

## **CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR**



Colegio de Ingeniería  
Dirección de Posgrado  
Campus Mexicali

Proyecto de Ingeniería e Innovación 1

### **Diseño de Mampara fabricada con Manufactura Aditiva para aumento de seguridad en pasajeros y aligeramiento de un Avión**

Presenta

**Juan Carlos Munguía Castañeda**

Director de proyecto:

Dra. Verónica Alexandra Rojas Mendizábal

Codirector de proyecto:

Dr. Abiud Flores Valentín

Mexicali, Baja California. Diciembre del 2019


## **Agradecimiento y dedicatorios**

Quiero agradecer a mi esposa, familia, amigos, profesores e ingenieros involucrados en desarrollo del proyecto, así como a la institución CETYS Universidad por brindarme los recursos necesarios para concluir la maestría.

Ya que sin el apoyo de todos ello no hubiera sido posible concluir el proyecto, que más que terminar es el inicio de algo que perdurará por los años.

Así como también un gran agradecimiento al Centro de Innovación y Diseño (CEID) quién ha sido uno de los pilares en la innovación para el diseño en los últimos años.

## Carta Institucional

	<b>M Aerospace RTC</b> <b>Nombre del Documento:</b> <b>Carta Institucional</b>			<b>Página</b> <b>1 of 1</b>
	<b># de Documento:</b> N/A	<b>Fecha de Revisión</b>	<b>08-23-2019</b>	<b>Revisión</b>
<b>Cliente:</b>	<b>Aeronave:</b>	<b>Preparado Por:</b>	<b>Revisado Por:</b>	<b>Aprobado Por:</b>
<b>Interno</b>	<b>N/A</b>	<b>Agustín A.</b>	<b>Raúl B.</b>	<b>Jose C.</b>

### Carta Institucional

Por medio de la presente se hace constar que el alumno **Juan Carlos Munguia Castañeda** con matrícula 24591 de CETYS Universidad Campus Mexicali, ha desarrollado dentro de la empresa M Aerospace RTC S. de R.L. de C.V. el proyecto llamado "Aumento de Seguridad en pasajeros y aligeramiento de un avión a partir de implementación de mamparas fabricadas con tecnología aditiva.

Así mismo el ingeniero ha demostrado amplio conocimiento en la aplicación y validación del proyecto gracias a la maestría desarrollada en CETYS Universidad bajo la modalidad de Ingeniería e Innovación con especialidad en Diseño y Procesos de Manufactura concentración Diseño Aeroespacial.

  
 \_\_\_\_\_  
 Att. José de Jesús Comparan Sandoval  
 Ingeniero de Calidad de M Aerospace RTC S. de R.L. de C.V.

  
 \_\_\_\_\_  
 Arturo Reyes  
 Ingeniero Estructural de M Aerospace RTC. S. de R.L. de C.V.

M Aerospace RTC, Mexicali, B.C., Mexico  
 La información contenida en este documento es de propiedad exclusiva y está sujeta a restricciones.

## Índice

Índice .....	4
<b>1. Capítulo 1: Introducción .....</b>	<b>9</b>
1.1. Antecedentes.....	9
1.2. Justificación .....	10
1.3. Planteamiento del Problema .....	11
1.4. Preguntas de Investigación .....	14
1.5. Objetivos (General y Específicos) .....	14
1.5.1. General.....	14
1.5.2. Específicos .....	14
1.6. Hipótesis.....	15
<b>2. Capítulo 2: Marco teórico / referencial .....</b>	<b>16</b>
2.1 Mercado de manufactura aditiva .....	16
2.2 Patentes de mamparas en el mercado actual .....	17
2.3 Distribución de las Piezas Aditivas en el Mundo .....	21
<b>3. Capítulo 3: Metodología.....</b>	<b>24</b>
3.1 Evaluación del caso de negocio.....	24
3.2 Realizar un análisis previo a las regulaciones y requerimientos del cliente. ...	25
3.3 Revistar y Ajustar las simulaciones previas del diseño original en donde se muestran las características críticas del diseño .....	25
3.4 Realizar un estudio económico de la factibilidad del proyecto .....	25
3.5 Realizar el modelo 3D para observar los beneficios o cambios generados.....	25
3.6 Realizar a detalle la simulación .....	27
3.7 Realizar un slicing o un corte seccional para verificar la funcionalidad del mecanismo, así como la factibilidad y orientación de impresión .....	28
3.8 Impresión de la Pieza.....	29
3.9 Validación de Calidad y Certificación .....	29
<b>4. Resultados .....</b>	<b>33</b>
<b>5. Discusión, Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>37</b>
<b>6. Referencias:.....</b>	<b>38</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 - Incidente Avión (Hradecky, 2015).....	11
Figura 2- Aterrizaje de Avión (Loeffler, 2019) .....	12
Figura 3- Suelo de un Avión (Loeffler, 2019) .....	12
Figura 4 - Posición de Compartimientos (Boeing, 2011) .....	12
Figura 5 - Ubicación Compartimientos de Carga (Professionals Aero, 2017) .....	13
Figura 6- Crecimiento de Demanda de Aeronaves (PROMEXICO-FEMIA-TECHBA, 2017) .....	13
Figura 7- Mercado de Partes de Refacción en Aviación (Munguía, 2019).....	21
Figura 8 - Mercado de Partes en Aviación (PROMEXICO-FEMIA-TECHBA, 2017).....	22
Figura 9- Etapa de Maduración de Impresión 3D (Gartner, 2018).....	22
Figura 10- Análisis de Mercado de Piezas Impresas (Gartner, 2018) .....	23
Figura 11 -Ciclo de un Producto Aditivo (Munguía, 2019) .....	24
Figura 12- Panel de Descompresión (Mampara) (Munguía, 2019) .....	26
Figura 13 - Panel vista Frontal (Munguía, 2019) .....	27
Figura 14 - Mecanismo de Descompresión (Munguía, 2019) .....	28
Figura 15 - Panel de Descompresión Montado (Munguía, 2019).....	29
Figura 16 - Compartimiento de Carga Completo (Munguía, 2019) .....	30
Figura 17- Acercamiento de Compartimiento de Carga (Munguia, 2019).....	31

## Índice de Tablas

Tabla 1 - Pruebas de Esfuerzo en los Paneles .....	35
--	----

## Lista de Abreviaturas

ABS. Acrylonitrile butadiene styrene

FAA. Federal Aviation Administration

DGAC. Dirección General de Aviación Civil

FEMIA. Federación Mexicana de la Industria Aeroespacial

FAR. Federal Acquisition Regulation

EASA. European Union Aviation Safety Agency

FTS. Flammability, toxicity and Smoke

FFF. Fused Filament Fabrication

FDM. Fused Deposition Modeling

HIPing. Hot Isostatic Pressing

PLA. Poly Lactic Acid

STEM. Science, Technology, Engineering & Math

TCAA. Tanzanian Civil Aviation Authority

TPU. Thermoplastic Polyurethane

## Resumen

El presente proyecto denominado “Diseño de Mampara fabricada con Manufactura Aditiva para aumento de seguridad en pasajeros y aligeramiento de un Avión” pretende mostrar cómo funciona el desarrollo desde la concepción del diseño de los paneles del compartimiento de carga (mamparas), y su función en base a las mejoras ante un aterrizaje de emergencia, con el fin de evitar pérdidas de vidas y sobretodo aumentar la probabilidad de un aterrizaje forzoso con éxito.



## 1. Capítulo 1: Introducción

En la actualidad existen una alta demanda de mamparas de los compartimientos de carga que demandan un incremento en la seguridad de los pasajeros a causa de aterrizajes de emergencia, es por ello que las autoridades Aeronáuticas están realizando mejoras en sus legislaciones, haciendo más estrictas las normativas lo cual reflejará mayores tiempos de entregas para la entrega de piezas, así como elevar los costos de manufactura de dichos componentes.

### 1.1. Antecedentes

M Aerospace RTC es una empresa dedicada al diseño, simulación y fabricación de componentes aeroespaciales para el interior del avión con enfoque a la tecnología aditiva de termoplásticos y metales, el llevar de un lado a otro los paneles de carga resulta muy complicado para atender a exposiciones del sector representando gastos elevados para la empresa el representarla en exposiciones a nivel internacional, este proyecto pretende apoyar a la empresa en temas tanto de mercadotecnia, como de desarrollo de nuevos productos para la simulación efectiva de visualizar el producto físicamente en un ambiente real, así como capacitar a diversas personas en temas específicos como lo es la seguridad del personal, mediante la demostración del funcionamiento de los paneles del compartimiento de carga y sus sistema de descompresión.

La empresa está constituida como un S de R.L. de C.V., de la cual está a cargo como director de ingeniería su fundador Juan Carlos Munguía Castañeda.

A raíz de la necesidad del sector aeroespacial por indagar más de las aplicaciones de la manufactura aditiva aplicada en componentes aeroespaciales, el fundador de M Aerospace RTC con amplia experiencia en el tema, así como en temas relacionados a estructuras y diseño decide crear

M Aerospace RTC, con el fin de desarrollar una empresa enfocada en la investigación y desarrollo de temas de relevancia en el sector para tener un impacto social en temas de aprendizaje a través de la metodología STEM, así como satisfacer una necesidad del sector, el cuál es conocimiento.

Otro factor importante en el desarrollo de esta empresa fue abrir un panorama favorable al público en general y de la región de Baja California, ya que con esta tecnología se pueden implementar mejoras en temas de entrenamiento aumentando el aprendizaje conocido como STEM, por sus siglas en inglés (Science, Technology, Engineering & Math) (Chen, 2019)

## **1.2. Justificación**

El proyecto tiene como intención realizar piezas del interior del compartimiento de carga de un para demostrar los beneficios que tiene el utilizar la tecnología aditiva en mecanismos de las mamparas del avión para una mejora en la durabilidad e integridad estructural de la pieza.

El proyecto nace como una iniciativa del sector aeroespacial derivado a la escasez de conocimiento en el ámbito de manufactura aditiva no solo en la región, sino a nivel global. Su fundador Juan Carlos Munguía Castañeda un joven Mexicalense con amplia experiencia en el sector aeroespacial quién actualmente labora como decidió emprender está idea a raíz de identificar una problemática para desarrollar componentes aeroespaciales duraderos que cumplieran con los requerimientos de las entidades Aeroespaciales como lo son la Agencia de Seguridad de Aviación de la Unión Europea – EASA (por sus siglas en inglés) y la Administración Federal de Aviación – FAA (por sus siglas en inglés), fue entonces cuando desarrollo las mamparas hechas con tecnología aditiva dentro de M Aerospace RTC ubicada en una de las regiones más importantes del país en Mexicali, Baja California con el soporte de un equipo de ingeniería con más de 15 años de experiencia en la industria listos para apoyar a las diversas empresas no solo de la región de

Mexicali, ni Baja California, sino del país. Creando paneles que cumplen con las regulaciones aeronáuticas a través de tecnología de manufactura aditiva.

### 1.3. Planteamiento del Problema

Actualmente han existido algunos incidentes como los famosos accidentes del Boeing 737 como en Etiopía y otro en Florida (El Mundo, 2019) en donde el aterrizaje no fue como se esperaba, teniendo una despresurización en cabina y generando partes no reutilizables, así como algunos pisos quebrados como se muestra en Figura 1.

En la Figura 2 se muestra un avión 737 que por causa de los reportes generados para el avión 737 no le es posible volar, aun y que los suelos están sin desprender ni dañados como se muestra en la Figura 3.



*Figura 1 - Incidente Avión (Hradecky, 2015)*



Figura 2- Aterrizaje de Avión (Loeffler, 2019)



Figura 3- Suelo de un Avión (Loeffler, 2019)

Dichos compartimientos se localizan en la posición las zonas STA 975 y STA 1541 como se muestra en la Figura 4 y Figura 5

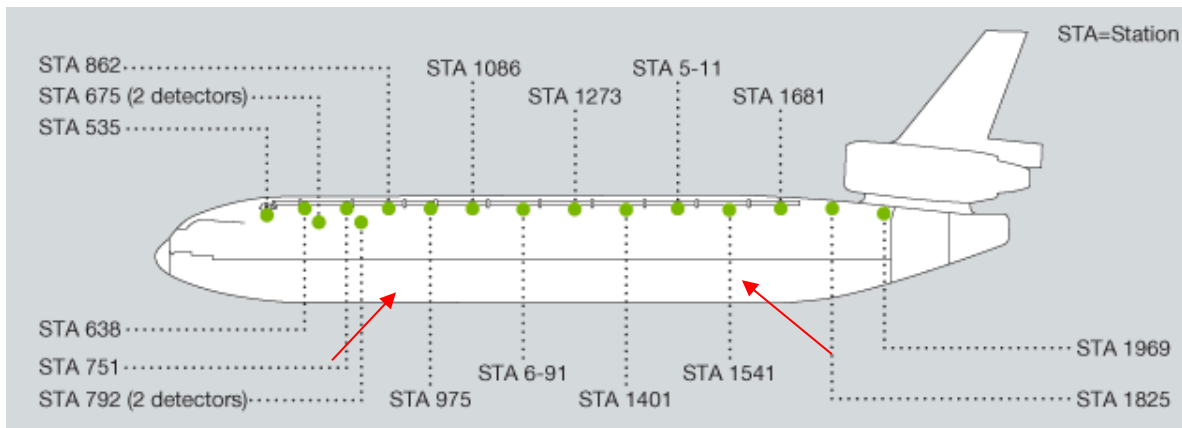


Figura 4 - Posición de Compartimientos (Boeing, 2011)

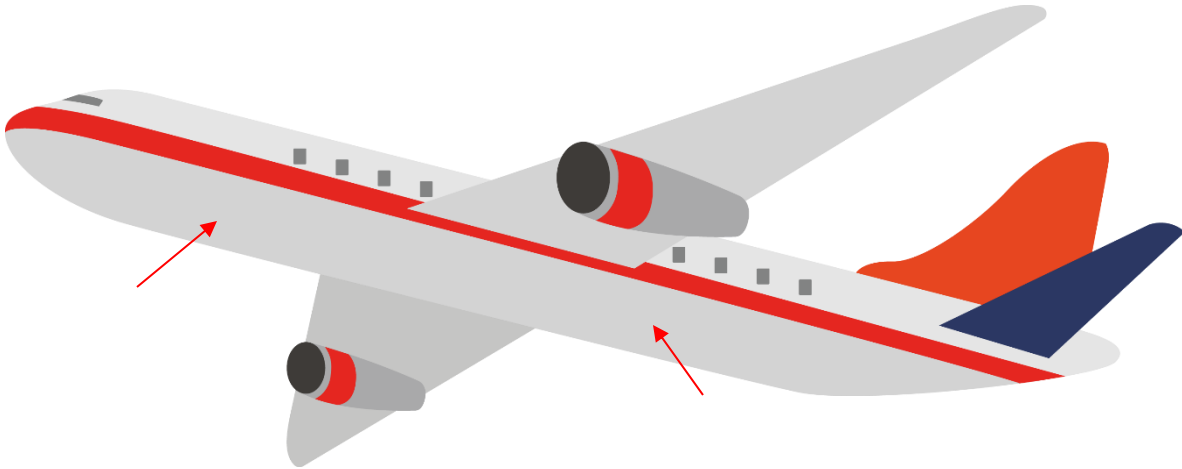


Figura 5 - Ubicación Compartimientos de Carga (Professionals Aero, 2017)

A pesar de estos accidentes, la demanda de aeronaves no se ve ni cerca de disminuir la producción de dichas aeronaves tal y como se muestra en la figura 4. Como se puede observar, se proyecta que para el 2014 se construyan más de 1000 aviones por año, tal y como se muestra en la Figura 6

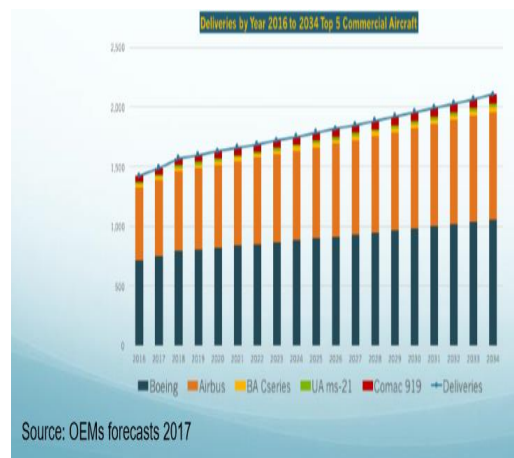


Figura 6- Crecimiento de Demanda de Aeronaves (PROMEXICO-FEMIA-TECHBA, 2017)

Es por ello que hoy en día las autoridades aeronáuticas buscan una solución estructural para que los paneles de las aeronaves sean mucho más eficientes, así como mucho más resistentes ante este tipo de situaciones.

#### 1.4. Preguntas de Investigación

- I. ¿Los paneles fabricados por tecnología aditiva son más duraderos que los fabricados por métodos tradicionales (maquinados o realizados en autoclaves)?
- II. ¿Requieren las piezas impresas ser maquinadas después de ser impresas?
- III. ¿Qué tipo de certificaciones tendrán que tener los paneles fabricados por tecnología aditiva?
- IV. ¿Tardará menos en imprimir una pieza que en fabricarlo tradicionalmente?

#### 1.5. Objetivos (General y Específicos)

##### 1.5.1. General

Diseñar mamparas fabricadas con manufactura aditiva mediante el uso de optimizaciones topológicas para aumentar la seguridad de los pasajeros.

##### 1.5.2. Específicos

Entre los objetivos específicos son:

- I. Conocer las ventajas de fabricar con tecnología de Fabricación de Filamento (Fused Filamente Fabrication, en inglés)- FFF o Fused Deposition Modeling por sus siglas en inglés, FDM.
- II. Conocer qué tipo de pos-procesamiento llevarán los paneles de compartimiento de carga
- III. Describir como es el ciclo del desarrollo de una pieza aditiva, así como el proceso de certificación de la misma
- IV. Comparar el tiempo de desarrollo de una pieza aditiva contra una maquinada.
- V. Proporcionar un panel de descompresión que supere las limitantes de los paneles existentes.

- VI. Proporcionar un novedoso panel que cumpla con los requerimientos de establecidos por las autoridades aeronáuticas.
- VII. Desarrollar un panel que pueda ser usado en arreglos dobles para obtener paneles con ajustes de descompresión frontal y trasera.

### **1.6. Hipótesis**

El desarrollo de paneles impresos por tecnología aditiva impactará en el aumento de la seguridad de los pasajeros y se logrará una reducción de hasta un 25% del peso de la aeronave.

## **2. Capítulo 2: Marco teórico / referencial**

### **2.1 Mercado de manufactura aditiva**

El proceso de unión de materiales para hacer piezas a partir de datos del modelo 3D es conocido como manufactura aditiva, generalmente capa tras capa, en oposición a las metodologías de fabricación sustractiva y formativa (Ligon, 2017).

A su vez la metodología STEM ayuda a dar mayores habilidades a los alumnos de educación básica para la integración de componentes en el sector aeroespacial (Selecciones, 2017). Ya que, a través de la ciencia, tecnología ingeniería y matemáticas los alumnos se involucran en proyectos específicos para desarrollar soluciones tales como seleccionar material, o el proceso específico de impresión.

Actualmente existen diversos materiales para la impresión 3D como lo son ABS, PLA, TPU, entre otros, aunque en la actualidad el único material termoplástico que cuenta con trazabilidad y puede utilizarse para el sector aeroespacial por soportar las características de flamabilidad, toxicidad y humo es el ULTEM 9085, el cuál usando una máquina de impresión como la FORTUS 900 y siguiendo los procedimientos adecuados puedes llegar a fabricar un componente aeronáutico. (AMS7100, 2019)



## 2.2 Patentes de mamparas en el mercado actual

A continuación, se presenta una breve ficha técnica de dichos documentos, así como las características más relevantes de cada una de las invenciones que revelan dichos documentos.

1. Solicitud de Patente: EP 1186531 A2

Título: Aircraft decompression panel assembly

Fecha de prioridad: 8/09/2000

Fecha de publicación: 13/03/2002

También publicada como: EP1186531 (A3), EP1186531 (B1), EP1186531 (B2), DE60114334 (T2), DE60114334 (T3) y US6435455 (B1).

La solicitud de patente describe una mampara para separaciones entre habitáculos de un avión, que tiene un panel de alivio de presión que se libera del conjunto durante la rápida descompresión de un compartimiento presurizado. En el diseño mostrado, el elemento de descompresión está cubierto por una rejilla de protección que evita que el mamparo sea dañado por objetos. En la solicitud antes citada no se menciona el proceso de manufactura aditiva; sin embargo, la presencia de rejillas de protección podría restar actividad inventiva a su desarrollo, ya que la función de estas rejillas es la de evitar que los elementos de la bahía de carga golpeen panel durante el movimiento de los equipajes o en eventos de descompresión rápida.

2. Patente: US 4,899,960

Título: Decompression panel for aircraft partition

Fecha de prioridad: 8/05/1987

Fecha de concesión: 13/02/1990

También publicada como: DE3715328 (C1), EP0291661 (A2), EP0291661 (A3) y EP0291661 (B1)

La patente protege un panel de descompresión para separar los habitáculos de una aeronave del compartimiento de carga, que está constituido por un panel con una perforación central en la que se coloca un elemento de descompresión con medios para la unión entre el elemento de descompresión y el panel, que tiene puntos de fractura predeterminados y una serie de resortes que evitan la separación completa del elemento de descompresión del panel. A diferencia de su invención, no se describe el uso de Ball Catches como elementos para asegurar el elemento de descompresión al panel, ni que el panel este hecho de algún tipo de material en específico. Asimismo, no se menciona el uso de manufactura aditiva para obtener el panel, sin embargo, este documento podría ser usado para restar actividad inventiva a su desarrollo, ya que muestra un elemento de descompresión similar al de su desarrollo.

### 3. Solicitud de Patente: US2017/0274974A1

Título: Method for manufacturing a lining panel with an integrated electrical connector for an aircraft or spacecraft, lining panel and lining panel assembly

Fecha de prioridad: 24/03/2016

Fecha de publicación: 28/09/2017

También publicada como: EP3222513 (A1)

Cabe mencionar que se omitirán por cuestiones de confidencialidad, así como temas irrelevantes 9 fuentes consultadas para verificar la viabilidad de la patente de dicho panel fuera relevante.

Por lo cual el panel desarrollado describe un método para fabricar un panel de revestimiento con conectores eléctricos integrados, que utiliza una técnica de fabricación aditiva que usa impresoras 3D para formar pines eléctricamente conductivos en el panel en donde se incluye un panel interno que sirve como elemento de descompresión.

Otro punto importante es que la patente US 4899960 A, describe un panel de descompresión para separar los habitáculos de una aeronave del compartimiento de carga, que está constituido por un panel con una perforación central en la que se coloca un elemento de descompresión con medios para la unión entre el elemento de descompresión y el panel, que tiene puntos de fractura predeterminados y una serie de resortes que evitan la separación completa del elemento de descompresión del panel. El arreglo descrito, tiene la desventaja de que no puede ser vuelto a colocar después de un evento de descompresión ya que los elementos de fijación se rompen inhabilitando por completo el panel, de tal forma que se debe cambiar por completo junto con su marco de soporte.

La patente US 5085017 A, describe un mamparo de descompresión para usarse en aviones comerciales, que comprende un panel exterior y un panel interior, estando el panel interior fijado al panel exterior mediante elementos con puntos de ruptura con límites preestablecidos, de tal forma que durante un evento de descompresión los elementos de unión se rompen liberando la pared central del panel. El arreglo descrito tiene la deficiencia de que no puede ser reutilizado o retirado de su lugar sin dañar el panel, por lo que en caso de tener que realizar labores de mantenimiento, es necesario cambiar el panel por uno nuevo. Además, debido a su construcción, el panel es muy susceptible de romperse por vibraciones causadas durante el despegue o aterrizaje de la aeronave.

La patente US 5606829 A, describe un elemento de fijación para ser usado en paneles de descompresión. Dicho elemento de fijación es una estructura de tipo cono truncado, que es recibido en una ranura con pestañas internas, creando una fijación de tipo anclaje que mantiene al elemento de descompresión en su lugar hasta que se presente un evento de descompresión. El elemento de descompresión descrito una vez pasado el evento de descompresión, tiende a romperse y en algunos casos deformar las pestañas internas por lo que no es posible volver a usar el panel, siendo necesario cambiar todo el elemento de fijación para volver a reutilizar el panel.

La patente US 5871178 A, describe un panel de descompresión de forma circular que está diseñado para ser colocado sobre una abertura de ventilación. El panel presenta en su parte central aperturas en las que se colocan placas de cubierta que son mantenidas en su lugar mediante primeros y segundos elementos de retención. Una vez colocada la construcción descrita, no puede ser retirada sin deformar los elementos de anclaje, por lo que se trata de un panel de un solo uso.

La patente US871483B2, describe un dispositivo de descompresión conformado por un marco con por lo menos una abertura de descompresión formada en el mismo y una cubierta que se puede sujetar, por medio de un dispositivo de sujeción, al marco, con el fin de cubrir la por lo menos una abertura. En esta patente, la sujeción es del tipo clip, siendo los elementos encargados de la misma una serie de pasadores con un límite de tolerancia a partir del cual se desacoplan para permitir que la cubierta pase de una primera posición (cerrada) a una segunda posición operativa en la que se permite la descompresión. El diseño de los pasadores evita su reutilización ya que para ser fijados se deforman para generar la unión tipo clip, por lo que después del evento de descompresión se ven inutilizados.

Ninguno de los paneles de descompresión antes citados, puede ser reutilizado después de un evento de descompresión, ya que los medios encargados de su fijación se rompen durante la pérdida de presión en cabina, por lo que deben ser reemplazados por completo después de ocurrir un evento de esta índole. Además, los paneles disponibles tienen la desventaja de que una vez colocados, no se puede acceder a la parte posterior de los compartimientos donde se colocaron, por lo que, en caso de requerir hacer reparaciones de mantenimiento, el panel debe ser retirado por completo junto con sus sistemas de anclaje, siendo en muchos casos necesario el recambio total del panel por daños causados durante su desensamble. Más aún, los paneles descritos, no pueden soportar cargas axiales aplicadas en la dirección "X" ya que los elementos encargados de la descompresión se separan del panel inutilizándolo por completo.

En vista de lo anterior, existe la necesidad de proporcionar un panel de descompresión para aeronaves comerciales, que pueda ser reutilizado en múltiples ocasiones sin que sus elementos de ensamblaje se desgasten o rompan durante las maniobras de movimiento del panel. Asimismo, existe la necesidad de proporcionar un panel de descompresión que pueda soportar cargas axiales en dirección positiva, en particular, capaz de soportar impactos en la dirección “X” sin que el panel se desprenda de sus elementos de ensamblaje. Más aún, existe la necesidad de proporcionar un panel de descompresión que cumpla con los requerimientos de flamabilidad, penetración de la flama, y humo establecidos por las normas TCAA 525.365(f), FAA 25.365 (f), EASA 25.365 (f), FAA 25.789 (a) y, EASA 25.789 (a).

### 2.3 Distribución de las Piezas Aditivas en el Mundo

Actualmente el mercado de partes de refacciones en un mercado que acelera en un 6% por año, teniendo un incremento de \$9.67 billones de dólares para el 2022 con un incremento del 37% tan solo en la región europea y el resto en américa, sin duda alguna uno de los mercados claves para atender está enorme demanda el de la manufactura de piezas a través de la tecnología aditiva, tal y como se muestra en la Figura 7 acorde al Businesswire and Technavio (2019).



Figura 7- Mercado de Partes de Refacción en Aviación (Munguia, 2019)

M Aerospace RTC, Mexicali, B.C., México

La información contenida en este documento es de propiedad exclusiva y está sujeta a restricciones.

Así como también se tiene detectado un crecimiento en diversos sectores específicos como lo mostrado en la Figura 8.



Figura 8 - Mercado de Partes en Aviación (PROMEXICO-FEMIA-TECHBA, 2017)

En donde sin duda estamos llegando a una etapa de productividad para la impresión de piezas, acorde a lo mostrado por el proveedor EOS en la Figura 9:

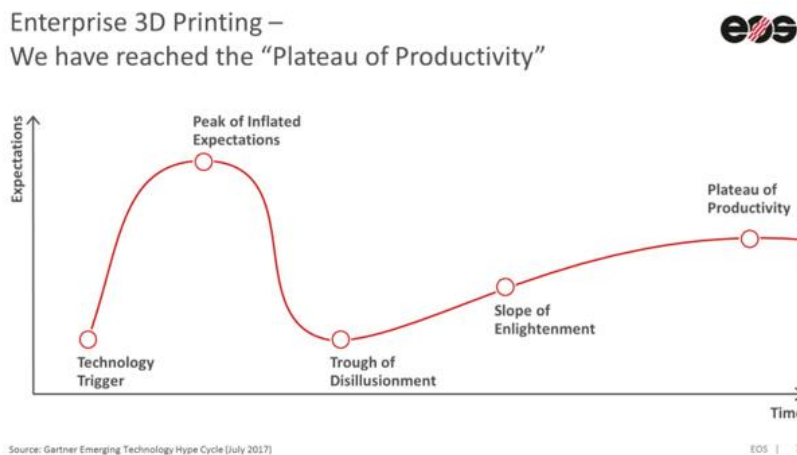


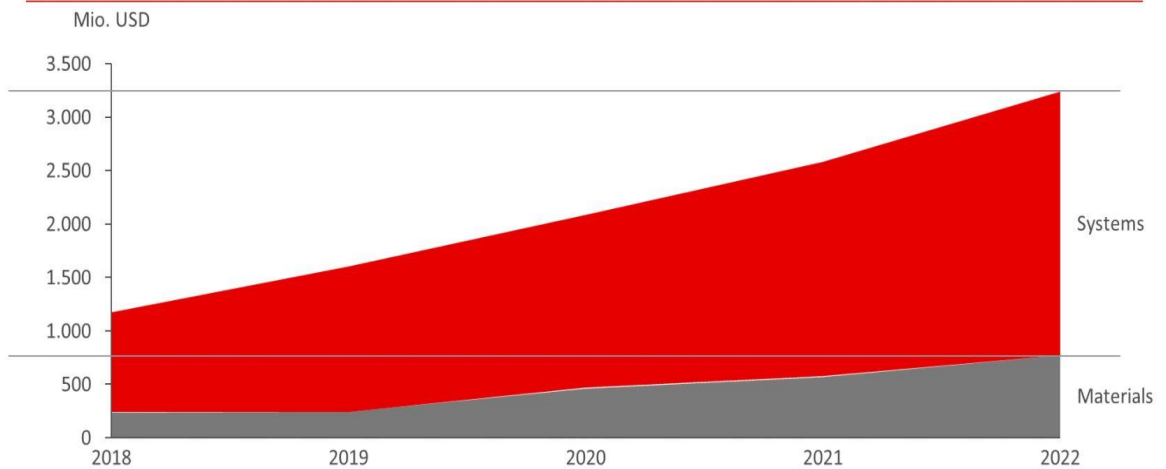
Figura 9- Etapa de Maduración de Impresión 3D (Gartner, 2018)

Y en donde se espera triplicar el por lo menos el mercado de piezas impresas para el 2022 como se muestra en la Figura 10

The metal additive manufacturing market is expected to more almost triple within the next 5 years



**Metal additive manufacturing market**



Source: SmarTech

EOS | 8

*Figura 10- Análisis de Mercado de Piezas Impresas (Gartner, 2018)*

### 3. Capítulo 3: Metodología

Para realizar el proyecto se siguen los siguientes pasos como se muestra en la Figura 11 en donde se realizan los pasos:

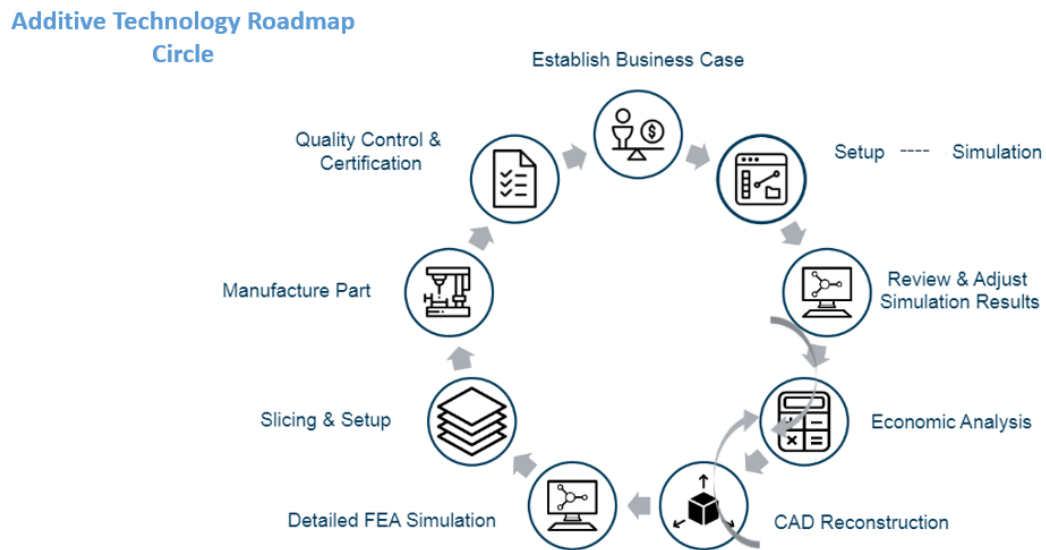


Figura 11 -Ciclo de un Producto Aditivo (Munguía, 2019)

#### 3.1 Evaluación del caso de negocio

El proyecto inicia conociendo las necesidades del mercado, así como las regulaciones. Y estableciendo los criterios, tipos de aeronaves y sus configuraciones, así como el tipo de sistema que se modificará.



### **3.2 Realizar un análisis previo a las regulaciones y requerimientos del cliente.**

Por razones de confidencialidad se omiten los documentos utilizados para dicho diseño, sin embargo, cabe mencionar que cumplen con los requerimientos específicos de flamabilidad, toxicidad y humo indicados en la FAR25.853 así como los lineamientos obligatorios para los mecanismos críticos de descompresión.

### **3.3 Revistar y Ajustar las simulaciones previas del diseño original en donde se muestran las características críticas del diseño**

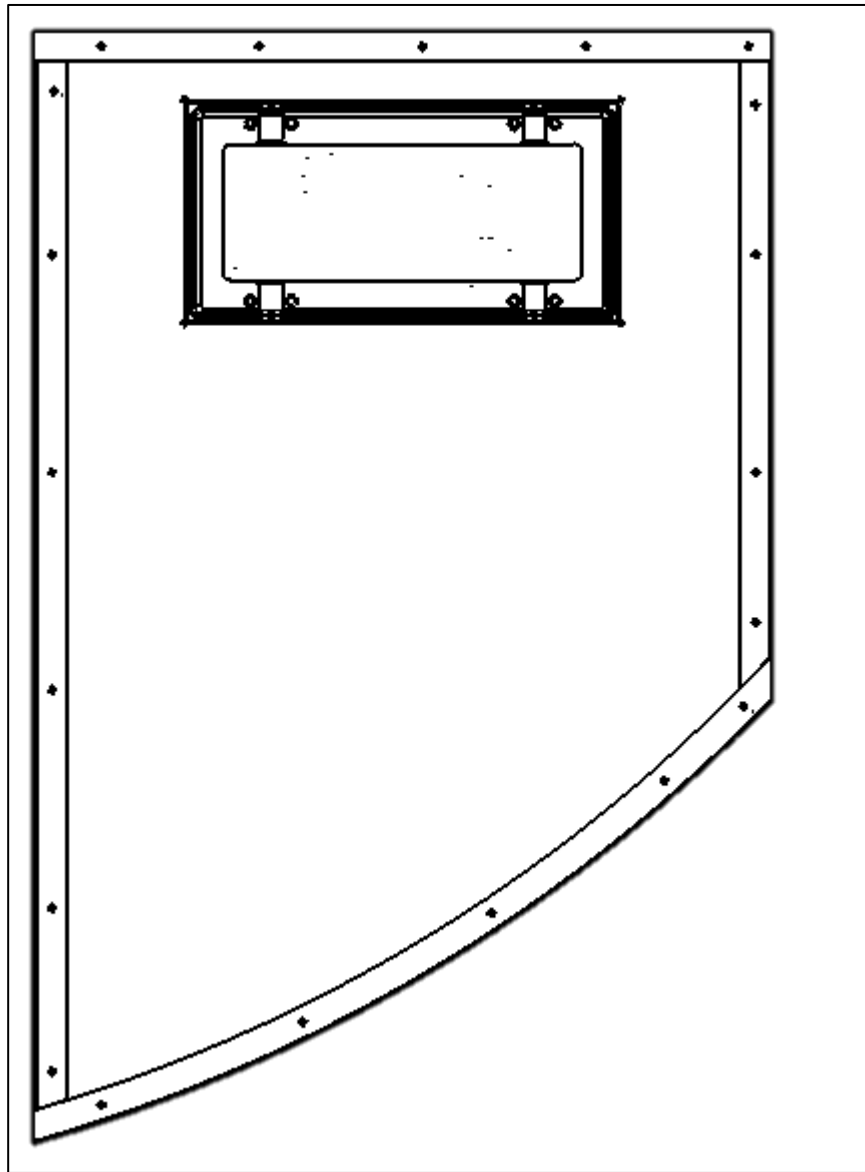
Se realizan simulaciones para ver que el diseño cumpla con las normatividades, así como los requerimientos del cliente, así como identificar posibles fallas.

### **3.4 Realizar un estudio económico de la factibilidad del proyecto**

Se tiene que desarrollar todo un estudio de factibilidad para ver si el proyecto es rentable analizando los costos de operación, mano de obra, insumos, consumo eléctrico y pos-procesamiento. Todo esto acorde a procedimientos regulados por M Aerospace RTC y su estudio de factibilidad desarrollado internamente.

### **3.5 Realizar el modelo 3D para observar los beneficios o cambios generados.**

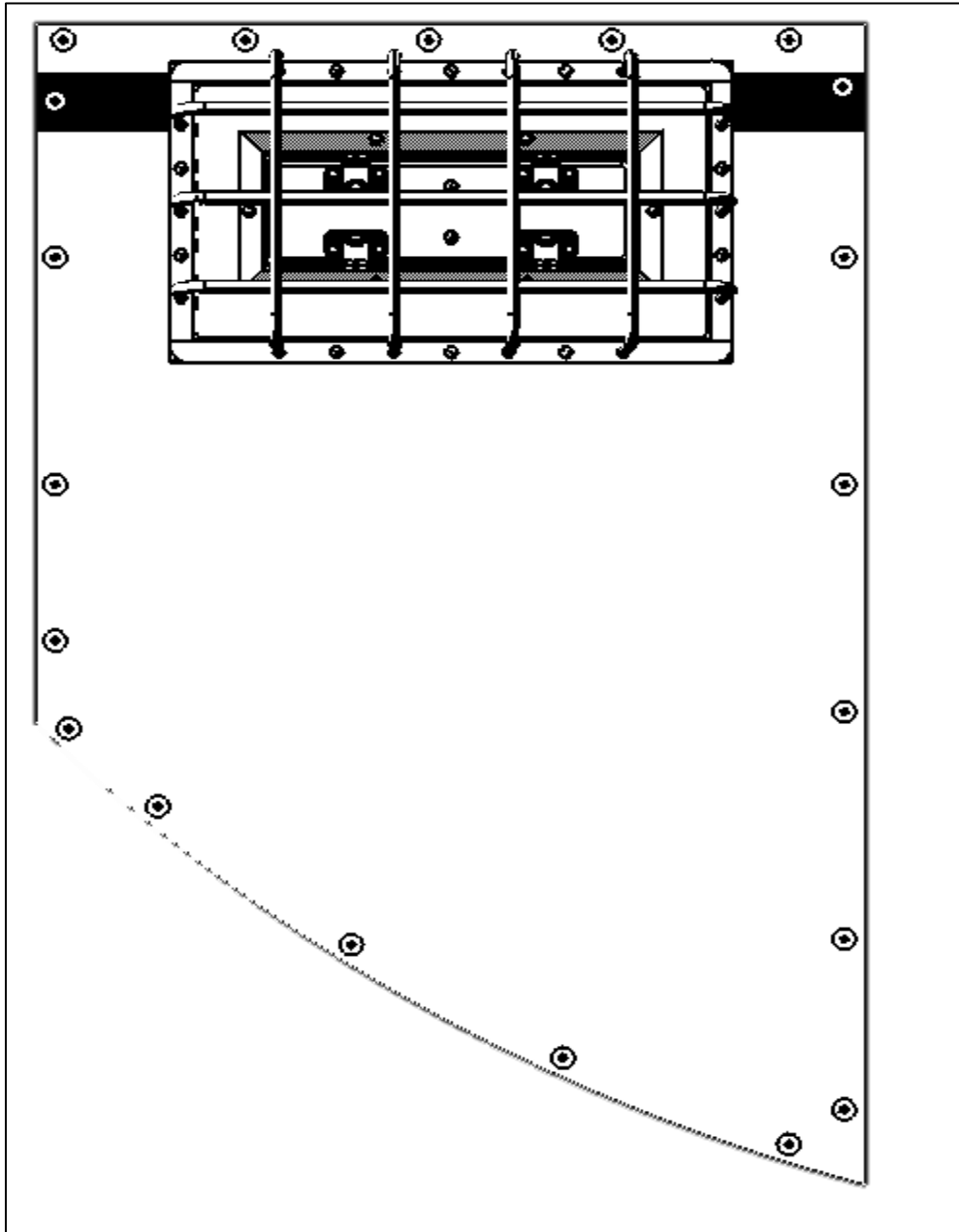
Tal y como se muestra en la Figura 12, en una vista posterior del panel de descompresión de la presente invención, para simular el compartimiento de descompresión.



*Figura 12- Panel de Descompresión (Mampara) (Munguía, 2019)*

### 3.6 Realizar a detalle la simulación

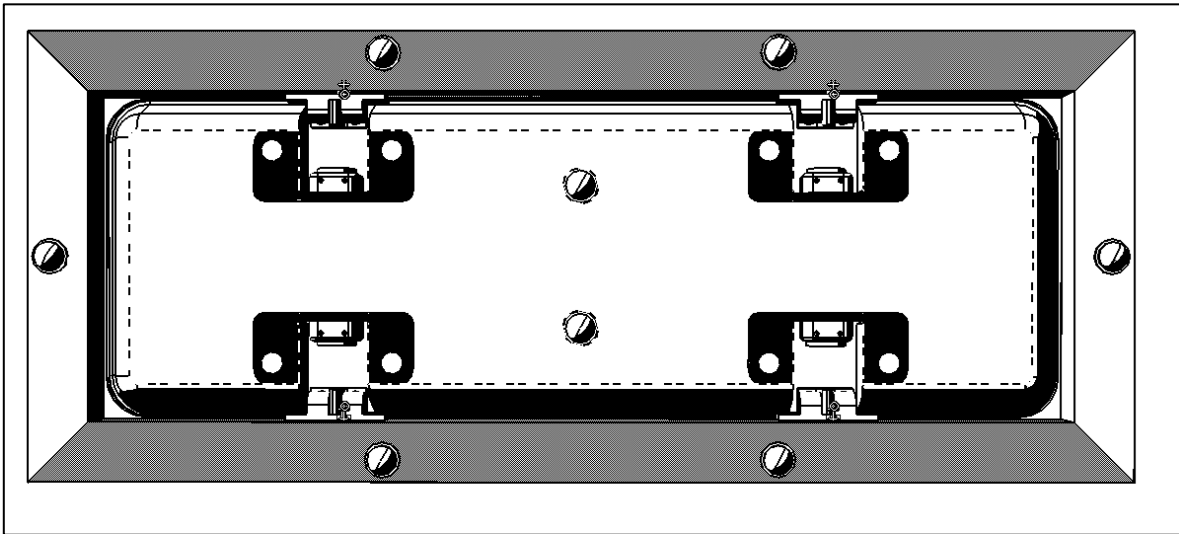
La Figura 13, muestra una vista frontal de panel de descompresión de la presente invención.



*Figura 13 - Panel vista Frontal (Munguía, 2019)*

### 3.7 Realizar un slicing o un corte seccional para verificar la funcionalidad del mecanismo, así como la factibilidad y orientación de impresión

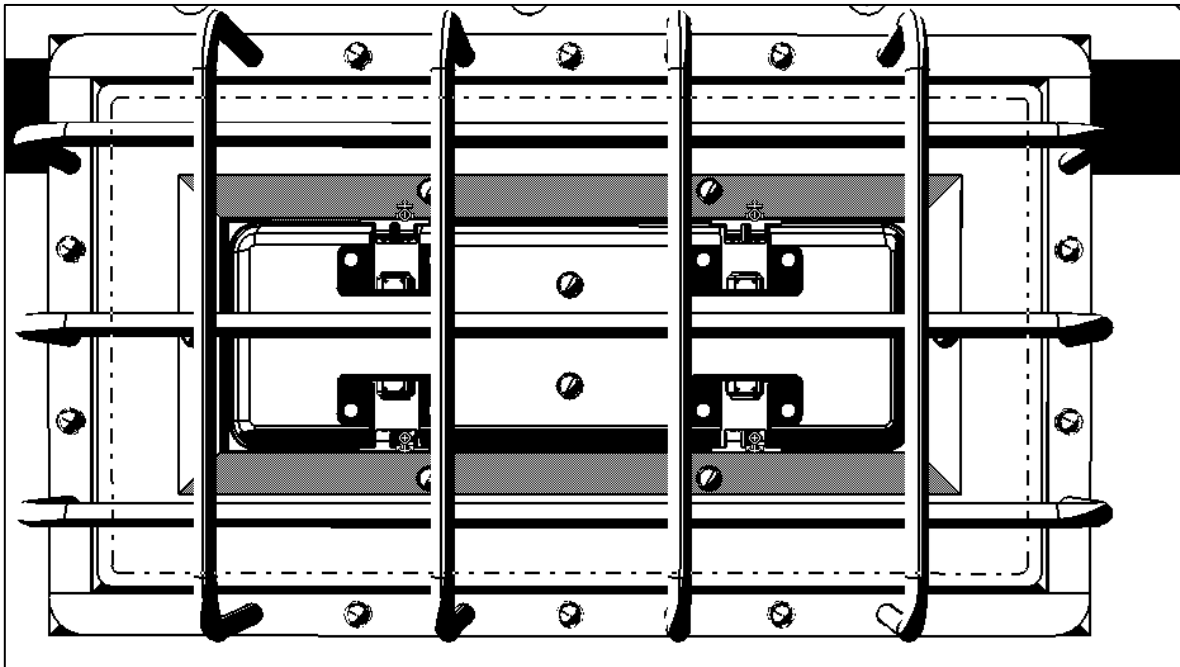
La Figura 14, muestra un acercamiento al mecanismo de ensamble del panel de la presente invención en el que se muestran sus elementos constitutivos, así como el panel a imprimir.



*Figura 14 - Mecanismo de Decompresión (Munguía, 2019)*

### 3.8 Impresión de la Pieza

Para este paso se debe tener la certeza de la funcionalidad de la pieza, con lo cual se manda imprimir la pieza y se coloca en el compartimiento de carga tal y como se muestra en la Figura 15, en un panel de descompresión de la presente invención colocado en su ubicación final, con los medios de protección colocados sobre el mismo.

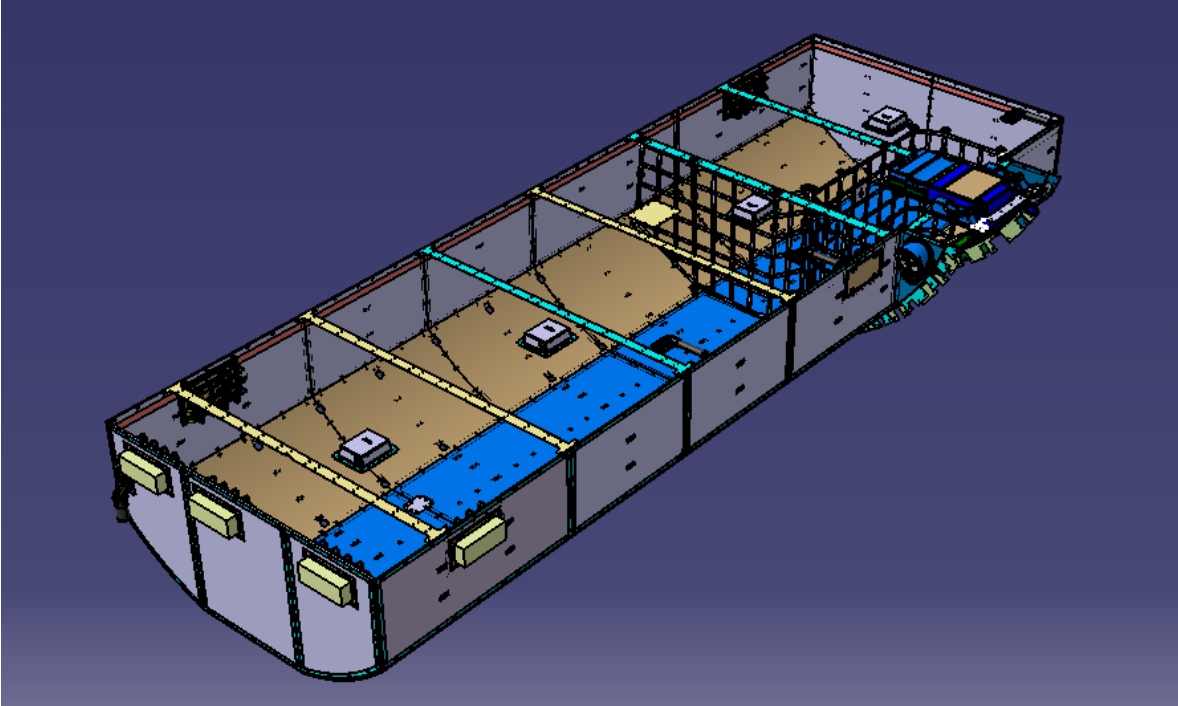


*Figura 15 - Panel de Descompresión Montado (Munguía, 2019)*

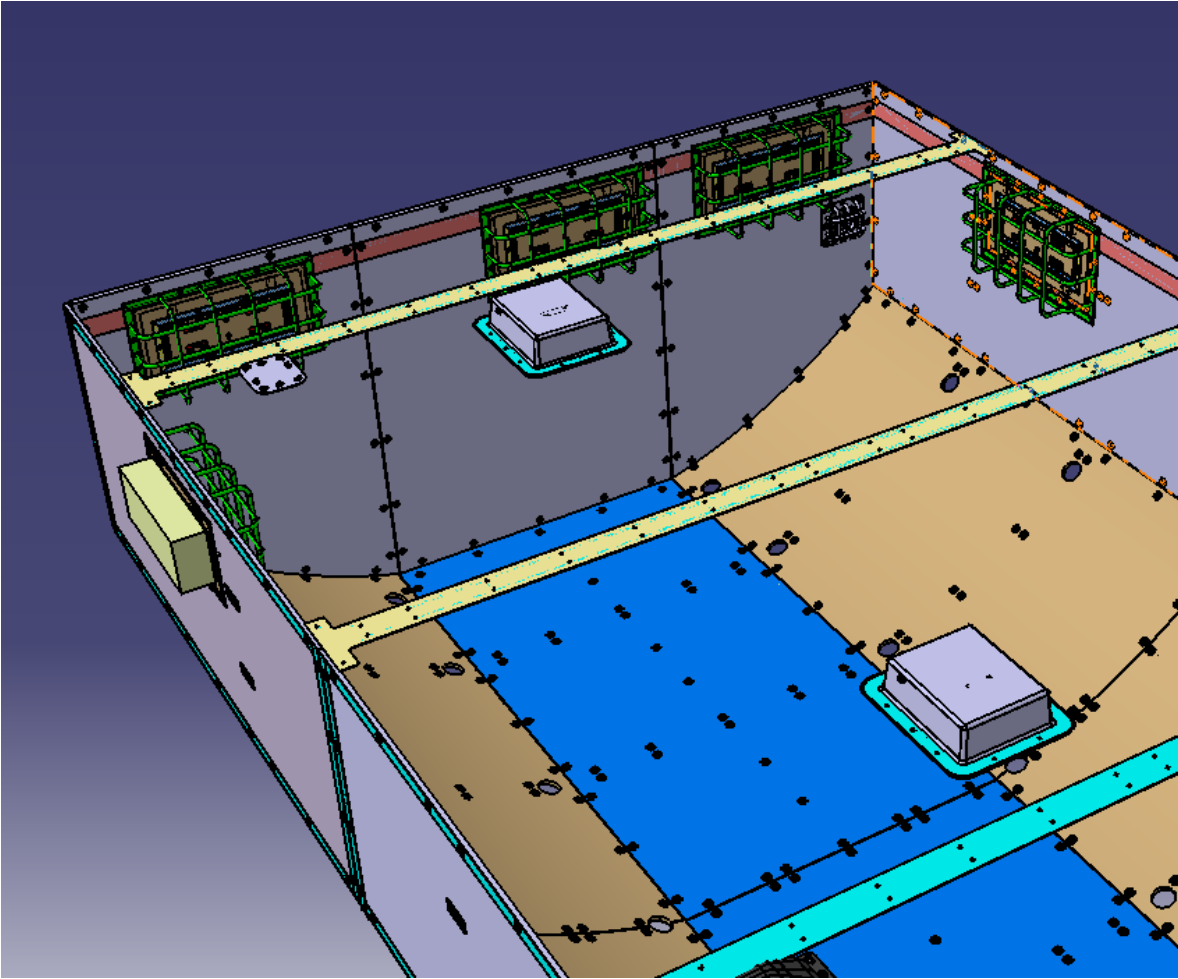
### 3.9 Validación de Calidad y Certificación

Por último, es muy importante validar la calidad de la pieza, así como la integridad estructural de la misma con la cual sea posible certificar la mampara por cuestiones de confidencialidad se omite este proceso.

El componente mostrado anterior irá colocado en los compartimientos de carga los cuales llevan 16 paneles similares al desarrollado tal y como se muestra en la Figura 16 y la Figura 17.



*Figura 16 - Compartimiento de Carga Completo (Munguia, 2019)*



*Figura 17- Acercamiento de Compartimiento de Carga (Munguia, 2019)*

Con todo lo dicho anteriormente la invención proporciona un novedoso panel de descompresión de manufactura aditiva para aviones con un mecanismo de ensamblaje reutilizable que facilita su instalación, en las superficies internas del fuselaje y compartimento de carga de aviones comerciales, que además permite su fácil desensamble para poder llevar a cabo trabajos de mantenimiento del panel o de los sistemas colocados en su cercanía. El panel de la presente invención, además está diseñado de tal manera que cumple con los lineamientos de la Administración Federal de Aviación (FAA por sus siglas en inglés), al mismo tiempo que cumple los requerimientos específicos de flamabilidad, toxicidad y humo indicados en la FAR25.853 así como los lineamientos obligatorios para los mecanismos críticos de descompresión.

Siendo un punto muy impórtate el hecho de que el panel fue sujeto a llevar todo el ciclo de certificación el cuál parte desde la concepción de la idea hasta lograr la certificación del componente.



## 4. Resultados

Los aviones comerciales están contruidos a partir de un fuselaje con una cavidad interna separada por una serie de paneles divisorios que delimitan distintas zonas con diferentes usos, los cuales pueden ir desde compartimientos de carga hasta compartimientos de transporte de pasajeros. Esta construcción facilita la creación de espacios adaptados a distintas funciones, lo que abarata los costos de fabricación y además permite usar un mismo tipo de fuselaje de avión para distintas funciones. Lo anterior también permite realizar modificaciones para adaptar los aviones a los usos que se les dará. Sin embargo, este tipo de construcción puede crear diferenciales de presión dentro y entre los distintos compartimientos, ya que no existe un libre flujo de aire entre ellos. Esta característica debe ser tomada muy en cuenta ya que, en los eventos de descompresión acelerada, como los que se presentan durante las maniobras de aterrizaje de emergencia, pueden causar eventos de descompresión masivos que pongan en riesgo la integridad estructural del fuselaje y de los elementos internos del avión. Asimismo, de no ser nivelada la presión entre los compartimientos, se puede poner en riesgo la seguridad de los pasajeros del avión.

A fin de evitar la presencia de diferenciales de presión entre los distintos compartimientos del avión, inicialmente se optó por colocar canales de intercomunicación a través de los cuales pudiera existir un libre flujo de aire. Estos elementos demostraron evitar la presencia de diferenciales de presión; sin embargo, trajeron consigo serias desventajas en torno a la seguridad del avión, ya que estos canales se convirtieron en vías que facilitan la dispersión de humo y llamas durante conatos de incendio, por lo que las ventajas obtenidas no compensaban los riesgos de seguridad. Además de esto, los canales de ventilación también permiten el paso de agentes químicos y olores desde el compartimiento de carga hacia los habitáculos de pasajeros y de tripulación, por lo que, en caso de eventos de derrame de combustibles, aceites o productos

químicos, la tripulación del avión podría ser puesta en contacto con los agentes antes mencionados.

Con el fin de resolver estos problemas, a lo largo de los últimos años se diseñaron diversos tipos de paneles y mamparos de descompresión que permiten hacer frente a los eventos de rápida descompresión causados por fallas técnicas en las aeronaves durante descensos de emergencia. Estos paneles y mamparos utilizan superficies desprendibles o mecanismos de apertura que facilitan la igualación de presiones entre los distintos compartimientos del avión solo cuando se genera un evento de descompresión repentina. Ejemplos de este tipo de equipos se describen en la patente EP 1186531 B2, en la que se describe un mamparo para separaciones entre habitáculos de un avión, que tiene un panel de alivio de presión que se libera del conjunto durante la rápida descompresión de un compartimiento presurizado. En el diseño mostrado, el elemento de descompresión está cubierto por una rejilla de protección que evita que el mamparo sea dañado por objetos. Sin embargo, el panel de alivio de presión que forma parte del arreglo, es un panel de alivio de un solo uso, ya que se rompe durante el evento de descompresión quedando inutilizado. Además, el anillo de retención se deforma, por lo que sus dedos no pueden volver a usarse para colocar un nuevo panel de alivio de presión.

Siendo los nuevos paneles sometidos a diversas pruebas de esfuerzo de carga obteniéndose los siguientes resultados:

Dirección de Carga	Panel tradicional	Panel de la presente invención
Frontal	9.0G	9.0G
Arriba	3.0G	4.2G
Abajo	6.0G	7.0G
Izquierda	3.0G	3.0G
Derecha	3.0G	3.0G
Trasera	1.5G	1.5G
Cargas limites	-	45.4Kg
Límites de descompresión	3.45KPa/7.72KPa	10.35 KPa/12.41 KPa

*Tabla 1 - Pruebas de Esfuerzo en los Paneles (Batelle, 2018)*

Los resultados antes obtenidos muestran claramente que el diseño del panel de la presente invención mejora sustancialmente el comportamiento mecánico del mismo haciéndolo más resistente a las fuerzas aplicadas durante los eventos de despegue y aterrizaje de la aeronave. Además, el panel de la invención tiene límites de descompresión superiores a los de los paneles de descompresión de manufactura convencional. Así como también se hace mención a que el tipo de sujeción permite que el panel sea reutilizable.

Siendo otro dato muy importante el tiempo de impresión ya que dichos paneles pueden ser impresos en tan solo 8 horas, teniendo el componente completo en tan solo 2 semanas, contra los 2 a 3 meses que tarda un componente tradicional en ser fabricado, sin mencionar que por el tipo de impresión FDM (patentado por la marca Stratasys) en un impresora de gama alta y con certificado de repetitividad no es necesario realizarle ningún pos-procesamiento a la pieza después de la impresión y puede ser enviada al cliente tal y como fue impresa (esto solo aplica para los paneles de descompresión), ya que en algunos casos la geometría para piezas impresas requiere de algún pos-procesamiento en especial sobre todo en piezas impresas metálicas como lo puede ser el HIPing o algún tratamiento térmico en específico para mejorar las propiedades mecánicas de la pieza o liberar esfuerzos residuales ocasionados por la impresión de la pieza.

## 5. Discusión, Conclusiones y Recomendaciones

En conclusión, los paneles fabricados por tecnología aditiva, han demostrado tener una mejora estructural y cumplir con los requerimientos establecidos por las autoridades aeronáuticas, así como disminuyen el tiempo de manufactura y los hace como una alternativa viable para ser componentes reutilizables satisfaciendo la necesidad de producir bastantes piezas al año, sin mencionar que ayudan a salvar vida gracias al diseño del mecanismo de doble descompresión desarrollado.

Cabe mencionar que para este proyecto debido a la naturaleza del proceso y que las máquinas utilizadas han sido confiables, así como la trazabilidad de los filamentos es provista por el fabricante, se reducen bastantes pasos para la certificación del componente, sin embargo para futuro proyectos es necesario considerar que en algunos casos es necesario el maquinado de la piezas antes de ser enviadas al cliente, con el fin de evitar rechazos, aunque se tiene que considerar que el hecho de realizar un proceso de máquina aumentará el costo de la pieza.

Otro punto importante a considerar es el tipo de tratamiento térmico que las piezas impresas deben de ser sometidas para el caso de los metales, que, aunque no se consideró en este proyecto, para futuros componentes se deben de considerar y sobretodo justificar por qué se seleccionó dicho pos-procesamiento.

Sin duda algún dicho proyecto abre un sin fin de posibilidades para temas de investigación, ya que como se ha mencionado anteriormente los materiales impresos tienen que ser considerados como materiales anisotrópicos ya que depende mucho de la orientación de impresión, así como de las características y parámetros de impresión para predecir el comportamiento de dichos materiales, el cuál no se mencionó a detalle en este proyecto debido a la limitante de validación de probetas.

## 6. Referencias:

3Diligent (2019). Powder Bed Fusion. Recuperado el 28 de Mayo del 2019 de :  
<https://www.3diligent.com/3d-printing-service/powder-bed-fusion/>

Aircraft Interiors Market Banking on 3D Printing Technology to Ensure Mass-Production Flexibility (2017) Recuperado el 26 de Mayo del 2019 en  
[http://www.abnewswire.com/pressreleases/aircraft-interiors-market-banking-on-3d-printing-technology-to-ensure-massproduction-flexibility\\_135372.html](http://www.abnewswire.com/pressreleases/aircraft-interiors-market-banking-on-3d-printing-technology-to-ensure-massproduction-flexibility_135372.html)

Boeing. Fire Protection: Cargo Compartments (2011). Recuperado de:  
[https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2011\\_q2/3/](https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2011_q2/3/) el 20 de Octubre del 2019.

Boeing in the UK (2017) Recuperado el 30 de Mayo del 2019 en  
<https://www.telegraph.co.uk/business/boeing-uk/how-big-is-the-uk-aerospace-industry/>

Businesswire and Technavio (2019) Recuperado el 26 de Mayo del 2019 en  
<https://www2.deloitte.com/global/en/pages/manufacturing/articles/global-a-and-d-outlook.html>

Chen, C. (2019). Significado de STEM (ciencia, tecnología, educación y matemáticas). Recuperado de: <https://www.significados.com/stem/> el 8 de Agosto del 2019

DE247 (2019). A deeper look into Metal Additive Manufacturing. Recuperado el 28 de Mayo del 2019 de: <https://www.digitalengineering247.com/article/a-deeper-look-into-metal-additive-manufacturing/>

el 13 de Octubre del 2017 de: <https://www.ge.com/reports/epiphanydisruption-ge-additive-chief-explains-3d-printing-will-upendmanufacturing/>.

El Mundo (2019). Recuperado de: <https://www.dw.com/es/boeing-737-se-sale-de-pista-y-se-precipita-a-un-r%C3%ADo-de-florida/a-48599792> el 8 de Agosto del 2019

- Gartner (2019). Interpreting Technology Hyper. Recuperado de: <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle> el 8 de Agosto del 2019
- GE. (2017). How 3D Printing Will Change Manufacturing – GE Reports. Recuperado Boeing 737 se sale de pista y se precipita a un río de Florida
- Gebhardt, A. (2012) Understanding Additive Manufacturing.
- Gibson, I. (2014). “Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing.”
- Grand View Research (2018) Recuperado el 26 de Mayo del 2019 en <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/aerospace-plastics-market>
- Hradecky, S. (2015). Accident: Ethiopian B734 at Accra on Jan 10th 2015, runway excursión Recuperado de: <http://avherald.com/h?article=4800ff53> el 8n de Agosto del 2019
- Hybrid Manufacturing Technology (2017). 7 Families of Additive Manufacturing. Recuperado de: [https://www.additivemanufacturing.media/cdn/cms/7\\_families\\_print\\_version.pdf](https://www.additivemanufacturing.media/cdn/cms/7_families_print_version.pdf) el 23 de Julio del 2019
- J.C. Ruiz-Morales (2017). Three dimensional printing of components and functional devices for energy and environmental applications
- Jonas, P. (2019). AMS7100/1 Fused Filament Fabrication – Stratasys Fortus 900 mc Plus with Type 1, Class 1, Grade 1, Natural Material. SAE Spec.
- Ligon, Samuel Clark, Robert Liska, Jürgen Stampfl, Matthias Gurr, and Rolf Mülhaupt. 2017. “Polymers for 3D Printing an4d Customized Additive Manufacturing.” Chemical Reviews 117 (15): 10212–90.}
- Loeffler, J. (2019). Boeing Whistleblowers Report More 737 MAX 8 Problems to FAA. Recuperado de: <https://interestingengineering.com/boeing-whistleblowers-report-more-737-max-8-problems-to-faa> el 8 de Agosto del 2019.

Munguia, J. (2019) Creación de Modelo de Negocio en Impresión 3D.

NASA (2017). NASA – Additive Manufacturing Facility. Recuperado el 14 de Octubre del 2017 de [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/research/experiments/2198.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/2198.html).

Professionals Aero (2017). Recuperado de: <https://professionals.aero/avion/> el 20 de Octubre del 2020

PROMEXIO-FEMIA-TECHBA (2017). Business Oportunities for Industrial Suppliers with Aerospace Industry in Mexico.

Shubham S. (2018) Embedding conformal cooling channels in injection molding using metal additive manufacturing. Recuperado el 28 de Mayo del 2019 de: <https://additivemanufacturingindia.blogspot.com/>

Today Additive Manufacture (2019). Recuperado el 28 de Mayo del 2019 de: <https://additivemanufacturingtoday.com/spacex-uses-dmls-to-3d-print-inconel-superdraco-engine-chamber>

Vincenzo Lunetto (2017) Sustainability assessment of additive manufacturing processes.