRUEBA. ....	78
<b>IMAGEN 39.</b> FOTOGRAFÍA PARCIAL DE LOS ANEXOS DE CERTIFICADOS DE LOS ANÁLISIS. .....	78
<b>IMAGEN 40.</b> FOTOGRAFÍA PARCIAL DE ORDEN DE INGENIERÍA PARA CADA PRUEBA.....	78
<b>IMAGEN 41.</b> FOTOGRAFÍA PARCIAL DE CERTIFICACIÓN PDR. ....	79
<b>IMAGEN 42.</b> FOTOGRAFÍA PARCIAL DE CERTIFICACIÓN DEL CDR. ....	80
<b>IMAGEN 43.</b> FOTOGRAFÍA PARCIAL DE CERTIFICACIÓN DEL MINISTERIO DE DEFENSA. ....	80
<b>IMAGEN 44.</b> FOTOGRAFÍA PARCIAL DEL TABLA DE CONTENIDO QUE REÚNE LA INFORMACIÓN RECOPIADA .....	81

## **LISTA DE ANEXOS**

	Pág.
ANEXO A.	86
ANEXO B	87
ANEXO C	88

## GLOSARIO

1. **Aeronave:** Una aeronave es un vehículo que tiene la capacidad de desplazarse por el aire (es decir, sin estar en contacto con la superficie ni con el agua) con capacidad de transportar cargas útiles y pasajeros.
2. **ASTM (American Society for Testing and Materials):** Es una de las organizaciones internacionales de desarrollo de normas más grandes del mundo. En ASTM se reúnen productores, usuarios y consumidores, entre otros, de todo el mundo, para crear normas de consenso voluntarias.<sup>1</sup>
3. **Categoría:** En relación con la certificación, clasificaciones, privilegios y limitaciones del personal aeronáutico, la misma está basada en una clasificación, de las aeronaves. Los ejemplos incluyen, aviones, helicópteros, planeadores y aeróstatos. En relación con la certificación de aeronaves, significa la clasificación de estas, basada en el uso o en las limitaciones de operación de las mismas. Los ejemplos incluyen: ultraliviana, primaria, utilitaria, acrobática, normal, regional (commuter) transporte y restringida.<sup>2</sup>
4. **Categoría «A»:** Giroaviones de categoría transporte, significa: Giro Aviones multimotores diseñados con motor y sistemas de aislamiento y utilizando operaciones de despegue y aterrizaje programado bajo el concepto de falla de motor crítico, asegurando un área suficiente y adecuados performances para el vuelo continuado y seguro en caso de falla de un motor.<sup>3</sup>
5. **Categoría «B»:** Giroaviones de categoría transporte, significa: Giroavión Monomotor o multimotor que no cumple totalmente con los requisitos de la categoría «A».<sup>4</sup>
6. **Componente:** Conjunto, parte, artículo, pieza o elemento constitutivo de una aeronave según las especificaciones del fabricante, y por extensión, de la estructura, motor, hélice o accesorio de aquella.<sup>5</sup>
7. **Conjunto:** Todo aquello que está constituido de subconjuntos, partes componentes y otros materiales que una vez montados dan origen a una aeronave. Incluyen también diseños instrucciones de fabricación y montaje, manual de vuelo, lista de equipos, condición de peso y balance, y otros datos técnicos y documentos requeridos para la construcción y operación de una aeronave.<sup>6</sup>
8. **Caracterización de materiales:** Es un conjunto de características propias del material, en cuanto a estudios que referencien sus propiedades físicas, químicas, estructurales, entre otras. Cada

---

<sup>1</sup> Página oficial ASTM (<https://www.astm.org>)

<sup>2</sup> RAC 1Definiciones(<http://www.aerocivil.gov.co/AAeronautica/Rrglamentacion/RAC/Biblioteca%20Indice%20General/RAC%20%201%20-%20Definiciones.pdf>)

<sup>3</sup> RAC 1Definiciones(<http://www.aerocivil.gov.co/AAeronautica/Rrglamentacion/RAC/Biblioteca%20Indice%20General/RAC%20%201%20-%20Definiciones.pdf>)

<sup>4</sup> RAC 1Definiciones(<http://www.aerocivil.gov.co/AAeronautica/Rrglamentacion/RAC/Biblioteca%20Indice%20General/RAC%20%201%20-%20Definiciones.pdf>)

<sup>5</sup> RAC 1Definiciones(<http://www.aerocivil.gov.co/AAeronautica/Rrglamentacion/RAC/Biblioteca%20Indice%20General/RAC%20%201%20-%20Definiciones.pdf>)

<sup>6</sup> RAC 1Definiciones(<http://www.aerocivil.gov.co/AAeronautica/Rrglamentacion/RAC/Biblioteca%20Indice%20General/RAC%20%201%20-%20Definiciones.pdf>)

material se constituye por una técnica diferente y estas van ligadas a la naturaleza del mismo.<sup>7</sup>

9. **Compresión:** La compresión puede ser un proceso físico o mecánico que consiste en someter a un cuerpo a la acción de dos fuerzas opuestas para que disminuya su volumen. Se conoce como esfuerzo de compresión al resultado de estas tensiones.
10. **Conductividad:** Movimiento de partículas cargadas eléctricamente y como respuesta a las fuerzas que actúan en estas partículas debido a un campo eléctrico aplicado. Dentro de la mayoría de los sólidos existen un flujo de electrones que provoca una corriente, y a este flujo de electrones se le denomina conducción electrónica.<sup>8</sup>
11. **Dureza:** Es la resistencia de un material a ser penetrado mediante distintos juegos de penetradores y cargas como cónicos, esferas y vértice redondeado.
12. **Dobles:** Se aplica una carga hasta el doble completo para analizar el comportamiento y maleabilidad de los materiales de aporte aplicados a los materiales.
13. **Dimensionamiento Geométrico:** Es la medición de todas aquellas propiedades que se determinen mediante la unidad de longitud, como por ejemplo distancia, posición, diámetro, redondez, plenitud, rugosidad, etc. La longitud es una de las siete magnitudes base del Sistema Internacional de Unidades (SI).<sup>9</sup>
14. **Esfuerzo cortante:** Un esfuerzo de corte es aquel que actúa paralelamente a un plano, para distinguirlo de los esfuerzos tensivos y compresivos que actúan normalmente a un plano.<sup>10</sup>
15. **Estructura:** Cualquier clase de fuselaje, con sus componentes (largueros, barquillas, capotaje, carenados, láminas de recubrimiento), las superficies aerodinámicas, incluyendo rotores; pero excluyendo motores, hélices y planos aerodinámicos rotativos de motores y trenes de aterrizaje con sus accesorios y comandos.<sup>11</sup>
16. **Fractografía:** Es el método por el cual se realiza el análisis de las características de la fractura en un material para conocer sus causas y mecanismos y así conocer los motivos que provocan la falla de materiales<sup>12</sup>.
17. **Fatiga:** Fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas cíclicas se produce más fácilmente que con cargas estáticas<sup>13</sup>.
18. **Flexión:** Es la deformación que un elemento estructural experimenta alargando en dirección perpendicular a su eje longitudinal. Cómo son vigas, placas y láminas en estos elementos que suelen soportar distintos niveles de flexión mecánica

---

<sup>7</sup> Julián Pérez Porto y María Merino. Publicado: 2011. Actualizado: 2014. Definición de: Definición de compresión (<http://definicion.de/compresion/>)

<sup>8</sup> **Lenntech BV.** Publicado: 1998-20016. Definición: Conductividad eléctrica (<http://www.lenntech.es/aplicaciones/ultrapura/conductividad/conductividad-agua.htm>)

<sup>9</sup> [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m2/METROLOGIA.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m2/METROLOGIA.pdf)

<sup>10</sup> **NERFE Laboratorio de Soldadura y Mantenimiento Industrial.** Definición: Corte seccional transversal (<http://www.nerfelaboratorio.com/servicios/pruebas-destruictivas-y-no-destruictivas-en-materiales-y-hermetismo/tipos-de-pruebas/>)

<sup>11</sup> <http://www.aerocivil.gov.co/AAeronautica/Rrglamentacion/RAC/Biblioteca%20Indice%20General/RAC%20%201%20-%20Definiciones.pdf>

<sup>12</sup> Laboratorios CYTI. Definición: Fractografía ([http://www.cyti.com.mx/analisis\\_falla.asp](http://www.cyti.com.mx/analisis_falla.asp))

<sup>13</sup> Vélez Moreno, Ligia María. "Materiales industriales. Teoría y aplicaciones". Definición: Fatiga de materiales (pág. 123). Instituto tecnológico metropolitano, 2008.

- 19. Ficha técnica:** Es un documento en forma de sumario que contiene la descripción de las características de un objeto, material, proceso o programa de manera detallada. Los contenidos varían dependiendo del producto, servicio o entidad descrita, pero en general suele contener datos como el nombre, características físicas, el modo de uso o elaboración, propiedades distintivas y especificaciones técnicas<sup>14</sup>.
- 20. Impacto:** Se aplica para conocer cuánta energía puede absorber un material al ser impactado. Además toma en cuenta la transferencia, absorción y la disipación de energía.
- 21. Ingeniería inversa:** La Ingeniería Inversa tiene diversas definiciones y cada definición tiene su propio método. De acuerdo con el autor Ahmad Majdi bin Abdul Rani. "La Ingeniería de reversa o inversa se puede describir como aquel proceso por el cual una parte existente o un modelo físico son re creados o clonados"<sup>15</sup>. Así mismo, se tiene la siguiente definición. La Ingeniería Inversa es el proceso de diseñar un sustituto, el cual reemplace de forma aceptable a un producto o parte. En este caso, Ingeniería Inversa es un caso particular de rediseño que se fundamenta en diversos aspectos del producto original y en el análisis de un ejemplar y se aplica cuando el proceso de diseño o la documentación original no está disponible<sup>16</sup>.
- 22. Metrología:** Metrología es la ciencia que tiene por objeto el estudio de los sistemas de medida. La metrología comprende todos los aspectos, tanto teóricos como prácticos, que se refieren a las mediciones, cualesquiera que sean sus incertidumbres, y en cualesquiera de los campos de la ciencia y de la tecnología en que tengan lugar.<sup>17</sup>
- 23. Microscopía óptica (MO):** Se sirve de la luz visible para crear una imagen aumentada del objeto. El microscopio óptico más simple es la lente convexa doble con una distancia focal corta. Estas lentes pueden aumentar un objeto hasta 15 veces. Por lo general se utilizan microscopios compuestos, que disponen de varias lentes con las que se consiguen aumentos mayores.<sup>18</sup>
- 24. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM):** Permite la observación y caracterización de materiales orgánicos e inorgánicos en escalas manométricas y micrométricas; además de tener la capacidad de obtener imágenes tridimensionales de superficies en un amplio rango de materiales.<sup>19</sup>
- 25. Peeling:** Es un proceso en el que las escamas delgadas de la matriz o mortero se rompen lejos de la superficie de concreto; causada por la adherencia de la superficie de mortero a las formas como formas se eliminan, o para llana o flotan en el revoque de cemento.

---

<sup>14</sup> RAC 1 Definiciones(<http://www.aerocivil.gov.co/AAeronautica/Rrglamentacion/RAC/Biblioteca%20Indice%20General/RAC%20%201%20-%20Definiciones.pdf>)

<sup>15</sup> Reverse engineering applications. Comput Ind Eng 26 (2):381-385.

<sup>16</sup> Flores, Pepa. "Ingeniería inversa y prototipado". ([https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA\\_INVERSA\\_Y\\_PROTOTIPADO](https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA_INVERSA_Y_PROTOTIPADO))

<sup>17</sup> Definiciones Metrología básica (<http://www.metrologia-ema.com/pdf/metrologia-basica.pdf>)

<sup>18</sup> Ojeda Sahagún. José. "Métodos de microscopía electrónica de barrido en Biología". Univ. de Cantabria. 1997. (<http://www.biologia.edu.ar/microscopia/microscopia1.htm>).

<sup>19</sup> Laboratorios CYTI. Definición:Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) (<http://www.cyti.com.mx/sem.asp>)

- 26. Periodo de servicio de vuelo:** El tiempo total desde el momento en que un miembro de la tripulación comienza a prestar servicio, inmediatamente después de un periodo de descanso, y antes de hacer un vuelo o una serie de vuelos, hasta el momento en que se releva de todo servicio después de haber completado tal vuelo o serie de vuelos.<sup>20</sup>
- 27. Resistencia a la adhesión:** Los adhesivos son puentes entre las superficies de distinto material. El mecanismo de unión depende de la fuerza de adhesión y cohesión, Esta prueba consiste en un corte parcial del adhesivo para evaluar sus propiedades.
- 28. Trazabilidad:** Conjunto de procedimientos preestablecidos y autosuficientes que permiten conocer el histórico, la ubicación y la trayectoria de un producto o lote de productos a lo largo de la cadena de suministros en un momento dado, a través de unas herramientas determinadas.<sup>21</sup>
- a. DE PARTES. Condición que debe cumplirse en relación con los materiales, componentes u otros productos aeronáuticos, permitiendo la posibilidad de rastrear o de hacer seguimiento sobre su historial o procedencia, uso y mantenimiento, hasta determinar quién ha sido su fabricante autorizado, de acuerdo con la documentación pertinente que así lo acredite<sup>22</sup>.
- b. DE CALIBRACIÓN. Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, en virtud de la cual ese resultado se puede relacionar con patrones nacionales o internacionales, a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones que tengan todas incertidumbres determinadas<sup>23</sup>.
- 29. Torsión:** La torsión mecánica consiste en la aplicación de un momento de fuerza sobre el eje longitudinal de una pieza prismática.<sup>24</sup>
- 30. Tensión:** Se conoce como fuerza de tensión a la fuerza que, aplicada a un cuerpo elástico, tiende a producir una tensión; este último concepto posee diversas definiciones, que dependen de la rama del conocimiento desde la cual se analice.<sup>25</sup>
- 31. Tracción:** Es un ensayo que tiene por objetivo definir la resistencia elástica, resistencia última y plasticidad del material cuando se le somete a fuerzas uniaxiales. Se requiere una máquina, prensa hidráulica por lo general, capaz de:
- a) Alcanzar la fuerza suficiente para producir la fractura de la probeta.
- b) Controlar la velocidad de aumento de fuerzas.
- c) Registrar las fuerzas que se aplican y los alargamientos que se observan en la probeta.<sup>26</sup>

<sup>20</sup> RAC 1 Definiciones(<http://www.aerocivil.gov.co/AAeronautica/Rrglamentacion/RAC/Biblioteca%20Indice%20General/RAC%20%201%20-%20Definiciones.pdf>)

<sup>21</sup> RAC 1 Definiciones(<http://www.aerocivil.gov.co/AAeronautica/Rrglamentacion/RAC/Biblioteca%20Indice%20General/RAC%20%201%20-%20Definiciones.pdf>)

<sup>22</sup> RAC 1 Definiciones(<http://www.aerocivil.gov.co/AAeronautica/Rrglamentacion/RAC/Biblioteca%20Indice%20General/RAC%20%201%20-%20Definiciones.pdf>)

<sup>23</sup> RAC 1 Definiciones(<http://www.aerocivil.gov.co/AAeronautica/Rrglamentacion/RAC/Biblioteca%20Indice%20General/RAC%20%201%20-%20Definiciones.pdf>)

<sup>24</sup> Pérez Porto Julián. Publicado: 2015. Definicion.de: Definición de torsión (<http://definicion.de/torsion/>)

<sup>25</sup> Pérez Porto, Julián y Gardey, Ana. Publicado: 2010. Actualizado: 2010. Definicion.de: Definición de fuerza de tensión (<http://definicion.de/fuerza-de-tension/>)

<sup>26</sup> Curso ciencia de los materiales. Definición: Ensayo de tracción. (<http://personales.upv.es/~avicente/curso/unidad2/traccion.html>)

## **ABREVIATURAS**

2D: Dos Dimensiones

3D: Tres Dimensiones

ADs: Directivas de aeronavegabilidad

AMM: Aircraft Maintenance Manual

ASTM: American Society of Testing Materials

CAD: Computer Aided Design

CAE: Ingeniería Asistida por Computadora

CCA: Certificación de calificación aeronáutico

CDR: Critical Design Review

CFD: Computational Fluid Dynamics

CIAC: Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana

DDP: Declaración de Diseño y Actuaciones

FAM: Flight Aircraft Manual

FAR: Federal Aviation Regulations

FEA: Finite Element Analysis

FIM: Fault Isolation Manual

FIS: Inspección y Control de Proveedores

ICA: Instrucciones de aeronavegabilidad continuada

ICONTEC: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación

IEEE: Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

IPC: Illustrated Parts Catalogue

MET: Metrología

NDT: Ensayos No Destructivos

NTC: Norma Técnica Colombiana

PDF: Formato de Documento Portátil  
PDR: Requerimientos Diseño Preliminar  
PL: Pruebas de Laboratorio  
RE: Registro de entrada  
REP: Reverse Engineer Process  
SAE: Society of Automotive Engineers  
SRM: Structural Repair Manual  
SSM: System Schematic Manual  
SWPM: Standard Wiring Practice Manual  
WDM: Wiring Diagram Manual

## **RESUMEN**

Este proyecto contiene una serie de procesos con el fin de realizar el diseño y aplicación de un protocolo de ingeniería inversa (REP) en los laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC, aplicando normativas para las pruebas de laboratorio ASTM.

### ***Palabras clave***

- ✓ Componente
- ✓ Caracterización
- ✓ Fabricación
- ✓ Ingeniería Inversa

## INTRODUCCIÓN

En un mercado global tan competitivo como en el que vivimos, las empresas buscan constantemente la manera de rentabilizar sus procesos y aumentar los beneficios económicos. La ingeniería Inversa es comprendida cómo el proceso que estudia un objeto con el fin de conocer sus propiedades físicas y mecánicas, para determinar las posibles mejoras y crear uno nuevo optimizado en su composición, teniendo como resultado una extensión en la vida útil o en las propiedades que inicialmente tenía al ser estudiado. A partir de la ingeniería inversa se generan nuevas capacidades en las empresas del sector aeronáutico, como: la transferencia de conocimientos, tecnologías, gestión del conocimiento, trazabilidad y documentación de los procesos de fabricación. Además de la articulación entre la universidad, empresa y estado.

En la aviación es necesario estandarizar las tareas que se realizan para obtener una información que permita una orientación concisa y concreta, de las labores de mantenimiento y manufactura que se ejecutan. El presente documento desarrolla un protocolo, con el fin de estandarizar los procedimientos de análisis y posterior manufactura al momento de implementar una ingeniería inversa en los laboratorios de ingeniería de la compañía **CIAC** por sus siglas (*Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana*), y de sintetizarlos a través de una guía, en donde se realiza una verificación y evaluación de la documentación que cuenta **CIAC**; Con el objetivo de complementarla a través de un protocolo que funcione de forma puntual, para ser implementada por cualquier miembro del laboratorio. Ya sea el grupo de ingenieros, técnicos o el personal de prácticas. Con base en la normativa de la **FAA** por sus siglas en inglés (*Federal Aviation Administration*) 8110.42 sección C y D referente a "*Parts Manufacturer Approval Procedures*".

Un ejemplo de la aplicación de ingeniería inversa en la aviación colombiana es el "Convenio especial de cooperación para el diseño, desarrollo y producción de partes mediante ingeniería inversa de elementos, para las aeronaves UH-60 de la Fuerza Aérea Colombiana"<sup>27</sup> el cual tiene como objetivo, reducir en gran medida la sustitución de piezas aeronáuticas importadas.

Otro ejemplo es la alianza entre Colciencias y el Municipio de Rionegro, la cual comenzó un programa piloto que denominaron "Primera fase de sustitución de importaciones", en donde participaron cuatro empresas

---

<sup>27</sup> "Fuerza Aérea Colombiana e industria privada muestran avances en Proyecto de sustitución de importaciones", <http://www.webinfamil.com/2014/02/fuerza-aerea-colombiana-e-industria.html>, 2014.

de la región que fabricaban sólo piezas sencillas de quincallería. Dicho proyecto tenía como fin buscar la rentabilidad financiera para todos los participantes, al fabricar partes aeronáuticas a un costo inferior a las originales sin comprometer la seguridad y la confiabilidad, con beneficios adicionales a la cadena logística de la FAC.<sup>28</sup>

De todos los procesos de ingeniería inversa que se han llevado a cabo, no se conoce una publicación de una guía estandarizada del procedimiento, por ende, se plantea una estandarización que permita el posicionamiento y reconocimiento del laboratorio de Ingeniería de la compañía CIAC en el sector aeronáutico de Colombia, al ser pioneros en contar una guía estandarizada para realizar ingeniería inversa en los procesos que se lleven a cabo dentro del marco.

---

<sup>28</sup> Fuerza aérea colombiana, "Fuerza Aérea Colombiana e industria privada muestran avances en Proyecto de sustitución de importaciones", <http://www.webinfomil.com/2014/02/fuerza-aerea-colombiana-e-industria.html>, 2014.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC buscaban realizar un protocolo para la estandarización del procedimiento de ingeniería inversa, ya que la información de la compañía no generaba unos datos específicos y puntuales. Los laboratorios **no cuentan con un protocolo estandarizado para los proceso de ingeniería inversa**, para la realización de esta estandarización se tuvo como punto de partida los formatos y la información ya existentes. Para esto se realizó una complementación de formatos con el fin de llevar una forma más practica el manejo de los componentes, a los cuales se les va a aplicar una ingeniería inversa de una manera más eficiente, practica, claramente definido, optimizando los tiempos de implantación, se propuso: recolectar la información, diagramar el proceso y describir el procedimiento de las tareas a realizar para generar una ingeniería inversa dentro de la empresa.

La industria aeronáutica Colombiana está enfocada al mantenimiento y planes de seguridad aeroportuaria, entre otros, pero los talleres de mantenimiento presentan retrasos al necesitar el cambio de partes por bajas de uso o por mantenimiento. Para esto se deben remitir con el fabricante pidiendo el respectivo componente y este puede tardar meses o años ya que son fabricados a pedido dependiendo de la aeronave, para ello se busca otra alternativa como es la ingeniería inversa. En la aviación colombiana se tiene conocimiento del proyecto que llevó a cabo la Fuerza Aérea Colombiana en conjunto con la cámara de comercio de Risaralda en el 2014 para el comando aéreo del combate N° 5, en el que se realizó el proceso de ingeniería inversa en componentes de la aeronave UH-60<sup>29</sup>.

La ingeniería inversa se empezó a implementar en los laboratorios de ingeniería de la empresa CIAC con el fin de dar respuesta a las necesidades que presentan sus clientes: Fuerza Aérea Colombiana (FAC), Policía Nacional (PONAL), Ejercito Nacional de Colombia (EJC) y Armada Nacional (ARC), en diversos componentes aeronáuticos para estudiar su comportamiento en diferentes situaciones a las cuales pueden ser sometidos, de acuerdo a los ciclos de vida útil que puede tener. La alianza existente con la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), tiene como fin fabricar los componentes de la aeronave ensamblada en Colombia "T-90"<sup>30</sup>. Donde la compañía realizo los procesos de: Diseño y fabricación conjunto del tren de aterrizaje del T-90, los procesos de Certificación al T-90, las pruebas estructurales al T-90 como: Drop Testy wing load test, el diseño y fabricación equipo de fatiga para el tren de aterrizaje del T-90, las modificaciones estructurales y optimización del diseño del T-90 (Aprobación y ejecución de órdenes de ingeniería)<sup>31</sup>.

<sup>29</sup> <https://fac.mil.co/la-ciac-entrega-el-%C3%BAltimo-avi%C3%B3n-t-90-calima>.

<sup>30</sup> Página oficial FAC. La CIAC Entrega el último Avión T-90 Calima. 2014.

<sup>31</sup> Corporación de la Industria Aeronáutica de Colombia 2016 CIAC, Página oficial.

El proceso de ingeniería inversa del cual se tuvo información en su implementación dentro del laboratorio fue el "panel del Bell 212", se conoció de este: el formato de levantamiento dimensional, ordenes de ingeniería, pruebas de laboratorio anexadas, los formatos CDR y PDR.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El proceso de ingeniería inversa empezó a tomar nombre dentro de los laboratorios de ingeniería en la empresa CIAC, a través de la necesidad de conocer a fondo lo que el fabricante implemento para obtener el producto final, logrando así mejorar las características físico mecánicas y de este modo poder satisfacer a sus clientes como es el caso de los convenios vigentes con la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), la Policía Nacional Colombiana (PNC), el Ejército Nacional Colombiano y la Armada Nacional Colombiana (ARC). Quienes llegan con el fin de solucionar una necesidad, para algunos casos el cambio de un componente del cual esperan generar una mejora o fabricación. Esto se puede llevar a cabo por medio de una ingeniería inversa ya que esta permite la reconstrucción de diseños clásicos e implementación de diseños nuevos. Generando la documentación perdida o inexistente de los diseños y actualizando o creando documentación faltante, los laboratorios al realizar mejoras a su vez entregan un STC por sus siglas en ingles (*Supplemental Type Certificate*).

Todo esto se documenta y se organiza para que el cliente visualice lo quiere mejorar y cómo se puede realizar esa mejora sin afectar el peso y balance de la aeronave. Al recopilar los datos y la información pertinente se genera el proceso aplicación y fabricación.

Mediante la implementación del protocolo de ingeniería inversa se busca: llegar a reducir el tiempo de estudio sobre componentes, contextualizar al personal técnico, pasantes y nuevos ingenieros que requieran realizar el proceso de ingeniería inversa en componentes, organizar el trabajo de una manera eficiente. De este modo la estandarización de los procesos que se realizó se utilizará dentro del laboratorio de ingeniería para complementar la información existente por medio de un formato estándar que se aplicaran para la evaluación de los existentes, y así obtener calidad de los procesos y asignar trabajos claros al personal que conforma el laboratorio de ingeniería.

A su vez la estandarización del protocolo mantendrá una organización de ideas y pasos, que el grupo de ingenieros y técnicos podrán implementarlo de manera secuencial y lógica. Dentro de los laboratorios de ingeniería de CIAC, presentaban problemas para la inclusión de estos procedimientos, ya que no existía un manual que instruyera al personal de cómo realizar dichas tareas de forma ordenada y secuencial.

Para ello se propuso: optimizar los tiempos de implantación, diagramar el proceso, describir el procedimiento de las tareas y al finalizar el protocolo se realice una evaluación sobre una aplicación existente como es el "Panel del Bell 212".

### **3. OBJETIVOS.**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar e implementar un protocolo de ingeniería inversa para la caracterización de componentes del laboratorio de Ingeniería de la compañía CIAC.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los formatos existentes en la empresa y evaluar la información suministrada.
- Elaborar un diagrama de flujo para el personal del laboratorio de ingeniería, identificando el procedimiento de ingeniería inversa.
- Complementar formatos de procedimientos, levantamiento de información e Ingeniería inversa ajustados al procedimiento estandarizado.
- Evaluar el protocolo en una ingeniería inversa ejecutada anteriormente por el laboratorio de ingeniería de la empresa CIAC.

## 4. MARCO REFERENCIAL.

### 4.1 INGIENERIA INVERSA.

Típica aplicación usada en un proceso de duplicación de los atributos de un artículo a través de los datos de un diseño original. El proceso implica el desmontaje, la medición de las características y de los materiales y los análisis funcionales de un artículo original.

El proceso puede necesitar pruebas posteriores para confirmar la función prevista de los artículos, utilizando el **PMA** por sus siglas en inglés (*Parts Manufacturer Approval*). Revisando la confirmación de los datos esta define la identidad del diseño original usando apropiadamente el tamaño de las muestras. Estos datos definen las dimensiones, propiedades del material (por ejemplo, la micro estructura y composición química), estos procesos especiales (por ejemplo, soldaduras, tratamiento térmico, revestimientos), siguiendo los requisitos de aeronavegabilidad tanto del artículo original como el del duplicado y a su vez confirmando el uso de laboratorios cualificados o acreditados para el análisis de materiales y procesos.

La Ingeniería Inversa tiene diversas definiciones y cada definición tiene su propio método. De acuerdo con Ahmad Majdi bin Abdul Rani, "La Ingeniería de reversa o inversa se puede describir como aquel proceso por el cual una parte existente o un modelo físico son recreados o clonados"<sup>32</sup>. Así mismo, E. Jiménez, L. Reyes, A. García tiene la siguiente definición "La Ingeniería Inversa es el proceso de diseñar un sustituto, el cual reemplace de forma aceptable a un producto o parte. En este caso, Ingeniería Inversa es un caso particular de rediseño que se fundamenta en diversos aspectos del producto original y en el análisis de un ejemplar y se aplica cuando el proceso de diseño o la documentación original no está disponible".<sup>33</sup>

Además, de acuerdo con el autor Borja, V., "La Ingeniería Inversa puede también considerarse como un proceso de sistematización; esto es, un proceso que pone de manifiesto o explícita las relaciones objetivas entre los elementos y las relaciones que hacen posible la existencia de un objeto, para posteriormente construir un modelo de dicho objeto. De hecho, la especificidad de la Ingeniería Inversa hace posible su aplicación en diversos campos del conocimiento y, por lo tanto, a diversos casos particulares diferentes entre sí, lo que implica la existencia de una multiplicidad de métodos de análisis. En este sentido, la Ingeniería Inversa es una colección de métodos o, equivalentemente, una metodología".<sup>34</sup>

---

<sup>32</sup> Engineering framework integrating analysis and design improvement in a reverse engineering framework. International Conference on Engineering Education.(2001). Pp. 6N7-24.

<sup>33</sup> Algunas consideraciones sobre la Ingeniería Inversa, Informe Interno de Investigación, Centro de Tecnología Avanzada de ITESCA, Red Alfa, Sonora, México, 2006, ISBN: 970-9895-12-5.

<sup>34</sup> Redesign Supported by Data Models with Particular Reference to Reverse Engineering", PhD Thesis, Loughborough University, 1997.

Por otro lado, la Ingeniería Inversa tiene una metodología la cual está asociada con su definición. Por ejemplo, las siguientes fases están relacionadas con la definición de Ingeniería Inversa descrita en el autor Borja, V., esto es:



**Fase 1.** Realizar un estudio del objeto por medio de manuales o información parcialmente encontradas referente a ese objeto. En algunos casos recolectar información mediante pruebas de laboratorio.

**Fase 2.** Esquematizar un plan investigativo, en el que se describan los procedimientos a ejecutar de manera visionaria.

**Fase 3.** Aplicar los objetos estudiados y los procedimientos anteriores al objeto.

**Fase 4.** Realizar un paralelo de los objetos, estos serían el objeto estudiado y el objeto generado, para demostrar las características mejoradas de dicho objeto.

**Fase 5.** Realizar una nueva caracterización del objeto generado, describiendo las nuevas características y las nuevas limitantes que lo re direccionan.

**Fase 6.** La implementación del nuevo objeto generado con mejoras y verificar su funcionalidad útil y eficaz.

Según Vinesh Raja y Fernández, "La ingeniería es el proceso de diseño, fabricación, montaje y mantenimiento de productos y sistemas. Tradicionalmente la ingeniería se asocia con el proceso de transformación de una idea abstracta en diseños lógicos y su posterior realización física. Sin embargo, en ocasiones el ingeniero se topa con productos u objetos terminados que carecen de especificaciones técnicas o detalles de fabricación (bocetos, datos específicos, etc.)".<sup>35</sup>

El proceso de duplicar algo que ya está hecho, sin acceso a cualquier tipo

<sup>35</sup> Reverse engineering applications. Comput Ind Eng 26 (2):381-385.

de instrucciones o modelo, es lo que se conoce como ingeniería inversa. Según la autora Abella Et, también se puede definir como "El proceso de obtención de un modelo geométrico a partir de una nube de puntos creada a través de un proceso de escaneo o digitalización" y define el término como *"the basic concept of producing a part based on an original or physical model without the use of an engineering drawings"* o la de Yauet al que la define como *"the process of retrieving new geometry from a manufactured part by digitizing and modifying an existing CAD model"*.<sup>36</sup>

"Con la ingeniería inversa podemos extraer de un producto acabado determinada información como el material con el que ha sido realizado, cómo funciona y cómo se ha fabricado. Partimos del producto final para analizar su diseño y modificarlo para su mejora. Se trata de un proceso en el que los principios tecnológicos de objetos y dispositivos quedan al descubierto a través de un análisis estructural, que a veces implica un desmontaje y estudio pormenorizado de las partes. Aunque la ingeniería inversa en su concepto es inherente a lógica del ser humano (el hombre siempre ha estudiado objetos para copiarlos, incluso en la naturaleza), el término y su aplicación industrial nace en el transcurso de la Segunda Guerra Mundial, dentro del marco del espionaje militar, cuando los ejércitos enemigos incautaban maquinaria bélica y tecnología para estudiarla y mejorar la suya propia o directamente copiarla

Algunos de los usos que se le da a la ingeniería inversa son:

- Pérdida del prototipo original.
- Pérdida de la documentación necesaria para fabricar el producto.
- Necesidad de un modelo CAD para un producto concreto.
- Criterios de estándares, necesidad de un modelo o descripción CAD para superar controles de calidad.
- Necesidad de mejora de un producto o alguna de sus partes.
- Analizar los puntos fuertes y débiles del producto.
- Necesidad de crear un modelo en 3 dimensiones partiendo de un prototipo".<sup>37</sup>

#### **4.2. PROCESO**

"El proceso genérico en la ingeniería inversa comprende 3 fases: el escaneo, la creación de la nube de puntos y la creación de un modelo virtual del componente a estudiar.

- EL ESCANEO
  - Sin contacto

La etapa de adquisición o de digitalización permite recuperar, a partir del modelo físico, archivos 3D en forma de nubes de puntos. En esta fase influyen muchos factores que se habrán debido de tener en cuenta al comenzar el proyecto, dependiendo de para qué realizamos la digitalización y qué tipo de objeto escaneamos usaremos una técnica u otra. El escáner en 3 dimensiones hace una captura geométrica de la pieza

<sup>36</sup> Flores, Pepa. "Ingeniería inversa y prototipado". ([https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA\\_INVERSA\\_Y\\_PROTOTIPADO](https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA_INVERSA_Y_PROTOTIPADO))

<sup>37</sup> Flores, Pepa. "Ingeniería inversa y prototipado". ([https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA\\_INVERSA\\_Y\\_PROTOTIPADO](https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA_INVERSA_Y_PROTOTIPADO))

que traduce en una nube de puntos. Con esta "red" posteriormente se define una superficie. El objetivo de esta fase es obtener un archivo de volumen que pueda ser utilizado directamente en CAD, un proceso que se conoce también por "reconstrucción". Este modelo obtenido a través del escáner describe la posición en el espacio tridimensional de cada punto analizado. Con algunos escáneres también es posible la inclusión de información relativa al color. En la mayoría de las ocasiones no basta con un solo escaneo, se requieren múltiples tomas desde muchas direcciones diferentes para poder obtener información de todos los lados del objeto. Estos sucesivos escaneos son luego integrados en un sistema común de referencia mediante un proceso que se denomina "alineación" y que transforma las coordenadas locales de cada toma en coordenadas generales del modelo. El flujo de captura de un modelo 3D está definido por el proceso completo desde las tomas individuales hasta el modelo unificado. Los escáneres 3D se clasifican en función del contacto que establecen con el objeto. Con contacto y sin contacto. A su vez, los escáneres sin contacto se dividen en activos y pasivos".<sup>38</sup>

- De contacto

"Los escáneres 3D de contacto sondan el objeto apoyando un elemento de medida (palpador) sobre la superficie física del mismo. La punta de esta varilla suele ser de acero o zafiro. Una serie de sensores internos permiten determinar la posición espacial del palpador. Actualmente esta tecnología está basada en el CMM por sus siglas en inglés (*Coordinate Measuring Machine*), o en un brazo de contacto. En su mayoría este tipo de escáner se usa en control dimensional para procesos de fabricación y pueden conseguir precisiones típicas de 0,01 mm. Su mayor inconveniente es que requiere del contacto físico con el objeto, con lo que la modificación o el daño en materiales sensibles o frágiles, es un riesgo. Este hecho es suma importancia cuando se escanean objetos valiosos o delicados tales como los artefactos históricos. Otro de los inconvenientes es la lentitud del escaneo en comparación con otros métodos".<sup>39</sup>

### **4.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS.**

#### **4.3.1. MÉTODO ANALÍTICO**

"El Método analítico es aquel método de investigación que consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos. El análisis es la observación y examen de un hecho en particular. Es necesario conocer la naturaleza del fenómeno y objeto que se estudia para comprender su esencia. Este método nos permite conocer más del objeto de estudio, con lo cual se puede: explicar, hacer analogías, comprender mejor su comportamiento y establecer nuevas teorías".<sup>40</sup>

---

<sup>38</sup> Flores, Pepa. "Ingeniería inversa y prototipado". ([https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA\\_INVERSA\\_Y\\_PROTOTIPADO](https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA_INVERSA_Y_PROTOTIPADO))

<sup>39</sup> Chikofsky, E. J., Cross, J., (1990, January) Reverse engineering and design recovery: A taxonomy. IEEE Software.

<sup>40</sup> Ramón Ruiz Limón. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO. 7.2. *El Método Analítico*; 7.3. *El Método Sintético*.

#### 4.3.2. MÉTODO SINTÉTICO

"El método sintético es un proceso de razonamiento que tiende a reconstruir un todo, a partir de los elementos distinguidos por el análisis; se trata en consecuencia de hacer una explosión metódica y breve, en resumen. En otras palabras, debemos decir que la síntesis es un procedimiento mental que tiene como meta la comprensión cabal de la esencia de lo que ya conocemos en todas sus partes y particularidades".<sup>41</sup>

#### 4.4. RE DOCUMENTACIÓN.

"La re documentación es la creación o revisión de una representación semánticamente equivalente con el mismo nivel relativo de abstracción, que son consideradas como visiones alternativas. Es la forma más antigua y simple de los procesos de ingeniería inversa y es considerada por algunos como una versión débil de reestructuración. Se trata de un intento por recuperar documentación sobre el sistema estudiado que existió o pudo haber existido".<sup>42</sup> "Podemos afirmar que esta forma de revertir el proceso es la que más se utiliza en el campo del diseño y la arquitectura (incluso la arqueología) y sus ejemplos son rastreables desde al menos el siglo I (con las representaciones que habrían acompañado la obra de Vitrubio o la famosa Forma Urbis) hasta la actualidad. Hoy en día la re documentación se ve ayudada por tecnología como el scanning 3D o la fotogrametría digital que posibilitan la recuperación de información invaluable sobre objetos y edificios de los que no se tiene documentación disponible o esta se encuentra incompleta".<sup>43</sup>

#### 4.5. DESIGN RECOVERY

"La recuperación de diseño es un subconjunto de la ingeniería inversa en la que el dominio de los conocimientos del campo, la información externa, y la deducción o el razonamiento difuso se añaden a las observaciones del sistema objeto para identificar abstracciones significativas de nivel superior más allá de las obtenidas directamente mediante el examen del propio sistema existido".<sup>44</sup>

El design recovery se distingue por las fuentes y la envergadura de la información que debe manejar: "*Design recovery recreates design abstractions from a combination of code, existing design documentation (if available), personal experience, and general knowledge about problem and application domains (...) Design recovery must reproduce all of the information required for a person to fully understand what a program does, how it does it, why it does it, and so forth. Thus, it deals with a far wider range of information than found in conventional software engineering representations or code*".<sup>45</sup>

"La bibliografía revisada sobre *design recovery* por el autor Ramos Barbero, nos lleva a pensar que la amplitud de objetivos expresada respecto del software no se encuentra en los otros campos de aplicación,

---

<sup>41</sup> Ramón Ruiz Limón. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO. 7.2. *El Método Analítico*; 7.3. *El Método Sintético*.

<sup>42</sup> Chikofsky y Cross, "Design Recovery".1990.

<sup>43</sup> Maher, 2002; Dritsas, 2013; Várady, 1996.

<sup>44</sup> Flores, Pepa. "Ingeniería inversa y prototipado". ([https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%80DA\\_INVERSA\\_Y\\_PROTOTIPADO](https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%80DA_INVERSA_Y_PROTOTIPADO)).

<sup>45</sup> Chikofsky y Cross, "Design Recovery".1990.

sobre todo en lo concerniente a procesos y estrategias de diseño involucrados".<sup>46</sup>

"Actualmente nos hallamos desarrollando una serie de experiencias de aplicación práctica de este concepto, dentro del más amplio de Reverse Design, sobre casos de arquitectura, con lo cual pretendemos además especificar mejor sus límites teóricos y prácticos, pero podemos adelantar que viene demostrando una potencialidad sorprendente para la comprensión de los proyectos, su manipulación y transformación".<sup>47</sup>

#### **4.6. RESTRUCTURING**

La reestructuración es la transformación de una forma de representación a otra de un nivel parecido de abstracción sin cambiar el diseño (funcionalidad y semántica). *"However, the term has a broader meaning that recognizes the application of similar transformations and recasting techniques in reshaping data models, design plans, and requirements structures. Data normalization, for example, is a data-to-data restructuring transform to improve a logical data model in the database design process. (...) Many types of restructuring can be performed with a knowledge of structural form but without an understanding of meaning."*<sup>48</sup>

#### **4.7. REENGINEERING**

"La reingeniería es el examen y la modificación de un sistema a reconstituir en una nueva forma y la posterior implementación de la nueva forma. Generalmente incluye alguna forma de ingeniería inversa (para lograr una descripción más abstracta), seguida de algún tipo de reestructuración. Esto puede incluir modificaciones con respecto a nuevos requisitos no cubiertos por el sistema original".<sup>49</sup> "La reingeniería es la continuación natural de la ingeniería inversa, fuera de la mera copia o replica de un original, y consideramos que el re diseño entendido en este sentido debe substituir las nociones de re funcionalización por tratarse de una noción que lleva implícita necesariamente un proceso de comprensión previa del sistema a ser rediseñado".<sup>50</sup>

#### **4.8. REVERSING DESIGN**

" El proceso de invertir el diseño, retro proyectar el proyecto, que a su vez contiene una serie de subprocesos, se encuentra caracterizado por el uso de referentes disciplinares (casos modelo) o analógicos (el pensamiento basado en analogías es clave dentro de los procesos de inferencias creativas), así como por el uso de la re-representación o traducción entre representaciones (intersemióticas e intrasemióticas)".<sup>51</sup>

"El razonamiento cumple un rol fundamental en el proceso de deconstrucción proyectual. Este rol se encuentra principalmente localizado

---

<sup>46</sup> Flores, Pepa. "Ingeniería inversa y prototipado". ([https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA\\_INVERSA\\_Y\\_PROTOTIPADO](https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA_INVERSA_Y_PROTOTIPADO)).

<sup>47</sup> Flores, Pepa. "Ingeniería inversa y prototipado". ([https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA\\_INVERSA\\_Y\\_PROTOTIPADO](https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA_INVERSA_Y_PROTOTIPADO)).

<sup>48</sup> Chikofsky y Cross, "Design Recovery".1990.

<sup>49</sup> Chikofsky y Cross, "Design Recovery".1990.

<sup>50</sup> Flores, Pepa. "Ingeniería inversa y prototipado". ([https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA\\_INVERSA\\_Y\\_PROTOTIPADO](https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA_INVERSA_Y_PROTOTIPADO)).

<sup>51</sup> Flores, Pepa. "Ingeniería inversa y prototipado". ([https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA\\_INVERSA\\_Y\\_PROTOTIPADO](https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA_INVERSA_Y_PROTOTIPADO)).

en la elaboración de las hipótesis particulares y generales sobre la serie de decisiones proyectuales que permitan a su vez la elaboración de hipótesis procedimentales sobre los métodos o estrategias proyectuales utilizados. De todos modos, cabe aclarar que estas inferencias se sostienen siempre en representaciones, que a su vez se sostienen en sistemas de signos, con los cual hay un aspecto semiótico representacional intrínseco e ineludible, que por otro lado constituye la característica fundamental del proceso de diseño. El proceso proyectual cumple una función determinante, en el proceso de reverse design, si bien se presentan razonamientos deductivos e inductivos, el rol que cumple es clave para entender el proceso de construcción y establecimiento de hipótesis que sostienen el trazado genealógico. Se busca de tal modo una mejor comprensión y definición del proceso de reverse design para poder de este modo tener mayor control al aplicarlo como instrumento de investigación".<sup>52</sup>

"El proceso proyectual, entendido como anticipación futura, de carácter propositivo y no explicativo, necesita de la elaboración constante de sus propias reglas y requerimientos, es decir que el proceso proyectual no responde a los requerimientos sino los elabora, estas proposiciones hacen necesario el estudio interpretativo de sus componentes específicos y contextuales, marco en el cual el reverse design se torna una herramienta de análisis crítico, más que descriptivo, más aún si se entiende al objeto resultante del proceso proyectual, el Proyecto, como una consecuencia de un proceso de elaboración interna: intratexto y una externa: contexto, que inciden de manera directa y permanente, y no sólo como un conjunto de factores externos a ser tomados en cuenta".<sup>53</sup>

"Como proceso proyectual en sí mismo el reverse design ha permitido trabajar el proyecto de una manera técnica fragmentada, invitando a la operación, con libertad e independencia, de los distintos componentes; estos son tratados de manera individual y recompuestos en una nueva relación (Muñoz Cosme, 2008), que articula este con otras operaciones de investigación de las formas resultantes de los proyectos.

## ESPACIO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

---

<sup>52</sup> Flores, Pepa. "Ingeniería inversa y prototipado". ([https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA\\_INVERSA\\_Y\\_PROTOTIPADO](https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA_INVERSA_Y_PROTOTIPADO)).

<sup>53</sup> Flores, Pepa. "Ingeniería inversa y prototipado". ([https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA\\_INVERSA\\_Y\\_PROTOTIPADO](https://www.academia.edu/7917383/INGENIER%C3%8DA_INVERSA_Y_PROTOTIPADO)).

## 5. METODOLOGÍA

El método que se aplicó para el desarrollo del proyecto investigativo y de análisis, fue la recolección de información con su respectiva retroalimentación y evaluación, esto se llevó a cabo mediante cuatro fases de las cuales se constituían por tareas y estas a su vez en planes de ejecución. En pocas palabras una aplicación del método científico.

### **Fase 1:**

Identificación y complementación formatos que existen relacionados a procesos de ingeniería inversa dentro de los laboratorios de ingeniería en CIAC.

- 1.1 Se generó criterio evaluativo de formatos.
- 1.2 Se buscó información relacionada al proceso.
- 1.3 Se evaluó la información existente dentro de los formatos.
- 1.4 Se complementó la información de los formatos.
- 1.5 Se crearon formatos que se requieran para complementar toda la estandarización.
- 1.6 Se Crearon nombres claves a los formatos nuevos.

### **Fase 2:**

Elaboración de un diagrama de flujo para el personal del laboratorio de ingeniería.

- 2.1 Se Identificó los procesos que se requieren para la ingeniería inversa.
- 2.2 Se reunió la información para variables de dimensionamiento, composición y características.
- 2.3 Se buscó e Implementó normativas que aplica a cada proceso de los diferentes componentes.
- 2.4 Se organizó la información.
- 2.5 Se elaboró el diagrama de flujo.

### **Fase 3:**

Creación de protocolo de ingeniería inversa para los laboratorios de CIAC.

- 3.1 Se creó esquema para estudio del objeto que se va a recrear.
- 3.2 Se explicó el procedimiento para estudio del objeto.
- 3.3 Se creó un esquema para el levantamiento dimensional de modelos pequeños.
- 3.4 Se creó un esquema para levantamiento dimensional de modelos grandes.
- 3.5 Se explicó el procedimiento para levantamientos dimensionales.
- 3.6 Se creó un esquema de los programas que se implementarían en el protocolo.
- 3.7 Se explicó el uso de los programas.
- 3.8 Se Implementaron del PDR y del CDR.
- 3.9 Se explicó procedimiento para diligenciar el PDR y el CDR.
- 3.10 Se reunió y condensó toda la información.
- 3.11 Se creó el protocolo.

### **Fase 4:**

Evaluación del protocolo en el Panel Bell 212.

- 4.1 Se creó el esquema de revisión.
- 4.2 Se explicó el procedimiento que se calificará.
- 4.3 Se evaluó los puntos existentes y se asignaron valores de calificación.

- 4.4 Se retroalimentó la información existente.
- 4.5 Se analizaron los procesos encontrados.
- 4.6 Se evidenció la evaluación.
- 4.7 Se concluyó la evaluación del proyecto.

**ESPACIO INTENCIONALMENTE EN BLANCO**

## **6. CAPÍTULO I IDENTIFICACIÓN Y COMPLEMENTACIÓN DE FORMATOS EXISTENTES.**

En la primera fase del protocolo de ingeniería inversa se trazó el propósito de identificar y complementar los formatos que se encontraban dentro de los laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC. La revisión de formatos se enfocó a determinar qué información contenía cada uno ellos generando un criterio evaluativo, posteriormente se llevó a cabo una rigurosa verificación sistemática para determinar si cada formato debía o no ser complementado. Se evidencio algunas falencias en cierto tipo de formatos, la revisión sistemática permitió establecer que algunos formatos eran inexistentes, por lo cual se procedió a su diseño y elaboración permitiendo así establecer el proceso, y estandarizar el denominado **REP** por sus siglas en inglés (*Reverse Engineering Process*), para que al culminar se logre una nomenclatura que permita un reconocimiento dentro del diagrama de flujo general que se plasmo al finalizar.

### **6.1 Criterio evaluativo de formatos existentes.**

Se realizo una lista de requerimientos que se debieron considerar dentro de la compañía y se nombraron los formatos existentes del proceso de ingeniería inversa con los que contaron los laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC y las características que cumplieron en este proceso.

Estos criterios no estaban sujetos a modificaciones de acuerdo a la información hallada en el proceso, muchos de estos ítems fueron parte del cronograma de procesos aplicados. Con la idea principal de ser analizados minuciosamente para así determinar su importancia en los formatos.

A continuación de tres grandes tareas de las cuales se desglosaron criterios evaluativos que deberán ser evidenciados en los formatos.

- **Levantamiento de la información inicial.**

El propósito de realizar una recolección de información inicial es: conocer el componente, los estudios y análisis que se realizaron, procedimientos de mantenimiento, casa fabricante y su respectiva normativa. Finalizada la recolección se procedió a iniciar el análisis de la información obtenida.

El criterio evaluativo de este formato estuvo relacionado con los datos necesarios en su contenido de los cuales la recopilación organizada debió llevar una clasificación, estos fueron los siguientes:

- Título
- Propósito
- Fecha de aplicación
- Revisión
- Numeración de página
- Nombre de la empresa
- Datos del solicitante
- Información de dimensionamiento geométrico.
- Información de materiales utilizados para la fabricación del componente.
- Información de las propiedades mecánicas, físicas y químicas que hacen parte del componente.

- Información de ensamble del componente.
  - Información de ubicación dentro de la estructura.
- **Dimensionamiento geométrico.**  
Un dimensionamiento geométrico, permite la caracterización de todo lo que constituye un objeto o componente de forma geométrica y su configuración dentro de la aeronave.  
En este criterio se especifico el tipo de información que debía contener el formato, por lo cual se llevo a la siguiente lista de ítems:

- Título
- Propósito
- Fecha de aplicación
- Revisión
- Numeración de página
- Nombre de la empresa
- Condiciones de la pieza
- Control de las condiciones iniciales
- Equipos
- Puntos de medición
- Rango de tolerancias
- Análisis de datos.
- Toma de los datos.
- Informe final
- Cumplimiento

- **Caracterización de materiales.**  
La manera de conocer las características físicas, químicas y mecánicas que conforman un objeto o componente, es organizando los datos que son obtenidos por medio de estudios o por las fuentes de información, de este modo permite un conocimiento general y previo de la documentación mediante un formato.  
De este criterio se desglosaron factores esenciales en su contenido, los cuales consisten en:

- Título
- Propósito
- Fecha de aplicación
- Revisión
- Numeración de página
- Nombre de la empresa
- Información de las pruebas
- Resultados obtenidos
- Nombre de quien lo realiza
- Nombre de quien lo aprueba

## **6.2 Formatos e información relacionada.**

Se proporcionó por parte de los laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC, toda la información y formatos que estuvieron relacionados, que tienen un fin específico en la ingeniería inversa y en procesos similares que se realizan dentro de la compañía. La información hallada hace referencia al levantamiento dimensional de forma convencional, es decir

utilizando metrología convencional y una matriz de pruebas de laboratorio que se realizaban en los laboratorios de la compañía, con su respectiva normativa de estandarización para materiales compuestos y metálicos.

En el levantamiento dimensional se encontraron tres formatos, el primero hace referencia al procedimiento de metrología convencional, es conocido como **MET-CIAC-01 versión 03**, este formato contiene un instructivo para el diligenciamiento de los otro dos formatos llamados **MET-CIAC-02** y **MET-CIAC-03 versión 03**. De los cuales se pueden ver en la Imagen 1, el encabezado y su respectivo final del documento suministrado originalmente en modo digital. Estos formatos tienen como objetivo un informe y unos anexos que facilitan el trabajo de quien lo requiera.

**NOTA ACLARATORIA:** Por motivos de confidencialidad por parte de la compañía CIAC no estuvo permitido la divulgación completa del contenido de formatos e información suministrada por parte de ellos.

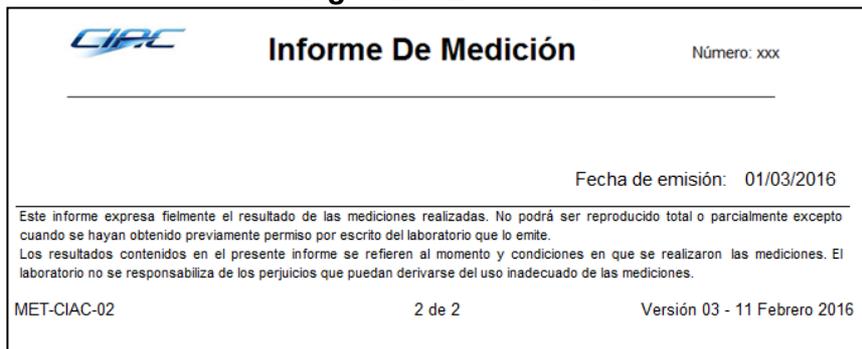
**Imagen 1. MET-CIAC-01.**

		<b>CORPORACIÓN DE LA INDUSTRIA AERONÁUTICA COLOMBIANA</b>	
<small>LABORATORIO DE INGENIERÍA</small>			
<b>DOCUMENTO NRO.:</b> <b>MET-CIAC-01</b>	<b>REVISIÓN:</b> 03	<b>FECHA:</b> 11 Febrero 2016	<b>PAGINA:</b> 8 de 8
<b>Título:</b> Procedimiento Para Metrología			
<b>CUMPLIMIENTO</b>			
1. El procedimiento realizado cumple con las características requeridas.			
CUMPLE: _____ NO CUMPLE: _____			
2. Procedimiento Elaborado por:			
_____ <b>Nombre:</b> <b>Cargo:</b>			
3. Procedimiento Aprobado por:			
_____ <b>Nombre:</b> <b>Cargo:</b>			

**Fuente:** Laboratorios de ingeniería de CIAC.

El **MET-CIAC-02** versión 03 (informe final de medición), contiene la información final de los datos previamente diligenciados en el **MET-CIAC-03**. Se puede observar en la imagen 2. Su respectivo encabezado y fin de documento suministrado por el documento original en modo digital.

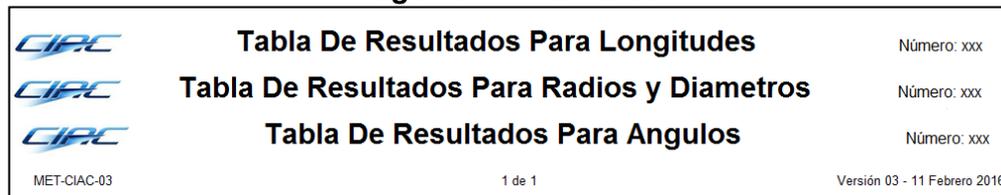
**Imagen 2. MET-CIAC-02**



**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería de CIAC.

El **MET-CIAC-03 versión 03** reunía la tabla de resultados de mediciones de ángulos, longitudes y diámetros. En la imagen 3 se puede ver los encabezados y pie de página del formato.

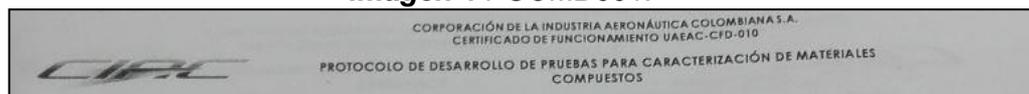
**Imagen 3 MET-CIAC-03**



**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería de CIAC.

Por último, el listado de pruebas de caracterización de materiales compuestos **PCOMD001**, se encontró la información de las pruebas, su código, la normativa estándar y las propiedades que se obtuvieron ante el ensayo. Podemos ver el encabezado en la imagen 4.

**Imagen 4 PCOMD001.**



**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería de CIAC.

### **6.3 Evaluación de la información existente.**

Para la evaluación de la información existente dentro de los formatos se tuvo en cuenta los criterios de evaluación planteados anteriormente en el numeral seis punto uno (6.1) para ello se creó un checklist que determino si los formatos contienen todos los criterios planteados y adicionalmente, se estudio la información que se solicitaba.

#### **6.3.1 Checklist criterio evaluativo de formatos.**

Según la información suministrada en los formatos MET-CIAC 01, MET-CIAC 02 y MET-CIAC 03 dentro de los laboratorios de Ingeniería de la compañía CIAC, se determino el contenido de forma detallada:

### 6.3.1.1 MET-CIAC 01.

ÍTEMS	CUENTA	NO CUENTA
• Título		
• Propósito		
• Fecha de aplicación		
• Revisión		
• Numeración de página		
• Nombre de la empresa		
• Condiciones de la pieza		
• Parte numero		
• Serie numero		
• Nombre del fabricante		
• Estado físico (deformación, <i>crack</i> , <i>dent</i> , entre otros)		
• Trazabilidad de la pieza		
Control de las condiciones iniciales		
• Factores superficiales		
• Observaciones geométricas		
• Limpieza preliminar		
• Condiciones ambientales		
• Determinación de unidades de medida		
Equipos		
• Determinación de herramientas		
• Registro de las herramientas utilizadas (registro de calibración)		
• Limpieza de la herramienta utilizada		
• Estado físico de las herramientas		
• Determinar valores de incertidumbre		
Puntos de medición		
• Determinar la cantidad de mediciones (mínimo 4)		
• Determinar las mediciones relevantes (Espesores, Longitudes, Ángulos, Diámetros, Redondeos, Chafilanes y Radios)		
• Generar listados de referencia de los puntos.		
• Establecer un plano de la pieza y puntos (establecer cotas)		
Rango de tolerancias		
• Tolerancias de diseño (si el fabricante no suministra la información no tener en cuenta).		
Toma de los datos.		
• Realizar la toma de datos establecidas anteriormente.		
• Consignar los resultados en la tabla (tomar en cuenta el plano ya planteado)		
Análisis de datos.		
• Implementar fórmulas de: Desviación estándar, Incertidumbre de repetición, Incertidumbre de calibración, Incertidumbre de temperatura, Incertidumbre de resolución, Incertidumbre combinada, Incertidumbre expandida.		
• Actualización de los resultados según instrumentos		
Informe final		
• Descripción del elemento		
• Nombre		
• Parte Número (P/N)		
• Serie Número (S/N)*		
• Aeronave (Si aplica)		
• Posición del elemento (Si aplica).		
• Matrícula (Si aplica)		
• Consignación de los nombres y firmas de las personas responsables		
• Responsable de la medición.		
• Responsable que Aprueba.		
• Método de obtención de los datos ( directa, indirecta, sustitución y comparación)		
• Certificados de calibración		
• Trazabilidad de los equipos		
• Fecha de control de la medición		
• Consignación de los resultados de las mediciones		
Cumplimiento		
• Criterio de cumplimiento		
• Nombre y cargo de la persona que realizó el procedimiento		
• Nombre y cargo de la persona que aprobó el procedimiento		

**Tabla 1 .Chequeo de cumplimiento de longitudes del MET-CIAC-01**

**Fuente: Autores**

ESPACIO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

### 6.3.1.2 MET-CIAC 02

ÍTEM	CUENTA	NO CUENTA
Laboratorio	X	
Nombre del elemento	X	
Fabricante	X	
Parte número	X	
Serie número	X	
Material	X	
Solicitante	X	
Aeronave	X	
Matricula	X	
Fecha de recepción	X	
Fecha de medición	X	
Elaborado por	X	
Aprobado por	X	
Temperatura	X	
Humedad relativa	X	
Unidad de medida	X	
Observaciones	X	
Condiciones desfavorables	X	
Alteraciones geométricas	X	
Instrumentos	X	
Descripción	X	
Marca y modelo	X	
Parte número	X	
Serie número	X	
Fecha de vencimiento de la Calibración	X	
Trazabilidad	X	
Método utilizado	X	
Análisis de la medición	X	
Incertidumbre	X	

**Tabla 2.** Chequeo de cumplimiento del MET-CIAC-02

**Fuente:** Autores

ESPACIO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

### 6.3.1.3 MET-CIAC 03

ÍTEMS	CUENTA	NO CUENTA
Nombre		
Fabricante		
P/N		
S/N		
Material		
Fecha		
Cliente		
Aeronave		
Matrícula		
Método		
Temperatura		
Humedad		
Unidad Medida		
Tolerancias		
Espesor		
Longitud		
Ángulos		
Diámetros		
Redondeos		
Chaflanes		
Lecturas		
Ítem		
Promedio		
Desviación estándar		
Instrumentos		
Incertidumbre de repetición		
Incertidumbre de resolución		
Incertidumbre Combinada		
Incertidumbre Expandida		
Incertidumbre de temperatura		
Incertidumbre de calibración		

**Tabla 3.** Chequeo de cumplimiento de longitudes del MET-CIAC-03

**Fuente:** Autores

ESPACIO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

- Tabla de resultados para radios y diámetros

ÍTEM	CUENTA	NO CUENTA
Laboratorio		
Nombre		
Fabricante		
P/N		
S/N		
Material		
Fecha		
Cliente		
Aeronave		
Matrícula		
Método		
Temperatura		
Humedad		
Unidad Medida		
Tolerancias		
Espesor		
Longitud		
Ángulos		
Diámetros		
Redondeos		
Chaflanes		
Lecturas		
Ítem		
Promedio		
Desviación estándar		
Instrumentos		
Incertidumbre de repetición		
Incertidumbre de resolución		
Incertidumbre Combinada		
Incertidumbre Expandida		
Incertidumbre de temperatura		
Incertidumbre de calibración		

**Tabla 4.** Chequeo de cumplimiento de radios y diámetros del MET-CIAC03

**Fuente:** Autores

- Tabla de resultados para ángulos

ÍTEMS	CUENTA	NO CUENTA
Nombre		
Fabricante		
P/N		
S/N		
Material		
Fecha		
Cliente		
Aeronave		
Matrícula		
Método		
Temperatura		
Humedad		
Unidad Medida		
Tolerancias		
Espesor		
Longitud		
Ángulos		
Diámetros		
Redondeos		
Chaflanes		
Lecturas		
Ítem		
Promedio		
Desviación estándar		
Instrumentos		
Incertidumbre de repetición		
Incertidumbre de resolución		
Incertidumbre Combinada		
Incertidumbre Expandida		
Incertidumbre de temperatura		
Incertidumbre de calibración		

**Tabla 5.** Chequeo de cumplimiento de ángulos del MET-CIAC-03

**Fuente:** Autores

#### **6.4 Complementación de la información de los formatos.**

De acuerdo con la información que se encontró en el checklist del ítem seis punto tres punto uno (6.3.1), se determinó que los formatos con los que cuenta los laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC no requerían de una complementación ya que contienen la información necesaria para que el protocolo de ingeniería inversa sea flexible y de fácil diligenciamiento, además de reunir la información pertinente de manera precisa y objetiva. El flujo de información permite que los formatos tengan datos relevantes y

concretos de los procesos, por ello el análisis nos revela que no necesita cambios en el contenido. Estos formatos sirvieron como una guía para la creación de los nuevos, así se garantizó una estandarización en la presentación general.

**6.5 Creación de formatos faltantes.**

El criterio evaluativo que se generó con el fin de seguir las consideraciones nombradas en el numeral seis punto uno (6.1), estructuro el proceso de ingeniería inversa en tres ramas: Levantamiento de información inicial, dimensionamiento geométrico y caracterización de materiales, las cuales se entrelazaron y complementaron entre sí, proporcionando una guía de los requerimientos que se necesitan obtener. Para esto se conto con lo hallado en el numeral seis punto dos (6.2), lo cual fue previamente evaluado en el numeral seis punto tres (6.3) y complementado en el numeral seis punto cuatro (6.4).

Según los formatos encontrados en los laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC, los cuales son utilizados para la realización del proceso de ingeniería inversa, se evidencio que faltaban formatos de estandarización para las siguientes actividades:

- **Registro de entrada del componente**

*Imagen 5. Encabezado Registro de Entrada*



**Fuente:** Autores

*Imagen 6. Final Registro de Entrada*

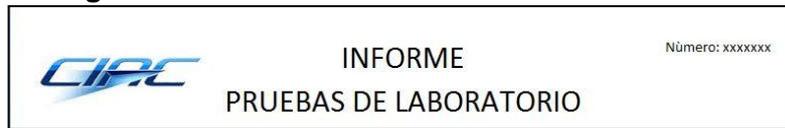
REALIZADO POR	APROBADO POR
NOMBRE:	NOMBRE:
CARGO:	CARGO:
FIN REPROTE CIAC-RE-01	

**Fuente:** Autores

El formato visualizado en las imágenes cinco (5) y seis (6), las cuales son recortes digitales del documento original reposado en los laboratorios, reúne datos del levantamiento de información inicial donde se recolecto todo lo relacionado con el componente. Estos datos fueron sustentados en: El dimensionamiento geométrico, caracterización de los materiales utilizados para la fabricación del componente, propiedades mecánicas, físicas y químicas que hacen parte del componente, configuración del componente, ubicación dentro de la estructura y datos proporcionados por el cliente o fabricante.

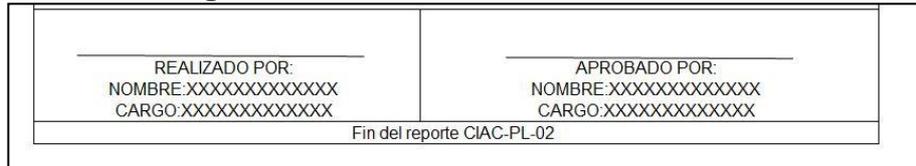
- **Informe pruebas de laboratorio.**

**Imagen 7.** Encabezado Informe Pruebas de Laboratorio



**Fuente:** Autores

**Imagen 8.** Final Informe Pruebas de Laboratorio



**Fuente:** Autores

El formato visualizado en las imágenes siete (7) y ocho (8) las cuales son recortes digitales del documento original reposado en los laboratorios, reúne toda la información relacionada con las pruebas de laboratorio aplicadas para el proceso de caracterización de los materiales que conforman el objeto o componente, y así se determino las pruebas físicas, químicas y mecánicas que se requerirán y al final debe ser anexados los informes de resultados de forma organizada.

- **Informe final**

El informe final es una compilación de toda la información obtenida a lo largo de la ejecución de la ingeniería inversa, el objetivo del informe final es llegar a una caracterización completa del componente, para esto se requiere de un formato (ver anexo C).

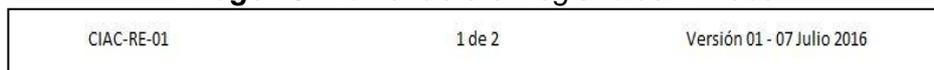
**5.6 Consecutivo de los nuevos formatos.**

Dentro de una organización se generan nomenclaturas que permitan un reconocimiento del contenido, relacionando la información con su respectivo título, por ende, para una facilitación en cuanto a su nombramiento, se implementan nombres referentes.

Para la creación de la nomenclatura de los nuevos formatos se tomó como ejemplo el formato **MET-CIAC 02 Versión 03**. Obteniendo como resultado los siguientes nombramientos.

- **Registro de entrada**

**Imagen 9.** Nomenclatura Registro de Entrada



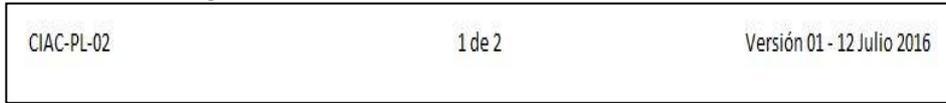
**Fuente:** Autores

Identificado mediante el nombre **CIAC-RE-01**, visualizada en la imagen nueve (9), la cual es el pie de página del registro de entrada del recorte digitalizado del documento original reposado en los laboratorios de

ingeniería de la compañía CIAC, es una nomenclatura que reúne las características del contenido del formato.

- **Pruebas de laboratorio**

***Imagen 10. Nomenclatura Pruebas de Laboratorio***



**Fuente:** Autores

Identificado con el nombre **CIAC-PL-02**, visualizada en la imagen diez (10), la cual es el pie de imagen del informe pruebas de laboratorio como recorte digital del documento original reposado en los laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC, es una nomenclatura que reúne el contenido del formato.

A continuación, en el capítulo dos (II) se realizará la explicación de cómo se realizó la elaboración del diagrama de flujo.

**ESPACIO INTENCIONALMENTE EN BLANCO**

## **7. CAPITULO II ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO**

El propósito en la segunda fase del protocolo, es generar un diagrama de flujo general de forma resumida del proceso que se debe realizar en una ingeniería inversa. Para esto se realizó la compilación de actividades, como la identificación de los procesos que se requiere para la recopilación de información en las variables de dimensionamiento geométrico, búsqueda y aplicación de las normativas de cada proceso de los cuales desglosa el protocolo es decir, una organización de la información. Todo con el fin de resumir las relaciones o las dependencias existentes en cada fase, las cuales reunieron todos los recursos confiables, datos oportunos y completos para ser ilustrados al finalizar el capítulo.

### ***7.1. Identificación procesos para la ingeniería inversa.***

En esta identificación se requirió generar una idea macro de los procesos que se ejecutaron, de acuerdo a los criterios del capítulo uno (I), se generaron grupos de los procesos. Para así llegar a una identificación de los parámetros conocidos previamente, como la búsqueda de toda la información que se relacionaba en el proceso. Esto tuvo un enfoque hacia la ingeniería inversa ya que a través de este procedimiento se llegó al razonamiento de la función y las características de los materiales que conforman un componente, para su posible réplica o mejora.

Se estructuró en cuatro capítulos, de los cuales la recolección de información del componente permitió un conocimiento físico estructural, es una de las fases de mayor importancia, puesto de este conocimiento se desprendieron dos ramas: La primera fue obtener toda la información del dimensionamiento geométrico, la segunda fue de los materiales utilizados para la fabricación, las propiedades mecánicas, químicas y físicas, la ubicación en la estructura y su configuración. Si estos parámetros no se tienen se debía utilizar otra manera de recolección de información, la cual es por medio de un dimensionamiento geométrico, pruebas de laboratorio y por último un informe que explique y analice cómo está constituido el componente.

Por ende, se llegó a la conclusión de cuatro procesos:

- Levantamiento de la información inicial
- Dimensionamiento geométrico
- Pruebas de laboratorio
- Reporte final

### ***7.2. Proceso recolección de datos.***

Para la recolección de datos se planteó el siguiente proceso que se puede visualizar en la imagen once (11), donde las siguientes fuentes (Información suministrada por el cliente, ficha técnica del componente, ficha técnica de las materias primas, manuales relacionados, requerimientos técnicos del cliente, artículos y/o revistas relacionadas e investigaciones ligadas al proceso), son esenciales al momento de describir la funcionalidad operacional y las características del componente. Esto permitió una recolección de información previa al conocimiento de los

datos que en el proceso pueden ser utilizados. En el documento redactado para la compañía **CIAC**, se ingreso toda aquella información de la que se tuvo acceso, además de todos los factores que se debieron tener en cuenta como lo son: El cliente y los proveedores, con respecto a la caracterización de un objeto o componente.

A continuación, se realizo una descripción de cada fuente de información y el propósito de cada una de estas.

**Imagen 11.**Procedimiento Recolección de Datos



**Fuente:** Autores

### **7.2.1 Verificación Normativa.**

La verificación de la normativa es la determinación que se fue empleando para el levantamiento dimensional y las pruebas de laboratorio, con el propósito de realizar una correcta implementación y ejecución de las tareas necesarias para esto se tuvieron como ejemplo las siguientes normativas:

Las normas ASTM, "es la mayor organización científica y técnica para el establecimiento y la difusión de normas relativas a las características y prestaciones de materiales, productos, sistemas y servicios, en ella se encuentra más de 12,575 normas y publicaciones acerca de procedimientos que se deben de realizar al momento de aplicar una

prueba de laboratorio, estas normas se clasifican de acuerdo al tipo de material que tenga el componente o elemento a estudiar".<sup>54</sup>

Las normas ICONTEC, "Es el Organismo Nacional de Normalización de Colombia. Entre sus labores se destaca la creación de normas técnicas y la certificación de normas de calidad para empresas y actividades profesionales. ICONTEC es el representante de la (ISO), en este caso estas normas son utilizadas para la calibración de las herramientas utilizadas en la medición del componente o elemento y para la certificación de los laboratorios en los que se ejecute las mediciones y las pruebas de laboratorio".<sup>55</sup>

### **7.2.2 Manuales Relacionados.**

Para desarrollar el proceso de la recolección de datos es de vital importancia tener en cuenta los manuales que estén relacionados o apliquen al componente al cual se le esté aplicando un proceso de ingeniería inversa, ya que es una fuente primaria de información respecto a materiales, proceso de mantenimiento, causas de fallo del componente (troubleshooting). En la aeronáutica se cuenta con los siguientes manuales:

- Aircraft Maintenance Manual
- Illustrated Parts Catalogue
- Fault Isolation Manual
- Structural Repair Manual
- System Schematic Manual
- Standard Wiring Practice Manual
- Wiring Diagram Manual
- Flight Aircraft Manual

### **7.2.3 Revistas o Artículos Relacionados.**

Son fuentes de información, las revistas y/o artículos relacionados con estudios e investigaciones del componente a estudiar, para dar una información vigente estas revistas y/o artículos no deben tener una fecha de publicación mayor a 5 años.

Para el levantamiento de información no solo se conto la descripción del componente, sino que también se integro una caracterización física de acuerdo a su estructura. Por ende, se planteo un levantamiento de información inicial, la cual se puede visualizar en la imagen doce (12) y se subdividió en: Levantamiento dimensional, donde se reunía toda información respecto al dimensionamiento geométrico y la caracterización de materiales por medio de pruebas químicas y mecánicas. Para profundizar el estudio del componente se aplico una serie de análisis de elementos finitos el cual se clasificaron respectivamente de acuerdo al propósito que tenga respecto el tipo de estudio que se requiera aplicar y a la localización que tenga el componente en la estructura de la aeronave. Estos análisis se evaluaran de acuerdo al propósito que cumple dentro de la estructura del protocolo.

---

<sup>54</sup> Página oficial ASTM Definiciones ([www.astm.org](http://www.astm.org))

<sup>55</sup> Página oficial normas icontec Definiciones ([www.icontec.org](http://www.icontec.org))

Por medio de la recolección de los datos de entrada, levantamiento dimensional y las pruebas de laboratorio, se procede a determinar y describir el proceso de fabricación que tiene el componente y se culmina con la obtención de los resultados para una viabilidad técnica y económica para una posible fabricación.

### ***7.3. Normativas que apliquen en el protocolo.***

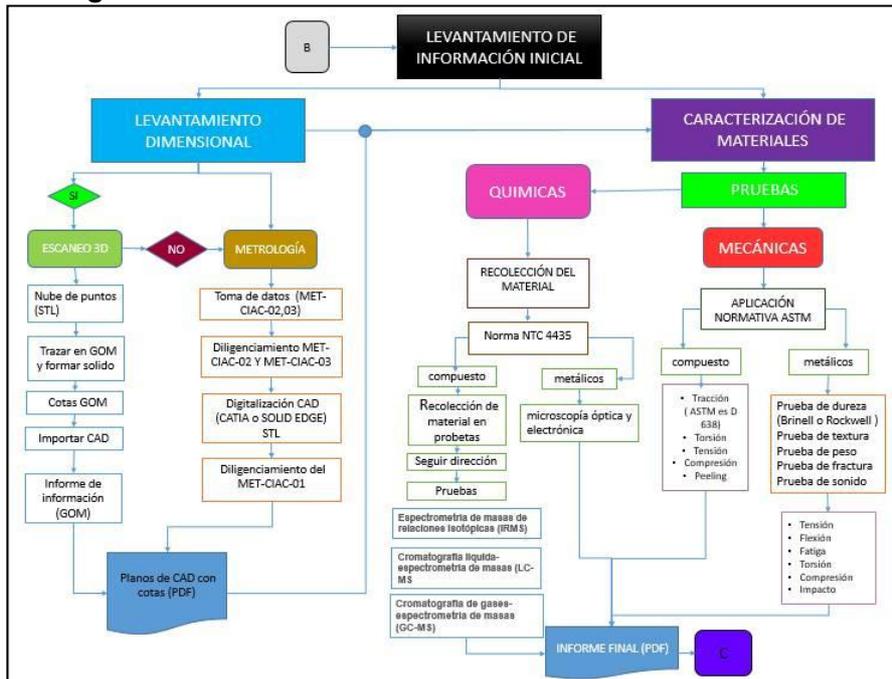
Para la implementación, fue necesario determinar el tipo de normativa existente que hacen parte del proceso de ingeniería inversa. La aplicación de estas normas tuvo como requerimiento un conocimiento previo del tipo del material que contenía el componente, a través de esta información se determino el tipo de pruebas y procedimientos a ejecutar.

El siguiente diagrama de proceso fue realizado con el fin de dar a conocer diferentes ramas y tipos de pruebas que se pueden realizar a un componente, dispuestas en la imagen doce (12), también se puede apreciar el proceso de dimensionamiento geométrico y la subdivisión de las pruebas en materiales metálicos y compuestos, asumiendo de este modo lo que hacía parte de componentes aeronáuticos, pero estos pueden variar según evolucione la industria.

Las especificaciones de las normas aplicadas se realizaron a través de la necesidad que se tuviera, en el caso de pruebas mecánicas, físicas y químicas. La normativa varía de manera significativa, pero se reconoce un debido proceso del reconocimiento de la norma NTC 4435 que corresponde a la hoja de datos de seguridad para materiales. El proceso de ingeniería inversa requiere de cortes en el componente para ser llevados a pruebas de laboratorio, este proceso necesita regirse de normas en su implementación. Las normas SAE, sirven para la identificación de los aceros y las normas ASTM para diferentes tipos de polímeros en nuestro caso para materiales compuestos.

**ESPACIO INTENCIONALMENTE EN BLANCO**

**Imagen 12. Procedimiento Levantamiento de Información Inicial**



Fuente: Autores

#### 7.4. Organización la información.

La organización de la información es muy importante para la implementación del proceso de ingeniería inversa, ya que a través de esto se puede determinar los pasos necesarios para encontrar información faltante y completar el diagrama de flujo propuesto para este procedimiento, con dicha organización se estandarizan procesos y se usan fuentes primarias y secundarias de información para su respectivo seguimiento.

El proceso que se lleva a cabo para organizar la información es mediante la formación de conjuntos, estos se construyeron por medio de agrupaciones de los pasos a seguir dentro del diagrama de flujo, los cuales son los siguientes:

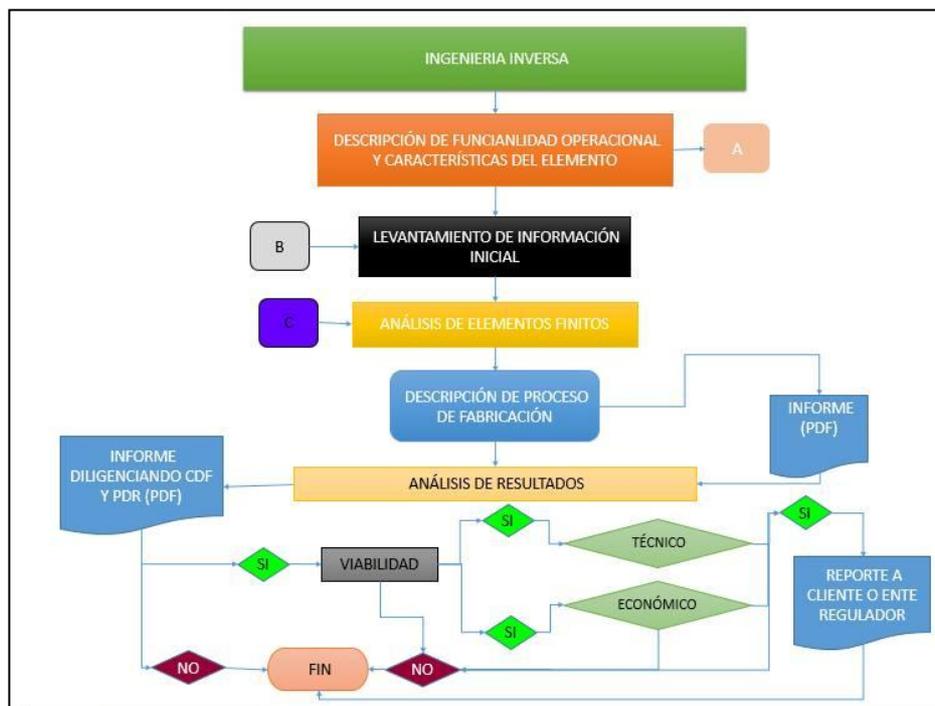
- Descripción de funcionalidad operacional y caracterización del elemento: En dicho conjunto se reúne toda la información del numeral siete punto dos (7.2).
- Levantamiento de información inicial: Este conjunto reúne todo desde un ángulo de caracterización de los materiales y organización de las dimensiones, expuestas en el numeral siete punto dos (7.2)
- Análisis de elemento finitos: Este conjunto reúne todos los análisis posibles para el componente, en el cual se subdivide según requiera la dependencia las cuales pueden ser: Aerodinámicas, estructurales, deformaciones, entre otras. Pero para el proceso de fabricación en el REP dichos análisis serán una alternativa, al momento de generar el CAD del componente.

- Análisis de los resultados: Es la manera de recolectar y condensar la información perteneciente del proceso, en este caso en particular los análisis determinarán la particularidad del componente.
- Reporte final: Dentro de este sistema se recolecta de manera organizada y secuencial los datos de entrada y los datos de salida del proceso, puesto aquí ya se cuenta con la información final del componente y se procede a concluir con un PDR y el CDR los cuales son estándares de certificación del proceso de ingeniería inversa para la regulación FAR.

### 7.5. Elaboración el diagrama de flujo.

Una vez se analice la información recolectada, se procede a una clasificación de lo que hace parte de los diferentes procesos, categorizados en grupos o fases de acuerdo a lo que se considere pertinente. Se aplicaron conjuntos, se identificaron cinco ramas vitales, estas son expuestas en el numeral dos siete cuatro (7.4).

**Imagen 13.**Flujo grama Proceso de Ingeniería Inversa



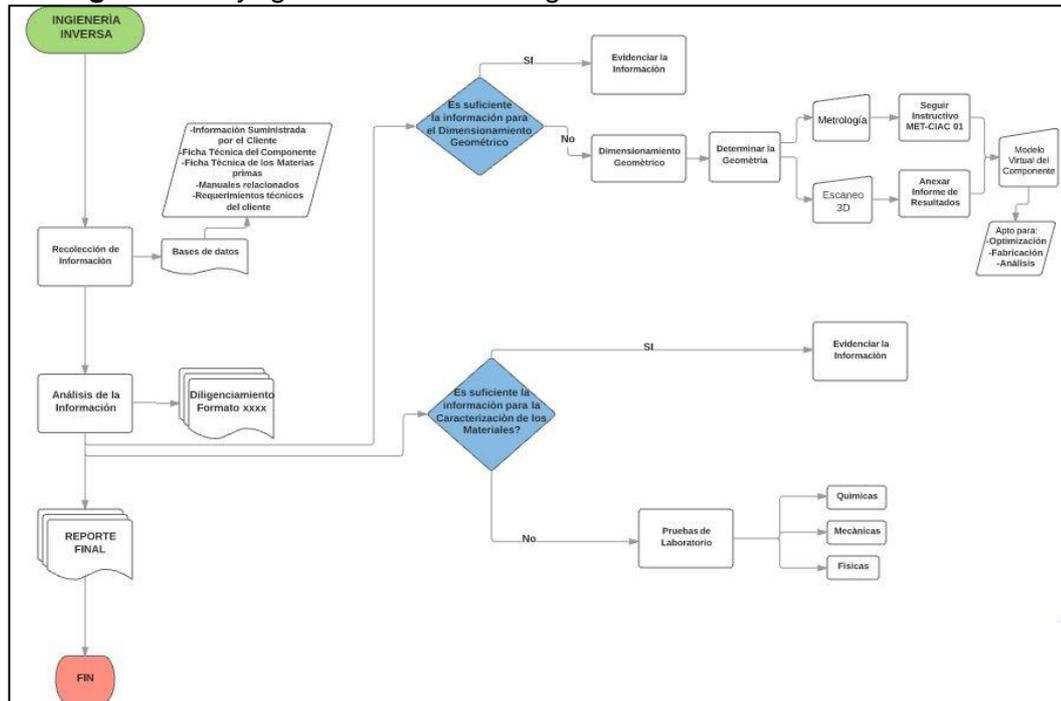
Fuente: Autores

Dentro del flujo grama se nombro el conjunto (A), como la descripción de funcionalidad operacional y características del elemento. Dicha información fue analizada en el numeral siete punto dos (7.2), la cual fue resumida en el proceso de recolección de la información, relacionando las características generales del componente. El segundo conjunto es el (B), conformado por todo lo perteneciente al levantamiento de la información inicial, la cual hace parte el dimensionamiento geométrico y la caracterización de materiales. El tercer conjunto es el (C), relacionado como análisis de elementos finitos el cual toma el CAD obtenido del conjunto (B) por razones de parametrización los resultados obtenidos,

pretendían dar como resultado: Optimización, fabricación y análisis computacional.

El análisis de resultados será compilado dentro del reporte final, en este proceso se retoma todo lo referente a estados físicos y características generales del componente, para contener la capacidad de completar algunos de los requerimientos del PDR y el CDR. En la imagen catorce (14), la cual contiene procesos claves y resumidos de los pasos dentro del proceso del REP.

**Imagen 14. Flujo grama Proceso de Ingeniería Inversa reestructurado.**



Fuente: Autores

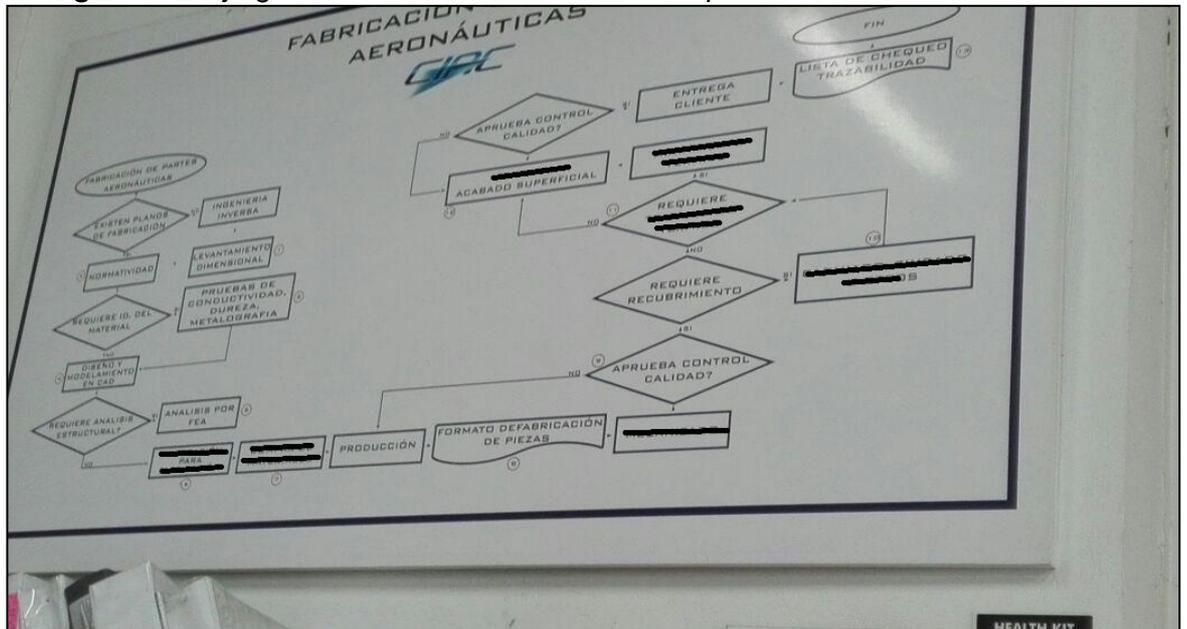
El avance del análisis de los factores que integran el REP se estudiaron en los siguientes parámetros:

- Tener un consecutivo con lo hallado (ver imagen quince (15)) dentro del laboratorio de procesos en la compañía CIAC.
- Analizar la forma de ejecución del proceso REP en los laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC.
- Fuentes de información para la ejecución del REP.
- Disponibilidad de planta, equipo y personal.
- Objetivos que se quieren lograr al finalizar el REP
- Organizar los procesos dentro de un parámetro estandarizado por la compañía.
- Resumir procesos y órdenes de trabajo.

Para la creación de un flujo grama de procesos se requirió estudiar lo previamente estructurado en la compañía, lo cual se visualiza en la imagen quince (15), intencionalmente manipulada por efectos de confidencialidad de la información. La cual es el flujo grama para los "procesos de fabricación de partes aeronáuticas", de esta imagen se desprendió la imagen dieciséis (16), donde se resalto el proceso de ingeniería inversa en

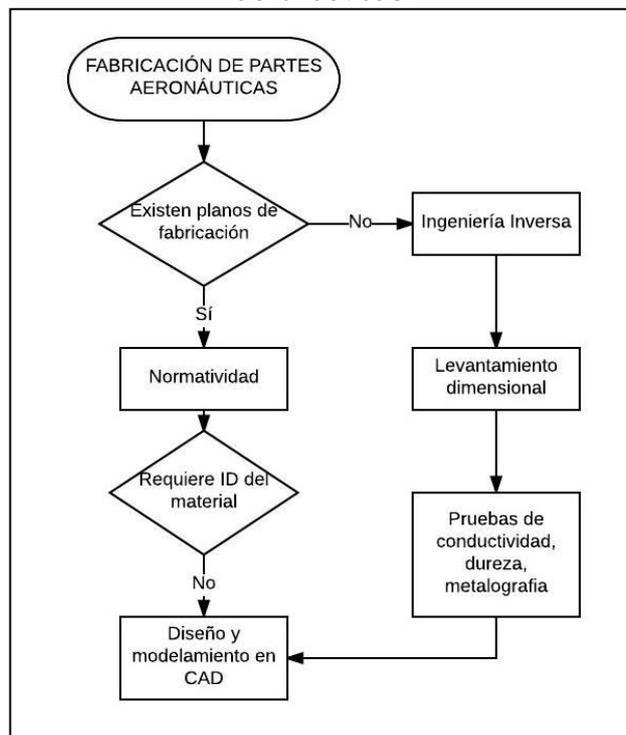
grandes rasgos y es uno de los factores que conformo la estandarización de ingeniería inversa en partes aeronáuticas.

**Imagen 15.** Flujo grama Proceso de Fabricación de partes aeronáuticas.



**Fuente:** Laboratorios de ingeniería compañía CIAC.

**Imagen 16.** Zoom del flujo grama Proceso de Fabricación de partes aeronáuticas.

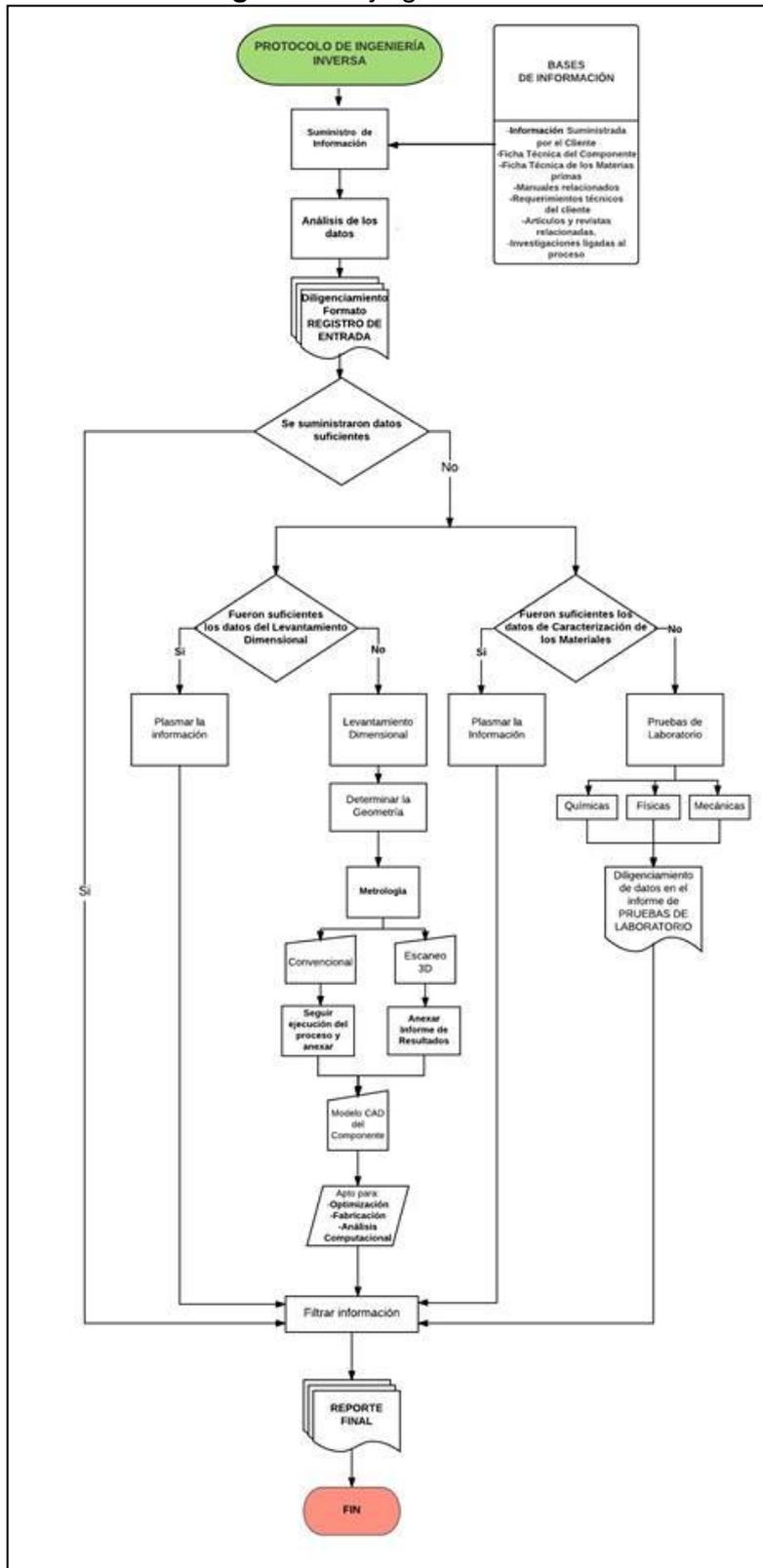


**Fuente:** Laboratorios de ingeniería compañía CIAC.

De la imagen dieciséis (16), se integran al proceso REP: El levantamiento dimensional, la normatividad, los requerimientos de identificación del material, el diseño y modelamiento en CAD. Para obtener como resultado el diagrama de flujo que se puede visualizar en la imagen diecisiete (17), la estandarización del proceso consiste en la ejecución de pasos simples que reúnen la información de gran importancia, para obtener al finalizar el protocolo, un informe final de la constitución del componente.

**ESPACIO INTENCIONALMENTE EN BLANCO**

Imagen 17. Flujo grama del REP



Fuente: Autores.

**Nota:** Se hace aclaración de la imagen diecisiete (17), fue sujeta a modificaciones del contenido gramatical con respecto al que reposa en

## **CIAC.**

La imagen diecisiete (17), se puede visualizar un nuevo flujo grama para el proceso REP, donde se inicia con una recolección de datos proveniente de un base de información establecida por las fuentes de datos utilizadas por los laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC, todo este proceso se registra en el formato **CIAC-RE-01**, este formato fue creado por las tesisistas con el fin de generar un registro de entrada del componente y de la información con la que se cuenta inicialmente para la ejecución del REP. Se procedió a responder los condicionales que se encuentran en el flujo grama. Sí por medio de las fuentes de información se logra tener toda la información que se requiere al finalizar el REP, se recomienda evidenciar de forma organizada dicha información y omitir los procedimientos alternos propuestos en el flujo grama.

Sí se requiere ejecutar los procedimientos alternos. El primero en ejecutarse es el dimensionamiento geométrico y un plano con todas las especificaciones dimensionales del componente. El primer paso para lograrlo es determinar el tipo de geometría que tiene el componente, es decir: El tamaño y el grado de dificultad al momento de tomar las medidas, entre otros. Esto es de gran importancia ya que a partir de este paso se toma la decisión del tipo de metrología que se va aplicar para finalmente obtener un modelo virtual apto para una posible fabricación, replica u optimización. Para así realizar un análisis computacional (túnel de viento, resistencia al impacto, entre otros), para la validación de toda información obtenida en este procedimiento. Es necesario adjuntar al formato las certificaciones de calibración de las herramientas y maquinaria utilizada ya que este será el primer punto de control establecido.

El segundo paso a realizar son las pruebas de laboratorio, para esto se realizó una clasificación de las mismas en tres grandes grupos que son físicas, químicas y mecánicas.

**Físicas:** En este gran grupo podemos encontrar las siguientes pruebas:

- Densidad
- Conductividad
- Resistencia a la adhesión del recubrimiento

**Químicas:** En este gran grupo se encuentran las siguientes pruebas:

- Espectrometría de masas de relaciones isotópicas (IRMS)
- Cromatografía líquida-espectrometría de masas (LC-MS)
- Cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS)

**Mecánicas:** En este grupo se encuentran las siguientes pruebas:

- Tracción
- Torsión
- Flexión
- Compresión
- Fatiga
- Dureza
- Micro dureza
- Metalografía

- Fractografía<sup>56</sup>

Al realizar una selección de las pruebas y obtener los informes de los resultados de cada una de estas, se procedió al diligenciamiento del formato (Pruebas de laboratorio), este formato realiza una compilación parcial de todos los informes de las pruebas de laboratorio aplicadas para la caracterización de los materiales que conforman el componente a estudiar. Para la validez de la información, es necesario adjuntar todos los informes de laboratorio por si se requiere profundizar en las características del material. Este es el segundo punto de control que se estableció en el REP. El tercer paso a realizar es una compilación de la información diligenciada en los formatos y así analizar. Para la obtención de todo lo que sea relevante en el diligenciamiento de un reporte final, el cual se realizó una descripción completa de todas las características del componente.

A continuación, en el capítulo tres (III) se realizó la creación del protocolo REP.

**ESPACIO INTENCIONALMENTE EN BLANCO**

---

<sup>56</sup> Prueba de laboratorio suministrada por Applus. ([http://www.applus.com/es/service/Ensayos\\_de\\_materiales-1340211830055](http://www.applus.com/es/service/Ensayos_de_materiales-1340211830055))

## **8. CAPÍTULO III**

### **CREACIÓN DE PROTOCOLO DE INGENIERÍA INVERSA PARA LOS LABORATORIOS DE CIAC**

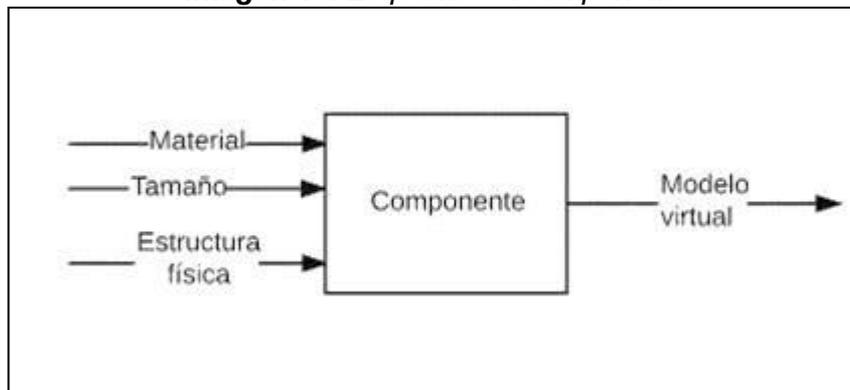
En la tercera fase, el propósito fue establecer todos los esquemas necesarios para el estudio del componente al cual se le aplicará un proceso de REP. Teniendo en cuenta la información recolectada en los dos capítulos anteriores, se generó el procedimiento que se debe seguir, las variables que se tuvieron al momento de ejecutar el protocolo y el enfoque hacia el objetivo final, los resultados esperados al finalizar el procedimiento y por último la creación del protocolo .

Mediante la creación de un contenido que reunió los procesos y las cargas laborales, explicando las tareas y haciendo aclaraciones en puntos que se encuentren de manera macro. Creando esquemas de trabajo para cada una de las fases, generando puntos de referencias para los programas que se pueden utilizar en el proceso, estructurando de manera secuencial los puntos requeridos en el PDR y en el CDR, su manera de diligenciamiento para al finalizar obtener un protocolo que reúna toda la información filtrada mediante el proceso.

#### **8.1 Creación de esquema para estudio del componente.**

Para poder generar un esquema de estudio se contó con los factores que influyen en el componente que se pretende al finalizar tener una réplica en CAD. El proceso de recopilación de información o datos de entrada para el protocolo son fundamentales, pues dan a conocer la funcionalidad, la ubicación y la importancia dentro de una estructura aeronáutica. Por ende, se generó el esquema de la imagen dieciocho (18).

**Imagen 18. Esquema del componente**



**Fuente:** Autores

El estudio del componente desglosado en la imagen dieciocho (18), se obtuvieron una serie de requerimientos los cuales hacen parte del estudio de información especificados en el capítulo dos (II) numeral siete punto dos (7.2).

## **8.2 Explicación del procedimiento para estudio del componente.**

De lo expuesto en el numeral ocho punto uno (8.1) imagen dieciocho (18), se estudiaron los datos que integraron parte del proceso de información, con el fin de darle la importancia requerida al resultado final.

### **Factores entrantes.**

- **Tamaño:** Mediante un estudio de mercado de las maquinas que realizan el trabajo de Escaneo 3D. Se determinaron los tamaños operacionales, sí el tamaño es menor de 20-30 cm el alcance las máquinas podrían variar los datos iniciales. Por ende se recomienda que los tamaños inferiores a 40 cm se debe realizar por medio del método convencional.
- **Material:** Para una clasificación de los materiales que constituyen el componente. Sí no se recolecta la información referente a la caracterización de materiales se omite el proceso. Sí ocurre lo contrario se deberá realizar unas pruebas de laboratorio, estas pruebas van de acuerdo al tipo de material, en aviación estamos regidos por: Metálicos, resinas y compuestos, pero pueden aparecer materiales como: Cerámicos, polietilenos entre otros. La clasificación de estos materiales permiten obtener un listado de pruebas a implementar. Pero a su vez darle opción al cliente de solicitar una optimización del material, por ende se deberán estudiar los factores que permitan cambios físicos, químicos o mecánicos.
- **Estructura física:** Teniendo en cuenta la ubicación o localización dentro de la estructura aeronáutica, se pueden conocer algunas funciones, fuentes de alimentación y pruebas en medios asistidos por computadora.

### **Factores salientes.**

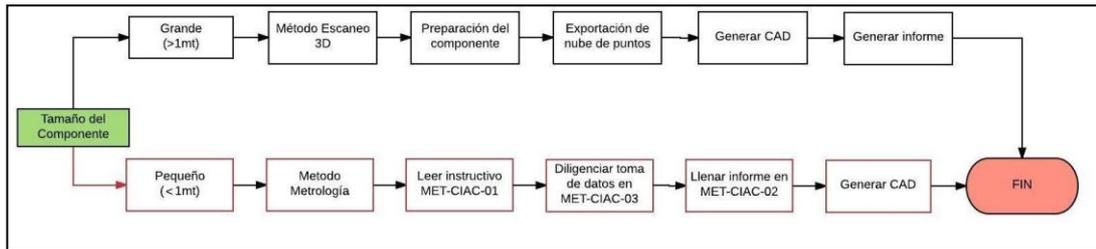
- **Modelo virtual:** Tiene como finalidad una relación a los propósitos útiles que se obtienen en la aplicación de ingeniería inversa. Las cuales son: optimización, fabricación y análisis computacional. Un modelo CAD facilita las pruebas por medios asistidos, los moldes para su posible replica y la aproximación a mejoras.

## **8.3 Creación de esquema para levantamiento dimensional de modelos pequeños.**

Para el levantamiento dimensional en modelos pequeños se toma como punto de partida dos tipos de métodos para el dimensionamiento geométrico: Escaneo 3D y Metrología Convencional.

De estas ramas se estudio la manera en que se acople los factores internos como lo es el tamaño. Los tamaños menores a 40 cm permitieron considerarse pequeños, pero de la misma forma los mayores a 1 m permitieron considerarse grandes. La aplicación de esta técnica es considerando una idea de cómo estaría el componente. Por ende se toma de referencia todo componente aeronáutico previamente sometido a este proceso, determinando si su estructura no es compleja y si tiene un tamaño de 1 m es viable para su aplicación. Como se puede ver en la imagen diecinueve (19), el camino que se encuentra subrayado en rojo.

**Imagen 19. Esquema para un componente pequeño**



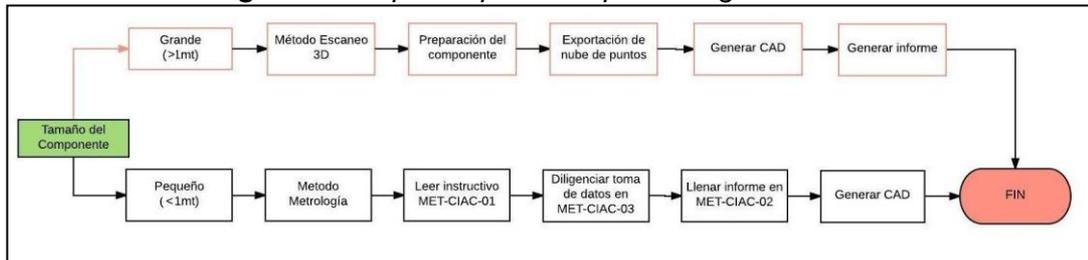
Fuente: Autores

#### **8.4 Creación de esquema para levantamiento dimensional de modelos grandes.**

Para el levantamiento dimensional en modelos grandes, se relacionan los distintos tipos de métodos ya mencionados anteriormente.

De estas ramas la más adecuada es un Escaneo 3D, de acuerdo a un tamaño mayor a 1 m, permite una precisión de lo que se pretende estudiar. Por factores como: Tamaño, tiempo y precisión son los que determinan el procedimiento. En la compañía CIAC esto se terceriza y al culminar se recibe una nube de puntos con su respectivo informe. Al finalizar se obtiene un CAD, lo que se esperaba con este procedimiento, se muestra en la Imagen veinte (20) lo señalado en color rojo.

**Imagen 20. Esquema para componente grande**

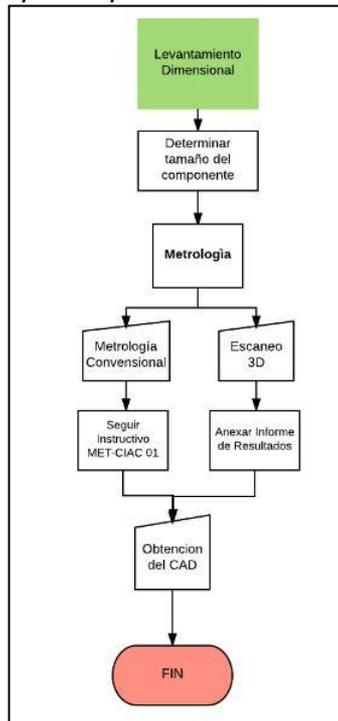


Fuente: Autores

#### **8.5. Explicación del procedimiento para levantamientos dimensionales.**

El procedimiento para el levantamiento dimensional se analiza mediante un esquema que se puede visualizar en la imagen veinte (20) donde se evidencia la diferencia en los pasos que se deben seguir al momento de realizar un escaneo 3D o una metrología convencional, el propósito de tener organizado el procedimiento de un levantamiento dimensional, es permitir al lector dar una idea concreta del trabajo que debe realizar para generar un modelo virtual. Sí el método escogido es un escaneo 3D este es un servicio tercerizado para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos. Sí el método es por metodología convencional lo recomendable es realizarlo en un laboratorio certificado y para la veracidad de los resultado que se obtengan se recomienda anexar al informe de resultados el certificado de calibración de los elementos utilizados para la medición del componente.

**Imagen 21. Esquema para Levantamiento Dimensional**



**Fuente:** Autores

El procedimiento inicia con el tamaño del componente por un análisis realizado en los numerales ocho punto tres (8.3) y el ocho punto cuatro (8.4). Continúa por las opciones para el tipo de Metrología, para obtener un informe de resultados y a través de un software realizar tareas en tiempos cortos y optimización del trabajo, generando como resultado un modelo CAD del componente a duplicar.

### **8.6 Creación de esquema para programas que se implementarían en el protocolo.**

Para la creación de los esquemas de los programas se realizó un filtro de los procesos que requerían de la ayuda asistida por computadora, para su aplicación ya previamente mencionados. Al inicio se tiene en cuenta el uso que se le daría al CAD como lo son: Las pruebas en el túnel de viento, diagrama de cuerpo libre o el análisis de condiciones de frontera. Por ende se despliega una serie de aplicaciones, pero el CAD, solo se anexara para un posible tratamiento de acuerdo a lo solicitado por el cliente o el requerimiento que exige el proceso REP. Solo se seleccionaran los programas esenciales y se dejara abierto a posibles actualizaciones en el medio aeronáutico.

PROCEDIMIENTO	FUNCIÓN	PROGRAMAS
Levantamiento de la información	Base de datos	Paquete Office, y formatos de documento portátil (PDF)
Levantamiento dimensional	Metrológico	Solid Works, Solid Edge, Catia o AutoCAD.
	Escaneo 3D	GOME, Solid Works, Catia, Metrolog XG o PCDMIS, CALYPSO, GEOPACK, CAM2 Q, Power Inspect, Polyworks, Metrosoft, MODUS o INCA3D. Entre otros
Pruebas de laboratorio	Pruebas Mecánicas	Estos resultados son tercerizados. Pero si fueron realizadas por el personal se pueden regir bajo las normas ASTM y SAE, con su respectivo informe en Excel o Word.
	Pruebas Físicas	
	Pruebas Químicas	
Análisis de elementos finitos	Aerodinámicos	Paquetes de análisis estructurales como: SolidWorks, AutoCAD, Hyperworks, ALGOR, Ansys, CAEDIUM SYMLAB, CFD, entre otros.
	Mecánicos	
	Estructurales	

**Tabla 6.** Caracterización de programas en el protocolo ingeniería inversa.  
**Fuente:** Autores.

### 8.7 Explicación uso de los programas

Una explicación breve de cada uno de los programa que hacen parte del REP es la forma de conocer a fondo las implementaciones y funciones que cumple en cada proceso.

#### 8.7.1. Bases de datos.

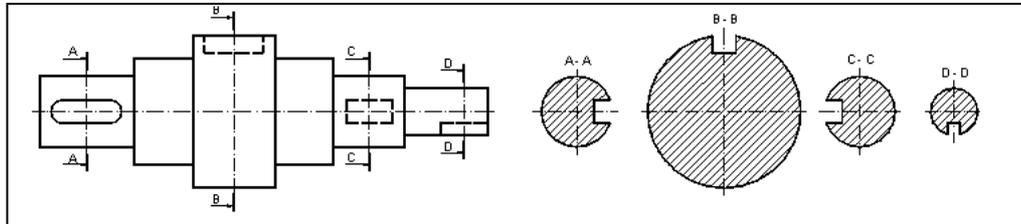
Están conformados por los paquetes office y los formatos de documento portátil (PDF). El objetivo de manejar el paquete de office es organizar la información obtenida a través de los manuales, las normativas y de fuentes secundarias como las expuestas en el numeral seis punto dos (6.2) del capítulo II. Al final debe estar presentado en un documento portátil de fácil acceso y comentarios.

#### 8.7.2. Metrología y Escaneo 3D.

Programas que reúnan la información de dimensionamiento geométrico del componente a replicar, para la representación de los cortes, secciones y roturas en el sólido, se deben recoger mediante la norma **UNE 1-032-82**,

“**Dibujos técnicos: Principios generales de representación**”, la cual es equivalente a la norma **ISO 128-82**. Para obtener como resultado lo representado en la imagen veintidós (22), estos programas pueden ser los nombrados en la tabla 05.

**Imagen 22.** Representación de cortes, secciones y roturas en levantamiento dimensional.



**Fuente:** <http://www.dibujotecnico.com/wp-content/uploads/2015/07/tipos-de-secciones-031.png>. Desplazamiento de la sección

- Metrolog XG: Software de medición 3D que satisface las necesidades en términos de medición 3D y control de calidad.
- PCDMIS: Es un sistema de programación de metrología habilitado para CAD, la cual proporciona herramientas para medir cualquier tipo de geometría en cualquier tipo de pieza utilizando equipos de medición.
- CALYPSO: Es un programa de versión offline que permite la observación y simulación en CAD de piezas, medición y cálculo de figuras en 2D y 3D.
- GEOPACK: Software que permite la medición geométrica de superficies y perfiles en 2D y 3D, cuenta con un módulo de control estadístico y permite la interacción con CAD.
- Otros tipos de programas que cumplen la función de realizar mediciones en 2D y 3D con interacción entre piezas CAD son los siguientes, aunque en el mercado existe una amplia variedad, estos son algunos: CAM2 Q, Power Inspect, Polyworks, Metrosoft, MODUS o INCA3D

### **8.7.3. Pruebas físicas, químicas y mecánicas.**

Para las pruebas físicas, químicas y mecánicas se requiere de programas que entreguen el análisis de resultados en el caso de la compañía CIAC este proceso es tercerizado. Los equipos usados, la evidencia fotográfica de lo hallado y las normas bajo las cuales se operaron, deben ir anexadas al informe de pruebas de laboratorio. Las pruebas físicas se pueden realizar del mismo modo, un informe de resultados por medio de estos paquetes. Para las pruebas químicas se recomienda por medio de un examen de sustancias, estas también se tercerizan y se anexan el informe de resultados.

Toda prueba de este nivel se practica por medio de maquinaria, este tipo de maquinaria consigo lleva un informe concluyente con su respectivo margen de error, incertidumbre entre otros parámetros sujetos a criterios de aceptación.

Empresas que cumplen la función de realizar pruebas de laboratorio son: La universidad de los Andes, la universidad Nacional, 3M, entre otros. Para las pruebas químicas se encontró un proveedor llamado “Applus” que

presta el servicio de pruebas que toman la caracterización de las sustancias que hacen parte del componente por medio de vapores.

#### **8.7.4. Análisis computacional: Aerodinámico, Mecánico y estructural.**

Programas que contienen paquetes de simulaciones para el ingreso de datos, manejo de parámetros bajo los cuales es sometido el componente aeronáutico en operación, y tolerancias admisibles, siempre y cuando no son suministradas por el fabricante son los siguientes:

- Solidworks: "Proporciona herramientas integradas de modelado, simulación, visualización, diseño de ensamblajes y comunicación que precisan los diseñadores aeroespaciales para desarrollar mejores productos y sistemas de una forma más rápida y con un coste menor".<sup>57</sup>
- AutoCAD: "Cuyas siglas significan "Computer Aided Design" (Diseño Asistido por Computadora), su finalidad es proporcionar una herramienta de fácil manejo, precisión en sus dibujos y manejo de parámetros como especificaciones".<sup>58</sup>
- Hyperworks: "Es un programa de análisis y simulación CAE para ingeniería desarrollado por Altaír Engineering, la aplicación permite a las empresas diseñar y crear productos en 3D de manera eficiente y a bajo costo".<sup>59</sup>
- ALGOR: "Es una solución para aplicaciones de ingeniería orientada al análisis computacional en diferentes ramas como automotriz , aeroespacial, manufactura, consumo. Uno de sus módulos "Professional Multiphysics", como aplicación central incluye capacidades de análisis CAE para esfuerzos estáticos y simulación de eventos mecánicos, con modelos lineales y no lineales, análisis dinámicos, transferencia de calor, fluidos y análisis electrostático".<sup>60</sup>
- ANSYS: "Es un ecosistema de programas CAE para diseño, análisis y simulación de partes por elementos finitos FEA, incluye las fases de preparación de meshing ó malleo , ejecución y post proceso, el programa ejecuta análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos usadas en ingeniería y diseño mecánico , puede resolver problemas físicos sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas, brevemente se describen sus módulos principales por disciplina".<sup>61</sup>
- CAEDIUM SYMLAB: "Caedium es una solución de análisis CFD fácil de usar para resolver problemas de ingeniería CAE, el programa te asiste en la optimización del modelo 3D. Usando los módulos de Caedium puedes crear geometría 2D y 3D o importarla de otro sistema de CAD . Se puede simular el flujo de un gas, líquido sobre geometría 3D por ejemplo efecto del viento sobre el ala de un avión".<sup>62</sup>
- CFD: CFdesign es la herramienta de cómputo de cálculo fluido dinámico y de transmisión de calor diseñada de una manera

---

<sup>57</sup> Solid Works Corporation en industrial aeroespacial. <http://www.solidworks.es/sw/industries/aerospace-engineering-design-industry.htm>

<sup>58</sup> Directorios de software para análisis y simulación en ingeniería CAE, FEA, CFD. <http://www.3dcadportal.com/3d-software/cae/>

<sup>59</sup> Directorios de software para análisis y simulación en ingeniería CAE, FEA, CFD. <http://www.3dcadportal.com/3d-software/cae/>

<sup>60</sup> Directorios de software para análisis y simulación en ingeniería CAE, FEA, CFD. <http://www.3dcadportal.com/3d-software/cae/>

<sup>61</sup> Directorios de software para análisis y simulación en ingeniería CAE, FEA, CFD. <http://www.3dcadportal.com/3d-software/cae/>

<sup>62</sup> Directorios de software para análisis y simulación en ingeniería CAE, FEA, CFD. <http://www.3dcadportal.com/3d-software/cae/>

comprensible y escalable que permite al ingeniero afrontar los desafíos más complejos. CF Design funciona con Catia , Co Create, Inventor, NX , ProEngineer, Autodesk Revit , Solid Edge, Solid Works, Space Claim y opera en Windows.

### **8.8 Implementación del PDR y del CDR.**

Uno de los objetivos finales del protocolo de Ingeniería Inversa, es la fabricación. Para este procedimiento la compañía CIAC tiene determinado dos formatos los cuales son requeridos para la certificación por la FAA.

- PDR (Requerimientos Diseño Preliminar): Este formato se reúne la siguiente información:
  - ✓ Identificación del solicitante.
  - ✓ Alcance para el reconocimiento.
  - ✓ Descripción general del Proyecto.
  - ✓ Documentos de Análisis de viabilidad económica, factibilidad técnica y/o estudios de mercado.
  - ✓ Caracterización funcional y criticidad de la muestra original.
  - ✓ Caracterización dimensional preliminar de la muestra original.
  - ✓ Caracterización de material de la muestra original.
  - ✓ Caracterización de obtención materia prima muestra original.
  - ✓ Caracterización de fabricación de la muestra original.
  - ✓ Lista preliminar de materiales y partes del diseño propuesto.
  - ✓ Consideraciones de configuración de diseño propuesto a tener en cuenta en el diseño crítico (CDR).
  - ✓ Bases de calificación / certificación del producto aeronáutico.
  - ✓ Observaciones generales.
- CDR (Requerimientos Diseño Crítico): Este formato reúne la siguiente información:
  - ✓ Identificación del fabricante.
  - ✓ Identificación del producto aeronáutico.
  - ✓ Relación de ordenes de ingeniería para diseño crítico (CDR).
  - ✓ Directivas de aeronavegabilidad (AD), boletines de servicio (SB) y dificultades en servicio.
  - ✓ Configuración dimensional.
  - ✓ Especificaciones y procesos de fabricación del producto aeronáutico.
  - ✓ Procesos de inspección de partes aeronáuticas.
  - ✓ Plan de ensayos y medios de cumplimiento (MoC) de calificación / certificación del producto.
  - ✓ Instrucciones de aeronavegabilidad continuada (ICA) / instrucciones de mantenimiento / almacenamiento.
  - ✓ Procedimientos de reportes de fallas, mal funcionamiento y defectos de productos aeronáuticos.
  - ✓ Procedimiento de gestión de configuración del diseño del producto aeronáutico.
  - ✓ Procedimientos inspección y control de proveedores (FIS).
  - ✓ Certificación de calificación aeronáutico (CCA) / declaración de diseño y actuaciones (DDP).

- ✓ Decoración del certificado de conformidad de diseño y elegibilidad para la instalación del producto.

### 8.9 Explicación procedimiento para diligenciar el PDR y el CDR.

Para un correcto proceso de diligenciamiento de los formatos PDR y CDR se debe tener en cuenta toda la información que estos requieren explicados en el numeral anterior, además los laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC cuenta con un instructivo de diligenciamiento para estos dos formatos, que están ilustrados en las imágenes veintitrés (23) y veinticuatro (24) respectivamente.

**Imagen 23. Portada del instructivo PDR**



**Fuente:** Laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC

**Imagen 24. Portada del instructivo CDR**



**Fuente:** Laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC

### 8.10 Filtración de la información.

Para la filtración de toda la información obtenida por medio de la ejecución del capítulo uno (I), capítulo dos (II), capítulo tres (III) y de la creación del flujo grama. Se realizó una identificación de todos los procesos y pasos necesarios para la realización del REP, lo que se procedió a hacer es la creación del protocolo en el cual se especificará todo el paso a paso del REP.

Se rectificó de acuerdo a los pasos que se trazan en el numeral siete punto uno (7.1) del capítulo dos (II), con el fin de organizar y agrupar la información relevante como se hace en la tabla cinco (5) del capítulo tres (III). Es decir el flujo grama nos traza parámetros y el contenido de cada una cumple un papel importante en el proceso.

La información que se entrega al finalizar el protocolo reúne cuatro fases, una que corresponde a la recolección de información inicial, la cual se organiza y se diligencia ante el formato **CIAC- RE-01** establecido en el numeral seis punto cinco (6.5) del capítulo uno (I) de este documento. Seguido de un dimensionamiento geométrico y específica en el numeral ocho punto cinco (8.5) del capítulo tres (III) de este documento, esta información se diligencia en los formatos **MET-CIAC-02** y **MET-CIAC-03** evidenciados en las imágenes uno, dos y tres (1,2,3) del capítulo uno (I) de este documento. Adicionalmente se presenta la información

correspondiente a las pruebas de laboratorio o materiales que integren el componente bajo las especificaciones del flujo grama general, diligenciados en el formato **CIAC-PL-02** evidenciado en la imagen siete (7) y la imagen ocho (8) del capítulo uno (I) de este documento. Para concluir con un informe final que reúna toda la información pertinente a la composición físico estructural del componente a replicar.

### **8.11 Creación del protocolo.**

Para la creación del protocolo del REP de los laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC, el flujo grama se divide en cuatro secciones los cuales son representados por capítulos en el interior del protocolo entregado al área de ingeniería de la compañía CIAC.

A continuación, se realiza una descripción del contenido del protocolo de ingeniería inversa (REP).

#### **8.11.1. Capítulo I Recolección y análisis de datos.**

El propósito de realizar una recolección de datos es permitir tener un previo conocimiento de los procesos que se requieran realizar, para alcanzar los objetivos ya establecidos y así mismo poder minimizar los tiempos de trabajo de los mismos. Al finalizar la recolección de la información esta sea utilizada como datos de entrada en el proceso que se realice, ya sea fabricación, optimización o análisis.

La función que cumplió este capítulo dentro de la estructura de flujo grama propuesto en el capítulo número dos (II) de este documento es la parte inicial del protocolo, se especifica el correcto procedimiento de recolección de datos. Se determina las fuentes de información con su respectiva descripción general en lo que consiste cada una y al finalizar se describe el correcto procedimiento y definición del análisis de datos.

#### **8.11.2. Capítulo II Dimensionamiento geométrico.**

Este capítulo cumplió con el propósito propuesto dentro de la estructura de flujo grama en el capítulo número dos (II). De este, inicia con un análisis de datos realizado en el capítulo número uno (I), donde se identificó y analizó toda la información referente a las dimensiones del componente. Se procedió a determinar el método de metrología a ejecutar y se finaliza con el diligenciamiento de los formatos **MET-CIAC-02** y **MET-CIAC-03** para que a partir de estos formatos se logre obtener el modelo virtual del componente.

#### **8.11.3. Capítulo III Caracterización de materiales.**

El propósito de realizar una caracterización de materiales es conocer las propiedades físicas, mecánicas y químicas, mediante la determinación de composición y comportamiento respecto a diferentes estados que contiene el objeto a estudiar, para lograr esta caracterización se deberá realizar pruebas de laboratorio.

La función que cumple este capítulo dentro de la estructura de flujo grama propuesto en el capítulo número dos (II) de este documento es la tercera parte del protocolo que consiste en conocer el tipo y características que tienen los materiales que conforman el componente, el capítulo comienza al igual que el capítulo dos (II) del protocolo con un análisis de datos, se procede a determinar las pruebas necesarias para cumplir con este fin y se

finaliza con el diligenciamiento del formato **CIAC-PL-02** explicado anteriormente en este documento.

#### ***8.11.4. Capítulo IV Reporte final***

El propósito del reporte final, es la realización de un análisis de los resultados obtenidos a través de los capítulos comprendidos anteriormente desde la recolección de la información, el dimensionamiento geométrico y las pruebas de laboratorio, soportando la información recolectada y generando una compilación de forma secuencial. La función que cumple este capítulo dentro de la estructura de flujo grama propuesto en el capítulo número dos (II) de este documento es parte final del protocolo de ingeniería inversa (REP), se realiza una compilación de toda la información obtenida del capítulo uno (I), dos (II) y tres (III) del protocolo de ingeniería inversa (REP) del área de ingeniería de la compañía CIAC para que al finalizar se logre realizar una caracterización completa y general del componente.

A continuación, en el capítulo número cuatro (IV) se realiza la evaluación del protocolo en un proceso REP realizado anteriormente.

**ESPACIO INTENCIONALMENTE EN BLANCO**

## 9. CAPÍTULO IV EVALUACIÓN DEL PROTOCOLO

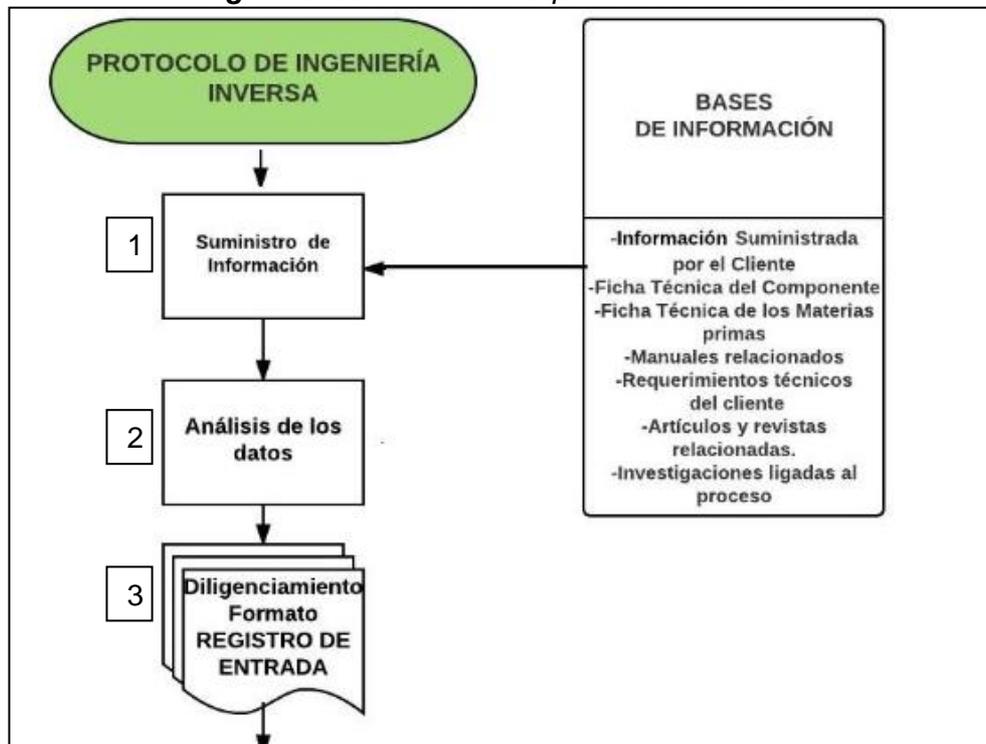
La creación de un protocolo estandarizado de ingeniería inversa permite la optimización de los tiempos y recursos, por ende, su aplicación genera un entorno de precisión al tener los conocimientos previos y los pasos a seguir para dicha implementación. Los requerimientos e ítems a seguir crean una viabilidad al generar una evaluación de los procesos ya previamente realizados. Lo que se propone en este capítulo es una revisión de los trabajos previamente aplicados dentro de los laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC.

Dicha revisión se llevo a cabo por medio una recopilación de la información suministrada de un proyecto analizado y ejecutado llamado "PANEL DECK ASSY", en el cual se debió generar un esquema de revisión, una explicación del procedimiento llevado a cabo con su respectiva calificación en cuanto al cumplimiento de lo generado en el capítulo dos (II), del cual se evalúa con la información recopilada a lo largo de este protocolo y para concluir se suministrará una evidencia de la evaluación.

### 9.1. Creación esquema de calificación.

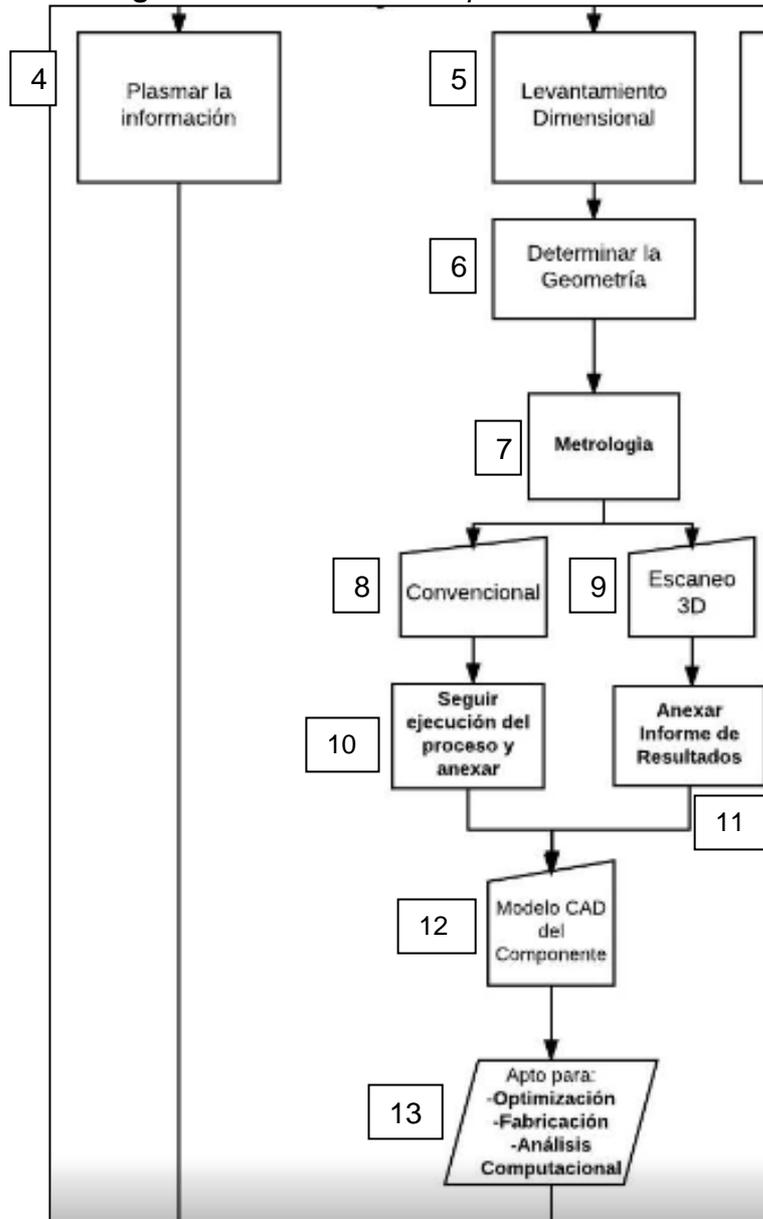
Para la evaluación del proyecto " PANEL DECK ASSY" se tomó como referencia el esquema propuesto en el capítulo dos (II) el cual se divide en cuatro (4) secciones las cuales se pueden evidenciar en la imágenes veinticinco (25), veintiséis (26), veintisiete (27) y veintiocho (28).

**Imagen 25.** Sección No 1 esquema de calificación



Fuente: Autores

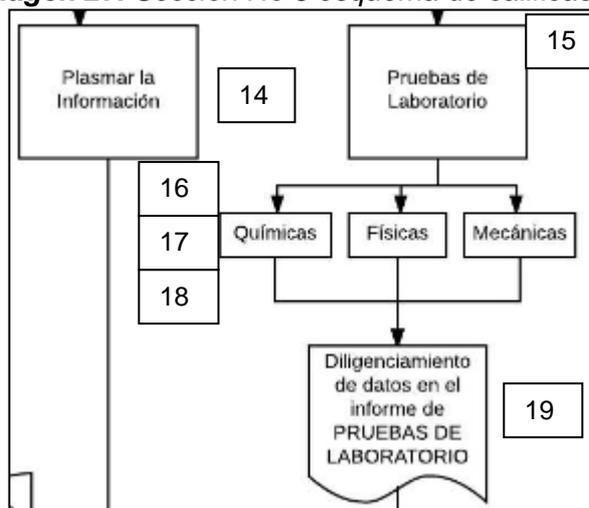
**Imagen 26. Sección No 2 esquema de calificación**



**Fuente:** Autores

ESPACIO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

**Imagen 27. Sección No 3 esquema de calificación**



Fuente: Autores

**Imagen 28. Sección No 4 esquema de calificación**



Fuente: Autores

### 9.2. Procedimiento de calificación

Para el proceso de calificación se determinó un porcentaje del 100% al flujo grama general, a partir de esto se plantea el siguiente sistema de calificación para determinar si el proyecto es aceptable o rechazable:

PORCENTAJE	CONSIDERACIÓN
80% a 100%	EXCELENTE
50% a 79%	ACEPTABLE
0% a 49%	RECHAZADO

**Tabla 7. Sistema de calificación general.**

Fuente: Autores

Para el sistema de calificación de cada una de las secciones se determinó de la siguiente manera, cada sección equivale a un 25% del 100% del flujo grama general y cada bloque de la sección tiene un porcentaje. Pero de acuerdo a cada sección hay caminos del cual hay omisión del paso ó un camino práctico. De acuerdo a lo anterior se procedió el siguiente sistema calificativo:

- Sección No 1

No DE BLOQUE	PORCENTAJE
1	8,33%
2	8,33%
3	8,33%

**Tabla 8.** Sistema de calificación sección No 1.

**Fuente:** Autores

La suma de lo conformado por la sección uno equivale a los numerales 1,2 y 3, quienes equivalen el 25%. Sobre la calificación total del general.

- Sección No 2

No DE BLOQUE	PORCENTAJE
4	25%
5	4,16%
6	4,16%
7	4,16%
8	2,0%
9	2,0%
10	2,2%
11	2,2%
12	4,16%
13	4,16%

**Tabla 9.** Sistema de calificación sección No 2.

**Fuente:** Autores

De la sección dos hay dos caminos a tomar, el primero que es la omisión del proceso el que tiene una equivalencia del 25%. Pero, del segundo camino está conformado por: Los numerales 5,6,7,8,10,12 y 13, que combinados equivalen un 25%. La combinación de los numerales 5,6,7,9,11,12 y 13. equivalen un 25%. Cual se elija debe completar el 25% de la sección frente al total del flujo grama general.

**ESPACIO INTENCIONALMENTE EN BLANCO**

- Sección No 3

No DE BLOQUE	PORCENTAJE
14	25%
15	8,35%
16	3,77%
17	3,77%
18	3,77%
19	5,34%

**Tabla 10.** Sistema de calificación sección No 3.

**Fuente:** Autores

La sección tres está conformada por dos caminos, los cuales son: El primero por el numeral 14 quien equivale el 25%. El segundo es la combinación entre los numerales 15,16,17,18 y 19, que reúnen un valor total del 25%. Todo con respecto al flujo grama general.

- Sección No 4

No DE BLOQUE	PORCENTAJE
20	12,5%
21	12,5%

**Tabla 11.** Sistema de calificación sección No 4.

**Fuente:** Autores

La sección cuatro está conformada por los numerales 20 y 21 quienes sumados dan un total del 25% sobre el flujo grama general.

### **9.3. Evaluación del sistema de calificación.**

La evaluación de los valores agregados por parte del evaluador, es uno de los factores vitales en el proceso. Por ende se aplico un estudio exhaustivo del contenido del proyecto "PANEL DESK ASSY", se trajeron ítems de acuerdo a lo estudiado en el flujo grama del numeral nueve punto uno (9.1) y se aplicó el sistema evaluativo del numeral nueve punto dos (9.2). Por lo tanto a continuación se realizó un desglose de lo hallado en el proyecto y la calificación que este obtuvo. Para al finalizar tener una calificación sobre el cien por ciento (100%) del general. En el numeral nueve punto cuatro (9.4) se realizó su respectiva conclusión del contenido específico en cuanto lo suministrado.

### 9.3.1. Tabla evaluativa del proyecto "PANEL DECK ASSY"

ITEM	Si	No	PORCENTAJE
Recolección de la información	X		8,33%
Análisis de la información	X		8,33%
Diligenciamiento formato CIAC-RE-01		X	0%
<b>TOTAL SECCIÓN No 1</b>			<b>16,66%</b>
Dimensionamiento geométrico	X		4,16%
Determinación de la geometría	X		4,16%
Metrología	X		4,16%
Metrología convencional	X		2,0%
Instructivo MET-CIAC-01	X		2,2%
Modelo Virtual	X		4,16%
Apto para: Fabricación	X		4,16%
<b>TOTAL SECCIÓN No 2</b>			<b>25%</b>
Pruebas de laboratorio	X		8,35%
Físicas		X	0%
Químicas	X		3,77%
Mecánicas	X		3,77%
Diligenciamiento formato CIAC-PL-02		X	0%
<b>TOTAL SECCION No 3</b>			<b>15,87%</b>
Condensar información	X		12,5%
Reporte final	X		12,5%
<b>TOTAL SECCION No 4</b>			<b>25%</b>
<b>TOTAL GENERAL PONDERADO</b>			<b>82,54%</b>

*Tabla 12. Evaluación del "PANEL DESCK ASSY" vs "REP".*

*Fuente: Autores.*

El resultado obtenido es del 82,54% sobre el 100% lo que corresponde según calificativo de la tabla No 6 es **EXCELENTE**, significa que el proyecto " PANEL DECK ASSY" cumple con la mayoría de los ítems propuestos en el protocolo de ingeniería inversa REP. Pero no satisface a un 100% la necesidad de omitir tareas y organizar el trabajo.

### 9.4 Análisis de la información existente dentro del "PANEL DECK ASSY" .

El análisis de la información existente comprende todos los archivos encontrados que conforman el proyecto " PANEL DECK ASSY". Por medio de las bases de información que se tuvieron en cuenta para la ejecución del mismo, las pruebas de laboratorio necesarias, normativas y procedimientos que se realizaron para cumplir con el objetivo final.

A continuación se evidenció la información encontrada por medio de varias fotografías y su respectiva interpretación.

#### 9.4.1. Fuentes de información.

*Imagen 29. Fotografía de contenido del proyecto "PANEL DECK ASSY"*

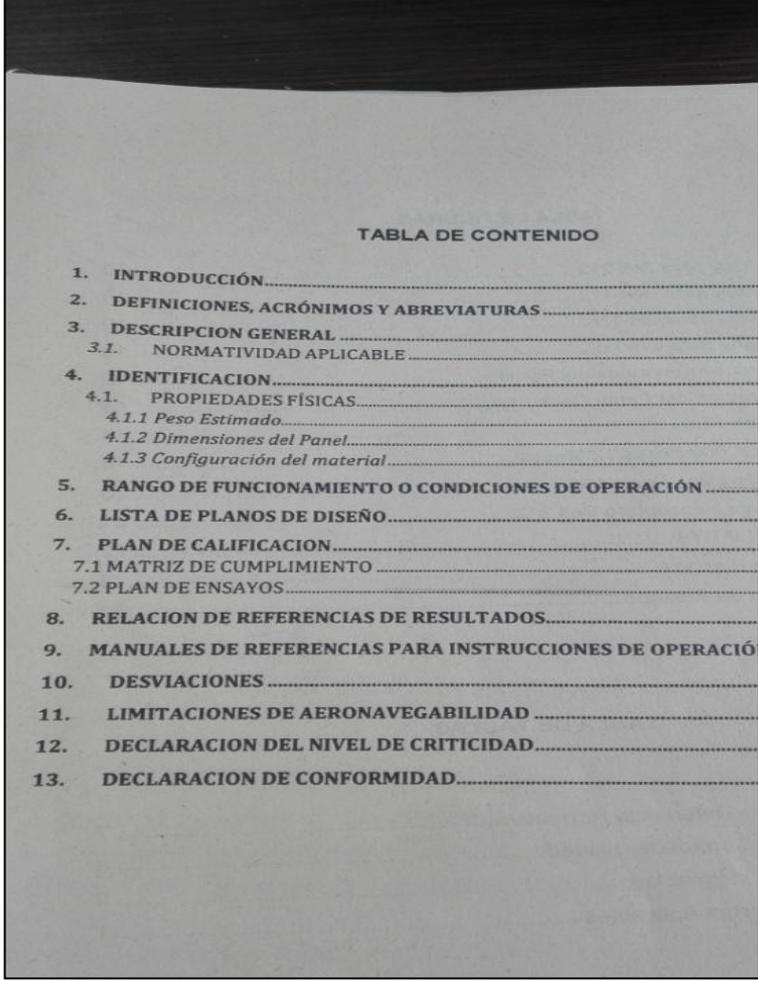
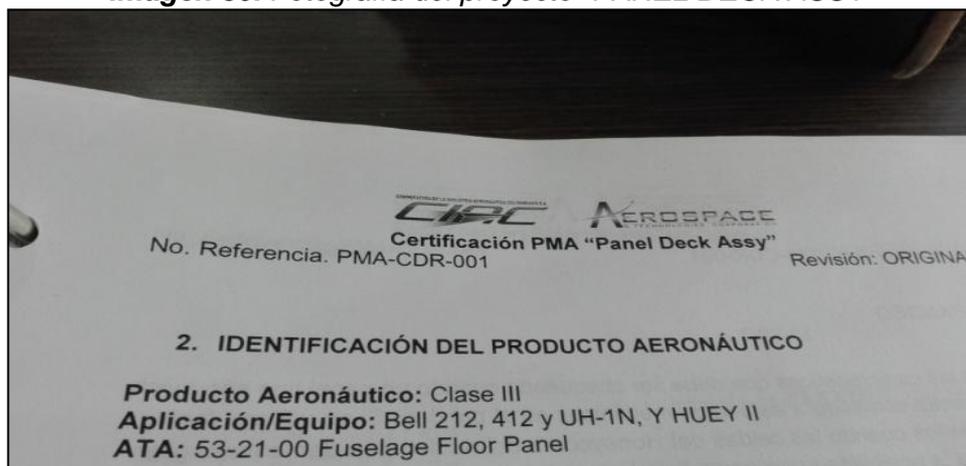


TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....
2. DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS.....
3. DESCRIPCIÓN GENERAL.....
  - 3.1. NORMATIVIDAD APLICABLE.....
4. IDENTIFICACIÓN.....
  - 4.1. PROPIEDADES FÍSICAS.....
    - 4.1.1 Peso Estimado.....
    - 4.1.2 Dimensiones del Panel.....
    - 4.1.3 Configuración del material.....
5. RANGO DE FUNCIONAMIENTO O CONDICIONES DE OPERACIÓN.....
6. LISTA DE PLANOS DE DISEÑO.....
7. PLAN DE CALIFICACION.....
  - 7.1 MATRIZ DE CUMPLIMIENTO.....
  - 7.2 PLAN DE ENSAYOS.....
8. RELACION DE REFERENCIAS DE RESULTADOS.....
9. MANUALES DE REFERENCIAS PARA INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN.....
10. DESVIACIONES.....
11. LIMITACIONES DE AERONAVEGABILIDAD.....
12. DECLARACION DEL NIVEL DE CRITICIDAD.....
13. DECLARACION DE CONFORMIDAD.....

Fuente: Laboratorios de Ingeniería de CIAC.

*Imagen 30. Fotografía del proyecto "PANEL DECK ASSY"*



Fuente: Laboratorios de Ingeniería de CIAC.

En las imágenes veintinueve (29) y treinta (30), se pudo evidenciar las fuentes de información implementadas para el desarrollo del proyecto, en esta primera fase se obtuvieron:

- Descripción general del componente
- Información del fabricante
- Normativa aplicada
- Identificación del componente
- Propiedades encontradas en los datos técnicos del componente
- Manuales de referencia
- Limitaciones de Aeronavegabilidad

Lo anterior ayudó a la descripción de funcionalidad y operación que tiene el componente y una caracterización teórica que será verificada más adelante en la ejecución de la ingeniería inversa

#### 9.4.2. Dimensionamiento geométrico.

**Imagen 31.** Fotografía parcial del dimensionamiento geométrico

<b>CIAC</b> LABORATORIO DE INGENIERÍA		Plano N° CIAC-PDS-212-CD	Proyecto CERTIFICACIÓN PMA			
Componente Aeronautico: <input checked="" type="checkbox"/> NO		Cantidad 01	Componente PANEL DECK SERVICE			
Aeronaive BELL 212	No. de Cola N/A	Material ESTRUCTURA SANDWICH TITANIO - HIL - FIBRA DE KES	Fecha 01/10/14	Escala 1:5	Unidades mm	Tolerancias ±1.0
Parte Numero CIAC-205-030-280-127		Diseño Ing. Arnold Escobar Garzon	Aprobó MSc. Ing. IEA 743 Sahily Tamara			

Fuente: Laboratorios de Ingeniería de CIAC

**Imagen 32.** Fotografía parcial del diligenciamiento del MET-CIAC-01

<b>CIAC</b> LABORATORIO DE INGENIERÍA	CORPORACIÓN DE LA INDUSTRIA AERONÁUTICA COLOMBIANA		
DOCUMENTO NRO.: MET-CIAC-01	REVISION: ORIGINAL	FECHA: 15 OCT. 2014	PAGINA: 6 DE 6
TÍTULO: PROCEDIMIENTO PARA METROLOGÍA			

**CUMPLIMIENTO**

1. El procedimiento realizado cumple con las características requeridas.

CUMPLE:            

NO CUMPLE:            

2. Procedimiento Elaborado por: \_\_\_\_\_

Fuente: Laboratorios de Ingeniería de CIAC

En las imágenes treinta y uno (31) y treinta y dos (32), se puede evidenciar la realización del dimensionamiento geométrico por medio de una metrología convencional, obteniendo finalmente un modelo virtual apto para ese caso una fabricación y certificación del componente.

Este dimensionamiento es comprendido por:

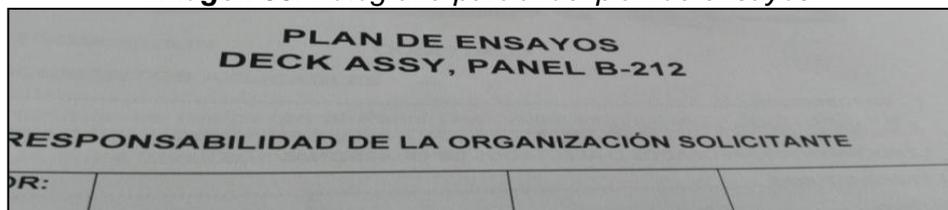
- Geometría del componente
- Certificación del personal
- Certificados de calibración de los instrumentos
- Informe de medición
- Planos del componente
- Instructivo **MET-CIAC-01**
- Anexo tabla de resultados
- PDR
- CDR

La anterior información hace parte del capítulo de dimensionamiento geométrico donde se tiene por objetivo generar todas las dimensiones del componente, para este caso poder realizar la fabricación y posteriormente llegar a la certificación del mismo.

#### **9.4.3. Pruebas de laboratorio.**

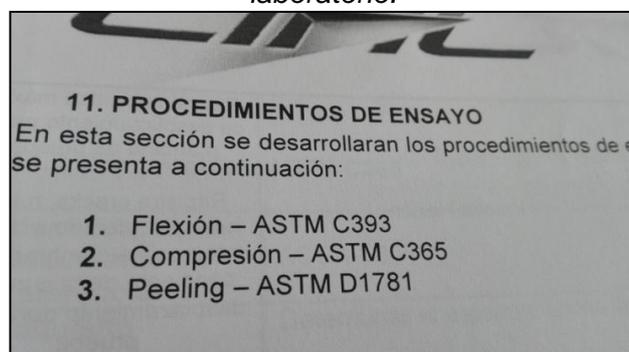
En la información recolectada referente a pruebas de laboratorio, se pudo evidenciar la existencia de pruebas mecánicas, químicas y un análisis de las propiedades físicas de los materiales que conformaron parte del material. A continuación, se pueden apreciar imágenes parciales de lo encontrado en la búsqueda de información del proyecto.

**Imagen 33.** Fotografía parcial del plan de ensayos.



**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería de CIAC

**Imagen 34.** Fotografía parcial de procedimiento para pruebas de laboratorio.



**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería de CIAC

**Imagen 35.** Fotografía parcial de formatos de registro de cada prueba.

**CIAC**

**FORMATO DE REGISTRO**  
PRUEBA Compresión

Número de Probetas 12 Identificación: (OPi-C-01/06) (Ti-FV-HAL-C-01/06)

LUGAR DEL ENSAYO: <u>Universidad de los Andes</u>	APLICABLE A: (Equipo/ Aeronave) <u>Bell Z12</u>	FECHA: (DD-MM-AA) <u>11-11-14</u>
--	--	--------------------------------------

**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería de CIAC

**Imagen 36.** Fotografía parcial de los anexos de certificados de los análisis.

**3M**

**Certificate of Analysis**

3M SPRINGFIELD  
3211 E CHESTNUT EXPY.  
SPRINGFIELD MO 658022502 U.S.A.

PACIFIC COAST COMPOSITES INC STE B  
11302 STEELE ST S  
LAKEWOOD WA 98498734

Date certificate is prepared: Feb-03-2014

The 3M product listed below was produced in accordance with standard manufacturing processes for the product in effect at the time of manufacture and is certified to meet the specifications displayed below

3M Invoice Number <u>MZ09265</u>	Customer PO Number <u>8721</u>	Customer Part Number <u>AF163-2K</u>
3M Stock Number <u>62-0187-5309-5</u>	Product Description <u>S W STR ADH FILM AF163-2K .060WT 36IN X 50YDS</u>	
UPC Number <u>00021200880704</u>	Shelf Life <u>12 MONTHS FROM SHIPMENT DATE</u>	
Storage Condition for this Product <u>FREEZER STORAGE (-18C OF)</u>	Lot Number: <u>1017411</u>	

**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería de CIAC

**Imagen 37.** Fotografía parcial de orden de ingeniería para cada prueba.

**ENGINEERING WORK ORDER**

ORDEN NUMERO	REVISIÓN No.	FECHA	Proyecto	PAGINA
<u>PMA-PP-001</u>	<u>ORIGINAL</u>	<u>JULIO 2014</u>	<u>PMA- PANEL DECK ASSY</u>	<u>1 of 7</u>

**TITULO**

Método de Prueba de Peeling para Estructuras Tipo Sandwich

**EFFECTIVIDAD**

PARTE AFECTADA	COMPONENTE
<u>COMPONENTES</u> <input type="checkbox"/>	<u>Pieles: Titanio / Fibra de Vidrio</u>

**Cantidad:** 5 Probetas

**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería de CIAC

En las imágenes treinta y tres (33), treinta y cuatro (34), treinta y cinco (35), treinta y seis (36) y treinta y siete (37). Se pueden encontrar algunos de los parámetros bajo los cuales se rigió el proyecto, ante el fin de certificación en el proceso de fabricación por el método de ingeniería inversa, de esto se pudo ver las siguientes aplicaciones:

- Certificados de conformidad por parte de aplicación de pruebas
- Certificados de los análisis en los ensayos.
- Certificados de inspección con respectiva tabla de resultados.
- Análisis de los resultados.
- Formatos de registro de las pruebas.
- Propiedades físicas del material.
- Configuración del material.
- Identificación de la configuración.
- Plan de ensayos.
- Ordenes de ingeniería.

De los ítems mencionados anteriormente, algunos no son resaltados en el REP, puesto que contienen información y procedimientos pertinentes a procesos de manufactura, además que son requeridos para el diligenciamiento del CDR y del PDR.

#### 9.4.4. Reporte final.

**Imagen 38. Fotografía parcial de certificación PDR.**

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL FUERZA AEREA COLOMBIANA Autoridad Aeronáutica de la Aviación de Estado (Decreto No. 2017 de 2015)				No. Control SECAD	
		ATA	Programa No.		
		Certificación DCA	Si / No	DCA No.	
		Certificación PDA	Si / No	PDA No.	
<b>REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO PRELIMINAR (PDR) DE PRODUCTO AERONÁUTICO</b>					
<b>IDENTIFICACIÓN DEL SOLICITANTE</b>					
18/06/14	Organización / Razón Social	N / T	Representante Legal	Identificación (C.C. / C.E. / T.T. / Otro)	
	Alianza Estratégica 006 (Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana CIAC & Aerospace and Technologies Corporation)	899 999 270-1 / 900 393 983-5	Flavio Ulloa / Gehly Tamara	18 810 012 / 22 587 111	
Colombia	Departamento - Ciudad	Dirección	Teléfono	Página Web / Correo Electrónico	
	Bogotá D.C.- Bogotá	Av. Calle 26 Nro 103-08 Ent 1-Int 2	57-1-4138312	www.ciac.gov.co / ingenieria@ciac.gov.co	
<b>ÁMBITO PARA RECONOCIMIENTO</b>					
Producto Aeronáutico (Marque con "X")	Aplicación / Equipo	Sistema ATA / MIL-STD-100B		Bases de Calificación / Certificación	
		Código	Nombre Sistema	Norma / Referencia	Revisión
se II	BELL 212 / 412 / UH-1H / HUEY II	53-21-00	Fuselage Floor Panel	FAR 29 SUBPART C - MIL-STD-401B	Ech data Jun-18-2014 / 28 Sept 1967
<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO</b>					
Estado	<input type="checkbox"/> Modificación	Nombre Componente / Componente a Fabricar	Numero de Parte (P/N) N/N: (OEM)	Observaciones	
Tipo de Desarrollo		Panel Deck Assy	205-030-280-127 (LH) / 205-030-279-117 (RH)	N/A	
Proyecto	Referencia				
<input type="checkbox"/> Desarrollo Bajo TC / STC <input checked="" type="checkbox"/> Desarrollo Bajo TSO / MIL-STD <input checked="" type="checkbox"/> Otro (Ing. Inversa / Otro)					
Método de Producto (CCA)		SISTEMA - SUBSISTEMA - COMPONENTE (ATA - Especifico)			
IEA	<input checked="" type="checkbox"/> Inversa	53-21-00			
Método del Componente:					
Individual	<input type="checkbox"/> Conjunto/Ensamble				

**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería de CIAC

**Imagen 39. Fotografía parcial de certificación del CDR.**

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL FUERZA AEREA COLOMBIANA <small>Autoridad Aeronáutica de la Aviación de Estado Decreto No. 2937 de 2010</small>				No. Control SECAD	
		Año		Programa No.	
		Certificación DOA		Si	No
		Certificación POA		Si	No
				DOA No.	
				POA No.	
<b>REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO CRITICO (CDR) DE PRODUCTO AERONÁUTICO</b>					
<b>1. IDENTIFICACION DEL FABRICANTE</b>					
Fecha (dd-mm-aaaa):	Organización / Razón Social:	N.I.T.:	Representante Legal:	Identificación (C.C. / C.E. / T.J. / Otro):	
18/06/2014	Alianza Estrategica 006 (Corporacion de la Industria Aeronautica Colombiana CIAC & Aerospace and Technologies Corporation)	899.999.278-1 / 900.393.983-5	Flavio Ulloa / Sahily Támara	16.610.012 / 22.587.111	
País:	Departamento - Ciudad:	Dirección:	Telefono:	Pagina Web / Correo Electronico:	
Colombia	Bogota D.C.- Bogota	Av. Calle 26. Nro 103-08 Ent 1-Int 2	57-1-4138312	www.ciac.gov.co / Ingenieria@ciac.gov.co	
<b>2. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO AERONÁUTICO</b>					
Producto Aeronáutico (Marque con "X")	Aplicación / Equipo	Sistema ATA / MIL-STD-1808-C		Componente a Fabricar	
		Código	Nombre Sistema	Nombre	Número de Parte (P/N)
<input type="checkbox"/> Clase II	BELL 212 / 412 / UH-1N / HUEY II	53-21-00	Fuselage Floor Panel	Panel Deck Assy	OEM:
<input checked="" type="checkbox"/> Clase III					205-030-279-117 / 205-030-280-127
					NPFAC:
					NPFR-02-205-030-279-117 /NPFR-02-205-030-280-127
<b>IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE:</b>					
SISTEMA - SUBSISTEMA - COMPONENTE (ATA / MIL-STD-1808-C - Especifico):					
<input checked="" type="checkbox"/> Parte Individual					
53-21-00					

**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería de CIAC

**Imagen 40. Fotografía parcial de certificación del ministerio de defensa.**



**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería de CIAC

**Imagen 41.** Fotografía parcial de la tabla de contenido que reúne la información recopilada.

Certificación PMA "Panel Deck Service"

**TABLA DE CONTENIDO**

4. IDENTIFICACIÓN DEL SOLICITANTE .....	5
5. ALCANCE PARA RECONOCIMIENTO .....	5
6. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....	5
7. DOCUMENTOS DE ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA, FACTIBILIDAD TÉCNICA Y/O ESTUDIOS DE MERCADO .....	5
1.1. ANÁLISIS DE RECURSOS DE LA CORPORACIÓN DE LA INDUSTRIA AERONÁUTICA COLOMBIANA .....	6
1.2. MATERIALES TIPO SANDWICH EN EL SECTOR AERONÁUTICO .....	8
1.3. ANÁLISIS DE MERCADO .....	9
7.3.1. DEFINICIÓN DEL PRECIO .....	9
7.3.2. DEFINICIÓN DEL MERCADO OBJETIVO .....	10
7.4. PRODUCCIÓN .....	11
7.5. ANÁLISIS FINANCIERO .....	14
7.5.1. MODELO FINANCIERO .....	14
7.5.2. ANÁLISIS DE ESCENARIO .....	15
7.5.3. INVERSIÓN ESTIMADA INICIAL EN EQUIPOS .....	15
7.5.4. INVERSIÓN ESTIMADA INICIAL EN HERRAMIENTAS .....	16
7.5.5. MATERIALES REQUERIDOS Y ELEMENTOS CONSUMIBLES .....	17
7.5.6. MANO DE OBRA REQUERIDA .....	18
7.5.7. COSTOS DE SERVICIOS PÚBLICOS .....	18
7.5.8. DETERMINACIÓN DEL PRECIO DE VENTA .....	18
8. CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL Y CRITICIDAD DE LA MUESTRA ORIGINAL .....	22
9. CARACTERIZACIÓN DIMENSIONAL PRELIMINAR DE LA MUESTRA ORIGINAL .....	27
6.1. PROTOCOLO DE METROLOGÍA DE LOS PANELES TIPO SÁNDWICH .....	27
6.2. INFORME DE METROLOGÍA .....	30
7. CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL DE LA MUESTRA ORIGINAL .....	34
8. CARACTERIZACIÓN DE OBTENCIÓN MATERIA PRIMA MUESTRA ORIGINAL .....	31
9. CARACTERIZACIÓN DE FABRICACIÓN DE LA MUESTRA ORIGINAL .....	4
10. LISTAS PRELIMINAR DE MATERIALES Y PARTES DEL DISEÑO PROPUESTO .....	4
11. CONSIDERACIONES DE CONFIGURACIÓN DE DISEÑO PROPUESTO A TENER EN CUENTA EN DISEÑO CRÍTICO (CDR) .....	
12. BASES DE CALIFICACIÓN/CERTIFICACIÓN DEL PRODUCTO AERONÁUTICO .....	
13. OBSERVACIONES GENERALES DEL DISEÑO PRELIMINAR (PDR) .....	

Página 2 de 47

**Fuente:** Laboratorios de Ingeniería de CIAC.

Para el reporte final se reúne todas las investigaciones, análisis e información pertinente, con el fin de diligenciar un PDR y un CDR, los cuales son formatos de tipo certificable que contienen requerimientos o datos que son obtenidos por medio del método de ingeniería inversa. A continuación, algunos de los parámetros hallados dentro de dicho contenido son:

- Filtro y análisis de la información.
- Redacción del documento y formato CDR y PDR.
- Certificación del ente regulador.

Con las imágenes treinta y ocho (38), treinta y nueve (39), cuarenta (40) y cuarenta y uno (47), se evidenciaron los parámetros que opera dicho reporte final, lo que conllevaba y los alcances que se obtenían.

### **9.5. Conclusión de la evaluación del proyecto.**

De lo estudiado y analizado, se aprecia que las variables bajo las cuales se llevó a cabo el proyecto no son diferentes al protocolo de ingeniería inversa el cual se evaluó bajo las secciones mencionadas en el numeral nueve punto dos (9.2). Pero sí es de gran importancia establecer un protocolo que de forma organizada y secuencial mencione los procedimientos que se deben realizar al momento de ejecutar una ingeniería inversa, para minimizar tiempo de trabajo y cargas laborales manteniendo un enfocado concepto de lo que significa este procedimiento dentro de los laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC.

Todos los datos recopilados sirvieron para una recolección estandarizada y secuencial de procesos en los que se aplicaron conocimientos de ingeniería, tanto para pruebas de laboratorio, información con respecto a normalización y metrología. Una puntuación de 82,5 sobre 100 dejó como perspectiva que lo aplicado en el capítulo tres (III) referente a los procesos organizados para llegar a un fin, en el caso del proyecto "PANEL DECK ASSY" el cual fue aplicado y llevado a fabricación. Se cumplieron en un gran porcentaje los pasos establecidos en el flujo grama a excepción de la compilación de la información en los formatos creados en el capítulo uno (I) los cuales faltaban para organizar y minimizar tiempos de trabajo.

ESPACIO INTENCIONALMENTE EN BLANCO

## **10. CONCLUSIONES**

- ✓ Se identificó y evaluó de manera simple y objetiva la información, mediante los pasos que se exigían suministrar y su papel dentro del formato. Para concluir en una estandarización de los datos de entrada.
- ✓ La ingeniería inversa persigue el objetivo de obtener la mayor cantidad de información técnica de un producto, del cual no se tiene la más mínima o poca información técnica de su diseño, construcción y funcionamiento, de modo que se debe partir de un todo para comprender cada pieza del sistema, para lo cual se deben tomar notas muy detalladas para el personal por medio de un flujo grama.
- ✓ La complementación de los procedimientos en una ingeniería inversa hace que esta se ejecute de manera organizada y secuencial. Teniendo como resultados disminución en los tiempos de diligenciamiento y análisis de la información.
- ✓ La evaluación de un protocolo facilita la recolección y seguimiento de los datos de un proyecto que requiera la aplicación de ingeniería inversa, ya sea una solución cuando se encuentre una necesidad o una réplica. El detallado del proceso ahorra tiempo para el personal, aumenta la productividad y facilita características del diseño.

## **11. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que para una implementación detallada del protocolo se realice una ingeniería inversa bajo las fases y tareas planteadas.
- Para una implementación de mayor especificación se recomienda aplicar los formatos nombrados por parte del control de calidad de la compañía, para la futura comparación de evaluación entre el evaluado en este proyecto y el que se esté realizando.

# ANEXOS

## ANEXO A.

 **CORPORACION DE LA INDUSTRIA AERONAUTICA COLOMBIANA S.A.**  
MANTENIMIENTO Y DESARROLLO AERONAUTICO  
CDF-010 (UAEAC) - NIT. 899.999.278-1

Bogotá D. C, mayo 11 de 2016

CIAC/280/IA No. 20162400020033



Consecutivo: R-228  
Fecha de Radicación: 16/05/2016-03:26 PM  
Folios: 1  
Resumen: PROYECTO ACADÉMICO  
Remite: CORPORACION DE LA INDUSTRIA AERONAUTICA S.A.  
Destinatario: Lina Brigitte Oyaga

Señores  
**COMITÉ ACADÉMICO**  
**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES**  
Carrera 16 # 63A-68  
Bogotá

**ASUNTO: PROYECTO ACADÉMICO "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOCOLO DE INGENIERÍA INVERSA" ESTUDIANTES LINNEY ESCOBAR BONILLA Y CARMEN GARCÍA RIVERA EN CIAC S.A.**

Por medio de este comunicado nos permitimos informar que de acuerdo con el proyecto "Diseño e Implementación de un Protocolo de Ingeniería Inversa" propuesto como parte del trabajo de grado de las estudiantes de Ingeniería Aeronáutica de la Fundación Universitaria Los Libertadores, Señoritas Liney Jharitza Escobar Bonilla CC 1.073'243.128 y Carmen Elena García Rivera CC 1.014'258.979, nos permitimos informar que las estudiantes mencionadas han estado desarrollando visitas y trabajo de campo en la Corporación desde el segundo semestre de 2015, inicialmente bajo la dirección de la Ingeniera Sahily Támara Urzola.

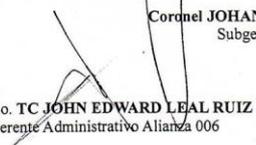
Por motivo de cambio en nuestra estructura organizacional, nos permitimos informar que en 2016 el proyecto de las Señoritas Escobar y García será dirigido en CIAC por la Ingeniera Lina Ximena Aguilar Sierra, quien actualmente está liderando el área de proyectos en el Laboratorio de Materiales Compuestos Avanzados.

Agradecemos el cambio sea realizado para los propósitos académicos pertinentes.

Cordialmente,

(33)

  
**Coronel JOHAN KORNERUP MADRID**  
Subgerente CIAC S.A

  
Vo.Bo. **TC JOHN EDWARD LEAL RUIZ**  
Gerente Administrativo Alianza 006

  
Ing. **LINA XIMENA AGUILA SIERRA**  
Ingeniera de Proyectos

Av. Calle 26 No. 103 - 08 - Entrada No.1 Interior 2  
Conmutador 413 83 12  
Línea Gratuita de Atención al Cliente: 018000122422  
[www.ciac.gov.co](http://www.ciac.gov.co) - E-mail: [atencion@ciac.gov.co](mailto:atencion@ciac.gov.co)  
Bogotá D.C., Colombia



LF

**ANEXO B**

Bogotá DC 12 Agosto de 2016

**Sra.  
Lina Ximena Aguilar Sierra  
Ingeniera de producción de la compañía CIAC  
Bogotá DC**

**Asunto: Entrega protocolo de ingeniería inversa**

Por medio de este documento se hace entrega oficial del proyecto "PROTOCOLO DE INGENIERIA INVERSA", a los laboratorios de ingeniería de la compañía CIAC, realizado por las estudiantes de la Fundación Universitaria Los Libertadores, Liney Jharitza Escobar Bonilla identificada con cedula de ciudadanía numero 1073243128 de Mosquera Cundinamarca y Carmen Elena García Rivera identificada con el numero de cédula de ciudadanía 1014258979 de Bogotá D.C. el protocolo está conformado por cuatro capítulos, dos formatos y un flujo grama general del proceso contenidos en un folder, además se realiza una entrega en medio magnético para futuras modificaciones.

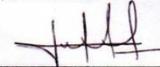
Atentamente,

Quien entrega:

  
\_\_\_\_\_  
Liney Jharitza Escobar Bonilla  
C.C. 1073243128

  
\_\_\_\_\_  
Carmen Elena García Rivera  
C.C. 1014258979

Quien recibe

  
\_\_\_\_\_  
Lina Ximena Aguilar Sierra  
C.C. 1026260737 Btg.  
Cargo: Ing. Producción

**ANEXO C**

	<b>REPORTE FINAL</b>		NÚMERO:
			FECHA:
	Solicitante:	Fecha de recepción:	
	Dirección:	Fecha de identificación:	
Telefono:	Persona a cargo:		
<b>1. IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE</b>			
Nombre Del Elemento:			
Nombre del fabricante:			
Material:			
Marcas del componente:			
Responsable de las pruebas:			
Parte Número (P/N):			
Serie Número (S/N):			
Configuración:			
<b>2. CONTENIDO (marque con una (X))</b>			
CIAC-PL-02	<input type="checkbox"/>	MET-CIAC-02	<input type="checkbox"/>
CIAC-RE-01	<input type="checkbox"/>	MET-CIAC-03	<input type="checkbox"/>
MET-CIAC-01	<input type="checkbox"/>	ANEXOS	<input type="checkbox"/>
<b>3. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>			
<i>(Describe de manera breve los resultados de la caracterización físico, química y mecánica del componente)</i>			
<b>4. OBSERVACIONES</b>			
<i>(Describe de manera breve las observaciones relevantes que se describieron en los formatos diligenciados)</i>			
REALIZADO POR:		APROBADO POR:	
NOMBRE:		NOMBRE:	
CARGO:		CARGO:	
FIN DEL REPORTE FINAL			