

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería
Dirección de Posgrado
Campus Mexicali

Tesis/Proyecto de Ingeniería e Innovación

**Reducción del costo del “Bleed Duct” mediante cambio de materiales y proceso
de manufactura**

para obtener el grado de

Maestro en Ingeniería e Innovación

Presenta

Jose Adalberto Rivas Dueñes

Director de proyecto:

Dra. Veronica Alexandra Rojas Mendizábal

Codirector de proyecto:

Dr. Juan Ignacio Del Prado

Mexicali, Baja California. Marzo de 2018

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería
Dirección de Posgrado
Campus Mexicali

Proyecto de Aplicación

**Reducción del costo del “*Bleed Duct*” mediante cambio de materiales
y proceso de manufactura**

Que para obtener el grado de:

Maestro en Ingeniería

Presenta:

Jose Adalberto Rivas Dueñes

Comité Evaluador:

Dr. Juan Ignacio Del
Prado

Dr. Alan Escamilla
Rodriguez

Dra. Dania Licea
Verduzco

Agradecimientos y dedicatorias

Agradezco el apoyo recibido por parte los maestros de Cetys, ya que siempre estuvieron en la mejor disposición de apoyar a lo largo de estos 2 años, a la Dra. Veronica Rojas y a la Dra. Karla Garduño por darle seguimiento a mi proyecto y ayudarme a que concluyera con éxito a pesar del corto tiempo en el que se realizó.

A su vez agradezco a Honeywell y a mi gerente ya que se ha mantenido el interés en mi desarrollo profesional y me eligieron como candidato a tomar esta maestría la cual se enfocó en las necesidades actuales de la industria.

También me gustaría agradecer a mi esposa Marcy Giron la cual me apoyo a lo largo de este tiempo, así como a mis padres Carlos Rivas y Concepción Dueñes los cuales gracias a ellos pude concluir mis estudios de licenciatura y siempre me han motivado a mejorar y seguir adelante mejorando en el ámbito personal y laboral.

Carta Institucional

Honeywell Ingeniería y Tecnología Aeroespacial de México
S. de R.L. de C.V.
Calzada del Oro #1755
Colonia Dos División 2
Mexicali, BC. C.P. 21399
México



Honeywell

Mexicali, 21 de marzo de 2019

Colegio de Ingeniería
Dirección de Posgrado
Campus Mexicali

Estimados miembros del Colegio de Ingeniería, Dirección de Posgrado y Campus Mexicali:

Por medio del presente, hago constar que el proyecto:

“Reducción del costo del “Bleed Duct” mediante cambio de materiales y/o proceso de manufactura”

El cual fue desarrollado por el colaborador:

José Adalberto Rivas Dueñas
Matrícula: 35170

Que cursa la maestría de Ingeniería e Innovación, fue desarrollado de manera satisfactoria en Honeywell Ingeniería y Tecnología creando propiedad intelectual de valor aplicable.

ATENTAMENTE



Estibaly C. Salazar González
Coordinador de Entrenamiento

Honeywell
HONEYWELL INGENIERIA Y TECNOLOGIA
AEROSPAZIAL DE MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.
Calzada del Oro, Lote 7, Porción 1.2
Parque Industrial el Viga CP 21399
Mexicali, B.C. México
Tel: 01 (611) 233-1111

Contenido

Capítulo 1: Introducción	10
1.1 Antecedentes	10
1.2 Justificación	11
1.3 Planteamiento del problema.....	12
1.4 Pregunta de Investigación:.....	14
1.5 Objetivo General:	14
1.6 Objetivos Específicos:	14
1.7 Hipótesis.....	14
Capítulo 2: Marco teórico/referencial	15
2.1 APU	15
2.1.1 Sistema de purga.....	15
2.2 Tecnologías de soldadura	17
2.2.1 Soldadura por Fusión	17
2.2.2 Soldadura por Resistencia.....	18
2.3 Procesos de Fabricación.....	18
2.3.1 Proceso de Fundición	18
2.3.2 Proceso de Manufactura Aditiva.....	19
2.4. Materiales.....	20
Capítulo 3: Metodología	23
Capítulo 4: Resultados.....	25
4.1 Aplicaciones Similares	25
4.2 Análisis de Métodos de Manufactura	25
4.2.1 Manufactura Aditiva	25
4.3 Creación de Modelo 3D.....	26
4.4 Análisis de pesos	28
4.5 Revisión de modelo ensamblado en el APU	30

Capítulo 5: Conclusiones	33
5.1 Conclusiones.....	33
5.2 Recomendaciones.....	33
5.3 Trabajo Futuro.....	33

Índice de Figuras

Figura 1 Secciones de la unidad de potencia auxiliar APU (Gago, 2016).....	11
Figura 2 Partes que conforman el Bleed Duct (Honeywell International Inc., 2009).	12
Figura 3 Puntos de soldadura del Bleed Duct (Honeywell International Inc., 2009).....	13
Figura 4 Diagrama del Sistema de purga (Aarons, 1998).	16
Figura 5 Procesos de Soldadura por AWS (Honeywell International Inc., 2015).	17
Figura 6 Diseño para Impresión 3D (Booth, et al., 2017).	20
Figura 7 Diseño para Impresión 3D (Booth, et al., 2017).	26
Figura 8 Modelo 3D del bleed duct vaciado (Honeywell International Inc., 2019).	27
Figura 9 Modelo 3D del bleed duct después de maquinarse (Honeywell International Inc., 2019).	27
Figura 10 Ensamble del motor (Honeywell International Inc., 2019).	30
Figura 11 Interfaces del Bleed Duct (Honeywell International Inc., 2009).....	30
Figura 12 Interface contra la válvula de cierre de purga (Honeywell International Inc., 2019).	31
Figura 13 Interface contra válvula de control de alivio (Honeywell International Inc., 2019).	32
Figura 14 Interface contra el compresor (Honeywell International Inc., 2019).	32

Índice de Tablas

Tabla 1: Propiedades mecánicas básicas de aleaciones de base Níquel (Honeywell International Inc., 2008)	22
Tabla 2: Propiedades mecánicas básicas de aleaciones de base Titanio (Honeywell International Inc., 2008)	23
Tabla 3: Tabla de datos sobre otras aplicaciones.....	25
Tabla 4: Visualización de los 6 prototipos y su análisis de peso.....	28

Resumen

Honeywell continuamente se encuentra buscando la manera de reducir el costo de sus componentes los cuales impacten positivamente al desempeño de los sistemas aeronáuticos. Los sistemas cuentan con un ducto que permite la salida del aire de la aeronave denominado "*Bleed duct*". Después de una serie de análisis se ha notado que el costo de este componente se puede reducir ya que está conformado de 6 componentes soldados por proceso de fusión y resistencia. Los procesos de soldadura entre dichos componentes generar un costo tanto por proceso como por inspección, por lo que eliminarlos podría representar un ahorro de costo en el componente.

Se analizaron 2 métodos de manufactura los cuales podrían disminuir el costo del componente los cuales fueron manufactura aditiva el cual consiste en imprimir el modelo en 3D y la otra se trata del proceso de vaciado el cual por medio de un molde se vierte el material líquido hasta que se enfría y toma la forma deseada, de los 2 procesos nos inclinamos por el proceso de vaciado ya que las características del ducto no son las ideales para poder realizar la impresión.

A su vez realizando una investigación de componentes similares nos pudimos dar cuenta que un cambio de proceso aunado a un cambio de material ayudaría a no solo reducir costo si no a su vez reducir peso en el ensamble final de *APU*.

En resumen, podemos mencionar que con dichos cambios podemos aprobar la hipótesis de que llevando un cambio de proceso y/o material en el *bleed duct* se puede disminuir el costo del componente y a su vez del *APU*. Tomando en cuenta que, aunque el prototipo es idéntico en dimensiones y forma se recomienda realizar los análisis necesarios conforme al nuevo proceso de manufactura para evitar que zonas sufran daños estructurales al momento de estar en servicio.

Capítulo 1: Introducción

1.1 Antecedentes

Honeywell es el mayor productor de unidades de energía auxiliar de turbina de gas (APU, por sus siglas en inglés) que se encuentran en muchos de los principales aviones. Con más de 95,000 APU producidas y más de 36,000 en servicio hoy en día, Honeywell tiene una gran base instalada de APU y está preparada para un mayor crecimiento. Estamos impulsando más de 150 aplicaciones regionales, ejecutivas, comerciales y militares, que incluyen tanto el ala fija como el ala giratoria (Honeywell International Inc., 2018-a).

La unidad de potencia auxiliar HGT1700 se deriva de la APU serie 331 de Honeywell, la cual fue optimizada para el modelo de avión de pasajeros Airbus A350 XWB e incorpora avances tecnológicos líderes en la industria para reducir el peso, maximizar el rendimiento y proporcionar operaciones seguras, eficientes y de bajo costo.

Combinado con la integración de sistemas mecánicos críticos que reducen el peso de los aviones, el modelo HGT1700 demuestra una reducción del 10 por ciento en el uso específico de combustible APU y una reducción equivalente en las emisiones de monóxido de carbono. Lo cual representa una reducción en la contaminación del ambiente.

La velocidad variable reduce las emisiones y el consumo de combustible, junto con un sistema de arranque / generador de menor peso. Esta capacidad adicional hace que el HGT1700 sea la APU más eficiente en su clase (Honeywell International Inc., 2018-b).

Como se muestra en la figura 1, la APU está conformada por tres secciones, la de potencia, de carga y accesorios. Dentro la sección de carga se encuentra un compresor de carga y dentro la sección de potencia un compresor de potencia, la cámara de combustión y la turbina.

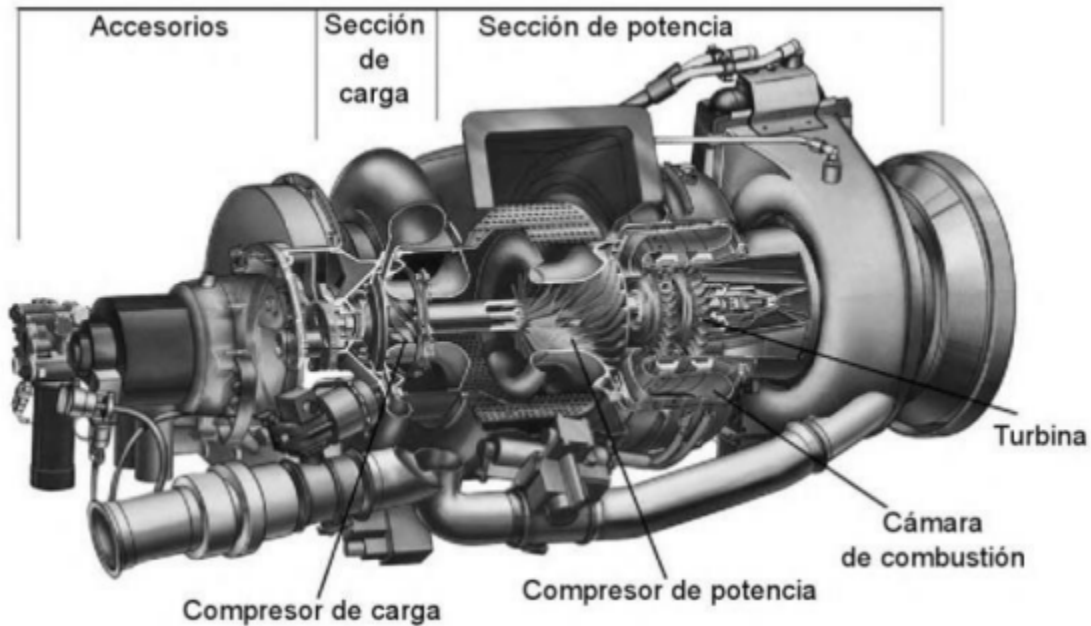


Figura 1 Secciones de la unidad de potencia auxiliar APU (Gago, 2016).

El sistema neumático suministra aire comprimido para aire acondicionado y presurización. Arranque motor y protección contra hielo y lluvia. El suministro de aire neumático normalmente viene desde los motores en vuelo, y la APU o una unidad de suministro de aire a tierra de alta presión en tierra. El aire neumático es extraído del compresor y pasa por al mediante una sección denominada *bleed duct*¹, hacia la válvula de control de alivio y la válvula de cierre de purga el cual está compuesta por seis piezas soldadas entre sí.

1.2 Justificación

Conocer y analizar diferentes tipos de procesos de manufactura es fundamental para el desarrollo y rediseño de productos es una tarea del día a día en la industria aeroespacial.

Honeywell en el área aeroespacial busca innovar mediante la actualización de componentes novedosos, los cuales usando las nuevas tecnologías pueden llegar a ser mejorados o eliminar costo/peso en ellos.

¹ **Bleed duct:** Ducto por el que se drena aire del APU.

Para Honeywell la mejora continua de sus productos es esencial, siempre se está buscando la manera de mejorar procesos, costos y eliminar problemas de manufactura. Para lograr una reducción de costos es necesario conocer las funciones de los componentes involucrados. Así de esta manera, presentar diversas propuestas que satisfacen las necesidades de los clientes.

La configuración actual del llamado *Bleed duct* consta de seis piezas soldadas entre sí (ver figura 2) las cuales, al momento de manufacturarse el proceso de soldadura, así como de su inspección la convierte en una pieza muy costosa, en ese proyecto se buscarán opciones de eliminar dichos procesos o minimizarlos y así disminuir considerablemente su costo.

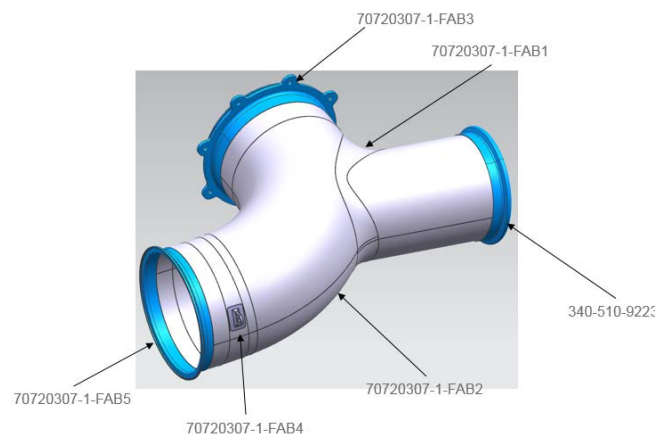


Figura 2 Partes que conforman el Bleed Duct (Honeywell International Inc., 2009).

1.3 Planteamiento del problema

Actualmente Honeywell usa un diseño de Bleed duct fabricado usando seis piezas de láminas de metal soldadas entre si utilizando el proceso de fusión y resistencia, los cuales incrementan el precio del ensamble y a su vez agregando el proceso de inspección para cada una las partes donde se utilizan. Dicho diseño presenta costos extra en el proceso de soldadura, además de presentar ciertas imprecisiones al momento de soldar dichas partes. La posibilidad de reducir el costo de manufactura de la pieza es de gran interés para Honeywell, así como presentar un producto de mejor calidad y lograrlo en menor tiempo. Lo anterior es una motivación para investigar y presentar una

manera más efectiva en cuestión de costo para el diseño del *Bleed duct* usado en el APU.

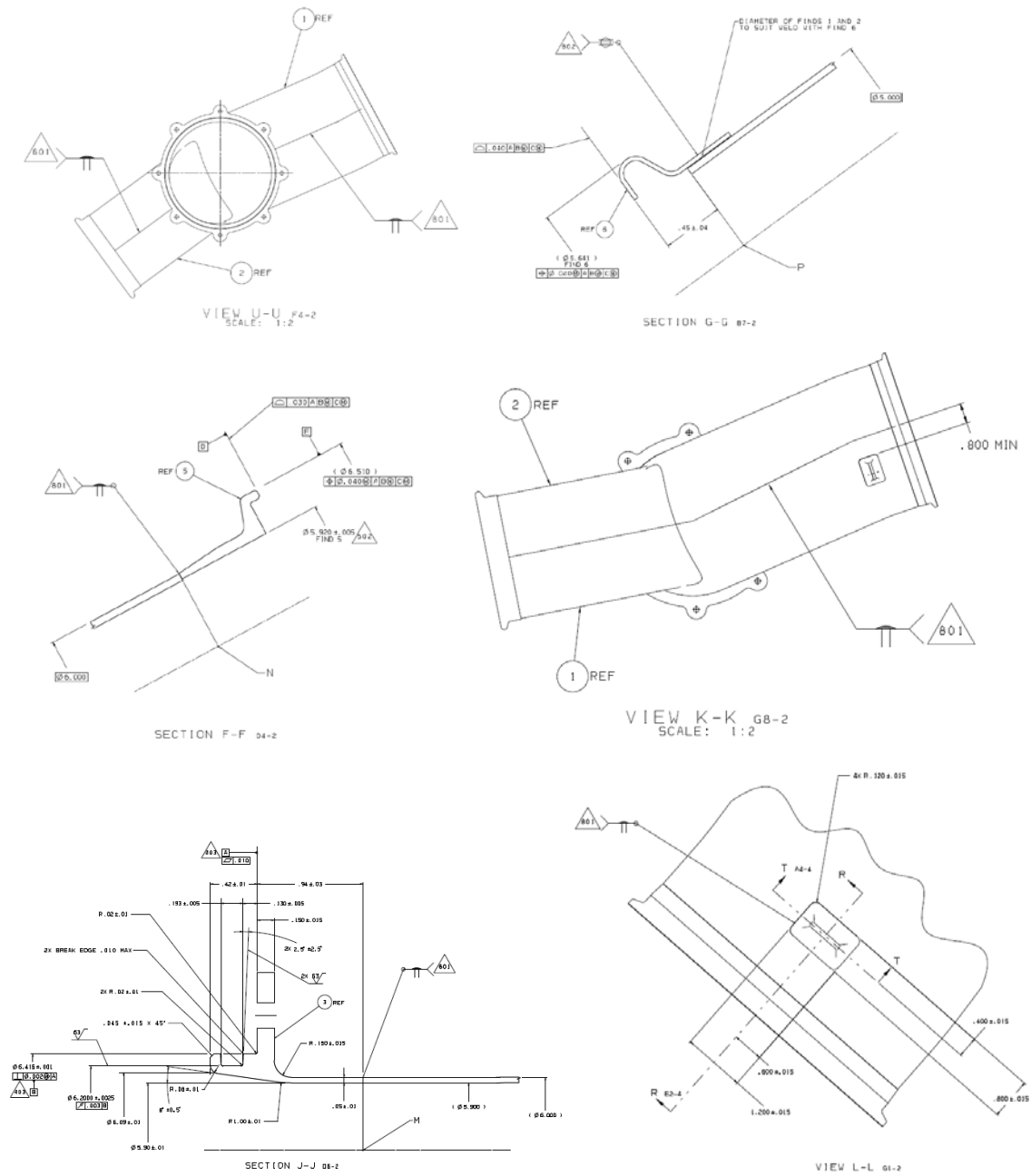


Figura 3 Puntos de soldadura del Bleed Duct (Honeywell International Inc., 2009).

La figura 3 muestra de forma detallada cada uno de los puntos en los cuales se aplica soldadura:

Como se mencionó anteriormente, presentar un nuevo diseño de *Bleed duct* representa una mejora en la calidad del producto. El uso del proceso de soldado, llega a ser un problema de manufactura el cual por ser una placa muy delgada de .050" de grosor al momento de soldar las temperaturas pueden llegar a dañar la placa o producir imperfecciones las cuales estén fuera de tolerancia.

1.4 Pregunta de Investigación:

¿Es posible llegar a una reducción de costo y fallas en el proceso de fabricación realizando un cambio de material y/o cambiando el proceso de manufactura?

1.5 Objetivo General:

Diseñar un prototipo de *Bleed duct* mediante el análisis de diferentes opciones de manufactura como cambio de materiales y/o procesos de manufactura para reducir su costo y las fallas de fabricación.

1.6 Objetivos Específicos:

- Analizar diferentes opciones de manufactura del *Bleed duct*.
- Investigar aplicaciones similares en las cuales se haya realizado un cambio similar.
- Analizar el proceso Manufactura Aditiva
- Analizar el proceso de vaciado
- Crear el modelo 3D.
- Realizar estudio de pesos
- Revisar el ensamble e interfaces
- Crear el dibujo preliminar

1.7 Hipótesis

El diseño de un nuevo prototipo de *bleed duct*, eliminando algunos procesos innecesarios durante la fabricación del producto, reduce el costo de manufactura del mismo y a su vez el costo total de producción de un APU.

Capítulo 2: Marco teórico/referencial

2.1 APU

APU son las siglas de *Auxiliary Power Unit*, o unidad de potencia auxiliar, con las que corrientemente se designan a los motores instalados a bordo de los aviones para suministrar potencia eléctrica y neumática, para accionar los diversos sistemas del avión con independencia de los equipos de tierra. La APU se utiliza principalmente para el arranque de los motores y para el acondicionamiento de aire en el interior de la cabina. Durante la fase de despegue la APU puede usarse como fuente neumática para el sistema de aire acondicionado con el propósito de no extraer potencia directamente de los motores, ya que ello iría en detrimento del empuje (Rivas, 2003). A nivel técnico la APU es una turbina de gas dividida en tres secciones:

- **Sección de Potencia:** constituye el motor de turbina de gas en sí, normalmente dispone de una o dos etapas de compresor centrífugo o un rotor de compresión axial y uno centrífugo en serie. El aire pasa a una cámara de combustión y de esta descarga hacia una turbina axial o centrípeta.
- **Sección de carga:** está formada por el compresor destinada a suministro del aire sangrado para su utilización en el sistema neumático del avión.
- **Sección de la caja de accesorios:** en esta sección se conectan diferentes dispositivos como: el motor de arranque, el ventilador de refrigeración, la bomba de aceite o el generador eléctrico que suministra potencia eléctrica al avión.

2.1.1 Sistema de purga

El Sistema de purga es controlado durante todas las fases de la operación por medio de 2 controladores los cuales proveen indicaciones y alertas, así como información de mantenimiento. En el Sistema de purga, normalmente en vuelo provee aire desde los motores hacia el Sistema de Control Ambiental (ECS, por sus siglas en inglés) y el Sistema anti hielo. En tierra el aire es normalmente subministrado por el APU, o una unidad de ala presión en tierra (Aarons, 1998). La figura 4 muestra un diagrama del sistema de purga.

El Sistema neumático provee de aire comprimido para el aire acondicionado, aire de presurización, motor de arranque y la protección para hielo y agua. El aire proviene normalmente de los motores cuando se encuentra en vuelo y del APU cuando la unidad se encuentra en tierra (Aarons, 1998).

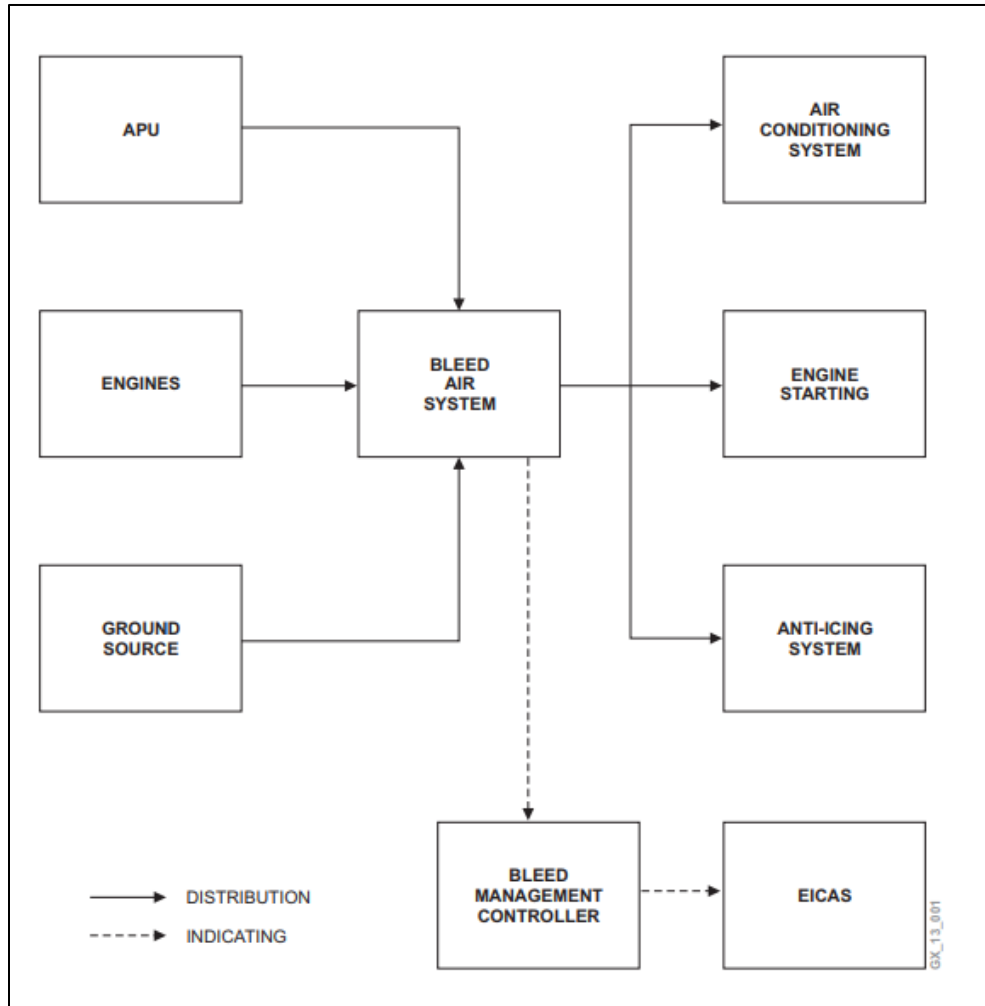


Figura 4 Diagrama del Sistema de purga (Aarons, 1998).

2.2 Tecnologías de soldadura

Existen muchos métodos para la fusión de metales de soldadura. Las más utilizadas, desde el enfoque en Honeywell Aerospace, pero de ninguna manera es el único enfoque de la soldadura por fusión. Los siguientes son breves Descripciones de las variedades más comunes utilizadas en Honeywell.

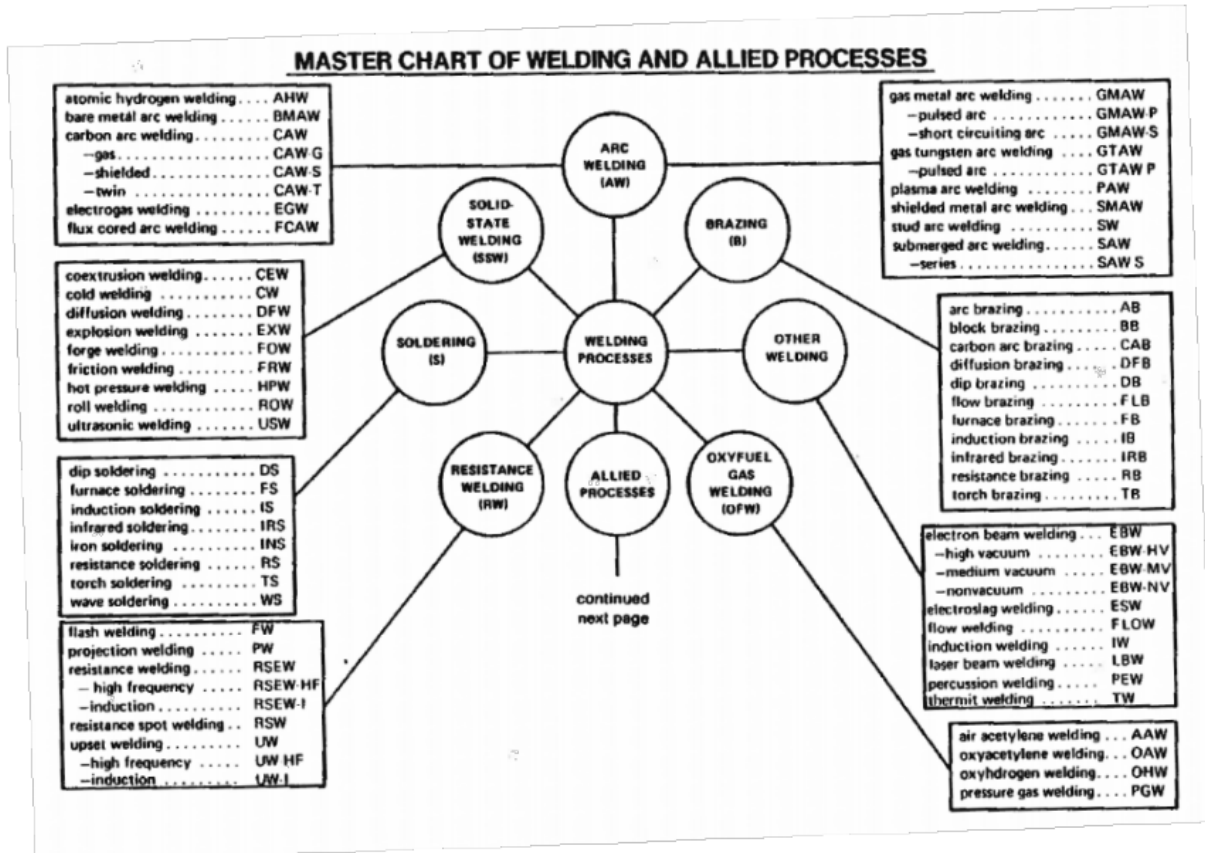


Figura 5 Procesos de Soldadura por AWS (Honeywell International Inc., 2015).

2.2.1 Soldadura por Fusión

Los procesos de soldadura por fusión usan calor para fundir los metales base. En muchas operaciones de soldadura por fusión, se añade un metal de aporte a la combinación fundida para facilitar el proceso y aportar volumen y resistencia a la unión soldada.

La categoría de soldadura por fusión comprende los procesos de soldadura de uso más amplio e incluyen los siguientes grupos:

- Soldadura por arco eléctrico
- Soldadura por resistencia
- Soldadura con oxígeno y gas combustible

2.2.2 Soldadura por Resistencia

En la soldadura por resistencia o presión las piezas de metal que van a unirse son presionadas juntas por los electrodos de la máquina soldadora de manera que hagan un buen contacto eléctrico. Entonces se pasa la corriente eléctrica a través de ellos, se los calienta hasta que empiecen a derretir en el punto donde están en contacto. El metal fundido de las dos piezas fluye y las piezas se unen; entonces la corriente se apaga y el metal fundido se solidifica, formando una conexión metálica sólida entre las dos piezas.

Algunos parámetros a considerar en la soldadura por resistencia son:

- Tiempo de presión
- Tiempo de soldar
- Tiempo de sostenido
- Tiempo de pausas
- Corriente al soldar

2.3 Procesos de Fabricación

2.3.1 Proceso de Fundición

Los diseños para el proceso de fundición deben cumplir los requerimientos de funcionamiento y seleccionar las características de materiales y procesos de manufactura que aseguren su manufacturabilidad. El diseño debe determinar el costo, peso y la funcionabilidad de los componentes. Un buen diseño ayuda a mejorar la calidad y el rendimiento de la Fuente de fundición para ayudar a minimizar los defectos internos que puedan causar problemas durante el subsecuente proceso de maquinado y las

operaciones de ensamblado. Este proceso permite reemplazar una multipieza soldada o ensamblada en por una sola (Honeywell International Inc., 2018).

2.3.2 Proceso de Manufactura Aditiva























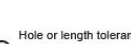

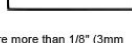



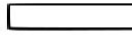



La manufactura aditiva, generalmente se define como una impresión en 3D y para creación de prototipos rápidos, pero se describe mejor como el proceso de manufacturar un componente directamente desde su modelo en 3D. El modelo en 3D es cortado en capas de 2D y estas capas son construidas una a la vez en la parte superior de la capa previa (ver figura 8). Existen varios métodos de fabricación para la manufactura aditiva conocidas en la industria.

Actualmente Honeywell se enfoca solamente en el método de fusión por lecho de polvo *powder bed fusion*. Este proceso utiliza una fina capa de metal en polvo depositado en un lecho y un láser derrite el material dentro de un área, y luego una siguiente capa es agregada y derretida en la parte superior de la previa. Estas capas son metalúrgicamente unidas (Honeywell International Inc., 2017).

Existe un método rápido para la reducción de prototipos fallidos, el cual se muestra en la figura 7.

Design for Additive Manufacturing

A quick method for reducing the number of printing and prototyping failures, by Joran Booth
 Instructions: Mark one for each category for the part you plan to print. Check daggers and stars first, then scores

Mark One	Complexity	Mark One	Functionality	Mark One	Material Removal	Mark One	Unsupported Features	Sum Across Rows	Totals
<input type="radio"/>	† The part is the same shape as common stock materials, or is completely 2D 	<input checked="" type="radio"/>	* Mating surfaces are bearing surfaces, or are expected to endure for 1000+ of cycles 	<input type="radio"/>	The part is smaller than or the same size as the required support structure 	<input type="radio"/>	There are long, unsupported features 	x1 =	
<input checked="" type="radio"/>	* The part is mostly 2D and can be made in a mill or lathe without repositioning it in the clamp 	<input checked="" type="radio"/>	* Mating surfaces move significantly, experience large forces, or must endure 100-1000 cycles. 	<input type="radio"/>	There are small gaps that will require support structures 	<input type="radio"/>	There are short, unsupported features 	x2 =	
<input type="radio"/>	The part can be made in a mill or lathe, but only after repositioning it in the clamp at least once 	<input type="radio"/>	Mating surfaces move somewhat, experience moderate forces, or are expected to last 10-100 cycles 	<input type="radio"/>	Internal cavities, channels, or holes do not have openings for removing materials 	<input type="radio"/>	Overhang features have a sloped support 	x3 =	
<input type="radio"/>	The part curvature is complex (splines or arcs) for a machining operation such as a mill or lathe 	<input type="radio"/>	Mating surfaces will move minimally, experience low forces, or are intended to endure 2-10 cycles 	<input type="radio"/>	Material can be easily removed from internal cavities, channels, or holes 	<input type="radio"/>	Overhanging features have a minimum of 45deg support 	x4 =	
<input type="radio"/>	There are interior features or surface curvature is too complex to be machined 	<input type="radio"/>	Surfaces are purely non-functional or experience virtually no cycles 	<input type="radio"/>	There are no internal cavities, channels, or holes 	<input type="radio"/>	Part is oriented so there are no overhanging features 	x5 =	
Mark One	Thin Features	Mark One	Stress Concentration	Mark One	Tolerances	Mark One	Geometric Exactness		+
<input type="radio"/>	Some walls are less than 1/16" (1.5mm) thick 	<input type="radio"/>	Interior corners have no chamfer, fillet, or rib 	<input type="radio"/>	Hole or length dimensions are nominal 	<input type="radio"/>	The part has large, flat surfaces or has a form that is important to be exact 	x1 =	
<input type="radio"/>	Walls are between 1/16" (1.5mm) and 1/8" (3mm) thick 	<input type="radio"/>	Interior corners have chamfers, fillets, and/or ribs 	<input type="radio"/>	Hole or length tolerances are adjusted for shrinkage or fit 	<input type="radio"/>	The part has medium-sized, flat surfaces, or forms that are should be close to exact 	x3 =	
<input type="radio"/>	Walls are more than 1/8" (3mm) thick 	<input type="radio"/>	Interior corners have generous chamfers, fillets, and/or ribs 	<input type="radio"/>	Hole and length tolerances are considered or are not important 	<input type="radio"/>	The part has small or no flat surfaces, or forms that need to be exact 	x5 =	
					Starred Ratings * Consider a different manufacturing process † Strongly consider a different manufacturing process		Total Score 8-15 Needs redesign 16-24 Consider redesign 25-32 Moderate likelihood of success 33-40 Higher likelihood of success		Overall Total

REID
 Research in Engineering and Interdisciplinary Design

CD DESIGN LAB

PURDUE Engineering

Citation: The Design for Additive Manufacturing Worksheet, by Joran W. Booth, 2015. This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonDerivatives 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>.

Figura 6 Diseño para Impresión 3D (Booth, et al., 2017).

2.4. Materiales

Los vaciados pueden ser hechos de Aluminio, Magnesio, Acero, Hierro, Acero Inoxidable, Zinc, Nickel, Titanio y Aleaciones de cobre.

Cuando se diseña un componente vaciado el reto es seleccionar el material más apropiado. Los diseñadores deben ser específicos en definir las propiedades requeridas y crear una matriz de posibles aleaciones candidatas para cada propiedad. Las aleaciones pueden ser comparadas de lado a lado para determinar la mayor opción (Honeywell International Inc., 2008).

Aleaciones de Nickel son ampliamente utilizadas en ambientes corrosivos y aplicaciones de alta temperatura. Las principales aleaciones son por designación del *Alloy Casting Institute* (ahora llamado *High Alloy Product Group*) y son incluidos en la Sociedad Americana para pruebas de materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) Existen varios grados de severidad de corrosión, así como aleaciones resistentes a las altas temperaturas.

Como se puede observar en la Tabla 1, existen varios tipos de aleaciones de níquel las cuales pueden ser clasificadas como:

- Níquel
- Níquel-Cobre
- Níquel-Cromo-Hierro
- Níquel-Cromo-Molibdeno
- Níquel-Molibdeno

Material Condition	Yield strength		Ultimate tensile strength		Elongation %	Reduction of area %
	Mpa	ksi	Mpa	ksi		
CZ-100	125	18	345	50	10	...
M-35-1	450	25	450	65	25	...
M-35-2	450	30	450	65	25	...
M-30H	415	60	690	100	10	...
M-25S	...	...	...	...	...	...
M-30C	225	32.5	450	65	25	...
N-12MV	275	40	525	76	6	...
N-7M	275	40	525	76	20	...
CY-40	195	28	485	70	30	...
CW-12MW	275	40	495	72	4	...
CW-7M	275	40	495	72	25	...
Heat-resistant						
HW	415	60	415	60	...	...
HX	415	60	415	60	...	...

Tabla 2: Propiedades mecánicas básicas de aleaciones de base Níquel (Honeywell International Inc., 2006)

El uso del titanio se ha expandido en los últimos años sin embargo el alto costo del material, así como los componentes pueden limitar su uso para aplicaciones la cuales aleaciones de bajo costo como aluminio y aceros pueden ser utilizados. El costo relativamente alto es a menudo el resultado del valor intrínseco de la materia prima del metal, así como los costos de fabricación y los costos de remoción de material incurridos en la obtención de la forma final deseada (ver tabla 2).

Material Condition	Yield strength		Ultimate tensile strength		Elongation %	Reduction of area %	K_{Ic}	
	Mpa	ksi	Mpa	ksi			ksi	Mpa
As-cast	896	130	1000	145	8	16	97	107
Cast HIP	869	126	958	139	10	18	99	109
BUS	938	136	1041	151	8	12	...	...
GTEC	938	136	1027	149	8	11	...	...
BST	931	135	1055	153	9	15	...	...
ABST	931	135	1020	148	8	12	...	...
TCT	1055	153	1124	163	6	9	...	...
CST	986	143	1055	153	8	15	...	...
HTH	1055	153	1103	160	8	15	...	...
Typical wrought annealed	860	125	955	139	9	21	83	91

Tabla 2: Propiedades mecánicas básicas de aleaciones de base Titanio (Honeywell International Inc., 2007)

Capítulo 3: Metodología

El presente proyecto de aplicación busca la reducción de costo del componente llamado *bleed duct*, al cual se le realizó la siguiente metodología.

1. Análisis de diferentes opciones de manufactura del *Bleed duct*. Analizando los más comunes para este tipo de componentes los cuales son proceso de vaciado y tratando de hacer la introducción de a la manufactura aditiva.
2. Investigación de aplicaciones en las cuales se haya realizado un cambio similar en la base de datos de Honeywell para tomar lecciones aprendidas o procedimientos que puedan ayudar en este caso de estudio.
3. Análisis de Manufactura Aditiva, cuáles son sus cualidades y requerimientos para que un diseño impreso sea exitoso.
4. Análisis por proceso de vaciado, así como investigar trabajo o análisis que se requieran para este proceso.
5. Creación de modelos en 3D de las diferentes opciones para poder realizar el análisis en cuestiones de peso.
6. Análisis de los modelos en el ensamble para revisar interfaces con el APU.
7. Una vez definida la mejor opción proceder a la creación de dibujos preliminares.

Capítulo 4: Resultados

Con base a los resultados obtenidos se considera que la mejor opción de manufactura es un proceso de vaciado con solo un sub-componente soldado a su vez realizar un cambio de material a Titanio el cual nos da como resultado una reducción de peso de 3.65lbs.

A continuación, se presentan los resultados en el orden que se describieron anteriormente.

4.1 Aplicaciones Similares

De acuerdo con una búsqueda de aplicaciones similares, se analizó como son fabricados los ductos con requerimientos similares al *bleed duct* lo cual dio como resultado común el proceso de vaciado junto con un cambio de material a de Níquel a Titanio, como se muestra en la tabla 1, los cuales han sido cambios que se han realizado en búsqueda del mismo propósito que es disminuir el costo del ducto, por ejemplo, en la aplicación 131-9B dio como resultado un ahorro de \$1400 así como una reducción de peso de 0.8lbs (Honeywell International Inc., 2013-a).

No. Parte	Descripcion	Plataforma	Proveedor Actual	Costo	Volumen Annual	Proceso	Material
70720307-1	Bleed Duct	HGT1700	Ultimate Hydroforming Inc.	3280	594	Hojas de Metal Formado +Soldado	Inco 718
70721302-1	Duct, Discharge	131-9B	Selmet Inc	2539.6	604	Casting + Machine finished	Aleacion de Titanio
70721411-1	DUCT, COMPRESSOR DISCHARGE	131-9A	Selmet Inc	2335.75	560	Casting + Machine finished	Aleacion de Titanio

Tabla 3: Tabla de datos de otras aplicaciones

Fuente: Elaboración propia

4.2 Análisis de Métodos de Manufactura

4.2.1 Manufactura Aditiva

De acuerdo con la tabla de referencia que se utiliza para evitar la falla al momento de realizar impresiones 3D, da como resultado que el diseño no es el óptimo para este proceso ya que no cumple con los requerimientos mínimos para su consideración y

amerita considerar un rediseño en la forma del componente el cual no se factible, en la figura 8 se muestra el análisis.

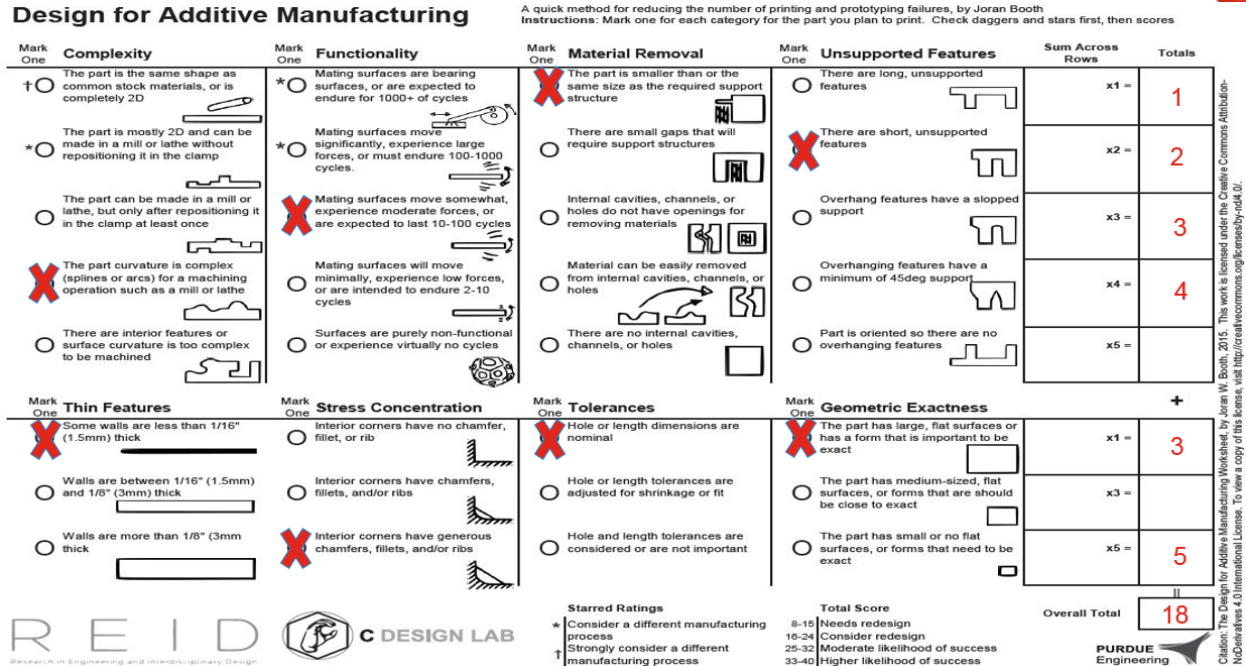


Figura 7 Diseño para Impresión 3D (Booth, et al., 2017).

4.3 Creación de Modelo 3D

Conforme al análisis y los resultados obtenidos se realizó el modelo en 3D para ser fabricado por el método de vaciado el cual dio como resultado una parte la cual solo necesitara un sub-componente soldado el cual es una brida de lámina de metal la cual es necesaria de ese material ya que cierta libertad al momento de ensamble con su otra interface, obteniendo un peso de 4.05lbs antes de maquinarse como se muestra en la figura 9 y después de maquinarse y soldarse dar un resultado total de 2.97lbs lo cual da un ahorro de peso de 3.65lbs sobre el componente original como se muestra en la figura 10.

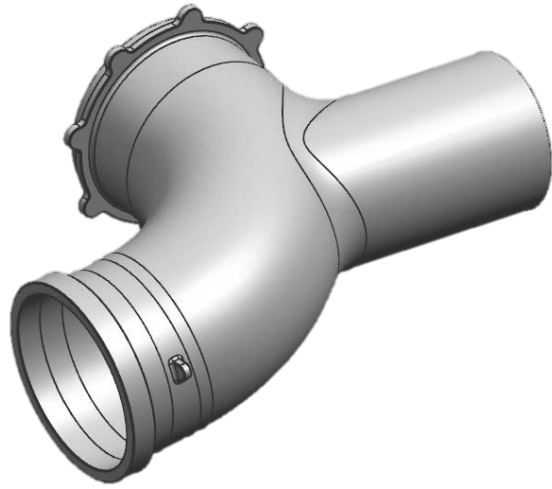


Figura 8 Modelo 3D del bleed duct vaciado (Honeywell International Inc., 2019).

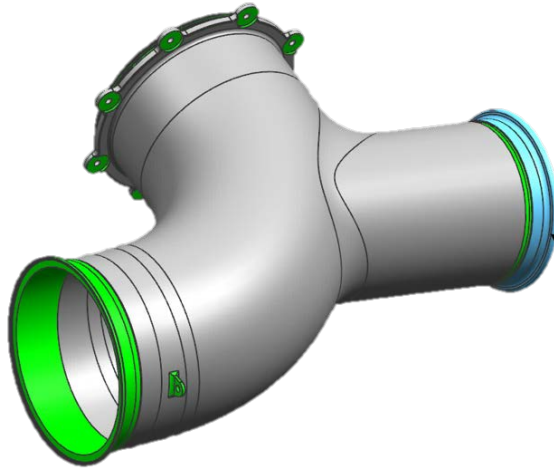
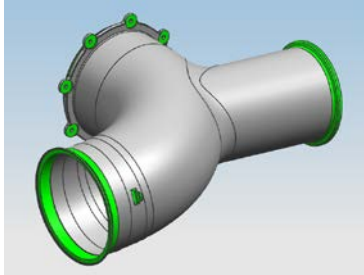
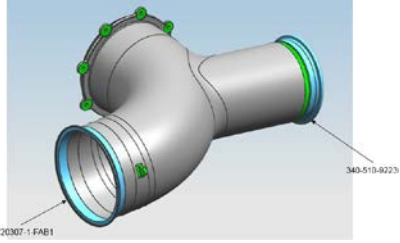
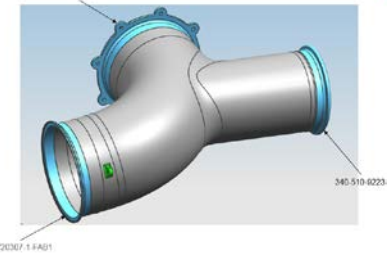


Figura 9 Modelo 3D del bleed duct después de maquinarse (Honeywell International Inc., 2019).

4.4 Análisis de pesos

En esta sección (tabla 3) se muestran las 6 diferentes configuraciones el material y el tipo de procesos propuesto, así como su peso final los cuales se analizaron para poder tomar la decisión de cuál sería la mejor opción.

Concepto	Material	Proceso	Grosor	Peso Vaciado	Peso Maquinado	Diferencia
	INCONEL 718	Vaciado	.060"	13.15lbs	10.01lbs	3.39lbs
	INCONEL 718	Vaciado + Maquinado	.060"	10.20lbs	9.69lbs	3.07lbs
	INCONEL 718	Vaciado + Maquinado	.060"	9.46lbs	8.03lbs	2.84lbs

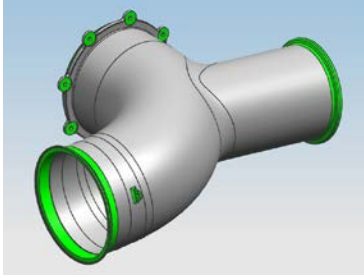
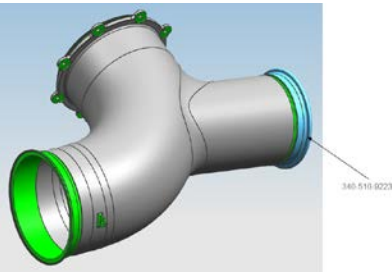
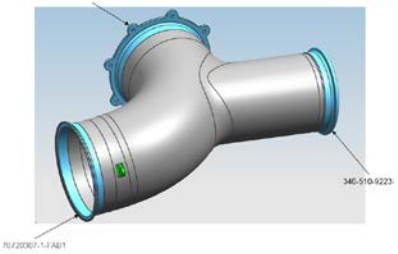
	Aleacion de Titanio	Vaciado	.060"	4.45lbs	3.46lbs	3.16lbs
	Aleacion de Titanio	Vaciado + Maquinado	.060"	4.05lbs	2.97lbs	3.65lbs
	Aleacion de Titanio	Vaciado + Maquinado	.060"	4.2lbs	2.61lbs	2.42lbs

Tabla 4: Visualización de los 6 prototipos y su análisis de peso

Fuente: Elaboración propia

4.5 Revisión de modelo ensamblado en el APU

Se analizaron y comprobaron que todas las interfaces del *bleed duct* no se hubieran modificado, la figura 10 muestra la posición del *bleed duct* ensamblado en el APU.

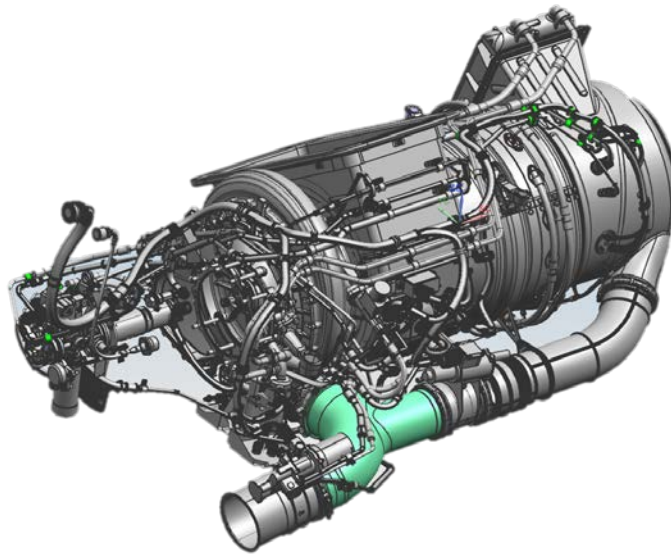


Figura 10 Ensamble del motor (Honeywell International Inc., 2019).

En la figura 11 se muestra con más detalle los componentes a los cuales se conecta el *bleed duct*, que son la válvula de control de alivio y la válvula de cierre de purga.

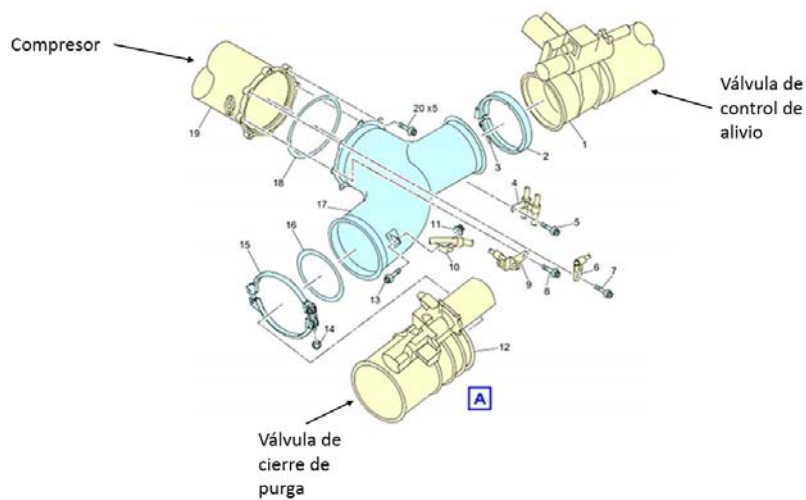


Figura 11 Interfaces del Bleed Duct (Honeywell International Inc., 2009).

En las figuras 12, 13 y 14 se muestra un corte seccional de cada una de las interfaces del *bleed duct* donde se analizó que ambas partes estuvieran instaladas correctamente, haciendo contacto y alineadas una con otra.

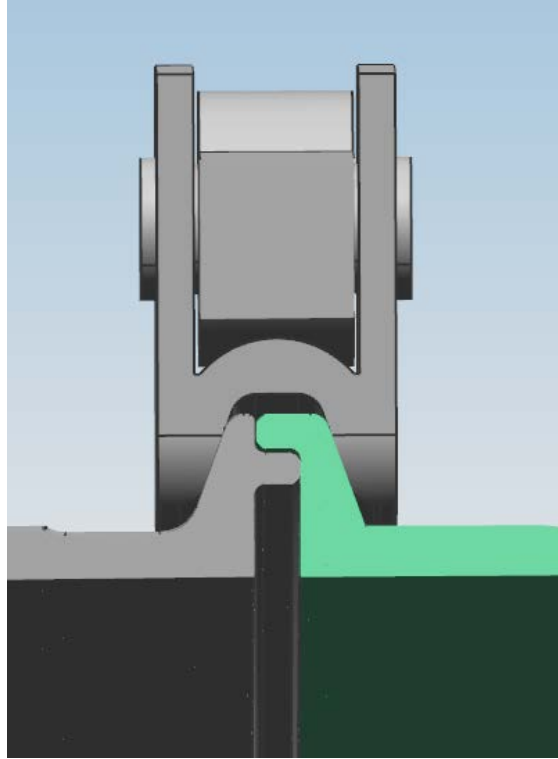


Figura 12 Interface contra la válvula de cierre de purga (Honeywell International Inc., 2019).

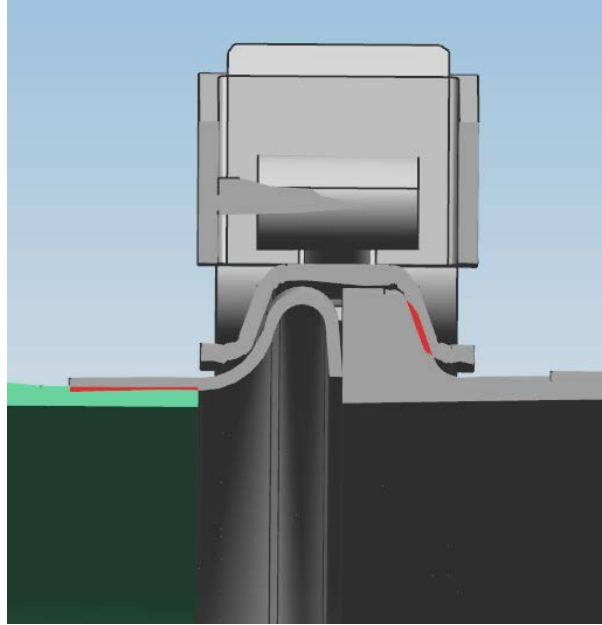


Figura 13 Interface contra válvula de control de alivio (Honeywell International Inc., 2019).

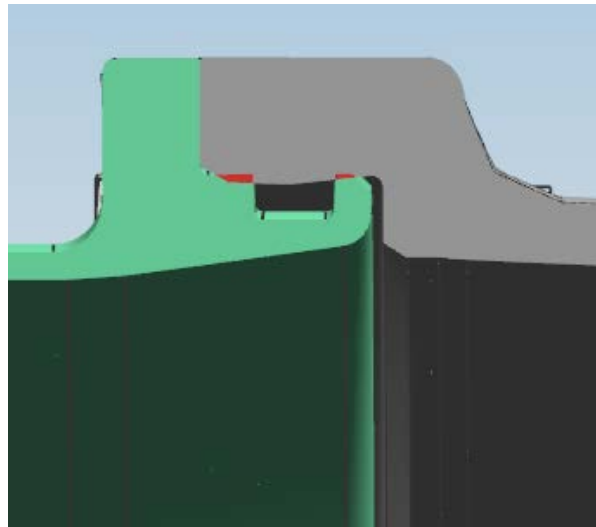


Figura 14 Interface contra el compresor (Honeywell International Inc., 2019).

Capítulo 5: Conclusiones

5.1 Conclusiones

De los análisis realizados podemos resaltar que este componente no cumple con los requerimientos necesarios para imprimirse con el proceso de manufactura aditiva teniendo que inclinarnos por el proceso de vaciado el cual es un proceso que es muy conocido y utilizado en Honeywell, a su vez con los datos obtenidos de otras aplicaciones podemos sustentar que esta es mejor opción, con estos mismos resultados e investigación encontramos que el cambio de material complementa el prototipo y nos da a su vez una reducción de peso de poco más de 3.5lbs.

Con todos estos resultados podemos afirmar que el nuevo prototipo satisface lo mencionado en la hipótesis ya que, aunque aún este pendiente el costo final del prototipo con la reducción de peso es suficiente para poder asegurar un impacto en la reducción del costo en el ensamble final de la unidad auxiliar de potencia *APU*.

5.2 Recomendaciones

En base a los investigado en otras aplicaciones se encontrados datos los cuales muestran que el componente puede tiene otras áreas de oportunidad con las interfaces con otros componentes los cuales se pudieran considerar para mejoras futuras, (Honeywell International Inc., 2013-b)

5.3 Trabajo Futuro

Por la falta de tiempo en la realización de este proyecto y la falta de datos no se tuvo la oportunidad de realizar análisis estructurales y pruebas al prototipo los cuales ayudarían a validar al 100% que todos los requerimientos sean cumplidos.

Referencias:

- Honeywell International Inc., (2018-a). Auxiliary Power Units. Higher Performance and Reliability. Obtenido en: https://aerospace.honeywell.com/en/product-listing/auxiliary-power-units_
- Honeywell International Inc., (2018-b). HGT1700 Auxiliary Power Unit. Energy Efficient. Obtenido en: <https://aerospace.honeywell.com/en/product-listing/auxiliary-power-units/hgt 1700 auxiliary power unit>.
- Rivas A. G., (2003). Motores de turbinas de gas, obtenido en: base de datos de libros de google.
- Aarons, R., (1998). Bombardier's Global Express, obtenido en: www.omnijet.com
- Honeywell International Inc., (2008). DSH-4.1Casting, Phoenix Az.
- Honeywell International Inc., (2015). DSH 4.5 Welding, Phoenix Az.
- Honeywell International Inc., (2017). DSH 4.8 PBF AM, Phoenix Az.
- Honeywell International Inc., 2006, DSH_05_01 Materials-General Information, Phoenix Az.
- Honeywell International Inc., (2007), DSH_05_07 Titanium Alloys, Phoenix Az.
- Honeywell International Inc., (2009). MCOE-DSH-16.4.8.1 Manufacturing Methods, Phoenix Az.
- Gago, G. M. (2016). Sistema Eléctrico de los aviones, (Tesis de grado), Biblioteca Universitaria de Valladolid.

Booth, J. W., Alperovich, J., Chawla, P., Ma, J., Reid, T. N., & Ramani, K. (2017). The Design for Additive Manufacturing Worksheet. *Journal of Mechanical Design*, 139(10), 100904. doi:10.1115/1.4037251

Honeywell International Inc., 2013-a, ERS-ASYS-APU-0000970, Phoenix Az.

Honeywell International Inc., 2013-b, ERS-ASYS-APU-0001392, Phoenix Az.

Honeywell International Inc., (2018). ERS-ASYS-APU-0000675, Phoenix Az.

Honeywell International Inc., 2019, ERS-ASYS-APU-0004101, Phoenix Az.