

Preparación de un Trabajo en Formato de dos Columnas Para RATE

J. W. Autor, *Senior Member, IEEE*, y L. L. Autor, *Fellow, IEEE*
Completa(Institución, Dirección, email)

Filiación

Resumen—Este estudio se centra en la selección del material óptimo para un pistón de motor recíproco en configuración radial, utilizado en aplicaciones aeronáuticas. Tras un análisis de las propiedades mecánicas y térmicas de varios materiales, así como de sus costos, se considera la fundición dúctil de hierro nodular, el aluminio 2618 T4 y el titanio Ti-6Al-4V y el acero inoxidable austenítico BioDur 108 recocido, el último emergió como la opción más adecuada debido a su excelente límite elástico, alta temperatura máxima de servicio, y costo razonable. Este material no solo cumple con los requisitos de resistencia y estabilidad térmica, sino que también ofrece una ventaja económica, lo que lo hace ideal para la construcción de pistones de motor radial aeronáuticos.

I. INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de mejorar el rendimiento y la eficiencia de los motores aeronáuticos, la selección del material adecuado para los componentes críticos como los pistones es esencial. Los motores radiales, conocidos por su simplicidad mecánica, fiabilidad y bajo peso, fueron ampliamente utilizados durante la Segunda Guerra Mundial y aún se encuentran en aplicaciones específicas. Estos motores presentan una configuración en la que los pistones están dispuestos radialmente alrededor del cigüeñal, proporcionando ventajas significativas como una distribución uniforme de la carga, mejor refrigeración y fácil acceso a los componentes para mantenimiento.

El pistón, al ser una de las piezas fundamentales del motor, está sometido a altas presiones y temperaturas. Por lo tanto, el material del pistón debe poseer propiedades mecánicas y térmicas excepcionales para soportar estas condiciones extremas. Este estudio utiliza herramientas avanzadas de simulación y selección de materiales, como el software ANSYS para análisis de elementos finitos y GRANTA para la evaluación de materiales, con el fin de determinar el material más adecuado para la construcción de pistones en motores radiales.

II. • DESCRIPCIÓN COMPLETA DE LA PIEZA O COMPONENTE

Para realizar el análisis del material óptimo para un pistón de un motor recíproco en configuración radial se necesita primero un contexto sobre el motor. En los motores radiales, los pistones están conectados mediante un mecanismo de biela-manivela distinto al de los motores en línea. Uno de los pistones se conecta a una biela principal más grande, que a su vez se une directamente al cigüeñal. Los otros pistones se conectan a bielas

secundarias más pequeñas, las cuales se unen a la biela principal, formando una estructura radial. Generalmente, el número de pistones es impar para minimizar las vibraciones, encontrándose motores radiales de siete y nueve cilindros en aeronaves recreativas.

Durante la Segunda Guerra Mundial, los motores radiales se usaron extensamente por su simplicidad mecánica, fiabilidad, y bajo peso, siendo ideales para vuelos sobre desiertos o mar y en portaaviones. Eran robustos y podían arrancar solo con el movimiento de la hélice. A pesar de su versatilidad, la evolución hacia turbinas de reacción, más estables, ha reducido su uso. Aunque comercialmente disponibles por empresas como Rotec Engineering y Pratt & Whitney, sin embargo, su aplicación actual es limitada. Mientras que cazas como el Supermarine Spitfire y Messerschmitt Bf-109 usaban motores en V para una mejor aerodinámica, la Armada de los Estados Unidos prefería motores radiales para la mayoría de sus aviones.

EL diseño de los motores a recíprocos de configuración radial no solo son motores estéticos, sino que surgieron como una solución a diversos problemas que surgieron principalmente en el sector aeronáutico en la época de la segunda guerra mundial. Las principales ventajas de diseño de un motor recíproco de configuración radial son las siguientes:

A. Distribución Uniforme de la Carga:

El diseño radial distribuye la carga de manera equitativa a lo largo del cigüeñal, lo que minimiza las vibraciones y reduce la necesidad de sistemas de contrapeso complejos.

B. Compacto y ligero

La disposición en estrella de los cilindros hace que el motor sea más compacto, aprovechando mejor el espacio, lo cual es crucial en aplicaciones aeronáuticas y facilita su integración en diversos vehículos y maquinaria.

C. Acceso Sencillo a Componentes

El diseño radial permite un acceso más directo a los componentes del motor, como pistones y bielas, lo que facilita el mantenimiento y la reparación, reduciendo los tiempos de inactividad.

D. Alta Relación Potencia-Peso

: La estructura compacta y ligera del motor radial, junto con su eficiente distribución de carga, ofrece una alta relación potencia-peso, esencial para el rendimiento en aplicaciones aeronáuticas.

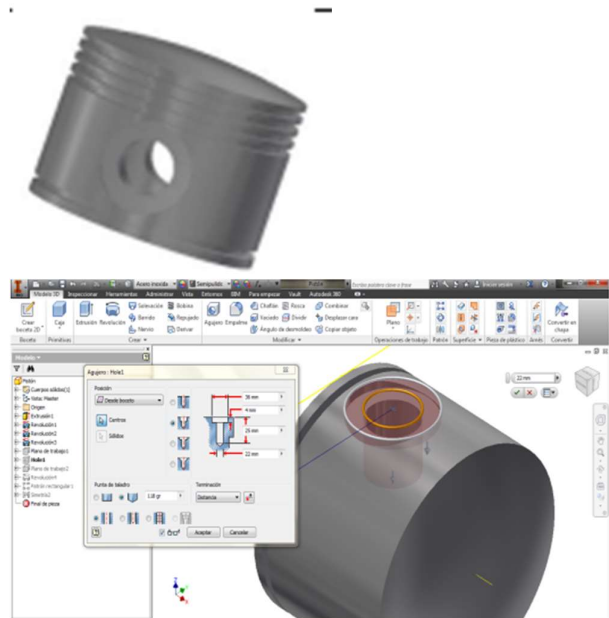
* Revista Argentina de Trabajos Estudiantiles. Patrocinada por la IEEE.

E. Facilidad en la Refrigeración

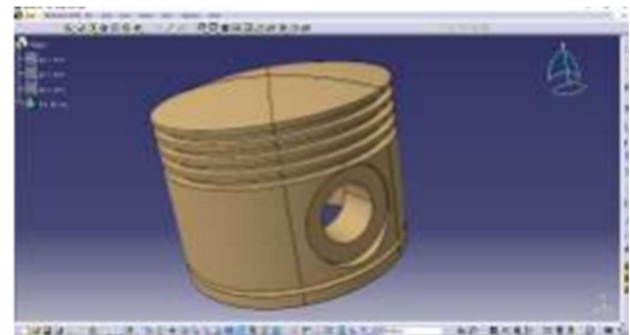
La configuración radial mejora la disipación del calor, ya que los cilindros están más expuestos al flujo de aire, lo que es especialmente beneficioso en aplicaciones aeronáuticas para mantener una temperatura óptima del motor.

Para el proceso de selección de materiales para un pistón de un motor reciproco en configuración radial se decidió usar como fuente el documento presentado en la referencia 1 “DISEÑO DE UN MOTOR RADIAL DE 5 CILINDROS. GENERACIÓN DE SU PROTOTIPO VIRTUAL Y SIMULACIÓN MECÁNICA”. En dicho documento presentan el proceso de diseño asistido por computadora en el software Autodesk de un motor reciproco en configuración radial de cinco cilindros. La descripción resumida del proceso de diseño del pistón en dicho documento es la siguiente:

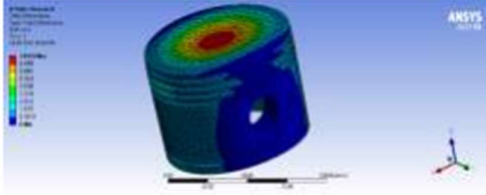
1. Crear Archivo Nuevo: Abrir un nuevo archivo de diseño en Autodesk seleccionando Normal.ipt para crear un archivo de pieza.
2. Dibujar Boceto en 2D: Realizar un boceto en 2D, seleccionando un plano para dibujar la pieza. Dibujar un círculo con un diámetro de 92 mm y proyectar la geometría para restringir la posición del centro del círculo.
3. Extrusión del Pistón: Extruir el círculo con una altura de 66 mm, asegurando que el plano del círculo quede en la parte inferior para referencia futura.
4. Crear Abombamiento: Realizar un nuevo boceto para el abombamiento de la cabeza del pistón con un radio de 189 mm, utilizando el plano de corte para mayor precisión. Revolucionar la zona creada para completar la forma abombada en la parte superior del cilindro.
5. Hendiduras para Arandelas: Crear un boceto en el plano de corte transversal del pistón para las hendiduras de las arandelas de estanqueidad y el anillo rascador de aceite. Realizar las hendiduras mediante un patrón rectangular y revolución de corte.
6. Vaciado del Pistón: Realizar un boceto para el vaciado interior del pistón, proyectando las aristas exteriores y utilizando la herramienta de revolución de corte para crear el espacio interior para la biela.
7. Agujero Pasante para Bulón: Crear un agujero pasante de 22 mm de diámetro a 27 mm de la cara inferior del pistón, con un escariado de 36 mm de diámetro, 4 mm de penetración y 25 mm de profundidad.
8. Simetría de Operaciones: Utilizar la herramienta de simetría para replicar el agujero pasante en el lado opuesto del pistón, ahorrando tiempo.
9. Asignación de Propiedades Físicas: Asignar propiedades físicas al pistón (por ejemplo, acero inoxidable) mediante el menú iproperties para simular mejor el comportamiento de la pieza en la simulación mecánica.



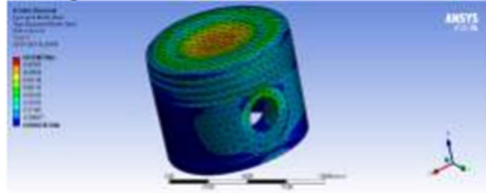
El pistón en su contexto de operación está sometido a grandes presiones que se distribuyen y afectan de forma diferente en todo el pistón. El análisis del pistón del motor radial se realiza en ANSYS y se obtiene del documento presentado en la referencia 2.



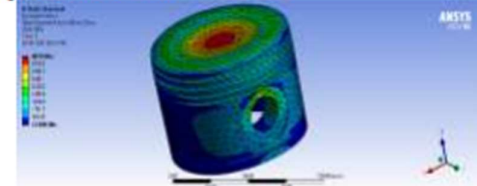
Analysis of Piston: Total Deformation:



Total Equivalent Strain:

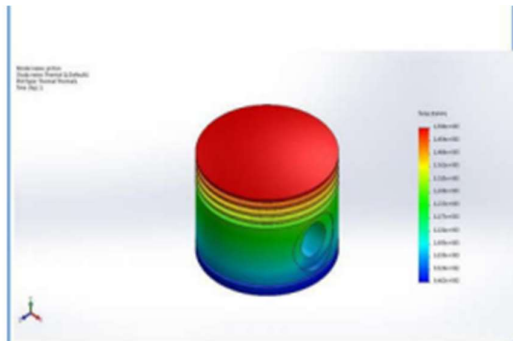


Equivalent Stress:



Este es un software de análisis mecánico de elementos finitos se utiliza para simular modelos informáticos de estructuras o componentes de máquinas para analizar resistencia, tenacidad, elasticidad, distribución de temperatura y muchos otros atributos. Hay muchos tipos de sistemas de análisis en ANSYS, pero en el documento se trabajó con un sistema de análisis estructural estático, analizando el pistón en un tiempo determinado.

Analizando las imágenes proporcionadas por el documento se evidencia que la zona crítica del pistón es en el orificio donde se pasa el pin que une el pistón con la biela y en la parte superior del pistón donde recibe toda la carga distribuida. El valor del esfuerzo en esta zona será tomado como el máximo.



El análisis de temperatura para el pistón muestra que el pistón estará sometido un diferencial de temperatura. Esto indica que el material para hacer el pistón debe de tener un excelente coeficiente de transferencia de calor por conducción para generar menos resistencia interna y para tener un buen

desempeño a la hora de refrigerarse por convección forzada. El pistón también debe de tener un punto de fundición alto para mantener sus propiedades mecánicas a tan altas temperaturas.

III. REQUERIMIENTOS

Requerimientos	Objetivo	Rango
1. Resistencia a la tracción	Los pistones deben resistir altas fuerzas durante la combustión por eso es importante una buena resistencia a la tracción	200 - 600 MPa
2. Resistencia a la fluencia	Crucial para evitar deformaciones cuando se encuentre operativo	300 - 600 MPa
3. Densidad	Material ligero para mejorar eficiencia	2600 – 8000 Kg/m ³
4. Coeficiente de expansión térmica	Importante para mantener la integridad del componente y de los que lo rodea	10 – 24 x10 ⁻⁶ 1/°C
5. Temperatura máxima de operación	Los pistones deben soportar altas temperaturas sin perder sus propiedades mecánicas	250 – 600 °C
6. Dureza	Influye en la resistencia al desgaste, por lo tanto, es importante tener una buena dureza	90 – 250 HV (Vickers)
7. Conductividad térmica	Necesaria para disipar el calor	50 – 170 W/m*K

	de buena manera	
8. Resistencia a la fatiga	Al estar sometidas a cargas cíclicas es necesario tener un buen margen en este apartado	100 – 500 MPa
9. Resistencia a la corrosión	Al estar expuesto a productos de combustión es necesario que el material tenga una buena resistencia a la corrosión	Excelente
10. Modulo de elasticidad	Influye en la rigidez del material, por esto, es importante tener un rango apropiado para este requerimiento	70 – 210 MPa

IV. FILTRADO DE MATERIALES EN GRANTA

A continuación, se muestra el proceso realizado durante el uso del programa Granta para la selección de materiales.

Primer se definió una grafica con los materiales. En el eje horizontal (eje X) se encontraría el precio de los materiales y en el eje vertical (eje Y) la resistencia a tensión de los materiales.

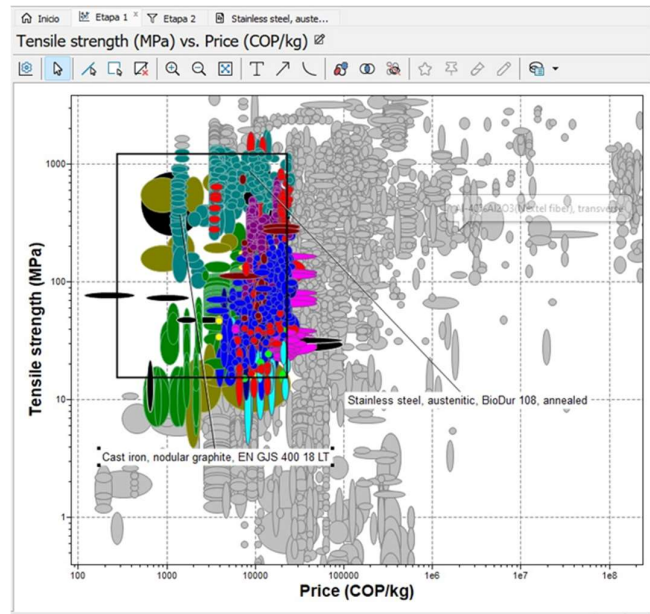
Luego se aplicarían filtros para obtener materiales más específicos para la aplicación y así descartar los que no entraban en los requerimientos que se necesitaban.

	Minimo	Máximo	
Density	2600	8000	kg/m ³

	Existe	Mínimo	Máximo	
Young's modulus	<input type="checkbox"/>	70	210	GPa
Specific stiffness	<input type="checkbox"/>			MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	<input type="checkbox"/>	250	500	MPa
Tensile strength	<input type="checkbox"/>			MPa
Specific strength	<input type="checkbox"/>			kN.m/kg
Elongation	<input type="checkbox"/>			% strain
Compressive strength	<input type="checkbox"/>			MPa
Tangent modulus	<input type="checkbox"/>			MPa
True plastic stress-strain	<input type="checkbox"/>			MPa
Flexural modulus	<input type="checkbox"/>			GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	<input type="checkbox"/>			MPa
Shear modulus	<input type="checkbox"/>			GPa
Bulk modulus	<input type="checkbox"/>			GPa
Poisson's ratio	<input type="checkbox"/>			
Shape factor	<input type="checkbox"/>			
Hardness - Vickers	<input type="checkbox"/>			HV
Elastic stored energy (springs)	<input type="checkbox"/>			kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	<input type="checkbox"/>	100	500	MPa

	Existe	Mínimo	Máximo	
Melting point	<input type="checkbox"/>			°C
Glass temperature	<input type="checkbox"/>			°C
Maximum service temperature	<input type="checkbox"/>	250	600	°C
Minimum service temperature	<input type="checkbox"/>			°C
Thermal conductivity	<input type="checkbox"/>	50	170	W/m.°C
Thermal conductivity with temperature	<input type="checkbox"/>			W/m.°C
Specific heat capacity	<input type="checkbox"/>			J/kg.°C
Specific heat capacity with temperature	<input type="checkbox"/>			J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	<input type="checkbox"/>	10	24	μstrain/°C
Thermal expansion coefficient with temperature	<input type="checkbox"/>			μstrain/°C
Thermal expansion coefficient with temperature_Reference temp	<input type="checkbox"/>			°C
Thermal shock resistance	<input type="checkbox"/>			°C
Thermal distortion resistance	<input type="checkbox"/>			MW/m

Water (fresh)	<input type="text"/>
Water (salt)	<input type="text"/>
Weak acids	<input type="text"/>
Strong acids	<input type="text"/>
Weak alkalis	<input type="text"/>
Strong alkalis	<input type="text"/>
Organic solvents	<input type="text"/>
Oxidation at 500C	Excellent
UV radiation (sunlight)	<input type="text"/>
Galling resistance (adhesive wear)	<input type="text"/>
Flammability	<input type="text"/>



Dentro de esta gran variedad de materiales se escogieron 5 materiales que podrían ser usados para la construcción de un pistón, teniendo en cuenta los requerimientos que se plantearon anteriormente.

El primero es el “Stainless steal, austenitic, BioDur 108, annealed” y se muestran sus propiedades físicas, mecánicas y térmicas a continuación.

Después de aplicar todos estos filtros la cantidad de materiales que podrían ser usados en la aplicación se redujo a la siguiente. Aunque solo se visualizan algunos.

Physical properties

Density	①	7,56e3	-	7,72e3	kg/m³
---------	---	--------	---	--------	-------

Price

Price	①	* 6,89e3	-	8,78e3	COP/kg
-------	---	----------	---	--------	--------

Mechanical properties

Young's modulus	①	198	-	202	GPa
Specific stiffness	①	25,8	-	26,6	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	①	580	-	592	MPa
Tensile strength	①	922	-	940	MPa
Specific strength	①	75,6	-	77,8	kN.m/kg
Elongation	①	51,5	-	52,5	% strain
Compressive strength	①	* 580	-	592	MPa
Flexural modulus	①	* 198	-	202	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	①	* 580	-	592	MPa
Shear modulus	①	* 75,7	-	78,1	GPa
Bulk modulus	①	* 159	-	175	GPa
Poisson's ratio	①	0,293	-	0,308	
Shape factor	①	40			
Hardness - Vickers	①	* 277	-	282	HV
Hardness - Rockwell B	①	* 103	-	104	HRB
Hardness - Rockwell C	①	* 26	-	28	HRC
Hardness - Brinell	①	* 258	-	271	HB
Elastic stored energy (springs)	①	840	-	878	kJ/m³
Fatigue strength at 10⁷ cycles	①	* 378	-	386	MPa
Fatigue strength model (stress amplitude)	①	* 373	-	391	MPa

Parámetros: Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 1e7cycles

Thermal properties

Melting point	①	* 1,4e3	-	1,45e3	°C
Maximum service temperature	①	* 750	-	790	°C
Minimum service temperature	①	-150			°C
Thermal conductivity	①	* 15	-	17	W/m.°C
Specific heat capacity	①	* 480	-	530	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	①	* 15	-	18	μstrain/°C
Thermal shock resistance	①	* 163	-	196	°C
Thermal distortion resistance	①	* 0,871	-	1,08	MW/m
Latent heat of fusion	①	* 389	-	471	kJ/kg

Durability

Water (fresh)	①	Excellent
Water (salt)	①	Excellent
Weak acids	①	Excellent
Strong acids	①	Excellent
Weak alkalis	①	Excellent
Strong alkalis	①	Excellent
Organic solvents	①	Excellent
Oxidation at 500°C	①	Excellent
UV radiation (sunlight)	①	Excellent
Galling resistance (adhesive wear)	①	Excellent
Notes		Very high Mn improves galling resistance.
Flammability	①	Non-flammable

La segunda elección preliminar fue el “stainless steal” sus propiedades se muestran a continuación.

General properties

Density	①	7,61e3	-	7,87e3	kg/m³
Price	①	* 1,09e4	-	1,17e4	COP/kg

Mechanical properties

Young's modulus	①	190	-	210	GPa
Yield strength (elastic limit)	①	257	-	1,14e3	MPa
Tensile strength	①	515	-	1,3e3	MPa
Elongation	①	10	-	49	% strain
Hardness - Vickers	①	170	-	438	HV
Fatigue strength at 10⁷ cycles	①	* 256	-	542	MPa
Fracture toughness	①	* 57	-	137	MPa.m¹/²

Thermal properties

Melting point	①	1,4e3	-	1,49e3	°C
Maximum service temperature	①	640	-	747	°C
Thermal conductor or insulator?	①	Poor conductor			
Thermal conductivity	①	14	-	24,9	W/m.°C
Specific heat capacity	①	450	-	510	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	①	10,8	-	16,5	μstrain/°C

La tercera elección fue “fundición dúctil de hierro nodular” sus propiedades se muestran a continuación.

Propiedades generales

Densidad	①	7,05e3	-	7,15e3	kg/m³
Precio	①	1,1e3			COP/kg

Propiedades mecánicas

Módulo de Young	①	170	-	180	GPa
Límite elástico	①	246	-	630	MPa
Resistencia a tracción	①	400	-	900	MPa
Elongación	①	2	-	26	% strain
Dureza-Vickers	①	135	-	290	HV
Resistencia a fatiga para 10⁷ ciclos	①	195	-	317	MPa
Tenacidad a fractura	①	23,3	-	51,6	MPa.m¹/²

Propiedades térmicas

Punto de fusión	①	1,13e3	-	1,25e3	°C
Máxima temperatura en servicio	①	350	-	450	°C
¿Conductor térmico o aislante?	①	Buen conductor			
Conductividad térmica	①	* 31	-	42	W/m.°C
Calor específico	①	460	-	495	J/kg.°C
Coefficiente de expansión térmica	①	10	-	12,5	μstrain/°C

La cuarta elección fue “aluminum, 2618, T4” sus propiedades se muestran a continuación.

Price

Price	①	* 8,67e3	-	9,98e3	COP/kg
Price per unit volume	①	* 2,36e7	-	2,77e7	COP/m³

Physical properties

Density	①	2,72e3	-	2,78e3	kg/m³
---------	---	--------	---	--------	-------

Mechanical properties

Young's modulus	①	72	-	76	GPa
Specific stiffness	①	26,1	-	27,7	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	①	266	-	294	MPa
Tensile strength	①	314	-	347	MPa
Specific strength	①	96,6	-	107	kN.m/kg
Elongation	①	13	-	15,1	% strain
Compressive strength	①	* 266	-	294	MPa
Flexural modulus	①	* 72	-	76	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	①	266	-	294	MPa
Shear modulus	①	* 25	-	28	GPa
Bulk modulus	①	* 68	-	73	GPa
Poisson's ratio	①	0,325	-	0,335	
Shape factor	①	25			
Hardness - Vickers	①	80	-	88	HV
Elastic stored energy (springs)	①	478	-	585	kJ/m³
Fatigue strength at 10⁷ cycles	①	* 101	-	106	MPa
Fatigue strength model (stress amplitude)	①	* 93,5	-	114	MPa

Parámetros: Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 1e7cycles

Thermal properties

Melting point	①	560	-	650	°C
Maximum service temperature	①	250	-	300	°C
Minimum service temperature	①	-273			°C
Thermal conductivity	①	148	-	154	W/m.°C
Specific heat capacity	①	858	-	893	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	①	21,5	-	22,6	μstrain/°C
Thermal shock resistance	①	161	-	182	°C
Thermal distortion resistance	①	* 6,63	-	7,07	MW/m
Latent heat of fusion	①	384	-	393	kJ/kg

El quinto material preseleccionado fue “Titanium, Alpha-beta alloy, Ti-6Al-4V, cast” sus propiedades se muestran a continuación.

Densidad: 4430 kg/m³

Price

Price	①	* 8,86e4	- 1,08e5	COP/kg
Price per unit volume	①	* 3,91e8	- 4,8e8	COP/m ³

Mechanical properties

Young's modulus	①	113	- 115	GPa
Specific stiffness	①	25,4	- 25,9	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	①	786	- 898	MPa
Tensile strength	①	869	- 996	MPa
Specific strength	①	177	- 203	kN.m/kg
Elongation	①	8	- 10,1	% strain
Tangent modulus		1,87e3		MPa
Compressive strength	①	* 786	- 898	MPa
Flexural modulus	①	* 113	- 115	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	①	* 786	- 898	MPa
Shear modulus	①	* 42	- 42,9	GPa
Bulk modulus	①	* 111	- 126	GPa
Poisson's ratio	①	0,332	- 0,349	
Shape factor	①	13		
Hardness - Vickers	①	* 332	- 366	HV
Hardness - Rockwell B	①	* 108	- 110	HRB
Hardness - Rockwell C	①	34	- 38	HRC
Hardness - Brinell	①	* 317	- 351	HB
Elastic stored energy (springs)	①	2,72e3	- 3,53e3	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	①	* 634	- 688	MPa
Fatigue strength model (stress amplitude)	①	* 575	- 758	MPa

Parámetros: Stress Ratio = -1. Number of Cycles = 1e7cycles

Thermal properties

Melting point	①	* 1,61e3	- 1,66e3	°C
Maximum service temperature	①	* 350	- 420	°C
Minimum service temperature	①	-273		°C
Thermal conductivity	①	8,73	- 8,91	W/m.°C
Specific heat capacity	①	559	- 571	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	①	* 8,7	- 9,1	μstrain/°C
Thermal shock resistance	①	* 773	- 890	°C
Thermal distortion resistance	①	* 0,967	- 1,02	MW/m
Latent heat of fusion	①	* 490	- 593	kJ/kg

V. ANÁLISIS

Podemos descartar la fundición dúctil de hierro nodular debido a su baja resistencia a la tracción y a que su temperatura máxima de servicio no está en el rango solicitado. Este material, no cumple con los requisitos específicos de alta resistencia y estabilidad térmica necesarios para el pistón. Además, el aluminio 2618 T4, a pesar de ser muy tentador por su extremadamente baja densidad (2.7 g/cm³), presenta algunas limitaciones. Su límite elástico es insuficiente para soportar las cargas a las que estará sometido el pistón, y su temperatura máxima de servicio, de alrededor de 250-300°C, no es adecuada para las condiciones operativas que enfrentaremos, aunque tiene una ventaja que es su alta conductividad. De todas formas, estos factores hacen que se puedan buscar mejores opciones que el aluminio 2618.

Sorprendentemente, el titanio, en su aleación alfa-beta Ti-6Al-4V fundido, ofrece una combinación atractiva de baja densidad (aproximadamente 4.43 g/cm³) y un excelente límite elástico (en el rango de 786-898 MPa). Sin embargo, el costo del material es exorbitante, superando los 90,000 COP por kg. Además, su procesamiento es complejo y costoso, lo que incrementa aún más el costo total y la dificultad del proceso de manufactura del producto.

Teniendo en cuenta las propiedades de los materiales evaluados, parece adecuado utilizar el acero inoxidable austenítico BioDur 108 recocido. Este material destaca por su buen límite elástico, en el rango de 200-300 MPa, y una temperatura máxima de

servicio que puede alcanzar hasta 790 °C, lo que es adecuado para las altas temperaturas a las que estará sometido el pistón. Aunque su densidad es de 7560 kg/m³, lo cual es más alta en comparación con el aluminio y el titanio, se encuentra en un rango aceptable que no añade un peso excesivo a la aeronave. La densidad del acero inoxidable puede ser compensada por su robustez y durabilidad en condiciones extremas.

Además, el bajo costo del acero inoxidable austenítico BioDur 108, aproximadamente 7,000 COP por kg, en comparación con el titanio Ti-6Al-4V, representa una ventaja económica para su fabricación. Esta diferencia en costos permite mantener el proyecto dentro de un presupuesto razonable sin comprometer la calidad y desempeño del pistón. También, el acero inoxidable tiene una mejor resistencia a la corrosión en comparación con otros materiales, lo que prolonga la vida útil del componente en los ambientes exigentes a los que se puede enfrentar el motor.

VI. CONCLUSIONES

Después del análisis de estos materiales para la construcción de un pistón de motor recíproco en configuración radial, considerando sus propiedades mecánicas y térmicas como los costos asociados, hemos llegado a la conclusión de que la fundición dúctil de hierro nodular no cumple con los requisitos de alta resistencia y estabilidad térmica necesarios para un pistón de motor radial debido a su baja resistencia a la tracción y temperatura máxima de servicio inadecuada. Por otro lado, el aluminio 2618 T4, a pesar de ser tentador por su extremadamente baja densidad (2.7 g/cm³) y alta conductividad térmica, presenta limitaciones significativas como un límite elástico insuficiente y una temperatura máxima de servicio de 250-300°C, lo cual no es adecuado para las condiciones operativas esperadas. Aunque el titanio en su aleación alfa-beta Ti-6Al-4V fundido ofrece una combinación atractiva de baja densidad (4.43 g/cm³) y excelente límite elástico (786-898 MPa), su costo extremadamente alto (90,000 COP/kg) y la complejidad en su procesamiento lo hacen impráctico. En contraste, el acero inoxidable austenítico BioDur 108 recocido se presenta como la opción más adecuada debido a su buen límite elástico (200-300 MPa), alta temperatura máxima de servicio (hasta 790°C) y un costo significativamente más bajo (7,000 COP/kg). Aunque su densidad es mayor (7560 kg/m³) en comparación con el aluminio y el titanio, se encuentra dentro de un rango aceptable y su robustez, durabilidad, y buena resistencia a la corrosión compensan esta desventaja. Además, el costo razonable del acero inoxidable permite mantener el proyecto dentro de un presupuesto asequible sin comprometer la calidad y el rendimiento del pistón. En pocas palabras, el acero inoxidable austenítico BioDur 108 recocido es el material más equilibrado y adecuado para la construcción del pistón del motor radial, asegurando un desempeño óptimo y una larga vida útil en condiciones operativas exigentes.

REFERENCIAS

- [1] https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/50186/TFG%20entrega_14236610444786501437469961968201.pdf?sequence=2#page=28&zoom=100,109,477
- [2] https://ijaem.net/issue_dcp/Design%20and%20Analysis%20of%20Radial%20Engine.pdf
- [3] <https://www.ijamtes.org/gallery/106.%20july%20ijmte-%20722.pdf>