

DESARROLLO DE LOS MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA EN EL CAMPO AERONÁUTICO

DEVELOPMENT OF MATERIALS AND MANUFACTURING PROCESSES IN THE AERONAUTICAL FIELD

José Trujillo Jaramillo¹, Edison Acurio Armas², Rodrigo Bautista Zurita³

¹Escuela Técnica de la Fuerza Aérea, Latacunga, Ecuador

²Unidad de Gestión de Tecnologías. Mecánica Aeronáutica Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Latacunga, Ecuador
jgtrujillo¹@espe.edu.ec , ²eracurio@espe.edu.ec, ³rcbautista@espe.edu.ec

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, X Edición 2021, No. 2 (09)

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo establecer una visión global de la evolución del desarrollo de Materiales y Procesos de Manufactura dentro del campo Aeronáutico. Los actuales constructores de partes y componentes de aeronaves, enfrentan grandes desafíos de presentar plataformas aeronáuticas con mayor eficiencia, en la cual sus materiales permitan mejorar sus propiedades y rendimiento mientras que sus procesos de manufactura o fabricación sean sencillos y versátiles para poder generar mecanismos complejos con formas aerodinámicas.

El reconocimiento, identificación, selección de los materiales y procesos de manufactura son muy importantes en el campo de la ingeniería, en razón de que estos aportan la información necesaria y pertinente en las etapas de diseño, manufactura, mantenimiento de lo que se va a construir y de esta manera evitar posibles fallos mecánicos y estructurales en las aplicaciones aeronáuticas y aeroespaciales.

Palabras Clave: Materiales Aeronáuticos, Procesos de Manufactura, Plataformas Aeronáuticas y Aeroespaciales, Fallos estructurales.

Abstract

The present work aims to establish a global vision of how the development of Materials and Manufacturing Processes has evolved within the Aeronautical field. The current constructors of parts and components of aircraft, face great challenges to present aeronautical platforms with greater efficiency, in which their materials allow to improve their properties and performance while their manufacturing or manufacturing processes are simple and versatile to be able to generate complex mechanisms with aerodynamic shapes.

The recognition, identification, selection of materials and manufacturing processes are very important in the field of engineering, because they provide the necessary and relevant information in the stages of design, manufacture and maintenance of what is going to be built and in this way avoid possible mechanical and structural failures in aeronautical and aerospace applications.

Keywords: Aeronautical materials, Manufacture process, Aeronautical and Aerospace Platforms, Structural failures.

1. Introducción

El ser humano siempre tuvo el sueño de volar y conquistar el cielo, es por esto que desde que se construyeron los primeros ingenios aeronáuticos, a inicios del siglo XX hasta la actualidad, sus diseñadores han utilizado diversos materiales tales como tela, madera, metales, polímeros, cerámicos, materiales compuestos y nanomateriales para su fabricación [1]. La industria aeronáutica está investigando constantemente y buscando el desarrollo de materiales innovadores, con el objetivo de crear aeronaves que sean más rápidas, ligeras y eficientes.



Figura 1. Primeros ingenios aeronáuticos
Fuente: <https://historiaybiografias.com>

Estos materiales deben cumplir con ciertos requisitos tales como: ser livianos, tener alta resistencia mecánica, soportar corrosión, altas temperaturas y condiciones ambientales severas, por lo que los científicos han generado nuevas investigaciones para fabricar nuevos materiales con propiedades mejoradas [2].

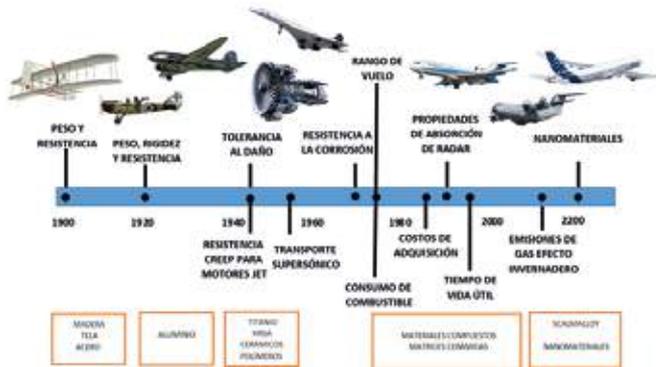


Figura 2. Evolución de los materiales en el campo aeronáutico

Las piezas y componentes de la Industria aeronáutica, se pueden dividir en cuatro grupos:

- Fuselaje: Estructuras que incluyen alas, superficies de control, timones traseros.
- Motores: motores, turbinas y turbofans.
- Estructurales y Sistemas: Tren de aterrizaje, fijaciones y sujeciones del motor, puertas.
- Interior, acabados y detalles: asientos, paneles de plástico, aviónica y comodidad electrónica [3].

PLATAFORMAS AERONÁUTICAS	FUSELAJE	MOTOR	OTROS
MATERIALES COMUNES	Aleaciones de Aluminio, Titanio, Compuestos de fibra de carbono.	Aleaciones de base níquel y cobalto, Titanio, acero inoxidable	Aceros, aleación de Titanio
PROCESOS COMUNES	Mecanizado, conformado, remachado	Fundición, forja, mecanizado, EDM	Fundición, forja, mecanizado

Figura 3. Materiales y Procesos de Manufactura comunes en la Industria aeronáutica

Los fabricantes de motores de turbinas aeroespaciales se enfrentan a continuos desafíos para producir sistemas de propulsión con mayor eficiencia y menores emisiones. Para lograr estos objetivos, se están implementando tecnologías maduras en sistemas heredados, se están desarrollando materiales en evolución y tecnologías de procesos para su aplicación en sistemas de campo y de próxima generación, y se están desarrollando tecnologías revolucionarias de materiales y procesos para cambios radicales en los futuros sistemas de motores de turbina. (Green, 2009)

Numerosas investigaciones de las características mecánicas del material durante el funcionamiento de la turbina de gas revelan una gran acumulación de daños y la rápida degradación de sus propiedades. La degradación general es la disminución de la ductilidad, la resistencia, el límite de resistencia y, al mismo tiempo, el aumento de la velocidad de propagación de la fluencia y el agrietamiento, etc. Esto se refiere especialmente al material de los bordes de las cuchillas anterior y posterior. Las grietas y distorsiones generalmente aparecen solo en estos lugares, lo que limita la vida útil del motor. (Karpins, 2013)

Por otro lado, empresas como Boeing, Airbus y General Electric, desarrollan procesos de manufactura y concentran su potencial principalmente en ingeniería y fabricación de aditivos metálicos de aluminio y titanio, una tecnología que permite generar partes impresas en 3D más ligeras y más fuertes para aplicaciones aeronáuticas. La impresión en 3D de estos tipos de componentes, implica una reducción drástica de los costes de fabricación, el impacto ambiental, los tiempos de producción y la masa.

Así mismo, los avances y técnicas manufactureras han permitido la construcción de partes y componentes

aerónauticos más grandes y complejos de fibra de carbono, kevlar, fibra de vidrio permitiendo de esta forma, tener más del 50% de las aeronaves fabricadas con materiales compuestos.

Los cerámicos como la berilia, alúmina, silicatos, carburos o nitratos, son utilizados principalmente como aislantes térmicos, sin embargo, una de las aplicaciones en las que este tipo de materiales es muy estudiado, es en la creación de aviones hipersónicos, en especial para el desarrollo de la nariz y de los bordes de ataque de las alas y superficies aerodinámicas. Las plataformas aeronáuticas o aeroespaciales que utilicen este tipo de materiales podrán alcanzar velocidades que bordean Mach 5 o superiores y altitudes muy grandes, resistiendo temperaturas que superan los 1000°C.

1. Materiales y procesos de manufactura

1.1. Materiales Metálicos

Aluminio: Las aleaciones de aluminio, dentro del sector aeronáutico son reconocidas por su elevada relación de resistencia a bajo peso, resistencia a la corrosión, conductividad térmica y eléctrica, flexibilidad, apariencia y facilidad de conformado y facilidad en los procesos de mecanizado.

Estas aleaciones se identifican mediante cuatro dígitos y en algunos casos seguidos por una designación de tratamiento térmico conocido como temple:

Tabla 1: Codificación de aleaciones de aluminio

ALEACIONES DE ALUMINIO	
Aluminio puro 99.0 de pureza	1XXX
Aluminio aleado principalmente con cobre	2XXX
Aluminio aleado principalmente con manganeso	3XXX
Aluminio aleado principalmente con silicio	4XXX
Aluminio aleado principalmente con magnesio	5XXX
Aluminio aleado principalmente con magnesio y silicio	6XXX
Aluminio aleado principalmente con zinc	7XXX
Aluminio aleado con otros elementos (litio)	8XXX

Estas aleaciones, con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas y darles un endurecimiento estructural, son sometidas a una secuencia de tratamientos térmicos:

- Puesta en solución
- Temple
- Maduración natural a temperatura ambiente
- Revenido o maduración artificial

Primero se realiza una puesta en solución o solubilización, que es el proceso mediante el cual la aleación sube a una temperatura elevada y prolongada alrededor de los 530°C. Durante este tratamiento, los compuestos intermetálicos del tipo de Mg₂Si para las aleaciones de la serie 6XXX y Al₂Cu para las series 2XXX, se disuelven y la aleación se transforma en una solución líquida homogénea.

Posterior a este calentamiento, se procede a un temple que se trata de un enfriamiento muy rápido del metal ya sea por inmersión o ducha de agua fría.

Finalmente, después del temple, la solución sólida sobresaturada está en un estado estable consiguiendo de esta manera un endurecimiento estructural.

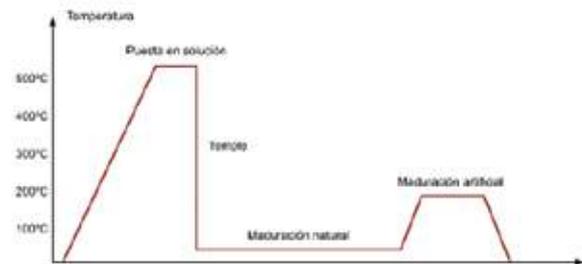


Figura 4. Tratamiento térmico de endurecimiento estructural del aluminio

Fuente: <http://www.alu-stock.es/tecnica/tratamientos>

El aluminio 2024, también llamado Aclad es una de las aleaciones más utilizadas en el sector aeronáutico en elementos de fijación (remaches, tornillos, pernos, lockbolts, hi-lock, taper-lock, tuercas) capaces concentrar las cargas concentradas y transferirlas. Laminado se utiliza en el fuselaje de la aeronave. Estos elementos deben poseer características como:

- Resistencia a la corrosión.
- Resistencia a la fatiga (Tracción y cortadura).
- Permeabilidad magnética (a ciertos equipos o sistemas de control)

La aleación de aluminio 6061 es muy dúctil y ligero, utilizada en estructuras tubulares en la mayoría de aeronaves experimentales como ultralivianos. Otras de sus aplicaciones son accesorios de aeronaves, pasadores de bisagras, pistones de freno y pistones hidráulicos. Esta aleación es ideal para trabajos con un buen acabado superficial, presenta facilidad de

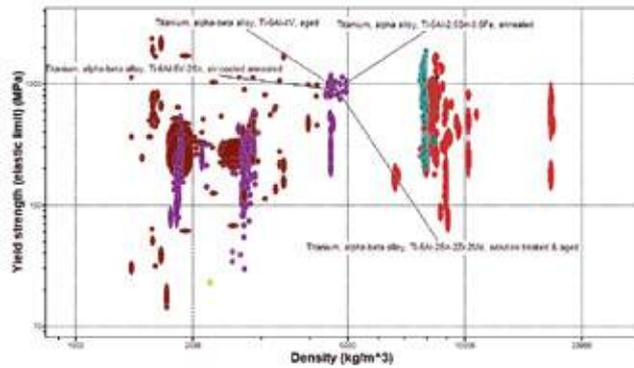


Figura 6. Relación Resistencia vs Peso de aleaciones de titanio

Acero: Al inicio el acero sustituyó a las piezas de madera en las aeronaves y aunque en la actualidad ha perdido protagonismo en la aplicación aeronáutica, todavía se utilizan en aquellas zonas donde la resistencia mecánica y a la fatiga es muy importante

Las aleaciones de acero que contiene carbono en porcentajes que van del 0,10 al 0,30 por ciento se clasifica como acero bajo en carbono. Los números de SAE equivalentes van de 1010 a 1030. Los aceros de este grado se usan para hacer artículos, como cables de seguridad, ciertas tuercas, bujes de cables o extremos de varilla roscada. Este acero en forma de lámina se utiliza para piezas estructurales secundarias y abrazaderas y en forma tubular para piezas estructurales moderadamente tensadas. El alambre de frenado para las tuercas, se hace también con este tipo de aceros.

El acero que contiene carbono en porcentajes que oscilan entre 0.30 y 0.5 por ciento se clasifica como acero de carbono medio. Este acero es especialmente adaptable para maquinado o forjado y donde la dureza de la superficie es deseable. Ciertas varillas de mando de controles de vuelo y forjados ligeros están hechos de acero SAE 1035, además los aceros de medio carbono son apropiados para construcción de ejes, tornillos y bieletas.

El acero que contiene carbono en porcentajes que van del 0.50 al 1.05 por ciento se clasifica como acero con alto contenido de carbono. La adición de otros elementos en cantidades variables se suma a la dureza de la serie 4000: el silicio es el principal elemento de aleación de este grupo y reduce la temperatura de fusión. Su uso principal es en soldadura y soldadura fuerte. Aunque estas aleaciones de acero tienen muy pocas aplicaciones en aeronáutica por su fragilidad excesiva, se puede señalar que el acero SAE 1095 se puede emplear en forma de chapas o alambres para

flejes y resortes.

Los aceros al níquel, se emplean en la construcción de pasadores, terminales pernos y abrazaderas, ya que la adición de níquel permite mejorar la dureza, resistencia mecánica y límite elástico.

Los aceros al cromo se utilizan en cojinetes ya que tienen una alta dureza, tenacidad y resistencia a la corrosión.

Las aleaciones de acero al cromo – níquel son utilizados con la finalidad de aumentar dureza y tenacidad en el material; partes y componentes tales como bielas y cigüeñales de los motores recíprocos se fabrican con acero SAE 3140 y para cajas de engranajes, piñones y ruedas dentadas, se recomienda el SAE 3310.

Dentro de esta serie de aleaciones, existen aceros resistentes a la corrosión los mismos que se utilizan en partes aeronáuticas tales como: tabiques cortafuegos de los compartimentos de los motores, colectores, tubos de escape y lavabos.

Los aceros al cromo - molibdeno, gracias a la adición de pequeñas cantidades de molibdeno, permite mejorar las propiedades mecánicas de los aceros, pero en especial mejora la adaptabilidad a las soldaduras.

La aleación más utilizada para fines aeronáuticos de esta familia es el SAE 4130 para la construcción de fuselajes, trenes de aterrizaje y bancadas de motor. Finalmente para la construcción de ejes de bombas, muelles de válvulas y dispositivos hidráulicos, se utiliza el acero SAE 6195.

Tabla 2. Codificación de aleaciones de acero utilizados en aeronáutica.

ALEACIONES DE ACERO	
Aceros al carbono	1000
Aceros al níquel	2000
Aceros al cromo – níquel	3000
Aceros al molibdeno	4000
Aceros al cromo	5000
Aceros al cromo – vanadio	6000
Aceros al tungsteno	7000
Aceros al silicio - manganeso	9000

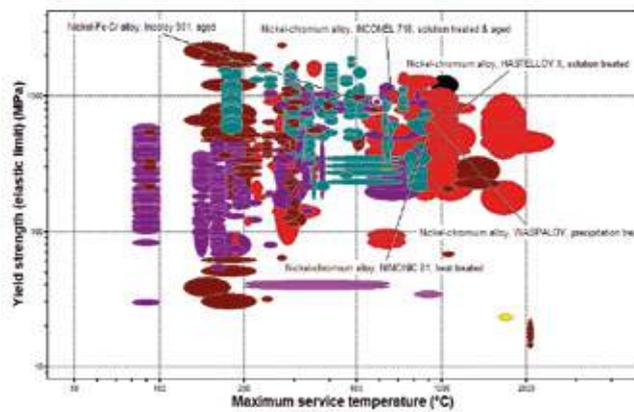


Figura 9. Relación Resistencia vs Temperatura máxima de servicio de HRSA utilizado en aeronáutica

Aleaciones de Magnesio

Desde el punto de vista estructural, las aleaciones de magnesio son las más ligeras que se conocen; su densidad es 1,7 g/cm³ y su resistencia mecánica se la considera muy buena. Es de fácil mecanizado y su materia prima procede de fundición o moldeado. Su uso en aeronáutica radica en la construcción de partes y componentes en cárteres, equipos menores y parte de los trenes de aterrizaje.

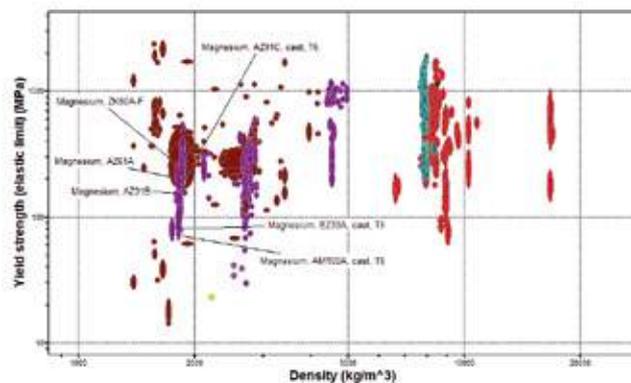


Figura 10. Relación Resistencia vs Densidad aleaciones de magnesio utilizado en aeronáutica

1.2. Materiales y procesos de manufactura

Plásticos y elastómeros

Los plásticos se utilizan en muchas aplicaciones en los aviones modernos. Estas aplicaciones van desde componentes estructurales de plásticos termoestables reforzados con fibra de vidrio hasta molduras decorativas de materiales termoplásticos, canopys y ventanas.

Los polímeros termoplásticos son aquellos que el calor los ablanda de tal manera que pueden moldearse

repetido número de veces, siempre y cuando no se supere la temperatura máxima que el material soporta.

Los polímeros termoestables, en cambio son aquellos que se endurecen por calentamiento y no se pueden volver a fundir y moldearse. Además de la clasificación anterior, los plásticos transparentes se fabrican en dos formas: monolítica (sólida) y laminada. Los plásticos transparentes laminados están hechos de láminas frontales de plástico transparente unidas por un material de capa interna, generalmente polivinil butirilo. Debido a sus cualidades de resistencia a la rotura, el plástico laminado es superior a los plásticos sólidos y se utiliza en muchos aviones presurizados.

La mayor parte de la lámina transparente utilizada en la aviación se fabrica de acuerdo con varias especificaciones militares. Un nuevo desarrollo en plásticos transparentes es el acrílico estirado. El acrílico estirado es un tipo de plástico que, antes de ser moldeado, se tira en ambas direcciones para reorganizar su estructura molecular. Los paneles acrílicos estirados tienen una mayor resistencia al impacto y están menos sujetos a rotura; su resistencia química es mayor, los bordes son más simples y el agrietamiento y los rasguños son menos perjudiciales.

Los plásticos termoestables suelen también utilizarse en zonas de aislamiento eléctrico, conducciones de aire caliente, poleas y pequeños engranajes de transmisión.

El teflón (politetrafluoretileno o PTFE) es un plástico que soporta altas temperaturas y vibraciones, buenas propiedades eléctricas y es anticorrosivo. Se utiliza para hacer tuberías flexibles, rodillos, mamparos, resbalones de cerradura. Así mismo Buna N es un elastómero que se utiliza para fabricar mangueras flexibles que soportan altas presiones, sellos y empaques.

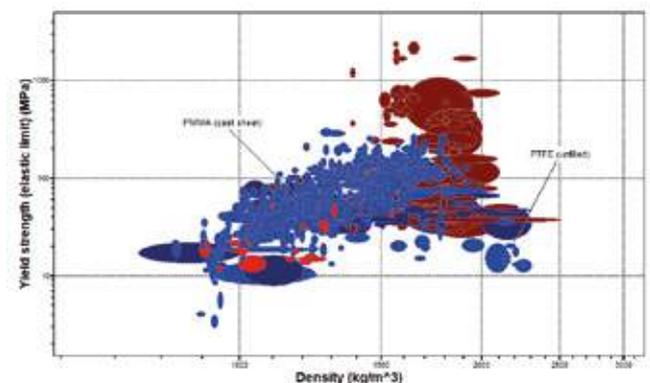


Figura 11. Relación Resistencia vs Densidad plásticos utilizado en aeronáutica

Materiales compuestos

Un material compuesto se podría definir como

loa unión de dos o más materiales con la finalidad de generar uno nuevo con mejores propiedades, generalmente está compuesta por dos partes, el refuerzo y la matriz.

En los años de 1970, la industria aeronáutica comenzó a desarrollar fibras sintéticas para mejorar el diseño de las aeronaves. Desde entonces, los materiales compuestos se han utilizado cada vez más. Cuando se mencionan compuestos, la mayoría de la gente piensa solo en fibra de vidrio, fibra de carbono o kevlar. El uso de los compuestos comenzó en la aviación, pero ahora están siendo aceptados por muchas otras industrias, incluidas la automoción, los artículos deportivos y la navegación, así como los usos de la industria de la seguridad y defensa.

Estos materiales presentan muchas ventajas:

- Alta relación resistencia-peso
- Transferencia de tensión de fibra a fibra permitida por la compatibilidad química con la matriz.
- Módulo (relación de rigidez / densidad) de 3.5 a 5 veces mayor que la del acero o el aluminio.
- Vida más larga que los metales.
- Mayor resistencia a la corrosión
- Resistencia a la tracción 4 a 6 veces mayor que la del acero o el aluminio.
- Mayor flexibilidad de diseño.
- La construcción encolada elimina juntas y sujetadores.
- Fácil de reparar.

Las desventajas de los materiales compuestos son:

- Métodos de inspección difíciles de realizar, especialmente la detección de
- Falta de base de datos de diseño a largo plazo, métodos de tecnología relativamente nuevos
- Elevado costo
- Equipo de procesamiento muy caro.
- Gran variedad de materiales, procesos y técnicas.
- Falta general de conocimientos y experiencia en reparaciones.
- Productos a menudo tóxicos y peligrosos.
- Falta de metodología estandarizada para la construcción y reparación.

Existen otro tipo de configuraciones estructurales de materiales compuestos, tales como tipo sándwich, lattice o enrejados y segmentados, los mismos que en

aeronáutica son muy utilizados principalmente para fuselaje, pisos de aviones, cubiertas de ventilados, alas con misiles entre otras.

La estructura honeycomb o panel de abeja, tiene una geometría que permite minimizar la cantidad de material para alcanzar el peso y costo mínimo del material. Esta estructura posee muy buenas propiedades de compresión y cortante, buena resistencia a la corrosión y humedad.



Figura 12. Estructura compuesta tipo sándwich (honeycomb)

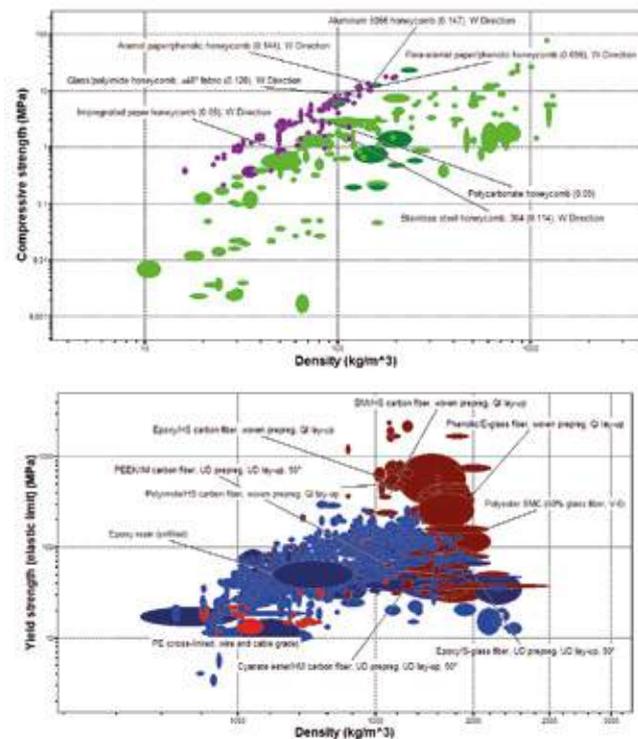


Figura 13. Relación Resistencia vs Densidad materiales compuestos utilizado en aeronáutica.

Cerámicos

Conocidos también como materiales UHTC (Ultra High Temperature Ceramics), se caracterizan por tener un alto punto de fusión, sirven como aislantes térmicos y se los utiliza en zonas o lugares de las plataformas aeronáuticas y aeroespaciales donde se generan grandes cantidades de calor y altas



Figura 18. Fallos generados a partir del proceso de manufactura en componentes aeronáuticos

Fuente: Módulo mecanizado de alta velocidad. N López de la Calle, Lamikiz

Al analizar el incidente presentado en la figura anterior, se determinó que el origen del accidente fue por una grieta generada en un debilitamiento de un tubo del sistema de lubricación de un rodamiento de las turbinas de media presión, en razón de que en el proceso de fabricación del elemento, existió un mal alineamiento de dos taladrados. Al final se tuvieron que reemplazar 39 turbinas RR Rolls Royce Trent 900 que presentaban el tubo defectuoso.

2. Discusión

La vinculación del diseño, los materiales y las nuevas tecnologías de fabricación mediante simulación y modelado por computadora (CAD-CAM-CAE) son ahora un requisito para los componentes y sistemas de alto rendimiento y eficiencia en el campo aeronáutico. Las plataformas aeronáuticas dependen de materiales cuyas propiedades y formas tengan afinidad con la ruta de fabricación del producto. Los modelos permiten la predicción de propiedades mecánicas específicas, que respalda el diseño para la fabricación y la optimización de materiales y la producción en masa. El modelado y la simulación también están siendo aplicados para optimizar materiales y procesos establecidos a través de base de datos y softwares.

Los materiales y tecnologías de proceso de manufactura tienen ahora, el potencial de mejorar significativamente la eficiencia y la capacidad ecológica de los motores de turbina. Por definición, comienzan con un bajo nivel de madurez y requieren investigación, desarrollo, evaluación y validación antes de ser aplicados a cualquier sistema futuro; sin embargo, estas tecnologías de alto riesgo / alta

rentabilidad, si tienen éxito en lograr objetivos de rendimiento agresivos, ya que pueden habilitar nuevos componentes y diseños de sistemas que permitan mejoras importantes en la capacidad y el rendimiento en general.

Así mismo, el uso de nuevos materiales, podrían cambiar los diseños actuales de las plataformas aeronáuticas, provocando también un ajuste en el desarrollo de tecnología para su conformación.

Por ejemplo:

- Los materiales compuestos de cerámica de alta resistencia a la temperatura, serán utilizados para las cámaras de combustión, las turbinas y los sistemas de escape de nuevos motores avanzados y más eficientes.
- Los materiales intermetálicos de menor densidad también podrán ser aplicados en componentes rotativos.
- Los materiales compuestos de fibra de carbono constituirán prácticamente el 90% del total del peso de las aeronaves o plataformas aeronáuticas.

El uso de material compuesto en aviones, en lugar de acero, ha dado como resultado estructuras ligeras de aviones y, en consecuencia, ha reducido el nivel de consumo y costos de combustible, reduciendo así las emisiones de CO₂. Existen varias aplicaciones de nanocompuestos en la industria aeroespacial. (Ramdani, 2019)

Entre tales aplicaciones que son específicas en la construcción de aviones, incluyen:

- Elementos de refuerzo para estructuras, tales como: frames, largueros o como la capa exterior para las estructuras tipo panal de abeja usadas en el fuselaje y las alas,
- Matrices cerámicas combinadas con nanoadiciones; estos nanocompuestos pueden representar un elemento único solución para los radomes de aviones hipersónicos y
- Nanocompuestos basados en zirconio para protección térmica en turbo motores.
- Los nanocompuestos metálicos pueden contener un metal como segundo componente y ambos componentes, a menudo muy finamente, están dispersos entre sí. Dichos nanocompuestos de estas combinaciones pueden tener propiedades eléctricas, ópticas y magnéticas mejoradas, con

buena resistencia a la corrosión.

El uso de nanocompuestos en la industria aeronáutica representa una solución avanzada de material. El material nanocompuesto ayuda en la construcción de aeronaves como elemento de refuerzo para estructuras de aeronaves tales como largueros, marcos o como revestimiento para las estructuras de tipo panel utilizadas en las alas y el fuselaje. Como materiales de base para aplicaciones de alta temperatura, los compuestos de nano carbono se desarrollaron por primera vez para la tecnología aeroespacial, para la construcción de componentes y misiles, transbordadores espaciales, vehículos de reingreso, forros de frenos y como material de disco de freno para aeronaves civiles y militares.

Airbus y Boeing pronostican que hasta el 2035 el mercado aeronáutico mundial demandará aproximadamente 22730 aviones comerciales y de carga nuevos y para el 2035 la perspectiva será de 45240 aviones, es decir prácticamente se duplicará la demanda a las existentes en la actualidad, lo que generaría una gran oportunidad para las empresas manufactureras de partes y componentes aeronáuticos.

Para poder llegar a estas metas ambiciosas, las empresas manufactureras dentro del campo aeronáutico deberán garantizar que las partes y componentes puedan ser fabricadas de manera continua, eficiente y siguiendo las especificaciones dentro de una filosofía de seguridad operacional de los sistemas y plataformas aeronáuticas desde los procesos primarios hasta la finalización del producto y de esta manera controlar su cadena de manufactura de la manera más completa posible.



Figura 19. Proyección de flota aeronáutica 2015 – 2035

Fuente: www.boeing.com

3. Conclusiones

A continuación se describe las conclusiones obtenidas en esta investigación:

- Los principales beneficios en los materiales utilizados en el campo aeronáutico son: buena resistencia al rendimiento, resistencia a la tracción, resistencia a la corrosión, resistencia a altas temperaturas y baja densidad, pero sobre todo, de peso ligero, que dan como resultado materiales aeroespaciales fuertes pero más livianos.
- La investigación, estudio y caracterización de los materiales tradicionales en búsqueda de nuevos materiales avanzados, compuestos o nanomateriales, permitirán buscar las mejores relaciones de peso, resistencia y costo dentro del sector aeronáutico.
- En la fabricación de piezas aeronáuticas, más que velocidad de producción, se debe priorizar la confiabilidad de la cadena de manufactura del componente, llegando a un equilibrio óptimo de maquinaria, herramientas, talento humano e ingeniería de manufactura.
- La vinculación del diseño, los materiales y las nuevas tecnologías de fabricación mediante simulación y modelado por computadora (CAD-CAM-CAE) son ahora un requisito para los componentes y sistemas de alto rendimiento y eficiencia en el campo aeronáutico.

4. Referencias

- [1] Cortéz, G. (2010). Nanotecnología en Aviación. Bolivia. Revista de Información, Tecnología y Sociedad.
- [2] Ezugwu. E.O. (2004). High Speed Machining of Aero-Engine Alloys. UK: J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.
- [3] Federal Aviation Administration FAA. (2018). Aviation Maintenance Technician Handbook General. USA, FAA-FSS.
- [4] Golfman Y. (2011). Hybrid Anisotropic Materials for Structural Aviation parts. Estados Unidos. CRC Press.

[5] Green, K.A., Furrer D. (2009). Advanced turbine engine materials. *Advanced Materials & Processes*.

[6] Karpinos, B (2013). Thermal Cyclic Creep and Long Term Strength of the Material of Aircraft Gas Turbine Blades after Operation. *Strength of Materials*.

[7] Lepeshkin A, Borja de. (2012). Investigations of Thermal Barrier Coatings for Turbine Parts. *Ceramics Coatings Application in Engineering*.

[8] López de la Calle. (2015). Mecanizado de alta velocidad. Material disponible dentro del Programa de Maestría en Manufactura y Diseño asistidos por Computador. Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

[9] Neely, J.E., Kibbe, RR., García Díaz, R. (1992). *Materiales y Procesos de Manufactura*. México D.F. Limusa.

[10] Ramdani, N. (2019). Polymer Nanocomposites for Advanced Engineering and Military Applications. USA. *Advances in Chemical and Materials Engineering (ACME) Book Series*, IGI Global

[11] Riba Romeva, C. (2008), Selección de Materiales en el Diseño de Máquinas, España, UPC.

[12] Simonenko, E.P. Sevastyanov D.V, Simonenko N.P, Sevastyanov, V.G, Kuznetsov, N.T. (2013). Promising Ultra-High-Temperature Ceramic Materials for Aerospace Applications. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*.

[13] Sun, C.T. (2006). *Mechanics of Aircraft Structures*, Second Edition, Estados Unidos, John Wiley & Sons, Inc.

5. Biografía



¹José Guillermo Trujillo Jaramillo. Nació en Quito provincia de Pichincha, Ecuador. Magíster en Manufactura y Diseño asistidos por computador, Diploma Superior de cuarto nivel en Pedagogías Innovadoras, Diplomado Internacional de Gestión por competencias Ingeniero Mecánico, Docente / Instructor Tiempo Completo de la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea - Carrera de Tecnología Superior en Ciencias Militares Aeronáuticas de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. tario Central Técnico.



²Tern. Edison Ramiro Acurio Armas, Lcdo. Administración Aeronáutica, Ing. Electrónico en Telecomunicaciones, Magister en Educación / Jefe Dpto. Ingeniería Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea, Director de Carrera de la Tecnología Superior en Ciencias Militares Aeronáuticas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Subdirector de la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea.



³Rodrigo Cristóbal Zurita Bautista. Nació en Salcedo provincia de Cotopaxi, Ecuador. Magíster en Sistemas de Control y Automatización Industrial, Ingeniero Industrial, Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica, Docente Tiempo Completo de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Director de la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica.

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	14 marzo 2021
Fecha aceptación	06 mayo 2021