



### **Informe Estratégico:**

El objetivo es proporcionar un análisis detallado y comparativo de los sistemas de refrigeración y calefacción utilizados en los sectores aeroespacial y automotriz.

### **Elaborado por:**

Marco A. Sánchez Cabrera en colaboración con el Ing. Mtro., Cristóbal Vázquez Vergara.

# **Sistemas de Refrigeración y Calefacción en los Sectores Aeroespacial y Automotriz: Un Análisis Comparativo**

## **1. Introducción**

Los sectores aeroespacial y automotriz dependen de sistemas de refrigeración y calefacción robustos y eficientes para garantizar la seguridad, el confort de los ocupantes y la funcionalidad óptima de sus respectivos equipos. Si bien ambos comparten el objetivo fundamental de controlar la temperatura dentro de un espacio definido, la naturaleza inherentemente diferente de sus entornos operativos impone requisitos de diseño y rendimiento significativamente distintos. En el sector aeroespacial, las aeronaves operan en un entorno caracterizado por grandes variaciones de altitud y velocidad, lo que conlleva fluctuaciones extremas de temperatura y presión atmosférica. Por otro lado, los vehículos automotores funcionan principalmente en la superficie terrestre, experimentando una gama más amplia de condiciones climáticas ambientales.

La relevancia de estos sistemas es primordial para la funcionalidad y la seguridad en ambos campos. En la industria aeroespacial, el control preciso de la temperatura y la presurización de la cabina son críticos no solo para la supervivencia y el bienestar de los pasajeros y la tripulación a grandes altitudes, sino también para el funcionamiento confiable de los sistemas de aviónica sensibles.<sup>1</sup> Un fallo en estos sistemas podría tener consecuencias catastróficas. De manera similar, en el sector automotriz, los sistemas de refrigeración y calefacción mejoran significativamente la comodidad del conductor y los pasajeros en diversas condiciones climáticas y contribuyen a la seguridad vial al facilitar el desempañamiento de las ventanas, asegurando una visibilidad clara.<sup>6</sup>

Este informe tiene como objetivo proporcionar un análisis detallado y comparativo de los sistemas de refrigeración y calefacción utilizados en los sectores aeroespacial y automotriz. Se detallarán los sistemas empleados en cada sector, destacando sus diferencias fundamentales en diseño, componentes, principios de funcionamiento, requisitos específicos y los desafíos operativos únicos que enfrentan.

## 2. Sistemas de Refrigeración en el Sector Aeroespacial

El propósito principal de los sistemas de refrigeración en el sector aeroespacial es el control de la temperatura dentro de la cabina de la aeronave, el enfriamiento de los equipos de aviónica y otros componentes electrónicos sensibles, y la contribución a la gestión de la presurización de la cabina.<sup>1</sup> La necesidad de refrigeración surge debido a la transferencia de calor de diversas fuentes, tanto externas, como la intensa radiación solar a grandes altitudes, como internas, incluyendo el calor generado por los sistemas electrónicos avanzados que componen la aviónica.<sup>18</sup> Mantener estos equipos electrónicos dentro de rangos de temperatura operativos es crucial para su correcto funcionamiento y para asegurar su longevidad.<sup>5</sup> El sistema de control ambiental (ECS, por sus siglas en inglés) de una aeronave integra la función de refrigeración con la presurización, la ventilación, el control de la humedad y la calidad del aire, lo que subraya su importancia para la seguridad y el confort durante el vuelo.<sup>1</sup> La refrigeración en las aeronaves trasciende la mera comodidad; es un componente esencial de la seguridad y la funcionalidad de los sistemas críticos de la aeronave. A pesar de las bajas temperaturas exteriores a gran altitud, la radiación solar y el calor emitido por los equipos pueden causar un sobrecalentamiento significativo en la cabina y la electrónica. Un fallo en el sistema de refrigeración podría generar condiciones peligrosas para los pasajeros y provocar el mal funcionamiento de instrumentos vitales para la navegación y el control del vuelo.

Los componentes principales de un sistema de refrigeración aeroespacial incluyen la toma de aire de impacto (entrada de aire ram), compresores (principal y secundario en sistemas más complejos como el bootstrap), intercambiadores de calor (enfriadores de aire primario y secundario), una turbina de expansión, un separador de agua y diversas válvulas de control y mezcla.<sup>16</sup> **La toma de aire** de impacto se utiliza para introducir aire del exterior en el sistema aprovechando la velocidad de la aeronave.<sup>18</sup> **Los compresores** son responsables de aumentar la presión y, por consiguiente, la temperatura del aire entrante.<sup>19</sup> **Los intercambiadores de calor**, también conocidos como enfriadores de aire, utilizan el aire exterior, a menudo el mismo aire de impacto, como refrigerante para enfriar el aire comprimido que ha sido calentado por el proceso de compresión.<sup>16</sup> **La turbina de expansión** juega un papel crucial al reducir la presión del aire, lo que provoca una caída significativa en su temperatura.<sup>16</sup> La energía mecánica generada por la turbina durante esta expansión a menudo se utiliza para accionar el compresor, mejorando la eficiencia general del sistema.<sup>20</sup> **El separador de agua** es un componente esencial que elimina el exceso de humedad del aire frío, lo que contribuye a un mayor confort dentro de la cabina y protege los equipos sensibles

de posibles daños por condensación.<sup>5</sup> **Finalmente, las válvulas de control y mezcla** se encargan de regular el flujo de aire a través del sistema y de ajustar la temperatura final del aire que se suministra a la cabina, a menudo mezclando aire frío con una pequeña cantidad de aire caliente proveniente de los motores para alcanzar la temperatura deseada.<sup>16</sup> La eficiencia del sistema se optimiza mediante múltiples etapas de compresión y enfriamiento, particularmente en sistemas más avanzados como el bootstrap, donde el aire comprimido se enfría entre las etapas de compresión para reducir el trabajo total requerido y mejorar la eficiencia termodinámica del ciclo.

Los sistemas de refrigeración aeroespaciales operan principalmente bajo el principio del ciclo de aire, también conocido como el ciclo de Brayton inverso, utilizando máquinas de ciclo de aire (ACM)<sup>16</sup>. En este ciclo, el aire se utiliza como fluido de trabajo y no experimenta ningún cambio de fase.<sup>20</sup> La expansión isentrópica del aire dentro de la turbina es el proceso fundamental que resulta en el enfriamiento del aire.<sup>21</sup> La transferencia de calor sensible ocurre en los intercambiadores de calor, donde el calor se elimina del aire comprimido sin que este cambie de estado.<sup>21</sup> Existen varios tipos comunes de sistemas de refrigeración de aire utilizados en aeronaves, incluyendo el sistema de ciclo simple, el sistema bootstrap (que incorpora dos compresores y dos intercambiadores de calor para lograr temperaturas aún más bajas), el sistema de enfriamiento por evaporación, el sistema de enfriamiento de aire ambiente reducido y el sistema regenerativo.<sup>18</sup> Aunque el coeficiente de rendimiento (COP) de los sistemas de ciclo de aire es generalmente menor en comparación con los sistemas de refrigeración por compresión de vapor utilizados en otras aplicaciones, presentan ventajas significativas para la aviación. Estas ventajas incluyen la disponibilidad abundante y gratuita del aire como fluido de trabajo, su naturaleza segura (no tóxica ni inflamable), y la reducción de peso que se logra al no requerir un intercambiador de calor a baja temperatura en sistemas abiertos, donde el aire frío se utiliza directamente para la refrigeración.<sup>21</sup> Además, la infraestructura de la aeronave ya incluye turbocompresores de alta velocidad en los motores, lo que facilita la implementación de sistemas de ciclo de aire sin la necesidad de compresores dedicados únicamente para la refrigeración.

| Tipo de sistema              | Componentes principales                                                                                                                               | Principios de Funcionamiento Clave                                                                   |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Simple                       | Compresor, intercambiador de calor (enfriador de aire), turbina de expansión                                                                          | Compresión del aire, enfriamiento mediante aire exterior, expansión para reducir la temperatura.     |
| Oreja                        | Compresor principal, intercambiador de calor (enfriador de aire), compresor secundario, intercambiador de calor (postenfriador), turbina de expansión | Compresión en dos etapas con enfriamiento intermedio, expansión para lograr temperaturas más bajas.  |
| Regenerativo                 | Compresor, intercambiador de calor (enfriador de aire), turbina de expansión, intercambiador de calor regenerativo                                    | El aire frío de la turbina enfría el aire comprimido antes de su expansión, mejorando la eficiencia. |
| Enfriamiento por evaporación | Compresor, intercambiador de calor (enfriador de aire), turbina de expansión, cámara de evaporación                                                   | Similar al ciclo simple, pero con una etapa de evaporación de agua para un enfriamiento adicional.   |
| Aire Ambiente Reducido       | Intercambiador de calor (enfriador de aire), turbina de expansión                                                                                     | Utilice aire exterior a menor temperatura y presión, lo enfría aún más mediante expansión.           |

### 3. Sistemas de Calefacción en el Sector Aeroespacial

El fundamental de un sistema de calefacción en el sector aeroespacial es mantener una temperatura confortable dentro de la cabina de la aeronave, especialmente durante el vuelo a grandes altitudes donde la temperatura ambiente puede descender a niveles extremadamente bajos.<sup>22</sup>. Además de proporcionar confort a los pasajeros y la tripulación, la calefacción también desempeña un papel importante en la prevención de la formación de hielo en componentes críticos de la aeronave, como las tomas de aire del motor y las superficies de control, lo que podría comprometer la seguridad del vuelo.<sup>23</sup>. El **sistema de control de temperatura** de la aeronave logra el calentamiento dirigiendo el aire caliente proveniente de los motores hacia el sistema de aire acondicionado, donde se mezcla con el aire frío para alcanzar y mantener la temperatura deseada en la cabina.<sup>16</sup>. Dada la severidad del entorno operativo a gran altitud, la calefacción en las aeronaves no es solo una cuestión de comodidad, sino un aspecto esencial de la seguridad. Sin un sistema de calefacción eficaz, las bajas temperaturas podrían provocar hipotermia en los ocupantes, y la formación de hielo en las estructuras de la aeronave podría tener consecuencias peligrosas.

Los componentes principales de los sistemas de calefacción en aeronaves varían dependiendo del tipo y tamaño de la aeronave, pero generalmente incluyen calentadores de combustión (que utilizan el mismo combustible que los motores de la aeronave), calentadores eléctricos (utilizados principalmente en aeronaves más pequeñas), intercambiadores de calor que aprovechan el calor residual del motor, conductos de distribución para el aire caliente y válvulas de control de temperatura.<sup>22</sup>. La mayoría de los aviones comerciales modernos generan calor para la cabina utilizando calentadores de combustión. Estos dispositivos son esencialmente hornos que queman una porción del combustible de la aeronave en una cámara sellada. Un ventilador luego fuerza aire frío sobre esta cámara caliente, y el aire calentado se distribuye a través de conductos hacia la cabina.<sup>22</sup>. Algunas aeronaves, particularmente las más pequeñas, pueden utilizar sistemas de calefacción eléctrica. Estos sistemas funcionan de manera similar, pero en lugar de quemar combustible, utilizan la electricidad para calentar un elemento calefactor, y un ventilador se encarga de distribuir el calor.<sup>22</sup>. En aviones propulsados por motores de pistón, a menudo se aprovecha el calor generado por el sistema de escape del motor para calentar el aire de la cabina.<sup>25</sup>. En estos sistemas, el aire fresco del exterior pasa a través de una cubierta o "muff" que rodea el escape caliente del motor, absorbiendo el calor antes de ser dirigido hacia la cabina a través de conductos. Empresas como Janitrol Aero fabrican sistemas de calefacción que utilizan tubos de combustión hechos de

aleaciones como Inconel®, diseñados para soportar temperaturas extremas y maximizar la producción de calor de manera segura y eficiente.<sup>24</sup> **Los conductos de distribución** son responsables de llevar el aire caliente generado por el sistema de calefacción a diferentes áreas de la cabina, y las válvulas de control permiten a la tripulación o a los pasajeros regular la cantidad de calor suministrada para mantener la temperatura deseada.<sup>16</sup> La elección entre calentadores de combustión y eléctricos a menudo depende de las necesidades de potencia de la aeronave y del tipo de motorización. Los calentadores de combustión generalmente ofrecen una mayor capacidad de calentamiento, lo que los hace más adecuados para aviones más grandes con mayores demandas de calor.

Los sistemas de calefacción aeroespaciales funcionan según principios de combustión controlada de combustible, transferencia de calor por convección y, en algunos casos, el uso del calor residual del motor.<sup>22</sup> En los **calentadores de combustión**, el combustible se quema de manera controlada dentro de una cámara especialmente diseñada. Un ventilador fuerza el paso de aire frío sobre las paredes calientes de esta cámara o a través de un intercambiador de calor interno, donde el aire absorbe el calor generado por la combustión antes de ser expulsado hacia la cabina.<sup>22</sup> En los **sistemas de calefacción eléctrica**, la electricidad pasa a través de una resistencia o elemento calefactor, que se calienta como resultado. Un ventilador luego fuerza el aire a través de este elemento caliente, transfiriendo el calor al aire que se distribuye a la cabina.<sup>22</sup> **Los sistemas que utilizan el calor del escape del motor** se basan en el principio de la transferencia de calor por convección. El aire fresco que ingresa al sistema pasa sobre la superficie caliente del escape del motor, donde absorbe el calor antes de ser conducido a la cabina.<sup>26</sup> Es importante destacar que la seguridad es una preocupación primordial en el diseño y la operación de los sistemas de calefacción en aeronaves, especialmente en aquellos que utilizan el calor del escape del motor, debido al riesgo potencial de fuga de monóxido de carbono (CO), un gas inodoro y altamente tóxico.<sup>26</sup> Por lo tanto, el mantenimiento regular y las inspecciones exhaustivas son esenciales para garantizar la integridad de estos sistemas y prevenir cualquier riesgo para la seguridad de los ocupantes. En algunos casos, el sistema de calefacción de la cabina puede simplemente dirigir una mayor cantidad de aire caliente proveniente de los motores al sistema de aire acondicionado, donde se mezcla con el aire frío para proporcionar un flujo de aire tibio hacia la cabina.<sup>16</sup>

| Tipo de sistema | Componentes principales                                                                                                                     | Principios de Funcionamiento Clave                                                                                                                                                                                       |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Combustión      | Calentador de combustión, ventilador, conductos de distribución, válvulas de control de temperatura, sistema de suministro de combustible.  | Quema controlado de combustible (generalmente el mismo que el de los motores) para generar calor, transferencia de calor por convección al aire que se distribuye a la cabina.                                           |
| Eléctrico       | Elemento calefactor eléctrico, ventilador, conductos de distribución, válvulas de control de temperatura, fuente de alimentación eléctrica. | Paso de corriente eléctrica a través de un elemento resistivo para generar calor, transferencia de calor por convección al aire que se distribuye a la cabina. Generalmente menos potente que los de combustión.         |
| Calor de Escape | Cubierta de escape (heat muff), conductos de distribución, válvulas de control de temperatura                                               | El aire fresco pasa sobre la superficie caliente del escape del motor, absorbiendo calor por convección antes de ser dirigido a la cabina. Requiere un mantenimiento cuidadoso para evitar fugas de monóxido de carbono. |

## 4. Sistemas de Refrigeración en el Sector Automotriz

El propósito fundamental del sistema de refrigeración, o aire acondicionado (AC), en un vehículo automotor es enfriar el aire dentro del habitáculo y reducir su nivel de humedad, proporcionando así un ambiente confortable para el conductor y los pasajeros.<sup>6</sup>. Los sistemas de aire acondicionado automotrices no generan aire frío directamente; en cambio, enfrían el aire existente eliminando el calor y la humedad presentes en él.<sup>6</sup>. El objetivo principal es crear un ambiente interior agradable, especialmente durante condiciones climáticas cálidas y húmedas.<sup>6</sup>. La reducción de la humedad del aire no solo contribuye al confort, sino que también juega un papel importante en la seguridad al ayudar a desempañar las ventanas del vehículo, asegurando una visibilidad clara para el conductor.<sup>6</sup>. La comodidad y la seguridad son, por lo tanto, los principales impulsores para el uso generalizado de sistemas de refrigeración en automóviles. Las altas temperaturas y la humedad dentro de un automóvil pueden causar incomodidad, fatiga e incluso afectar la capacidad de concentración del conductor. Un sistema de refrigeración eficaz mitiga estos problemas, contribuyendo a una experiencia de conducción más segura y placentera.

Los componentes principales de un sistema de refrigeración automotriz incluyen un compresor, un condensador, una válvula de expansión u orificio calibrado, un evaporador, un refrigerante y un filtro deshidratador o acumulador.<sup>6</sup>. **El compresor**, que es accionado por el motor del vehículo a través de una correa serpentina, es responsable de comprimir el refrigerante gaseoso a alta presión y temperatura.<sup>6</sup>. **El condensador**, que se asemeja a un radiador y generalmente está ubicado en la parte delantera del vehículo, enfria el refrigerante gaseoso a alta presión, lo que provoca su condensación en un líquido también a alta presión.<sup>6</sup>. **La válvula de expansión** o el orificio calibrado (también conocido como tubo de orificio) actúa como un dispositivo de restricción en el flujo del refrigerante líquido a alta presión. Al pasar a través de este dispositivo, la presión del refrigerante disminuye excesivamente, lo que también reduce su temperatura antes de que entre al evaporador.<sup>6</sup>. **El evaporador**, que también se parece a un pequeño radiador y está ubicado detrás del tablero del vehículo, es donde ocurre el enfriamiento del aire. El refrigerante líquido a baja presión que fluye a través del evaporador absorbe el calor del aire que se hace pasar sobre sus aletas, enfriando así el aire que se introduce en la cabina.<sup>6</sup>. **El refrigerante**, que combina es R-134a o el más reciente R-1234yf, es el fluido de trabajo que circula por todo el sistema, absorbiendo y liberando calor a medida que cambia de estado entre líquido y gas.<sup>6</sup>. Finalmente, el **filtro deshidratador o acumulador** tiene la función de eliminar la humedad y los contaminantes que puedan estar presentes en el

refrigerante, protegiendo así los demás componentes del sistema.<sup>6</sup> **Los sistemas automotrices de refrigeración operan mediante un ciclo cerrado de refrigerante** que experimenta cambios de fase para facilitar la transferencia de calor desde el interior del vehículo hacia el exterior. El refrigerante absorbe calor del aire dentro del vehículo al evaporarse en el evaporador y luego libera ese calor al aire exterior al condensarse en el condensador, todo ello impulsado por la acción del compresor.

Los sistemas de refrigeración automotrices funcionan según el principio del ciclo de compresión de vapor, que implica el cambio de fase del refrigerante para absorber y liberar calor.<sup>6</sup> El ciclo comienza con el compresor que aspira y presuriza el refrigerante en estado gaseoso, elevando tanto su presión como su temperatura. Este gas a alta presión y temperatura se dirige hacia el condensador, donde el calor se disipa al aire exterior que fluye a través de sus aletas, provocando que el refrigerante se condense y pase a estado líquido, aunque todavía a alta presión. El líquido refrigerante a alta presión fluye a través de un dispositivo de expansión, que puede ser una válvula de expansión o un orificio calibrado. Este dispositivo restringe el flujo del refrigerante, lo que resulta en una caída significativa de su presión y temperatura. El líquido refrigerante a baja presión y temperatura entra entonces al evaporador, que está ubicado en el flujo de aire que se introduce en el habitáculo del vehículo. Aquí, el refrigerante absorbe el calor del aire que pasa sobre él, lo que provoca que el aire se enfríe y el refrigerante se evapora, convirtiéndose nuevamente en un gas a baja presión. Finalmente, este gas a baja presión regresa al compresor, donde el ciclo se repite. La eficiencia de este sistema puede verse afectada por diversos factores, como la temperatura ambiente exterior, la humedad del aire y la carga de calor dentro del vehículo.<sup>28</sup> En días particularmente calurosos y húmedos, el sistema de aire acondicionado debe trabajar más intensamente para enfriar y deshumidificar el aire, lo que puede resultar en una disminución de su eficiencia y un aumento en el consumo de energía del vehículo.

| Componente                                | Propósito                                                                                                     | Principios de Funcionamiento Clave                                                    |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Compresor                                 | Comprima el refrigerante gaseoso a baja presión, elevando su presión y temperatura.                           | Bombea el refrigerante a través del sistema, esencial para el ciclo de refrigeración. |
| Condensador                               | Enfría el refrigerante gaseoso a alta presión, provocando su condensación en un líquido a alta presión.       | Libere el calor absorbido del interior del vehículo al aire exterior.                 |
| Válvula de Expansión / Orificio Calibrado | Reduzca la presión y la temperatura del líquido refrigerante a alta presión antes de que entre al evaporador. | Controle el flujo de refrigerante y facilite su expansión y enfriamiento.             |
| Evaporador                                | Absorbe el calor del aire que pasa sobre él, enfriando el aire que se introduce en el habitáculo.             | El refrigerante líquido a baja presión se evapora, absorbiendo calor del aire.        |
| Refrigerante                              | Fluido de trabajo que circula por el sistema, absorbiendo y liberando calor al cambiar de estado.             | Permite la transferencia de calor desde el interior al exterior del vehículo.         |
| Filtro Deshidratador / Acumulador         | Elimina la humedad y los contaminantes del refrigerante.                                                      | Protege los componentes del sistema y asegura su funcionamiento eficiente.            |

## 5. Sistemas de Calefacción en el Sector Automotriz

El propósito principal del sistema de calefacción en un vehículo automotor es proporcionar calor al habitáculo, asegurando el confort de los ocupantes durante los meses más fríos.<sup>11</sup>. Además de mejorar la comodidad, el sistema de calefacción también desempeña un papel crucial en la seguridad al facilitar el desempañamiento y la descongelación de las ventanas del vehículo, lo que mejora la visibilidad para el conductor en condiciones climáticas frías.<sup>11</sup>. La calefacción en los automóviles es, por lo tanto, una función esencial para la comodidad y la seguridad en climas fríos. Las

bajas temperaturas dentro del automóvil pueden ser incómodas e incluso peligrosas, mientras que la presencia de niebla o hielo en las ventanas puede obstruir la visión del conductor, aumentando el riesgo de accidentes.

Los componentes principales de un sistema de calefacción automotriz incluyen el núcleo del calentador, un ventilador, conductos de distribución, una válvula de control del flujo de refrigerante y el panel de control HVAC.<sup>11</sup> **El núcleo del calentador** es un pequeño radiador ubicado dentro del tablero del vehículo a través del cual circula el refrigerante caliente proveniente del motor.<sup>11</sup> **El ventilador**, que a menudo es el mismo utilizado para el sistema de aire acondicionado, fuerza el aire del habitáculo a través de las aletas del núcleo del calentador.<sup>11</sup> **Los conductos de distribución** son responsables de dirigir el aire caliente generado hacia las salidas de ventilación ubicadas estratégicamente en el interior del vehículo.<sup>11</sup> **La válvula de control del flujo de refrigerante** tiene la función de regular la cantidad de refrigerante caliente que fluye hacia el núcleo del calentador, lo que a su vez controla la cantidad de calor que se produce.<sup>12</sup> Finalmente, **el panel de control HVAC** (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado) permite al conductor ya los pasajeros ajustar la temperatura deseada y la dirección del flujo de aire dentro del vehículo.<sup>11</sup> El sistema de calefacción automotriz se caracteriza por aprovechar el calor residual generado por el motor de combustión interna, lo que lo hace energéticamente eficiente para la función de calefacción. El motor produce una cantidad significativa de calor como subproducto de su funcionamiento, y el sistema de calefacción utiliza este calor que de otro modo se disiparía en el ambiente para calentar el interior del vehículo.

El principio de funcionamiento de un sistema de calefacción automotriz se basa en la transferencia de calor desde el refrigerante caliente del motor hacia el aire que pasa a través del núcleo del calentador.<sup>11</sup> El motor del vehículo genera calor durante su funcionamiento, y este calor se transfiere al refrigerante, que es una mezcla de agua y anticongelante, para evitar el sobrecalentamiento del motor.<sup>11</sup> Cuando se activa el sistema de calefacción, una válvula de control permite que el refrigerante caliente fluya desde el motor hacia el núcleo del calentador.<sup>11</sup> El ventilador del sistema HVAC fuerza el aire del habitáculo a pasar a través de las delgadas aletas del núcleo del calentador. A medida que el aire entra en contacto con estas superficies calientes, absorba el calor del refrigerante que circula por el interior del núcleo.<sup>11</sup> Una vez calentado, este aire se dirige a través de los conductos hacia las salidas de ventilación ubicadas en el tablero, el piso y el parabrisas, calentando así el interior del vehículo.<sup>11</sup> Es importante destacar que el núcleo del calentador también actúa como un segundo radiador, aunque más pequeño, que ayuda a disipar parte del calor del refrigerante, contribuyendo así a la

regulación general de la temperatura del motor.<sup>11</sup> Sin embargo, esta dependencia del calor residual del motor significa que el sistema de calefacción no producirá calor hasta que el motor alcance su temperatura operativa normal.

| Componente                                   | Propósito                                                                                                  | Principios de Funcionamiento Clave                                                                                                          |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Núcleo del Calentador                        | Intercambiador de calor donde el refrigerante caliente del motor transfiere calor al aire.                 | El refrigerante caliente circula a través de tubos con aletas, y el aire que pasa sobre las aletas se calienta por conducción y convección. |
| Ventilador                                   | Fuerza el aire a través del núcleo del calentador y lo distribuye por el habitáculo.                       | Crea un flujo de aire que atraviesa las superficies calientes del núcleo del calentador, maximizando la transferencia de calor.             |
| Válvula de Control del Flujo de Refrigerante | Regule la cantidad de refrigerante caliente que fluye hacia el núcleo del calentador.                      | Controle la cantidad de calor que se puede transferir al aire, permitiendo ajustar la temperatura de la calefacción.                        |
| Conductos de Distribución                    | Dirigen el aire caliente desde el núcleo del calentador hacia las salidas de ventilación en el habitáculo. | Aseguran que el aire caliente se distribuya de manera uniforme por todo el interior del vehículo.                                           |
| Panel de control HVAC                        | Permite al conductor ya los pasajeros ajustar la temperatura y la dirección del flujo de aire.             | Actúa como la interfaz de usuario para controlar el sistema de calefacción, así como el sistema de aire acondicionado y la ventilación.     |

## 6. Comparación y Contraste de los Sistemas de Refrigeración

Al comparar los sistemas de refrigeración utilizados en los sectores aeroespacial y automotriz, se observan diferencias significativas en el diseño, los requisitos y las tecnologías empleadas. En cuanto al diseño, el sector aeroespacial pone un énfasis considerable en la eficiencia en peso y la confiabilidad operativa a grandes altitudes.<sup>29</sup>. El peso es una restricción crítica en el diseño de aeronaves, ya que afecta directamente el rendimiento de la aeronave y el consumo de combustible.<sup>29</sup>. Por lo tanto, los sistemas de refrigeración aeroespaciales deben ser ligeros y compactos. Además, la confiabilidad a grandes altitudes es de suma importancia debido a las graves consecuencias que podrían acarrear un fallo del sistema durante el vuelo.<sup>5</sup>. En contraste, el sector automotriz prioriza la eficiencia en costos, la durabilidad y la facilidad de mantenimiento en el diseño de sus sistemas de refrigeración.<sup>37</sup>. Si bien el peso también es una consideración, no es tan crítica como en la aviación. Los sistemas de aire acondicionado para aviones ligeros deben abordar desafíos específicos, como minimizar el peso instalado, asegurar una ubicación aceptable del centro de gravedad, mantener la integridad de las modificaciones estructurales necesarias para su instalación y minimizar la resistencia aerodinámica que puedan generar.<sup>30</sup>. Estas diferentes prioridades de diseño, impulsadas por las necesidades y limitaciones específicas de cada sector, conducen a soluciones tecnológicas distintas.

En cuanto a los requisitos, los sistemas de refrigeración aeroespaciales deben cumplir con la necesidad de presurización de la cabina y operar eficazmente en rangos de temperatura y presión extremadamente amplios, desde el frío intenso encontrado en altitudes de crucero hasta las altas temperaturas que se pueden experimentar en tierra.<sup>4</sup>. Además, deben contribuir a la presurización de la cabina para garantizar un ambiente seguro y confortable para los ocupantes.<sup>3</sup>. Por otro lado, los sistemas de refrigeración automotrices se centran principalmente en la adaptación a las variaciones de la temperatura ambiente y en la gestión de la humedad dentro del habitáculo para mejorar el confort y la seguridad de los ocupantes.<sup>6</sup>. El entorno operativo de una aeronave es, por lo tanto, considerablemente más exigente en términos de rangos de temperatura y presión que el de un automóvil. La altitud introduce desafíos únicos debido a la baja densidad del aire, que afecta la eficiencia de los intercambiadores de calor, ya las temperaturas extremadamente bajas. Los automóviles, en cambio, operan en un rango de temperaturas más moderadas y presión atmosférica.

Finalmente, en lo que respecta a las tecnologías empleadas, se observa un predominio

del ciclo de aire en las aeronaves. Esto se debe a la disponibilidad de aire comprimido, que se obtiene de los motores de la aeronave, ya importantes consideraciones de seguridad, ya que el aire no es tóxico ni inflamable.<sup>5</sup> En contraste, los automóviles utilizan de manera generalizada el ciclo de compresión de vapor, que emplea refrigerantes específicos como el R-134a o el R-1234yf.<sup>6</sup> La elección de la tecnología de refrigeración está fuertemente influenciada por la disponibilidad de recursos energéticos (aire comprimido en aeronaves) y por las prioridades de diseño en cada sector, donde la seguridad es primordial en la aviación, mientras que la eficiencia y el costo son factores clave en la industria automotriz.

## **7. Comparación y Contraste de los Sistemas de Calefacción**

Al comparar los sistemas de calefacción en los sectores aeroespacial y automotriz, se identifican diferencias notables en el diseño, los requisitos y las tecnologías utilizadas. En cuanto al diseño, en el sector aeroespacial se observan consideraciones de seguridad críticas y la necesidad de un calentamiento rápido de la cabina a grandes altitudes, donde las temperaturas pueden descender rápidamente a niveles peligrosos.<sup>22</sup> Es primordial evitar cualquier fuga de gases de escape hacia la cabina, especialmente en sistemas que utilizan el calor del escape del motor.<sup>26</sup> En contraste, el diseño en el sector automotriz se centra en la simplicidad y en el aprovechamiento eficiente del calor residual generado por el motor de combustión interna.<sup>11</sup> Los requisitos de tiempo de respuesta y las consideraciones de seguridad son, por lo tanto, más estrictos en los sistemas aeroespaciales.

En términos de requisitos, ambos sectores exigen sistemas capaces de proporcionar un calentamiento eficiente en condiciones de frío extremo. Sin embargo, difieren en las fuentes de energía disponibles y en las limitaciones inherentes a cada una. Las aeronaves deben generar calor utilizando sus propias fuentes de energía, ya sea a través de la combustión de combustible o mediante sistemas eléctricos.<sup>22</sup> En algunos casos, especialmente en aviones más pequeños, puede haber desafíos para lograr un calentamiento adecuado en climas muy fríos, lo que puede requerir la incorporación de fuentes de calor auxiliares.<sup>25</sup> Por otro lado, los automóviles dependen principalmente del calor residual producido por el motor de combustión interna para calentar el habitáculo.<sup>11</sup> La fuente de energía para la calefacción es, por lo tanto, una diferencia fundamental: dedicada en aeronaves y residual en automóviles. Esta dependencia del calor residual en los automóviles los hace más eficientes energéticamente en términos de calefacción, ya que utilizan un calor que de otro modo se desperdiciaría. Sin embargo, esto también limita la disponibilidad de calor hasta que el motor alcance su temperatura operativa.

En cuanto a las tecnologías empleadas, las aeronaves utilizan una variedad de métodos para generar calor, incluyendo calentadores dedicados que funcionan por combustión (quemando combustible del avión) o mediante electricidad.<sup>22</sup> En aviones más pequeños, también es común el uso de sistemas que aprovechan el calor del escape del motor.<sup>26</sup> En contraste, los automóviles dependen casi exclusivamente del calor residual del motor. Este calor se transfiere al refrigerante del motor, que luego circula a través del núcleo del calentador, donde el calor se transfiere al aire que se introduce en el habitáculo.<sup>11</sup> La necesidad de sistemas de calefacción dedicados en aeronaves, en contraposición al aprovechamiento del calor residual en automóviles, refleja las diferentes necesidades de generación de calor y eficiencia energética en cada sector. Las aeronaves pueden requerir calor incluso antes de que los motores alcancen la temperatura operativa o cuando están apagados (utilizando la unidad de potencia auxiliar - APU), lo que exige sistemas de calefacción independientes.

## **8. Diferencias en los Requisitos y Desafíos Operativos**

Los sistemas de refrigeración y calefacción enfrentan requisitos y desafíos operativos significativamente diferentes en los entornos del sector aeroespacial en comparación con el sector automotriz.

### **Sector Aeroespacial:**

- **Altitud:** La operación a grandes altitudes presenta desafíos únicos. La baja densidad del aire afecta la eficiencia de los intercambiadores de calor, y las temperaturas extremadamente frías durante el vuelo de crucero (que pueden alcanzar hasta  $-65^{\circ}\text{F}$  o  $-54^{\circ}\text{C}$ ) contrastan con las altas temperaturas que se pueden experimentar en tierra.<sup>4</sup> Esta amplia variación de temperatura requiere sistemas con una alta capacidad tanto de calentamiento como de enfriamiento.
- **Temperaturas Extremas:** Los sistemas deben ser capaces de operar de manera confiable en un rango muy amplio de temperaturas, lo que exige el uso de materiales que puedan soportar ciclos térmicos extremos sin degradarse.<sup>4</sup>
- **Requisitos de peso:** El peso es un factor crítico en el diseño de aeronaves. Cada componente adicional tiene un impacto directo en el rendimiento de la aeronave y en el consumo de combustible, lo que exige que los sistemas de refrigeración y calefacción sean lo más ligeros y compactos posibles.<sup>29</sup>
- **Presurización de la cabina:** En muchas aeronaves, los sistemas de refrigeración también contribuyen a la presurización de la cabina, lo que añade una capa adicional de complejidad a sus requisitos de diseño y operación.<sup>3</sup> El sistema de control ambiental (ECS) debe mantener una presión segura y confortable dentro

de la cabina a pesar de las grandes diferencias de presión entre el interior y el exterior de la aeronave.

- Seguridad: Las regulaciones de seguridad en la industria aeroespacial son extremadamente estrictas. Los sistemas de refrigeración y calefacción deben diseñarse y mantenerse para prevenir fallas críticas que podrían tener consecuencias catastróficas a gran altitud.<sup>5</sup>. Un desafío particular en los sistemas de calefacción que utilizan el calor del escape del motor es el riesgo de envenenamiento por monóxido de carbono, lo que exige un diseño cuidadoso y un mantenimiento riguroso.<sup>26</sup>.

### **Sector Automotriz:**

- Variaciones de Temperatura Ambiente: Los sistemas de refrigeración y calefacción automotrices deben operar de manera efectiva en un amplio rango de temperaturas y condiciones climáticas, desde inviernos fríos hasta veranos calurosos, y en diferentes niveles de humedad.<sup>6</sup>.
- Humedad: Los sistemas de refrigeración deben ser capaces de deshumidificar el aire para mejorar el confort, y los sistemas de calefacción deben contribuir al desempañamiento de las ventanas para garantizar una buena visibilidad.<sup>6</sup>.
- Restricciones de espacio: Los componentes de los sistemas HVAC en automóviles deben ser compactos y diseñados para ajustarse a las limitaciones de espacio dentro del vehículo.<sup>41</sup>.
- Eficiencia Energética: El consumo de energía de los sistemas de refrigeración y calefacción tiene un impacto en la eficiencia general del vehículo, ya sea en el consumo de combustible en vehículos de combustión interna o en la autonomía en vehículos eléctricos.<sup>6</sup>. Por lo tanto, la eficiencia energética es una consideración importante en el diseño.
- Durabilidad y Confiabilidad: Los sistemas deben ser capaces de operar de manera continua y confiable en las variadas y menudo exigentes condiciones de la carretera, incluyendo vibraciones, golpes y la exposición a polvo y humedad.<sup>28</sup>.
- Costo-Efectividad: Los sistemas de refrigeración y calefacción para automóviles deben ser grandes para los consumidores, lo que impone restricciones en los costos de diseño y producción.<sup>30</sup>.

En resumen, mientras que ambos sectores buscan regular la temperatura y la humedad dentro de un espacio ocupado, el sector aeroespacial enfrenta desafíos únicos relacionados con la altitud, las temperaturas extremas y las estrictas limitaciones de peso y seguridad.

## 9. Resumen de las principales diferencias.

| Característica               | Refrigeración Aeroespacial                                                                  | Calefacción aeroespacial                                                                          | Refrigeración Automotriz                                                                     | Calefacción Automotriz                                                             |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Propósito Principal          | Control de temperatura de la cabina, enfriamiento de aviónica, gestión de la presurización. | Mantenga una temperatura confortable en la cabina a gran altitud, prevenga la formación de hielo. | Enfriar el habitáculo para confort, reducir la humedad.                                      | Calentar el habitáculo para confort, desempañar y descongelar ventanas.            |
| Fluido de Trabajo Principal  | Aire (Ciclo de Aire)                                                                        | Aire (calentado por combustión, electricidad o calor de escape)                                   | Refrigerante (R-134a, R-1234yf - Ciclo de Compresión de Vapor)                               | Aire (calentado por el refrigerante caliente del motor)                            |
| Componentes Clave            | Compresores, intercambiadores de calor, turbina de expansión, separador de agua.            | Calentadores de combustión/eléctricos, intercambiadores de calor (escape), ventilador, conductos. | Compresor, condensador, válvula de expansión/orificio, evaporador, refrigerante.             | Núcleo del calentador, ventilador, válvula de control de refrigerante.             |
| Principios de funcionamiento | Expansión isentrópica del aire, transferencia de calor sensible (Ciclo de Brayton inverso). | Combustión controlada, transferencia de calor por convección, uso de calor residual del motor.    | Ciclo de compresión de vapor, cambio de fase del refrigerante para absorber y liberar calor. | Transferencia de calor del refrigerante caliente del motor al aire por convección. |
| Requisitos                   | Eficiencia en peso,                                                                         | Calentamiento rápido y                                                                            | Eficiencia en costos,                                                                        | Calentamiento eficiente en                                                         |

|                      |                                                                                                                       |                                                                                                     |                                                                                                       |                                                                                            |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Primarios            | confiabilidad a gran altitud, operación en rangos extremos de temperatura y presión, contribución a la presurización. | eficiente en condiciones de frío extremo, seguridad crítica (prevención de fugas de gases tóxicos). | durabilidad, adaptación a variaciones de temperatura ambiente, gestión de la humedad.                 | condiciones de frío, aprovechamiento del calor residual del motor.                         |
| Desafíos principales | Peso, altitud (baja densidad del aire), temperaturas extremas, seguridad, presurización.                              | Seguridad (riesgo de CO), calentamiento rápido a gran altitud, condiciones de frío extremo.         | Variaciones de temperatura ambiente, humedad, restricciones de espacio, eficiencia energética, costo. | Dependencia del calor residual del motor (tiempo de calentamiento), eficiencia energética. |

## 10. Conclusiones

Los sistemas de refrigeración y calefacción son componentes esenciales tanto en el sector aeroespacial como en el automotriz, pero las diferencias fundamentales en sus entornos operativos y prioridades de diseño han llevado a soluciones tecnológicas distintas. Los sistemas aeroespaciales se caracterizan por un fuerte enfoque en la seguridad y el rendimiento en condiciones extremas, con la necesidad crítica de minimizar el peso y garantizar la confiabilidad a grandes altitudes. En contraste, los sistemas automotrices priorizan el costo, la eficiencia energética y la comodidad de los ocupantes en un rango más amplio de condiciones terrestres. Ambos tipos de sistemas buscan regular la temperatura y la humedad dentro de un espacio confinado, las tecnologías y los enfoques difieren significativamente. El uso predominante del ciclo de aire en aeronaves, impulsado por la disponibilidad de aire comprimido y consideraciones de seguridad, contrasta con el ciclo de compresión de vapor, más eficiente para las demandas de enfriamiento del habitáculo automotriz. De manera similar, la dependencia de calentadores dedicados (de combustión o eléctricos) en aeronaves, en comparación con el aprovechamiento del calor residual del motor en automóviles, refleja las diferentes necesidades de generación de calor y las prioridades de eficiencia energética en cada sector.

Las futuras innovaciones en ambos campos probablemente se centrarán en mejorar la eficiencia de los sistemas, reducir aún más el peso en las aplicaciones aeroespaciales y desarrollar y utilizar refrigerantes más ecológicos en la industria automotriz, en respuesta a las crecientes preocupaciones ambientales y las regulaciones más estrictas. La comprensión detallada de las diferencias y similitudes entre estos sistemas es crucial para el avance tecnológico y la optimización del rendimiento en ambos sectores vitales.

## Fuentes citadas

1. Environmental Control Systems | Defence Aviation Safety Authority, acceso: marzo 24, 2025, <https://dasa.defence.gov.au/environmental-control-systems>
2. Environmental control system - Wikipedia, acceso: marzo 24, 2025, [https://en.wikipedia.org/wiki/Environmental\\_control\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Environmental_control_system)
3. What Is an Environmental Control System (ECS)? | Blog- Monroe Aerospace, acceso: marzo 24, 2025, <https://monroeaerospace.com/blog/what-is-an-environmental-control-system-ecs/>
4. AIRCRAFT - ASHRAE, acceso: marzo 24, 2025, [https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/covid-19/i-p\\_a19\\_ch13.pdf](https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/covid-19/i-p_a19_ch13.pdf)
5. A review of aircraft environmental control system simulation and diagnostics - Sage Journals, acceso: marzo 24, 2025, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/09544100231154441>
6. How Your Car's AC Works - AutoZone - AutoZone.com, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.autozone.com/diy/climate-control/how-does-car-ac-work>
7. What You Need to Know About How a Car A/C Works | Firestone ..., acceso: marzo 24, 2025, <https://www.firestonecompleteautocare.com/blog/maintenance/everything-you-need-to-know-about-your-cars-ac/>
8. UNDERSTANDING A/C Everything You Need To Know - Classic ..., acceso: marzo 24, 2025, <https://www.classicautoair.com/understanding-a-c/>
9. How does the aircon in a car work? Car System Explained - Natrad, acceso: marzo 24, 2025, <https://natrad.com.au/info-advice/how-do-car-air-conditioning-systems-work/>
10. How Car Air Conditioning Works | Jack Frost, acceso: marzo 24, 2025, <https://myjackfrost.com.au/car-air-conditioning/how-car-air-conditioning-works/>
11. How Your Car's Heater Works (Or Doesn't) | AC Pro®, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.acprocold.com/au/help-and-advice/how-your-cars-heater-works-or-doesnt/>
12. How Do Your Car's A/C and Heater Work? - Greg's Japanese Auto, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.gregs.com/how-do-your-cars-a-c-and-heater-work/>
13. The Mechanics Behind Car A/C and Heating - Destin Auto Center, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.autoworksofdestin.com/the-mechanics-behind-car-a-c-and-heating>
14. Automotive HVAC - ASPINA, acceso: marzo 24, 2025, <https://us.aspina-group.com/en/learning-zone/columns/2023063001/>
15. The Complete Guide to Your Car's HVAC System - The Torque Team, acceso: marzo 24, 2025, <https://thetorque team.com/your-cars-hvac-system/>
16. Aircraft Air Conditioning: All the Details You Need to Know - Pilot Mall, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.pilotmall.com/blogs/news/aircraft-air-conditioning->

[all-the-details-you-need-to-know](#)

17. Aircraft Environmental Control System - MathWorks, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.mathworks.com/help/simscape/ug/aircraft-environmental-control-system.html>
18. Aircraft refrigeration system (air cooling system) | PPT - SlideShare, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.slideshare.net/RipuranjanSingh/aircraft-refrigeration-system-air-cooling-system>
19. Aircraft refrigeration system | PPT - SlideShare, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.slideshare.net/slideshow/aircraft-refrigeration-system-245943886/245943886>
20. Air cycle machine - Wikipedia, acceso: marzo 24, 2025, [https://en.wikipedia.org/wiki/Air\\_cycle\\_machine](https://en.wikipedia.org/wiki/Air_cycle_machine)
21. vssut.ac.in, acceso: marzo 24, 2025, [https://vssut.ac.in/lecture\\_notes/lecture1424265736.pdf](https://vssut.ac.in/lecture_notes/lecture1424265736.pdf)
22. How Cabin Heating Works in Airplanes | Blog- Monroe Aerospace, acceso: marzo 24, 2025, <https://monroeaerospace.com/blog/how-cabin-heating-works-in-airplanes/>
23. www.faa.gov, acceso: marzo 24, 2025, [https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/05\\_ampa\\_ch3.pdf](https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/05_ampa_ch3.pdf)
24. Aircraft Cabin Heaters | Janitrol Aero, acceso: marzo 24, 2025, <https://janitrol.aero/aircraft-heaters/>
25. Airplane Cabin Heating Systems: Maintenance and Troubleshooting in Winter Weather | First Flight Aviation, acceso: marzo 24, 2025, <https://firstflightaviation.com/airplane-cabin-heating-systems-maintenance-and-troubleshooting-in-winter-weather/>
26. Cold Weather and Aircraft: What a Pilot Needs to Know - Learn to Fly Blog, acceso: marzo 24, 2025, <https://learntoflyblog.com/cold-weather-and-aircraft-what-a-pilot-needs-to-know/>
27. Aircraft maintenance: Heater health for your single - AOPA, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2014/november/12/aircraft-maintenance-single-engine-cabin-heaters>
28. HVAC System for Cars and Automotive Vehicles - CEDengineering.com, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.cedengineering.com/userfiles/M06-045%20-%20HVAC%20System%20for%20Cars%20and%20Automotive%20Vehicles%20-%20US.pdf>
29. A Dive into the Mechanics of Aircraft Air Conditioning. - Paradigm Cooling, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.paradigmcooling.co.za/articles/2024/01/20/a-dive-into-the-mechanics-of-aircraft-air-conditioning/>
30. Air Conditioning Design Considerations For Light Aircraft - Airflow Systems, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.airflow-systems.com/airconditioning/acdesignconsideration/>
31. 9: The Role of Performance in Aircraft Design - Constraint Analysis - Engineering LibreTexts, acceso: marzo 24, 2025,

[https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Aerospace\\_Engineering/Aerodynamics\\_and\\_Aircraft\\_Performance\\_3e\\_\(Marchman\)/09%3A\\_The\\_Role\\_of\\_Performance\\_in\\_Aircraft\\_Design-Constraint\\_Analysis](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Aerospace_Engineering/Aerodynamics_and_Aircraft_Performance_3e_(Marchman)/09%3A_The_Role_of_Performance_in_Aircraft_Design-Constraint_Analysis)

32. Constraint Analysis for Aircraft Design - MATLAB - MathWorks, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.mathworks.com/videos/constraint-analysis-for-aircraft-design-1738302266264.html>
33. Aircraft Design --- Chapter 5: Preliminary Sizing - HAW Hamburg, acceso: marzo 24, 2025, [https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/HOOU/AircraftDesign\\_5\\_PreliminarySizing.pdf](https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/HOOU/AircraftDesign_5_PreliminarySizing.pdf)
34. AOE 4065/4066 Aircraft Design Academic Year 2015-2016, acceso: marzo 24, 2025, [https://www.aoe.vt.edu/content/dam/aoe\\_vt\\_edu/people/faculty/praj/avd-fundamentals/A4%20-%20Initial%20Sizing%20-%20Takeoff%20Weight%20Estimation.pdf](https://www.aoe.vt.edu/content/dam/aoe_vt_edu/people/faculty/praj/avd-fundamentals/A4%20-%20Initial%20Sizing%20-%20Takeoff%20Weight%20Estimation.pdf)
35. Wing sizing via constraint analysis | Aircraft Geometry Codes - WordPress.com, acceso: marzo 24, 2025, <https://aircraftgeometrycodes.wordpress.com/2016/10/31/wing-sizing-via-constraint-analysis/>
36. Aircraft: The Hidden Risks of Malfunctioning HVAC Systems, acceso: marzo 24, 2025, <https://hvactechnocrat.com/aircraft-the-hidden-risks-of-malfunctioning-hvac-systems/>
37. HVAC Challenges Solved: Telematics' Role in Boosting Efficiency - MiX by Powerfleet, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.mixtelematics.com/us/resources/blog/overcoming-challenges-facing-the-hvac-industry/>
38. How Hot Or Cold Do Different Parts Of An Aircraft Get While Flying?, acceso: marzo 24, 2025, <https://simpleflying.com/aircraft-components-inflight-temperature-changes-guide/>
39. temperature extremes and flying - Pilotfriend, acceso: marzo 24, 2025, <http://www.pilotfriend.com/aeromed/medical/temperatures.htm>
40. THERMAL PROBLEMS IN AIRCRAFT STRUCTURES - NATO Science & Technology Organization, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.sto.nato.int/publications/AGARD/AGARD-R-2/AGARD-R-2.pdf>
41. Environmental-Influencing Factors in Automotive - Monolithic Power Systems, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.monolithicpower.com/en/learning/mpscholar/automotive-electronics/emc-management-in-auto-electronics/environmental-factors>
42. Evolution of Climate Control Systems in Automotive Engineering, acceso: marzo 24, 2025, <https://www.automotive-technology.com/articles/evolution-of-climate-control-systems-in-automotive-engineering>