

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



**“Estudio de la trayectoria tecnológica y científica
del equipo de aire acondicionado en vehículos
eléctricos”**

Trabajo de Fin de Máster

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN CULTURA CIENTÍFICA
Y DE LA INNOVACIÓN**

Autor: Daniela C. Váscquez N.

Director: Dr. José David Barberá-Tomás



Universidad de Oviedo



Valencia, septiembre 2021

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	5
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUCCIÓN	7
2. METODOLOGÍA	9
1.1 Trayectoria científica.....	9
1.2 Trayectoria tecnológica.	12
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	14
3.1 Análisis de la trayectoria científica.....	14
3.2 Tecnologías desarrolladas en los sistemas de climatización	16
3.3 Estudios realizados con varios refrigerantes	20
3.4 Control del sistema de aire acondicionado en vehículos eléctricos	22
3.5 Nuevas tecnologías desarrolladas para el sistema A/C en vehículos eléctricos.....	24
3.6 Análisis de la trayectoria tecnológica del sistema de aire acondicionado para vehículos eléctricos.	32
3.7 Análisis de la coevolución científica y tecnológica del sistema A/C en vehículos eléctricos	41
4: CONCLUSIONES	44
REFERENCIAS.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Búsqueda de artículos científicos en la base de datos WoS.....	9
Figura 2. Interfaz del programa CitNetExplorer.....	10
Figura 3. Generación de la red de artículos científicos en el programa Pajek.....	11
Figura 4. Gráfica de la red de artículos científicos en el programa Pajek.	11
Figura 5. Generación de la red de patentes en el programa Pajek.....	12
Figura 6. Gráfica de la red de patentes en el programa Pajek.	13
Figura 7. Resultados de la base de datos sobre aire acondicionado en vehículos eléctricos abierto en CitNetExplorer.	14
Figura 8. Trayectoria científica de la tecnología de aire acondicionado en vehículos eléctricos.	14
Figura 9. Típico Sistema de aire acondicionado por compresión de vapor (Zhenying Zhang <i>et al.</i> , 2018)	17
Figura 10 diagrama esquemático del bus de destino y el concepto de sistema de carga inalámbrico.	18
Figura 11. Modo de enfriamiento con un sistema HPAC unitario.....	20
Figura 12. Representación esquemática de un ciclo de refrigeración magnética, que transporta calor desde la carga térmica al ambiente.	25
Figura 13. Análisis de la trayectoria científica de los sistemas A/C en vehículos eléctricos	31
Figura 14. Trayectoria principal (SPNP) de los sistemas de aire acondicionado para vehículos eléctricos	32
Figura 15. Trayectoria tecnológica de sistemas de aire acondicionado para vehículos eléctricos....	32
Figura 16. Sistema de bomba de calor para automóviles (Sakano, 1991).....	33
Figura 17. Sistema de aire acondicionado adecuado para uso en vehículo eléctrico (Hotta and Tajiri, 1994).....	35
Figura 18. Corriente de accionamiento de un compresor en vehículo eléctrico (Goto, Yoshida and Nishimiya, 1995).....	36
Figura 19. Diagrama de circuito eléctrico de un aparato de aire acondicionado para el vehículo eléctrico (Goto, Yoshida and Nishimiya, 1995)	37

Figura 20. Diagrama de bloques del sistema de control de aire acondicionado para el vehículo eléctrico (Fukatsu, 2016).....39

Figura 21. Trayectoria tecnológica del aire acondicionado en vehículos eléctrico40

Figura 22. Coevolución científica y tecnológica del sistema de aire acondicionado de vehículos eléctricos43

RESUMEN

A nivel mundial, la utilización de los vehículos eléctricos está en aumento debido al bajo consumo de combustible y baja contaminación ambiental. Sin embargo, todavía no pueden competir con el vehículo de combustión interna por su limitada autonomía en especial en climas fríos y calientes debido al consumo de energía del compresor del sistema de aire acondicionado. La presente investigación analiza la trayectoria tecnológica y científica del sistema de aire acondicionado en vehículos eléctricos, para posteriormente, identificar la coevolución entre las dos trayectorias. La trayectoria tecnológica consta de treinta y dos patentes, las cuales fueron agrupadas en 6 grupos que describen las invenciones del sistema de aire acondicionado para vehículos con motores de combustión interna, equipos de aire acondicionado para vehículos eléctricos, control del accionamiento del vehículo con precalentamiento y control de batería, fuente de alimentación y cargador de batería. La trayectoria científica consta de 17 artículos en su trayectoria principal, la cual incluye investigaciones relacionadas con la estimación del consumo de energía del sistema de aire acondicionado en vehículos eléctricos, estrategias de control de la energía del sistema de aire acondicionado automotriz, uso de refrigerantes naturales y desarrollo de nuevas tecnologías en acondicionamiento de aire. En el análisis de la coevolución de las trayectorias científicas y tecnológicas se identificaron dos partes, la primera parte comprende patentes entre 1984-1996 y artículos publicados entre 2000-2014 que responden a la interrogante de cómo implementar un sistema de compresión de vapor de aire acondicionado en la tecnología de vehículo eléctrico. La segunda parte en la coevolución comprende las patentes entre 1996 – 2016 y los artículos entre los años 2014-2019 en donde se intenta responder a la interrogante de cómo establecer un control efectivo del sistema de aire acondicionado integrando las baterías, fuentes de alimentación y cargador de baterías.

PALABRAS CLAVE: aire acondicionado, vehículos eléctricos trayectoria científica, trayectoria tecnológica, innovación

ABSTRACT

Globally, the use of electric vehicles is on the rise due to low fuel consumption and low environmental pollution. However, they still cannot compete with the internal combustion vehicle for their limited range especially in hot and cold climates due to the power consumption of the air conditioning system compressor. This research analyzes the technological and scientific trajectory of the air conditioning system in electric vehicles, to later identify the coevolution between the two trajectories. The technological trajectory consists of thirty-two patents, which were grouped into 6 groups that describe the inventions of the air conditioning system for vehicles with internal combustion engines, air conditioning equipment for electric vehicles, vehicle drive control with preheating and battery monitoring, power supply and battery charger. The scientific trajectory consists of 17 articles in its main trajectory, which includes research related to the estimation of the energy consumption of the air conditioning system in electric vehicles, energy control strategies of the automotive air conditioning system, use of natural refrigerants and development of new technologies in air conditioning. In the analysis of the coevolution of scientific and technological trajectories, two parts were identified, the first part includes patents between 1984-1996 and articles published between 2000-2014 that answer the question of how to implement an air conditioning vapor compression system in electric vehicle technology. The second part in the coevolution includes the patents between 1996 - 2016 and the articles between the years 2014-2019 in which an attempt is made to answer the question of how to establish an effective control of the air conditioning system by integrating batteries, power supplies and charger. of batteries.

KEY WORDS: air conditioning, electric vehicles, scientific trajectory, technological trajectory, innovation

1. INTRODUCCIÓN

Las preocupaciones a nivel mundial sobre el aumento de emisiones de efecto invernadero, la calidad del aire, seguridad energética, eficiencia en el uso del combustible y regulaciones de emisiones cada vez más estrictas, son algunos de los desafíos que deben enfrentar los fabricantes de automóviles al diseñar los vehículos eléctricos.

Los vehículos eléctricos (VE) en los últimos años se ha convertido en una alternativa importante en el sector del transporte debido a su potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Para varios gobiernos, el vehículo eléctrico parece ser una forma prometedora de hacer frente a la contaminación local (Wang y Xie, 2009), la emisión de CO₂ (Hawkins et al., 2013; Santini y Burnham, 2013; Thiel et al., 2010) y la cuestión de la diversificación energética (Michalek et al., 2011), que son los principales impulsores de una variedad de políticas de apoyo (Zhang et al., 2014).

Los vehículos eléctricos incluyen vehículos eléctricos híbridos (HEV, incluidos híbridos completos, híbridos suaves, híbridos enchufables), vehículos eléctricos puros (PEV) y vehículos eléctricos de celda de combustible (FCEV). Los vehículos eléctricos descargan pocos contaminantes del aire en el lugar donde se operan y generan menos contaminación acústica que los vehículos de motor de combustión interna. Desde el punto de vista energético, la electricidad como vector energético para la propulsión de vehículos ofrece la posibilidad de sustituir el petróleo por una diversidad de fuentes de energía renovables. Sin embargo, a pesar del rápido crecimiento en el parque de vehículos, todavía existen barreras en la adopción de vehículos eléctricos, debido a su poca autonomía. La electricidad almacenada en la batería es la única fuente de energía que impulsa un vehículo eléctrico (VE) y permite el funcionamiento de los diferentes sistemas. El sistema de mayor consumo es el sistema de aire acondicionado (A/C). Cuando se opera, el sistema de control de clima de la cabina es la carga auxiliar más grande en un vehículo. Esta carga tiene un impacto significativo en la economía de combustible de los vehículos convencionales e híbridos y reduce drásticamente el rango de conducción de los vehículos totalmente eléctricos (EV). La calefacción es incluso más perjudicial para el rango de vehículos eléctricos que la refrigeración porque no hay disponible calor residual del motor. La reducción de las cargas térmicas en el sistema de control de clima del vehículo ampliará el rango de conducción y aumentará la penetración de los vehículos eléctricos en el mercado. (Jeffers, Chaney and Rugh, 2016). Con el creciente énfasis en el ahorro de combustible, está claro que la carga del compresor de A/C debe reducirse. Para lograr este objetivo, serán necesarios sistemas de suministro de control de clima más eficientes y temperaturas máximas de remojo reducidas para reducir el impacto de los sistemas de A / C del vehículo en el ahorro de combustible y las emisiones del tubo de escape.

Uno de los parámetros importantes dentro de los vehículos es mantener a los pasajeros en condiciones de confort térmico, en donde la temperatura del aire y la humedad en la cabina son dos factores

cruciales del confort percibido por los pasajeros. La comodidad del entorno de la cabina para el conductor también es un factor que influye en la seguridad de la conducción. El sistema de aire acondicionado proporciona refrigeración, calefacción y ventilación a la cabina de los vehículos eléctricos, lo cual es necesario para controlar los ambientes térmicos interiores (incluida la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire) del vehículo y garantizar la seguridad en la visibilidad (desempeñado y deshielo).

Las cargas de climatización tienen un impacto significativo en la autonomía, reduciéndola en más del 50% tanto en condiciones de refrigeración como de calefacción. (Kreutzer, Rugh and Tomerlin, 2017)

En general, los sistemas de aire acondicionado provocan una disminución promedio de aproximadamente un 30-40% en el rango de conducción dependiendo del tamaño del aire acondicionado y el ciclo de conducción de los vehículos eléctricos (Farrington and Rugh, 2000). Pino y col. (Pino *et al.*, 2015) encontraron numéricamente que un incremento del consumo de hidrógeno está entre el 3% y el 12,1% cuando el sistema de aire acondicionado funciona en un vehículo eléctrico de pila de combustible. El rango de conducción debe mejorarse para impulsar el uso de vehículos eléctricos mediante la reducción del consumo de energía de la batería, lo que requiere el desarrollo de un sistema de aire acondicionado de alta eficiencia

El presente documento describe la trayectoria científica y tecnología del sistema de aire acondicionado en vehículos eléctricos. Dentro de la trayectoria científica se revisaron las investigaciones enfocadas en la estimación del consumo de energía, estrategias de control de reducción de consumo de energía, y nuevas tecnologías desarrolladas para el funcionamiento del sistema de aire acondicionado. Con respecto a la trayectoria tecnológica se revisaron las patentes presentadas del sistema de aire acondicionado desde el año 1991 hasta la actualidad.

Posteriormente se hace un análisis de la coevolución científica y tecnológica del sistema de aire acondicionado en vehículos eléctricos identificando las relaciones existentes en las dos trayectorias a nivel de desarrollo tecnológico y temporal.

2. METODOLOGÍA

El presente capítulo describe la metodología utilizada para el análisis de la trayectoria científica y tecnológica del equipo de aire acondicionado utilizados en vehículos eléctricos. En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica para determinar la trayectoria científica.

1.1 Trayectoria científica.

Para conocer la trayectoria científica se realizó una búsqueda en la plataforma en línea Web of Science (*Web of Science Core Collection*, no date) que contiene Bases de Datos de información bibliográfica y recursos de análisis de la información que permiten evaluar y analizar el rendimiento de la investigación. en la Web of Science:

La búsqueda de artículos científicos se realizó utilizando la base de datos de la Web of Science (WoS) (*Web of Science Core Collection*, no date). Se seleccionaron las palabras clave “air conditioning - electric vehicle” en la colección principal de la Web of Science. Se obtuvieron 483 artículos, excluyendo artículos de conferencias. La Figura 1 muestra los resultados obtenidos de la búsqueda bibliográfica.

Figura 1. Búsqueda de artículos científicos en la base de datos WoS.

Con los resultados obtenidos en la búsqueda se generó un fichero (.txt), con el registro completo y referencias citadas.

El fichero (.txt) generado se abrió desde el programa CitNetExplorer, con un número mínimo de citas de 2, debido a que con cero y uno, daba un error en el programa, como se muestra en la Figura 2.

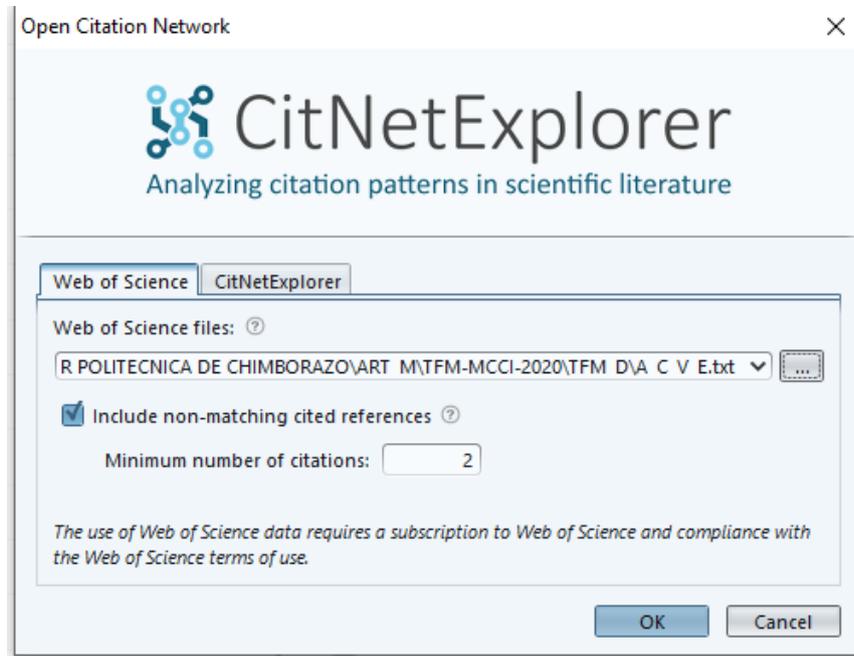


Figura 2. Interfaz del programa CitNetExplorer.

El fichero (.net) se guardó en el programa CitNetExplorer para que el programa Pajek lo pueda leer. Posteriormente en el programa Pajek se cargó el fichero con la red de artículo científicos seleccionados. La Figura 3 la generación de la red de artículos científicos en el programa Pajek

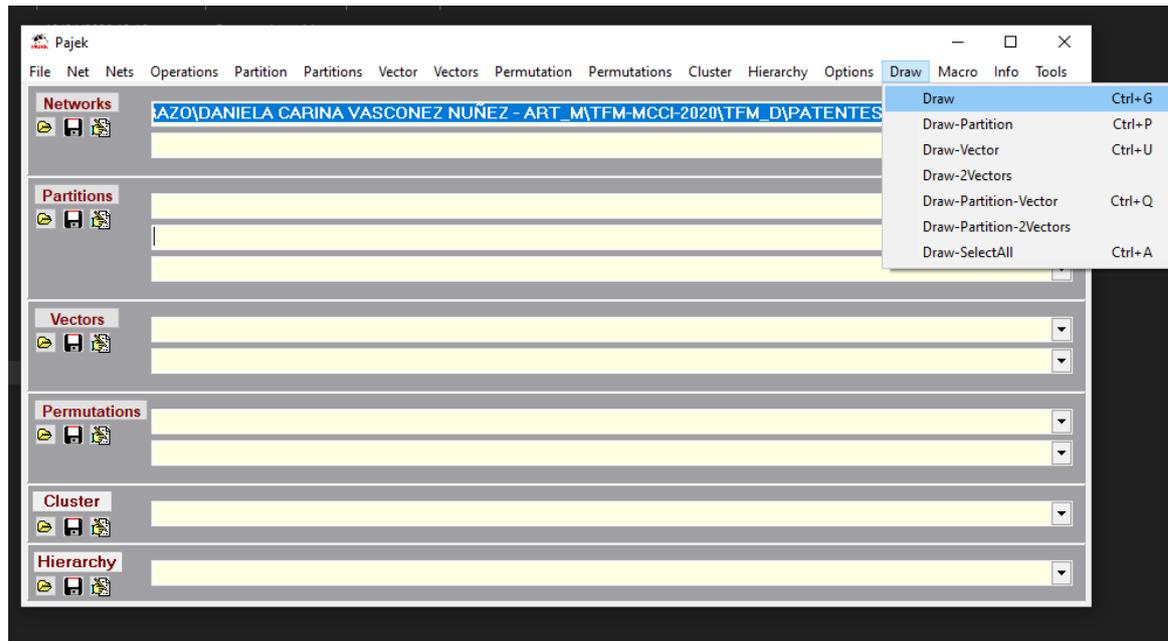


Figura 3. Generación de la red de artículos científicos en el programa Pajek.

Finalmente, se graficó la red de artículos con la opción Energy, Kamada-Kawai, free, como se muestra en la Figura 4.

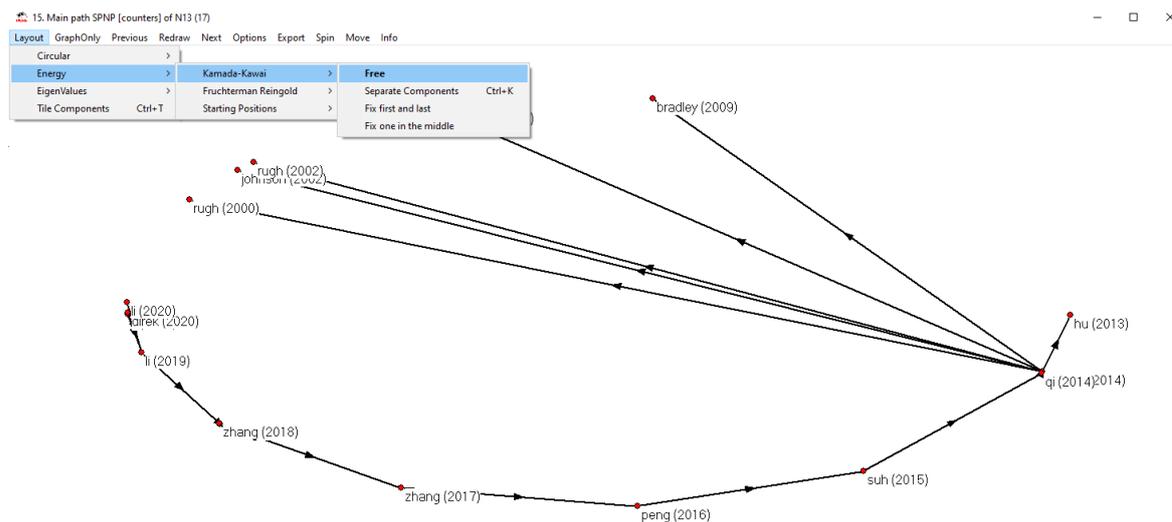


Figura 4. Gráfica de la red de artículos científicos en el programa Pajek.

1.2 Trayectoria tecnológica.

La trayectoria tecnológica se estudió en base a la metodología de análisis de conectividad de las redes de citas de patentes (Barberá-Tomás, Jiménez-Sáez and Castelló-Molina, 2011). Dicha metodología nos ayudará a identificar el conocimiento fiable, para conocer la evolución tecnológica de un determinado producto o tecnología.

En el presente estudio se utilizan citas de patentes para estudiar la evolución tecnológica del sistema de arie acondicionado en vehículos eléctricos.

Búsqueda de patentes en la base de datos de la USPTO:

Se utilizó la base de datos de la United States Patent and Trademark Office (USPTO) (*Patents / USPTO, no date*) para realizar la búsqueda de patentes. La palabra clave fue “air conditioning in electric vehicles”. Se obtuvieron 156 patentes. Los resultados de la búsqueda fueron exportados en un archivo (*.xls) para luego ser convertido en un fichero de Pajek (.net). En el programa Pajek se cargó el fichero .net con la red de patentes. Posteriormente, se seleccionó los pesos de citación de las patentes, y se seleccionó la opción (SPNP), como se muestra en la Figura 5.

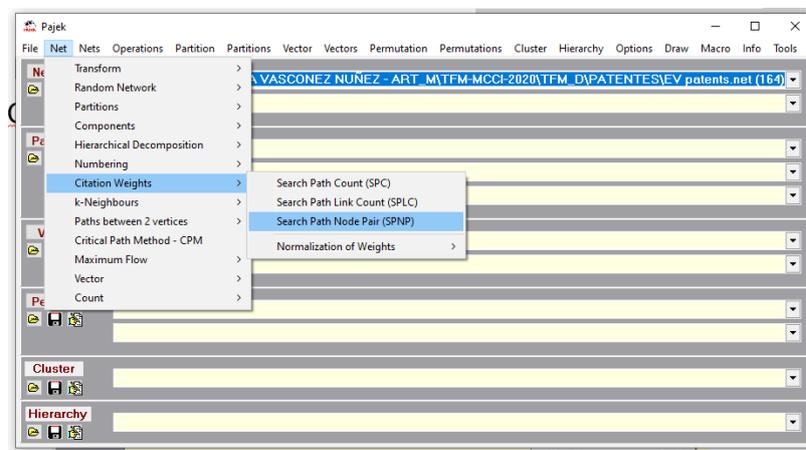


Figura 5. Generación de la red de patentes en el programa Pajek.

La figura 6 muestra la red de artículos obtenida según la opción Energy, Kamada-Kawai, free.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Análisis de la trayectoria científica

El resultado de la búsqueda en la base de datos de WoS fue de 483 artículos científicos, sin considerar artículos de conferencias. El listado de referencias se abrió desde el programa CitNetExplorer, con un número mínimo de citas de 2, el resultado se muestra en la Figura 7.

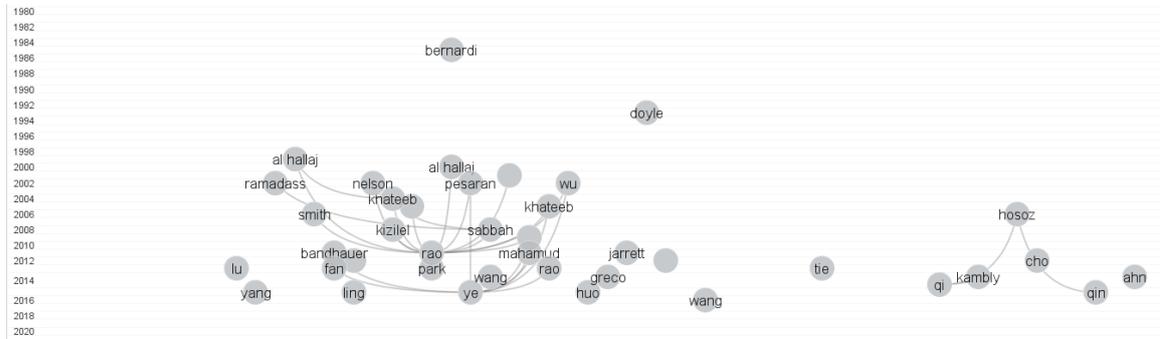


Figura 7. Resultados de la base de datos sobre aire acondicionado en vehículos eléctricos abierto en CitNetExplorer.

El resultado de la generación de la red de artículos científicos es una trayectoria de 17 artículos, mínimo número de citas por defecto (10), como se muestra en la Figura 8.

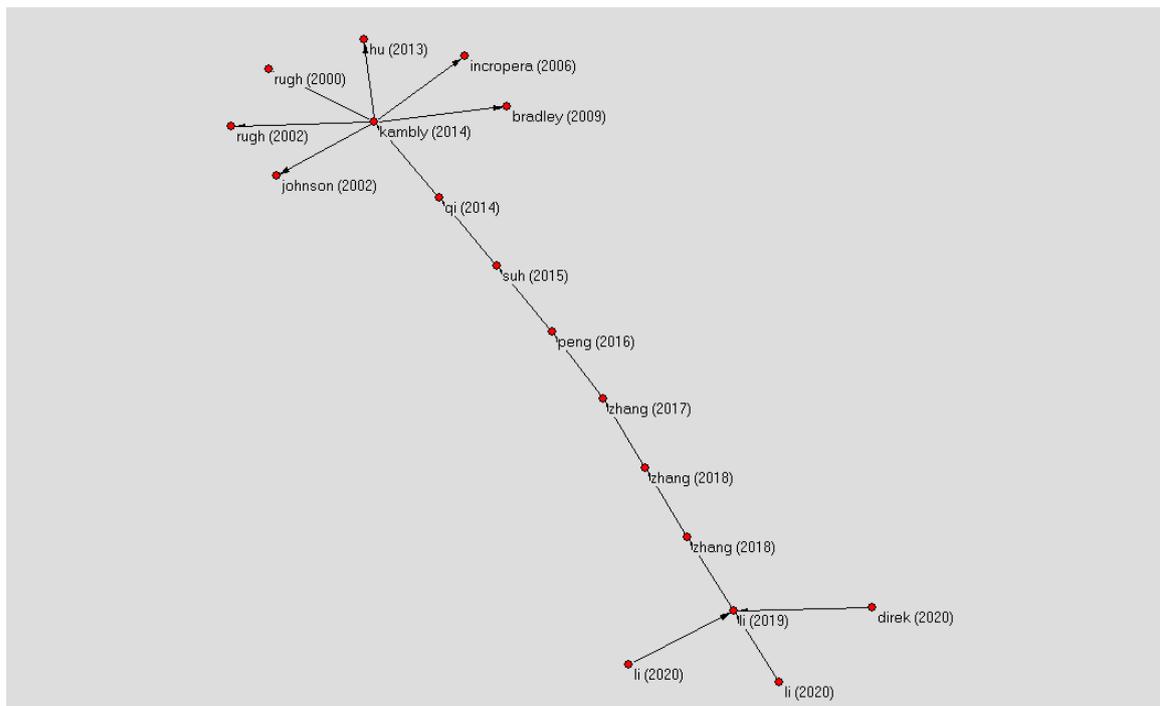


Figura 8. Trayectoria científica de la tecnología de aire acondicionado en vehículos eléctricos.

El sistema de aire acondicionado proporciona un ambiente de confort humano dentro de la cabina del vehículo al controlar un rango adecuado de temperaturas y la humedad relativa del del aire.

En el marco del esfuerzo actual para disminuir la contaminación del aire, se crearon y desarrollaron vehículos eléctricos (VE). Los vehículos eléctricos funcionan mediante el uso de recursos de energía eléctrica mediante el apoyo de paquetes de baterías.

Un vehículo eléctrico es un vehículo propulsado por uno o más motores eléctricos, usando energía eléctrica almacenada normalmente en baterías recargables. Los motores eléctricos proporcionan a los automóviles eléctricos un par motor instantáneo, proporcionando una aceleración rápida desde parado y continua. En los vehículos eléctricos, el sistema de almacenamiento de energía generalmente proporciona toda la energía para impulsar la función completa del vehículo, incluidas las cargas de tracción, las cargas de accesorios y el acondicionamiento del confort térmico de la cabina.(Kambly and Bradley, 2014). Por lo tanto, el objetivo del sistema de aire acondicionado para vehículos eléctricos es enfriar y calentar el aire en la cabina y desempañar el parabrisas con un pequeño consumo de energía. Con la utilización del sistema de aire acondicionado la autonomía de los vehículos eléctricos se ve perjudicada por las temperaturas extremas: La batería del coche eléctrico requiere una temperatura adecuada para su funcionamiento, las temperaturas muy bajas obligan a que funcione la calefacción de la batería y la del habitáculo; las temperaturas muy altas también provocan el consumo de aire acondicionado en ambos lugares. Se han identificado factores como la temperatura ambiente local, la radiación solar local, la humedad local, la duración del viaje y el remojo térmico como los principales impulsores de las cargas de acondicionamiento de la cabina, esto incrementa el gasto de energía de las propias baterías y, por lo tanto, disminuye la autonomía del vehículo.(Eléctrico *et al.*, 2018)

El efecto del aire acondicionado ha demostrado ser un problema grave hasta el punto de agotar la batería. Por ejemplo, en invierno, el calor residual del motor de gasolina se utilizará para la calefacción de la cabina y el deshielo de las ventanas, cuya cantidad es superior a 5 kW. Pero en los vehículos eléctricos totalmente híbridos, el calor residual del motor es insuficiente (el calor residual de un motor eléctrico es de aproximadamente 2 kW a 40 ° C) y se necesita más energía eléctrica de la batería, lo que afectará significativamente el kilometraje de conducción.

Debido a las diferencias en el comportamiento de conducción y las condiciones climáticas, el efecto de las cargas de acondicionamiento del confort térmico de la cabina en los vehículos eléctricos varía en función el país, la región y la estación del año. A nivel general Hu et al. (Hu et al., 2013) analizó la eficiencia de conversión de energía desde el tanque a la rueda (tank-to-wheel) TTW de un autobús eléctrico híbrido enchufable en serie que opera en Gotemburgo, Suecia. El proceso TTW se caracteriza por las eficiencias de recuperación y de combustible a tracción, que se cuantifican y comparan para dos estrategias de gestión de energía basadas en la optimización y los controles de

energía combinada. Se realiza el modelado convexo del tren de potencia del autobús y se utiliza la optimización convexa eficiente para las dos estrategias. El análisis de eficiencia indica que las eficiencias de recuperación de carga y de mantenimiento y las estrategias combinadas son 64,86% y 66,13%, respectivamente; las eficiencias de combustible a tracción son 35,83% y 36,13%; los consumos de energía diésel por kilómetro son 9.02 MJ y 8.87 MJ. El algoritmo combinado conduce así a una conversión de energía TTW más eficiente del bus enchufable. Se puede encontrar que a medida que disminuye la capacidad de energía de la batería, las dos eficiencias empeoran.

El control preciso y la alta eficiencia en las condiciones térmicas más comunes reducirán el impacto del aire acondicionado en el consumo de combustible. Los vehículos eléctricos (EV) incluyen vehículos eléctricos híbridos (HEV, incluidos híbridos completos, híbridos suaves, híbridos enchufables) y vehículos eléctricos completos (FEV). (Zhenying Zhang *et al.*, 2018). Además, también podemos referirnos a los vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV) que son vehículos eléctricos híbridos que pueden extraer y almacenar energía de una red eléctrica para suministrar energía propulsora al vehículo. Este simple cambio funcional al vehículo eléctrico híbrido convencional permite que un híbrido enchufable sustituya la energía del petróleo con energía eléctrica de múltiples fuentes. (Bradley and Frank, 2009).

Varias tecnologías se han desarrollado en sistemas de climatización en vehículos eléctricos: sistemas convencionales, sistemas basados con en el ciclo de compresión de vapor (sistemas de calentador dedicado (VCR-DH), sistemas de bomba de calor por compresión de vapor reversible (VC-HP) y sistemas de CA que utilizan refrigerantes de bajo GWP o refrigerante natural.), y sistemas sin compresión de vapor que utilizan efectos magnéticos (ME) o termoeléctricos (TE), los sistemas impulsados por calor residual (WHD), etc., que se introducen principalmente a partir de materiales, estructuras del sistema y rendimiento. Además, del desarrolló de diferentes tecnologías también se ha realizado diferentes estudios para reducir la carga térmica del vehículo y mejorar su eficiencia considerando el uso de refrigerantes alternativos o estrategias para el control del sistema de aire acondicionado.

3.2 Tecnologías desarrolladas en los sistemas de climatización

El ciclo de compresión de vapor es una tecnología dominante en los sistemas de aire acondicionado automotriz. El ciclo básico incluye cuatro componentes principales del ciclo de compresión de vapor (un condensador, un evaporador, un dispositivo de estrangulamiento y un compresor) como se observa en la figura 9.

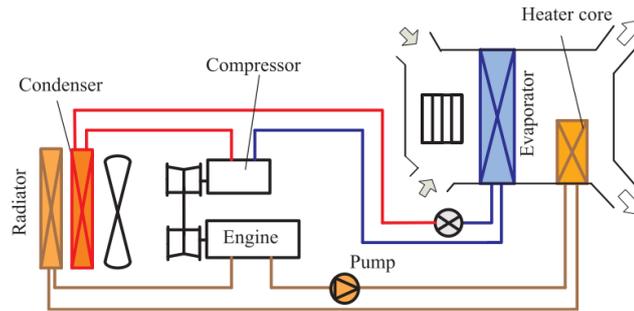


Figura 9. Típico Sistema de aire acondicionado por compresión de vapor (Zhenying Zhang *et al.*, 2018)

Aunque los sistemas de bomba de calor de ciclo de compresión de vapor muestran características de rendimiento más altas en comparación con el sistema de núcleo del calentador original, todavía hay algunos problemas o cuestiones prácticas que deben resolverse antes de que puedan extenderse ampliamente en los vehículos eléctricos, como obtener el COP más bajo en condiciones de frío, diseñar componentes especiales para el sistema o utilizar refrigerantes alternativos

La experimentación realizada por Hosoz y Direk (Hosoz and Direk, 2006) reveló que el funcionamiento de la bomba de calor podría proporcionar una capacidad de calentamiento adecuada al compartimento solo en condiciones climáticas templadas cuando el fluido de trabajo es R134a. Y el rendimiento del sistema disminuiría drásticamente al disminuir la temperatura ambiente exterior. Sugirieron que el rediseño de los intercambiadores de calor exterior e interior y el recurso de calor de temperatura más alta podrían ser las opciones para mejorar el rendimiento del modo de calefacción. Por lo tanto, los intercambiadores de calor todavía necesitan más atención y se necesitan intercambiadores de calor de mayor rendimiento en el futuro tanto en condiciones de refrigeración como de calefacción.

Kim *et al.* (Kim *et al.*, 2007) propuso un novedoso sistema de bomba de calor de CO₂ para su uso en vehículos de pila de combustible, al considerar las disposiciones del intercambiador de calor. Este ciclo, que tenía un compresor impulsado por electricidad, controlado por inversor, se aplicó al sistema de bomba de calor del automóvil tanto para refrigeración como para calefacción. Los circuitos de refrigeración y calefacción constaban de un compresor semihermético, intercambiadores de calor de microcanales de presión supercrítica (un enfriador de gas y un calentador de cabina), un evaporador de microcanales, un intercambiador de calor interno, una válvula de expansión y un acumulador. Las características de rendimiento del sistema de bomba de calor de CO₂ para vehículos con pilas de combustible se analizaron mediante experimentos. Se proporcionaron resultados para el rendimiento en estado estable y transitorio para diversas condiciones de funcionamiento. Además, se llevaron a cabo experimentos para examinar las disposiciones de un radiador y un intercambiador de

calor exterior cambiando sus posiciones para las condiciones de refrigeración y calefacción. Se probaron las disposiciones del radiador y el intercambiador de calor exterior para cuantificar la eficacia de refrigeración / calefacción y la interferencia mutua. La mejora de la capacidad de calefacción y el coeficiente de rendimiento (COP) del sistema de bomba de calor de CO₂ fue de hasta 54% y 22%, respectivamente, cuando se utilizó aire precalentado a través del radiador en lugar de aire ambiente frío. Sin embargo, la capacidad de enfriamiento disminuyó bastante en un 40-60% y el COP bastante disminuyó en un 43-65%, para la nueva disposición del radiador-frontal.

Suh et al. (Suh et al., 2015) realizó un diseño, control y verificación experimental de un sistema HVAC (calefacción, ventilación, aire acondicionado) para lograr una alta eficiencia operativa para un autobús eléctrico equipado con una capacidad de carga inalámbrica dinámica. Las capacidades de potencia objetivo del sistema HVAC se han establecido en 28 kW de refrigeración y 26 kW de calefacción con un entorno en el vehículo de 600 V con COP (coeficiente de rendimiento) de más de 1,6 para refrigeración y 2,6 para calefacción, que son necesarios para el cliente. comodidad. Para un diseño eficiente del sistema HVAC, se propone y analiza un aire acondicionado integrado con un sistema de bomba de calor para cumplir con los objetivos del sistema HVAC, incorporando la recuperación de calor residual del motor de accionamiento, su controlador y otros módulos eléctricos de carga inalámbrica.

La figura 10 muestra el diagrama esquemático del bus de destino y el concepto de sistema de carga inalámbrico.

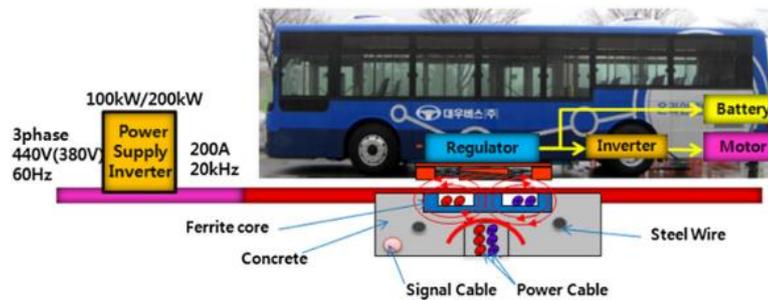


Figura 10 diagrama esquemático del bus de destino y el concepto de sistema de carga inalámbrico.

Bauml et al. (Bäuml et al., 2015) presentó un sistema de calefacción para vehículos eléctricos basado en un revestimiento especial de los objetos del interior del vehículo. Este revestimiento genera radiación infrarroja y calienta a los pasajeros directamente en lugar del aire de la cabina. Por lo tanto, se requieren temperaturas del aire más bajas en la cabina mientras se preserva o incluso se aumenta la comodidad de los pasajeros. Debido a la mayor eficiencia de este calentamiento por radiación infrarroja, el consumo de energía del sistema de calefacción del vehículo se puede reducir en un 50%.

Debido a la insuficiente capacidad de calentamiento del aire de la cabina por radiación solo, solo se puede aplicar un sistema combinado de calefacción por infrarrojos y por convección

Kim y col. (2012)(Kim *et al.*, 2017) diseñaron una bomba de calor de válvula de 4 vías con compresor accionado eléctricamente, las prestaciones del sistema se probaron en una amplia gama de temperaturas ambientales y de cabina. La capacidad de calentamiento y el COP fueron de 2,8 kW y 1,76 bajo una temperatura ambiente de 10 ° C, y cayeron drásticamente con la temperatura ambiente. Por debajo de -15 ° C, la capacidad de calefacción y el COP eran de solo 1,4 kW y 1,29. Aunque de estructura simple y de bajo costo, la bomba de calor 2HX no se usa ampliamente en vehículos eléctricos.

Suzuki y Ishii (Suzuki and Ishii, 2018) desarrollaron sistema de bomba de calor deshumidificadora que consta de una unidad interior construida para separar el flujo de aire de recirculación y flujo de aire fresco, una unidad exterior capaz de controlar la absorción y radiación de calor, y un compresor eléctrico controlado por inversor. Los resultados de un experimento con este sistema demostraron que podía proporcionar aire confortable en la cabina y buena visibilidad a través del parabrisas con un pequeño consumo de energía a temperaturas ambiente de entre -10 ° C y 40 ° C.

Bellocchi et al. (Bellocchi *et al.*, 2018). analiza un sistema HVAC de bomba de calor reversible equipado con un intercambiador de calor regenerativo para el preacondicionamiento y la mejora del confort higrométrico, y evalúa las cargas de energía del aire acondicionado y su impacto en la autonomía de un vehículo que realiza desplazamientos diarios en diferentes ciudades italianas. El modelo dinámico se estableció en un marco de Modelica. El sistema general integra modelos de componentes calibrados con datos experimentales. Los resultados confirman que el aire acondicionado, que consume hasta el 32% de la energía requerida para la tracción en un viaje diario, tiene un gran impacto en la autonomía totalmente eléctrica, que puede disminuir a 72 km desde un valor base de 94 km. En modo calefacción, la sustitución de una resistencia por una bomba de calor reduce el consumo entre un 17% y un 52% según el contexto geográfico, lo que demuestra ser muy eficaz en condiciones de verano especialmente exigentes, reduciendo la reducción del rango de conducción hasta un 6%.

Kowsky y col. (Kowsky *et al.*, 2012) desarrolló un sistema unitario HPAC (Aire acondicionado con bomba de calor) para vehículos de pasajeros. La HPAC unitaria utiliza la tecnología de invertir el refrigerante en lugar del refrigerante para distribuir el calor desde donde se genera hasta donde se necesita. El HPAC Unitario tenía la capacidad de deshumidificar y calentar en cualquier momento. El HPAC Unitario podría mejorar el rango de conducción de HEV. La capacidad de calentamiento de este sistema fue de 4 kW y el COP de calentamiento fue de 2,8 con una sola fuente de calor de aire a una temperatura ambiente de -10 ° C. Con el calor residual utilizado en el lado bajo, se puede

lograr una capacidad de calefacción de 6,4 kW con un COP de calefacción de 2,3. La figura 11 muestra los esquemas del sistema de bomba de calor de aire acondicionado unitario.

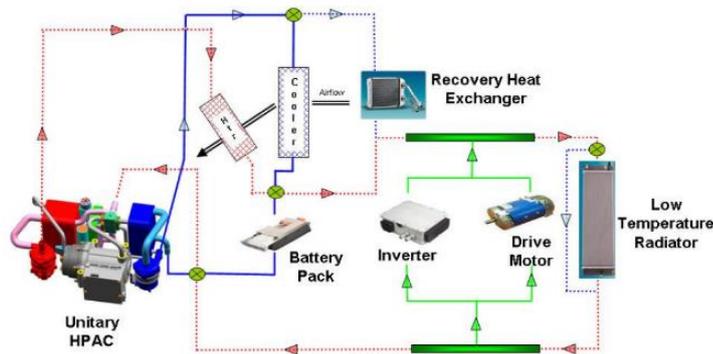


Figura 11. Modo de enfriamiento con un sistema HPAC unitario

3.3 Estudios realizados con varios refrigerantes

La utilización de nuevos refrigerantes es una alternativa para mejorar la eficiencia del sistema de aire acondicionado.

Scherer et al. (Scherer *et al.*, 2003) analizó sistemas de bomba de calor R134a y R152a con la válvula de 3 vías para controlar el flujo de refrigerante durante los cambios de modo de refrigeración y calefacción. Durante el modo de calefacción, se utilizó el refrigerante del motor como fuente de calor, que tuvo una mejor calidad y eliminó el problema de la acumulación de hielo en la superficie exterior del intercambiador de calor. El rendimiento constante mostró que el sistema podría suministrar más de 9,0 kW de capacidad calorífica en condiciones de temperatura ambiente de 10 ° C. En la prueba de calentamiento, el sistema de bomba de calor R134a y R152a podría acortar el tiempo de calentamiento a la temperatura confortable de la cabina en comparación con el sistema de calefacción del núcleo del calentador original. Pero estos sistemas de bomba de calor no eran adecuados para VEF porque no existe tal recurso de calor del refrigerante del motor para el intercambiador de calor exterior.

Guyonvarch (Guyonvarch, Aloup and Petitjean, 2018), estudió los efectos del aire acondicionado (es decir, refrigeración y calefacción) en el rango de conducción para varios modos de conducción, incluidos UDDS, HWFET y NEDC. El resultado muestra que la eficiencia energética de los vehículos eléctricos se opone a la tendencia habitual del consumo de combustible de los vehículos con motor de combustión interna en modo de conducción en carretera que en modo de conducción urbana. En el modo de carretera, la eficiencia energética de los vehículos eléctricos y el rango de conducción también disminuyen que en el modo de conducción urbana. Este estado se vio influenciado en las características del motor, cuya disminución de par en condiciones de rotación de

alta velocidad y el modo de conducción en carretera consiste en una velocidad de velocidad constante, por lo que no podría usar el sistema de frenado regenerativo de manera efectiva. En general, el aire acondicionado (es decir, refrigeración y calefacción) provoca una disminución promedio de aproximadamente un 33% en el rango de conducción.

Direk and Yuksel (Direk and Yüksel, 2020), investigaron las características de rendimiento de un sistema de bomba de calor automotriz (AHP) que utiliza R1234yf y R134a. Se evaluó el efecto de las velocidades del compresor, las velocidades del flujo de aire y las temperaturas sobre las características de rendimiento del sistema en varias condiciones de prueba. Se dispusieron las condiciones experimentales óptimas para determinar las prestaciones del sistema AHP. Como resultado, el rendimiento de calentamiento del R1234yf es menor que el del R134a. El rendimiento de calefacción de los sistemas AHP aumenta a medida que disminuyen las velocidades del flujo de aire. Mientras que las velocidades del flujo de aire aumentaron de 1,2 a 4,5 m s⁻¹, la capacidad calorífica se redujo en un 15%. El cambio en las velocidades del aire juega un papel más importante en las características de rendimiento que el cambio en la temperatura ambiente a velocidades de flujo de aire bajas. Comparando las presiones de succión y descarga tanto del R134a como del R1234yf, el R1234yf es más alto debido a sus densidades de vapor. Finalmente, R1234yf se puede utilizar en sistemas AHP para aplicaciones de refrigeración y calefacción.

Se han desarrollado investigaciones con el uso de nuevos refrigerantes con el fin de mejorar la eficiencia del sistema y estudiar la influencia de las cargas térmicas que inciden en la cabina del vehículo. El CO₂ es un refrigerante antiguo pero natural con menor potencial de calentamiento global (GWP, GWP¹/₄₁) y sin potencial de agotamiento del ozono (ODP, ODP¹/₄₀). Debido a su baja temperatura crítica (31,1 ° C), se opera principalmente en ciclo transcrito. En el ciclo transcrito de CO₂, el vapor de CO₂ se enfría en fase de vapor y el condensador se denomina enfriador de gas. Desde mediados de la década de 1990, las tecnologías de aire acondicionado de CO₂ y bombas de calor se han desarrollado rápida y ampliamente. El CO₂ se puede utilizar en dispositivos residenciales, comerciales y móviles.

Kim y col. (Kim *et al.*, 2007) proporcionó un nuevo sistema de bomba de calor de CO₂ para su uso en vehículos de celda de combustible, al considerar las disposiciones del intercambiador de calor. Este ciclo, que tenía un compresor impulsado por electricidad, controlado por inversor, se aplicó al sistema de bomba de calor del automóvil tanto para refrigeración como para calefacción. Los circuitos de refrigeración y calefacción constaban de un compresor semihermético, intercambiadores de calor de microcanales de presión supercrítica (un enfriador de gas y un calentador de cabina), un evaporador de microcanales, un intercambiador de calor interno, una válvula de expansión y un acumulador. Las características de rendimiento del sistema de bomba de calor de CO₂ para vehículos de pila de combustible se analizaron mediante experimentos. Se probaron las disposiciones del radiador y el intercambiador de calor exterior para cuantificar la eficacia de refrigeración /

calefacción y la interferencia mutua. La mejora de la capacidad de calefacción y el coeficiente de rendimiento (COP) del sistema de bomba de calor de CO₂ fue de hasta 54% y 22%, respectivamente, cuando se utilizó aire precalentado a través del radiador en lugar de aire ambiente frío. Sin embargo, la capacidad de enfriamiento disminuyó bastante en un 40-60% y el COP disminuyó bastante en un 43-65%, para la nueva disposición del radiador-frontal.

Baek, (Baek *et al.*, 2008) investigaron el rendimiento de calefacción de un sistema de bomba de calor de CO₂ transcrito con un compresor de doble rotación. La bomba de calor de CO₂ transcrito con inyección de gas se probó variando la relación de inyección de gas y la temperatura exterior con la carga de refrigerante óptima de 6400 g, la frecuencia del compresor de 40 Hz y las primeras y segundas aberturas de EEV de 6% y 6%. La relación de capacidad de calefacción y la relación COP aumentaron con el aumento de la relación de inyección de gas a todas las temperaturas exteriores debido al aumento del caudal másico total. El rendimiento de calefacción de la bomba de calor de CO₂ transcrito con inyección de gas se mejoró a baja temperatura exterior. La capacidad calorífica y el coeficiente de COP del sistema con inyección de gas se mejoraron en un 45% y un 24%, respectivamente, sobre el sistema sin inyección a una temperatura exterior de -8 °C.

Tamura y col. (Ikeda, Yoshii and Tamura, 1990) desarrolló un prototipo de sistema de calefacción y refrigeración móvil de CO₂ para automóviles de tamaño mediano. El rendimiento del sistema fue superior al de un sistema R134a. Mientras tanto, la relación COP de calefacción del sistema de CO₂ al sistema de R134a fue de 1,31 cuando se utilizó un flujo de refrigerante como fuente de calor. El diseño especial en el trabajo de Tamura et al. Fue un método de control de presión intermedia para ajustar la cantidad óptima de refrigerante. La presión intermedia se mantuvo en el intercambiador de calor exterior para evitar el desequilibrio en las cantidades óptimas de refrigerante. para enfriar y calentar.

3.4 Control del sistema de aire acondicionado en vehículos eléctricos

Existe un creciente interés en el sistema de control de clima de los vehículos eléctricos, incluidos el enfriamiento y la calefacción. Los vehículos eléctricos (vehículos eléctricos, incluidos los vehículos eléctricos híbridos y los vehículos totalmente eléctricos) tienen un calor residual inadecuado para calentar la cabina y el sistema de control de clima tiene un efecto muy significativo en la eficiencia del consumo de energía y el kilometraje operativo.(Qi, 2014)

Bilodeau (Bilodeau, 2018) propuso el sistema de control climático integrado. Las condiciones de diseño, incluidos los requisitos de confort en diversas condiciones ambientales, carga del sistema, resistencia térmica, batería u otros componentes electrónicos, deben considerarse simultáneamente. Basado en este concepto, se estableció un nuevo sistema de control de clima llamado Bomba de Calor Regenerativa de Alto Rendimiento (RHP2). En el sistema RHP2, se tuvieron en cuenta el calor residual durante el funcionamiento exotérmico de la batería y la energía térmica recuperada del aire

viciado evacuado. El sistema tenía un COP relativamente alto de 2,9 incluso en condiciones de conducción severas en el laboratorio. El rendimiento real en un camión de reparto post-servicio implicaba que podía operar independientemente de las condiciones climáticas tan bajas como 25 ° C sin pérdida de COP, lo que fue una mejora real en comparación con el sistema normal de bomba de calor. Sin embargo, en esa investigación el sistema y las especificaciones de los componentes y la refrigeración Fig. 3. Receptor / dispositivo de expansión bidireccional [9]. rendimiento no fueron publicados.

Antonijevic y Heckt (Antonijevic and Heckt, 2004) estudiaron experimentalmente un sistema de bomba de calor complementario para un sistema de calefacción móvil. El sistema prototipo podría obtener una capacidad calorífica adicional de 1,53,0 kW bajo diferentes temperaturas ambientales y condiciones de conducción. Los autores también concluyeron que el sistema suplementario aceleró el período de calentamiento sin importar qué tan frío estuviera el motor. Con el sistema, el consumo de combustible del vehículo también se mejoró en comparación con los de los sistemas de núcleo del calentador y los sistemas suplementarios del calentador PTC.

Jokar y col. (Jokar, A., Hosni, M., and Eckels, 2005) configuró un sistema de doble circuito que podría funcionar en condiciones de invierno y verano. Estaba compuesto por una válvula de 4 vías, intercambiadores de calor exterior e interior. La diferencia con los otros sistemas de bomba de calor R134a fue la cabina del vehículo enfriada por un enfriador interno. El fluido que absorbe calor en el enfriador interno no es un refrigerante tradicional sino un refrigerante. Los resultados de la prueba mostraron que el sistema podría funcionar muy bien en modo CA en diversas condiciones ambientales y de cabina. Desafortunadamente, no se publicó ningún resultado de la prueba de la bomba de calor. El sistema era simple y funcionaba sin problemas, pero más intercambiadores de calor y más refrigerante con glicol aumentarían el costo y el peso del sistema. Sin embargo, el refrigerante tenía una mayor capacidad de almacenamiento térmico y era mejor para el estado inactivo pero peor para las condiciones de calentamiento y enfriamiento.

Shin y col. (Shin, S., Yun, C., Lim, S., Moon, no date) probó un nuevo sistema de bomba de calor en el sistema de control de clima del autobús. En este sistema, el refrigerante del motor se utilizó como fuente de calor. Principalmente, el banco y los resultados experimentales en el vehículo del nuevo sistema de bomba de calor se compararon con el rendimiento de calefacción del sistema de núcleo del calentador convencional con un calentador auxiliar. Teniendo en cuenta el tamaño del bus, el costo, la complejidad, el rendimiento y la eficiencia de todo el sistema, se utilizaron dos válvulas de 3 vías para reemplazar la válvula convencional de 4 vías para invertir el flujo de refrigerante cuando se cambiaba el modo AC / HP. Las pruebas de banco mostraron que la capacidad de calentamiento de HP dependía en gran medida de la velocidad del compresor y la temperatura del refrigerante, que era la fuente de calor. Las pruebas en el vehículo mostraron que la temperatura de calentamiento del vehículo fue más baja durante los primeros 17 minutos y luego mayor después de

17 minutos que la de un sistema de núcleo de calentador convencional. Se concluyó que el sistema HP debería enfrentar los mayores desafíos cuando la velocidad del vehículo estaba inactiva. Los autores también dieron a entender que el nuevo sistema HP necesita más mejoras y más estudios sobre el costo de operación, la comodidad del compartimiento y nuevos refrigerantes alternativos.

Yokoyama y col. (Yokoyama *et al.*, 2011) desarrolló un sistema de simulación llamado Thermal Link System para analizar el sistema de gestión térmica en vehículos eléctricos. El sistema era un sistema de bomba de calor con una válvula de 4 vías para controlar la dirección del flujo de refrigerante. La capacidad de refrigeración y calefacción se transfirió mediante un circuito secundario al compartimiento y los dispositivos. En el modo de enfriamiento, el refrigerante se dividió en dos direcciones a los intercambiadores de calor de la cabina y los dispositivos (podría llamarse un sistema de doble evaporador), que era diferente de los sistemas HP anteriores. El modo de calefacción podría reducir el consumo eléctrico a 600 W y ganar 2000 W de capacidad de calefacción. Significaba que la COP era más de 3.3.

Peng y Du (Peng and Du, 2016) analizó el rendimiento del sistema de bomba de calor en los vehículos eléctricos según el tipo de fuente de calor. Su trabajo cubrió la fuente de aire y el sistema de bomba de calor de múltiples fuentes, así como los componentes y estructuras novedosos del sistema de bomba de calor EV. El documento se presenta en dos partes: la parte de reducción de la carga climática y la parte de mejora de la eficiencia de calefacción. En la parte de reducción de carga climática, primero se caracteriza la carga de control climático de los vehículos eléctricos en invierno, luego se revisan las estrategias de reducción de carga; en la parte de mejora de la eficiencia de calefacción, se analizan las características de los diferentes sistemas de bombas de calor.

3.5 Nuevas tecnologías desarrolladas para el sistema A/C en vehículos eléctricos

Tecnología - Efecto magnetocalórico

El enfriamiento / calentamiento magnético se basa en el efecto magnetocalórico (MCE) cuando se aplica a diferentes materiales metálicos y nuevas aleaciones denominadas materiales magnetocalóricos (MCM) (Pecharsky and Gschneidner, 1999). Cuando MCM se somete a un campo magnético fuerte, el calor se generará como consecuencia del efecto intrínseco de la orientación del espín. Durante esta fase, el MCM se magnetizará y el calor generado se puede utilizar para calentar el compartimiento del automóvil. Cuando el MCM se saca del campo magnético, será una fase de desmagnetización y la temperatura del MCM disminuirá debido a la orientación aleatoria del espín intrínseco. Entonces, la capacidad de enfriamiento se produce en esta etapa. El diagrama esquemático de un ciclo de refrigeración magnética con dos fases se muestra en la Fig. 12.

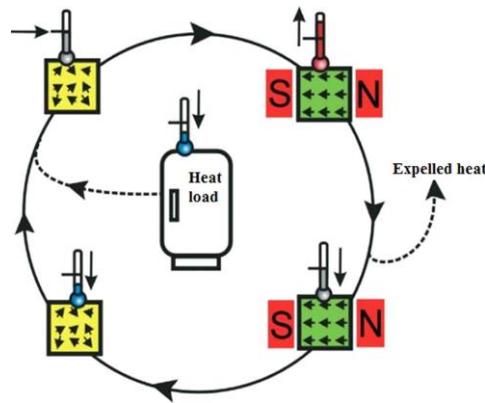


Figura 12. Representación esquemática de un ciclo de refrigeración magnética, que transporta calor desde la carga térmica al ambiente.

Gómez et al. (Romero Gómez *et al.*, 2013) han completado una revisión exhaustiva de la aplicación de MCE en refrigeradores cerca de la temperatura ambiente en las últimas décadas. El nuevo sistema de climatización móvil estará compuesto por las dos fases anteriores con refrigeración y calefacción. De acuerdo con las características de MCM, se propuso un sistema de CA reversible combinado con enfriamiento y calefacción para el control del clima de HEV o FEVs basado en tecnologías magnéticas a temperatura cercana al ambiente. El prototipo mostró que el sistema puede suministrar una fuente fría de 7 1C a una temperatura ambiente de 30 1C y el COP del sistema es de aproximadamente 3-7, que es comparable o mayor que el ciclo de compresión de vapor convencional.

Torregrosa-Jaime et al. (Torregrosa-Jaime *et al.*, 2013) diseño de un acondicionador de aire magnetocalórico para un minibús eléctrico. El sistema incluirá dos bombas de calor magnetocalóricas reversibles, una en la parte delantera de un minibús y otra en la parte trasera. El sistema de rechazo de calor de la electrónica de potencia se acoplará al sistema de aire acondicionado. Para ayudar al diseño del sistema, se ha desarrollado un modelo dinámico para la cabina, los circuitos hidráulicos e intercambiadores de calor y las unidades magnetocalóricas. Es necesario un diseño integrado del sistema completo, ya que funcionará en condiciones dinámicas que dependen de la carga térmica en la cabina. En este artículo, se presentan las condiciones de operación de las unidades magnetocalóricas y se discute el diseño del acondicionador de aire magnetocalórico. Este trabajo se ha desarrollado en el marco del Proyecto Europeo ICE que tiene como objetivo desarrollar un innovador sistema de aire acondicionado móvil para vehículos eléctricos basado en una bomba de calor magnetocalórica.

Aplicación de efecto termoeléctrico

Una de las preocupaciones a nivel mundial se basa en la autonomía de los vehículos eléctricos, esta preocupación aumenta cuando se enciende el aire acondicionado. La carga de control de clima del

sistema de CA es comparable a la entrada de potencia del motor en los vehículos eléctricos, lo que lleva a una caída significativa en la autonomía de conducción, especialmente en climas fríos. A diferencia de los vehículos de motor de combustión interna, el motor de los vehículos eléctricos no tiene suficiente calor residual para mantener una condición de confort dentro de la cabina. La solución normal para calentar durante el invierno en los vehículos eléctricos es utilizar un calentador de resistencia de coeficiente de temperatura positivo (calentador PTC), que convierte la electricidad en calor según el efecto Joule.

Los chips de enfriamiento termoeléctrico (TEC) tienen las ventajas de no tener partes móviles, no tener ruido, tener una vida útil prolongada (Chau, 2016), no tener refrigerantes, son de tamaño pequeño y tienen un control preciso de la temperatura. En comparación con el ciclo de compresión de vapor convencional, su COP es extremadamente bajo. Actualmente, solo se usan para calentar y enfriar asientos en algunos autos de lujo. Pero en un dispositivo TEC, la calefacción o la refrigeración se pueden cambiar fácilmente cambiando la dirección de la corriente eléctrica.

Alaoui y Salameh (Alaoui, 2015) pensaron que el calentador eléctrico, el calentador de combustible y la bomba de calor no eran las soluciones finales en el sistema de gestión térmica de EV. Desarrollaron un sistema novedoso para la gestión térmica de EV / HEV. El sistema era una bomba de calor de efecto Peltier y se detallaron el diseño, la fabricación y las pruebas de este sistema. Durante la prueba, la corriente y la variación de temperatura dentro de la batería se registraron en los modos de calefacción y refrigeración. Los resultados demostraron la viabilidad de la tecnología, pero el COP fue relativamente bajo, que fueron 0,65 y 0,23 en los modos de calefacción y refrigeración, respectivamente.

Cosnier et al. (Cosnier, Fraisse and Luo, 2008), mostró que se podría obtener un COP superior a 1,5 para refrigeración y superior a 2,0 para calefacción con una corriente de 4–5 A y una diferencia de temperatura de 510 1C utilizando su configuración de sistema TEC.

Miranda et al. (Miranda, Chen and Hong, 2013) reveló que el sistema de enfriamiento TEC tenía un rendimiento transitorio con un COP superior a 1,7 bajo temperatura ambiente suave y 0,55 bajo condiciones ambientales rigurosas. Mientras tanto, su modelo de simulación TEC también predijo que se logró un COP superior a 1,7 en el modo de calefacción. Pero también señalaron que el uso exitoso de TEC en vehículos eléctricos dependía en gran medida del volumen del tamaño del automóvil y del aislamiento de la carrocería.

Carga de calefacción de vehículos eléctricos en el sistema de aire acondicionado en invierno

Las cargas del control del clima del vehículo se pueden reducir de muchas maneras; algunas se pueden implementar fácilmente en los vehículos actuales y otras requerirán más desarrollo.

Varios autores han estudiado diferentes técnicas que parecen prometedoras para reducir las cargas de control del clima del vehículo, y hemos visto que incluso pequeños cambios en las cargas del

control del clima pueden resultar en una mayor eficiencia del vehículo. La carga ambiental es otra parte de la carga de calefacción. Debido a la diferencia de temperatura entre el ambiente y el aire de la cabina, el calor fluirá a través del panel de la carrocería del vehículo y provocará una carga de calentamiento.

Rugh et al. (Rugh *et al.*, 2000) La carga de calefacción y refrigeración de un LDV se calculó utilizando ADVISOR (Wipke et al., 1999), un software de simulación desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NERL) de EE. UU. La carga del vehículo compacto de carga ligera alcanzó 6,1 kW con 100% de aire exterior, mientras que la carga disminuyó a 1,7 kW en modo de aire recirculado.

Zhang et al. (Zhang *et al.*, 2017) estudiaron la influencia de las cargas de climatización en la reducción del rango del ciclo de conducción europeo (NEDC) en diferentes condiciones. Concluyeron que las cargas totales de control de clima varían con la velocidad del vehículo, el modo HVAC y el nivel del ventilador. La carga de ventilación es la carga de climatización más grande, seguida de la carga de radiación solar. Estos dos suman más del 80% de la carga total de control de clima en verano. La carga de ventilación representa del 70,7 al 83,9% de la carga total de calefacción en condiciones invernales. Las cargas de control de clima causarán una reducción del 17,2-37,1% del rango NEDC en verano, y una reducción del 17,1-54,1% en invierno, en comparación con la condición de aire acondicionado apagado. El sistema de bomba de calor tiene una ventaja en la extensión del rango. Un sistema de bomba de calor con un COP de calefacción promedio de 1,7 ampliará el rango entre un 7,6% y un 21,1% según las condiciones de simulación

Nielsen et al. (Nielsen, Uddheim and Dalenbäck, 2016) evaluó veintiún medidas de ahorro de energía con respecto al uso total de energía para del sistema de aire acondicionado del vehículo mediante simulaciones. Las propiedades evaluadas fueron el flujo de calor al habitáculo, el trabajo eléctrico y mecánico. El modelo de simulación incluyó submodelos del habitáculo, manejo de aire unidad, sistema de aire acondicionado (AC), motor y sistema de enfriamiento del motor. Para la evaluación se utilizó un ciclo de prueba representativo del mundo real, que incluía pruebas en condiciones frías, intermedias y cálidas. Las medidas con mayor potencial fueron el aumento de la eficiencia del ventilador con una reducción del 46% del trabajo eléctrico y el aumento de la temperatura de desconexión del sistema de CA con una reducción del 27% del trabajo mecánico. Estos resultados muestran que el funcionamiento del sistema de control de clima tuvo un gran efecto en el uso de energía, especialmente en comparación con la calefacción y refrigeración necesarias del habitáculo. Como resultado, las medidas de ahorro de energía deben abordar cómo se genera la calefacción y la refrigeración antes de reducir el flujo de calor al habitáculo.

Carga de refrigeración de vehículos eléctricos en el sistema de aire acondicionado en verano

Debido a las actividades metabólicas, el cuerpo humano generará CO₂ y lo liberará al entorno. La ventilación se utiliza para mantener una concentración relativamente baja de CO₂ en la cabina. El otro es para evitar que se empañe el parabrisas para garantizar una visión clara del conductor. En climas fríos, la temperatura en la superficie interior del parabrisas es normalmente más baja que la temperatura de la cabina debido a la conducción de calor a través del vidrio (Ziqi Zhang *et al.*, 2018). Cuando la temperatura de la superficie es menor que el punto de rocío del aire de la cabina se formará condensado que bloqueará la vista del conductor. Para evitar eso, la forma común es absorber el aire exterior con poca humedad para reducir la humedad relativa del aire de la cabina, lo que provocará la carga de ventilación. Utilizar el aire recirculado es una forma de reducir la carga de ventilación. Se puede lograr fácilmente cambiando el ángulo de posición del amortiguador de admisión, que se encuentra en la entrada de la unidad HVAC. Este método ya se ha aplicado tanto en ICEV como en EV para reducir la carga de refrigeración en verano. En ICEV, los resultados muestran que alrededor del 30% de la eficiencia de CA se puede mejorar durante las pruebas inactivas (US. EPA, DoT, 2010); mientras que en vehículos eléctricos, el estudio de Zhang et al. (Zhang *et al.*, 2016) mostró que se pueden ahorrar de 10 a 425 kW · h⁻¹ de energía de enfriamiento anual en diferentes ciudades (alrededor de 7% a 48% de disminución en comparación con el enfriamiento de OSA).

En el clima frío, primero se debe determinar la tasa de ventilación para evitar que se empañe el parabrisas. Las industrias del automóvil están muy dedicadas al desarrollo de sensores de niebla y algoritmos de auto-desempeñado basados en la temperatura y humedad de la cabina y del aire ambiente pero el parámetro clave del empañamiento parece bastante inconcluso.

Hirai y col. (Hirai *et al.*, 2011) discutieron el potencial de ahorro de energía utilizando el aire recirculado. Se utilizó un sensor que midió la humedad y la temperatura para detectar el estado del aire cerca del parabrisas para evitar el empañamiento. Con métodos experimentales y de simulación, afirmaron que la parte superior central del parabrisas era la mejor posición para instalar el sensor. Luego se determinaron experimentalmente los efectos de ahorro de energía, que mostraron que por debajo de -5 ° C ambiente, se pueden reducir 0,8 kW de carga de ventilación (alrededor del 30% de la carga total).

Zhang y col. (2017) desarrolló un un modelo de consumo de energía del sistema de aire acondicionado en el vehículo eléctrico. Se incluyen los factores relativos, como los datos climáticos, la intensidad de uso del vehículo y la predicción de la carga climática basada en el confort térmico. Según el modelo, el consumo de energía anual de dos tipos de sistemas de aire acondicionado (el sistema de enfriamiento único con calentador PTC y el sistema de aire acondicionado con bomba de calor) se calcula en 30 ciudades de China. Del trabajo se puede concluir lo siguiente: 1. Los factores de dominio que afectan el consumo de energía de una ciudad son la ubicación (que determina el clima de la ciudad) y la intensidad de uso del vehículo. Se proporcionan las regresiones del consumo de energía de calefacción por cada 100 km de distancia de conducción frente a la latitud. A partir de

las regresiones, se puede ver que la bomba de calor ahorra energía en una amplia gama de ubicaciones. El sistema de bomba de calor es más eficiente en ubicaciones de latitudes medias. En las ciudades tropicales y subtropicales, el sistema de bomba de calor consumirá más energía, ya que el compresor del sistema de bomba de calor no puede funcionar a una velocidad muy baja, lo que provoca un "sobrecalentamiento" en la cabina. En ubicaciones de alta latitud, el COP del sistema de bomba de calor disminuye a medida que el clima se vuelve más frío, lo que reduce el efecto de ahorro de energía. A excepción de las ciudades tropicales, el sistema de bomba de calor puede lograr un ahorro de energía promedio del 41,3% en comparación con el calentador PTC.

Oiwake y col. (Oiwake *et al.*, 2017) estudió los efectos de ahorro de energía de reducir la carga ambiental mediante simulación. Descubrieron que con una reducción del 80% en la carga ambiental, la economía de combustible de un vehículo híbrido aumentó solo un 7%.

Jeffers et al. (Jeffers, Chaney and Rugh, 2016) utilizaron pruebas térmicas de vehículos al aire libre y modelado computacional para evaluar estrategias potenciales para mejorar la gestión térmica y evaluar la efectividad de las tecnologías de reducción de carga térmica. También se utilizó un modelo de fisiología humana para evaluar el impacto en el confort térmico de los ocupantes. Las evaluaciones experimentales de las estrategias de calefacción por zonas demostraron una reducción del 5,5% al 28,5% en la energía de calefacción de la cabina durante un calentamiento de 20 minutos. Las simulaciones de vehículos durante varios ciclos de conducción muestran una mejora del 6,9% al 18,7% en el rango de vehículos eléctricos con respecto al calentamiento de referencia utilizando la estrategia de calentamiento zonal más prometedora investigada. Se realizó un análisis a nivel nacional para determinar el impacto nacional general. Si todos los vehículos utilizaran la mejor estrategia zonal, la autonomía se mejoraría en un 7,1% con respecto a la gama de calefacción de referencia. Esta es una reducción del 33% en la penalización de alcance.

Türler et al., (Türler, Hopkins and Goudey, 2010) indicaron que combinado con un vidrio de vehículo de baja emisividad, el efecto invernadero del vehículo podría reducirse, por lo que el aislamiento térmico del cuerpo es beneficioso para el ahorro de energía tanto en verano como en invierno, pero hay más evidencias. necesario para esta conclusión. En esta sección se puede ver que, en comparación con la reducción de la carga de ventilación, la reducción de la carga ambiental no es tan rentable.

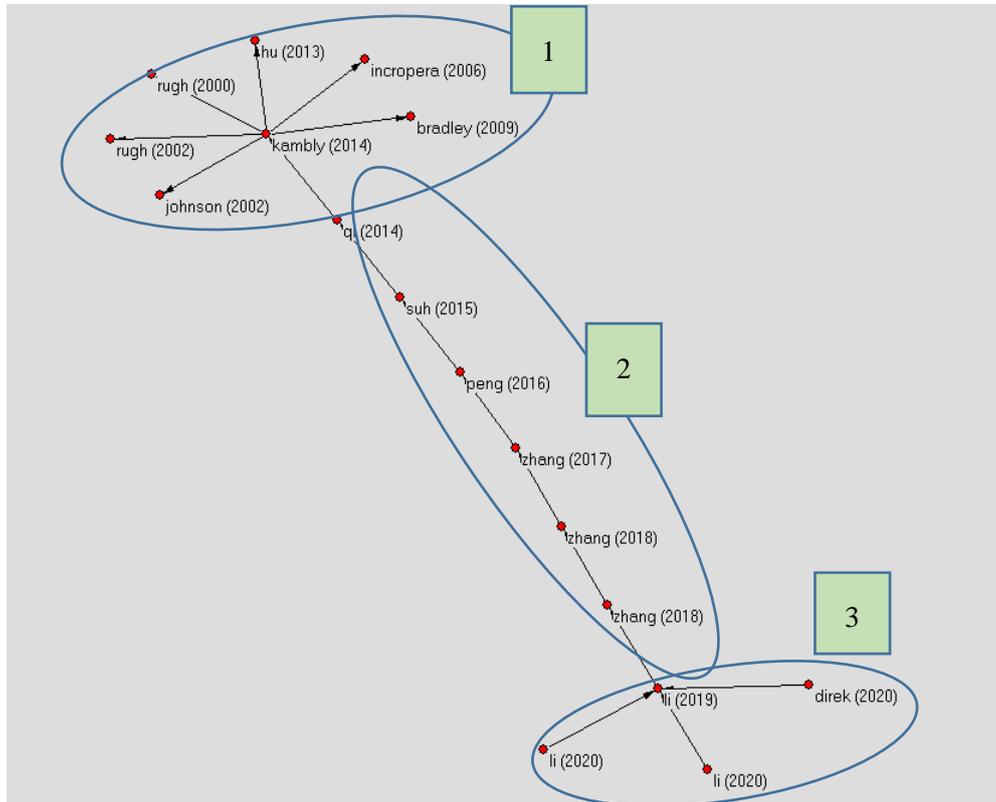
Kreutzer y col. (Kreutzer, Rugh and Tomerlin, 2017) probaron los efectos de ahorro de energía de las superficies interiores con calefacción en la cabina del vehículo. Se calentaron las superficies del lado del conductor y del lado del pasajero, incluido el reposabrazos y el refuerzo de la puerta, la almohadilla de choque, la pared y la parte superior de la consola, la guantera y los asientos. Después de la modificación, el vehículo se probó en período de calentamiento y calentamiento en régimen permanente. Se encontró que, durante el período de calentamiento, el consumo de energía fue 2.4%

mayor que la línea de base como máximo, mientras que durante el calentamiento de estado estable, el consumo de energía se redujo en un 29% -59% basado en la sensación de confort térmico.

Li et al. (Li *et al.*, 2018) también demostró que : La cantidad de carga de refrigerante tiene más influencia en la temperatura de succión del compresor que la temperatura de descarga. De manera similar, la transferencia de calor en el evaporador de A / C es más sensible a la cantidad de carga que la del condensador. Los análisis de la capacidad de refrigeración y el COP muestran que la cantidad de carga de refrigerante tiene una influencia significativa en el rendimiento del sistema cuando la cantidad de carga es inferior a 450 g, mientras que la influencia de la cantidad de carga es limitada cuando la cantidad de carga supera los 450 g. determinó que la cantidad crítica de carga de refrigerante es de 452 g bajo la velocidad del compresor de 1000 r/min, mientras que alcanza 448g y 460g bajo la velocidad del compresor de 1400 r min y 1800 r/min. , respectivamente.

Li et al. (Li *et al.*, 2020) experimentó un sistema típico de bomba de calor para sistemas de aire acondicionado con tres intercambiadores de calor para investigar las características del rendimiento del sistema bajo varias cargas de refrigerante. Las prestaciones de refrigeración y calefacción del sistema se analizaron de forma exhaustiva para comprender mejor la carga óptima. Sobre la base de tres modelos clásicos para calcular la fracción de vacío, se obtuvo la cantidad de carga teórica y se comparó con los resultados experimentales. Las principales conclusiones son las siguientes. Con la carga de refrigerante ampliada, la presión de descarga del compresor aumenta, mientras que la temperatura de descarga disminuye gradualmente. La temperatura de salida del módulo HVAC tiende a estabilizarse y la capacidad o COP alcanzan el valor pico gradualmente al aumentar la carga de refrigerante, manteniéndose con una ligera variación después de eso. Para la misma carga de refrigerante en modo calefacción, la variación de la velocidad del compresor muestra una influencia significativa en la presión y temperatura de descarga.

En la figura 13 se observa la trayectoria científica de los sistemas A/C en vehículos eléctricos



1. Estimación del consumo de energía del sistema A/C en vehículos eléctricos
 - Análisis de la eficiencia de un vehículo eléctrico – Ahorro energético
2. Artículos de revisión
 - Sistema de aire acondicionado y bomba de calor en vehículos eléctricos
 - Estrategias de control de la energía del sistema de aire acondicionado automotriz
 - Refrigerantes Naturales
 - Nuevas tecnologías
3. Optimización de la cantidad de refrigerante en un sistema A/C de vehículos eléctricos

Figura 13. Análisis de la trayectoria científica de los sistemas A/C en vehículos eléctricos

Sakano (1991) presentó una patente (No. 4991405) de un sistema de aire acondicionado automotriz cuyo objeto fue un sistema de aire acondicionado para automóviles que pueda funcionar de manera eficiente cuando se conduce aire exterior frío o caliente al compartimento de pasajeros. Este sistema tiene un mecanismo simple para conducir aire a un segundo intercambiador de calor. La invención incluye un circuito de bomba de calor que comprende un primer intercambiador de calor y un segundo intercambiador de calor. El primer intercambiador de calor proporciona aire frío o caliente a un habitáculo. El segundo intercambiador de calor está provisto de una vía de entrada de aire exterior que conduce el aire exterior al segundo intercambiador de calor. El aire del compartimento de pasajeros también se conduce al segundo intercambiador de calor mediante un camino de conducción de aire. El flujo de aire desde el habitáculo y el exterior es conducido selectivamente al segundo intercambiador de calor por un amortiguador que responde a la demanda de flujo de aire.

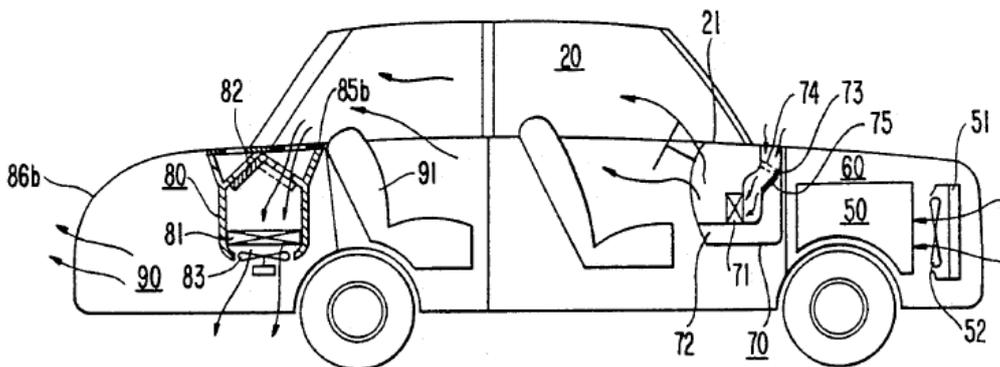


Figura 16. Sistema de bomba de calor para automóviles (Sakano, 1991)

Si bien es cierto que la invención de Sakano se aplicaba a vehículos con motor de combustión interna, fue la base para el uso de bombas de calor en vehículos motorizados, para una posterior utilización de estos sistemas en vehículos eléctricos.

En un vehículo provisto de un motor de combustión interna, cuando el motor está inactivo, el acondicionador de aire no se puede activar. Por lo tanto, cuando un conductor o un pasajero viaja en el vehículo, pueden sentir disgusto debido a una alta temperatura o humedad. También es difícil lograr rápidamente un ambiente confortable en el habitáculo porque el funcionamiento del acondicionador de aire debe retrasarse hasta que el motor exhiba una potencia normal o el aire caliente o frío debe ser suministrado al interior del vehículo a una tasa de flujo de aire reducida.

Con el fin de superar tal inconveniente, se propuso un "aparato de control del ambiente de la habitación del vehículo" en la publicación de patente japonesa No. 342325. Según la propuesta, el aparato de control detecta la temperatura en el interior, a continuación, el motor se pone en marcha automáticamente antes de que el conductor se monte en el vehículo para ajustar así la temperatura, la humedad, etc. en el habitáculo del vehículo.

En un aparato de control de este tipo, sin embargo, el motor puede funcionar durante un largo período de tiempo en un estado no tripulado. Por lo tanto, las condiciones ambientales están contaminadas con el gas que sale del motor y se produce ruido a partir del mismo. Además, dado que el tiempo de inicio de funcionamiento del acondicionador de aire no se puede cambiar en respuesta a condiciones de altas temperatura, la habitación del vehículo no se puede llevar a una temperatura agradable en el momento de la conducción debido al hecho de que el tiempo de inicio de funcionamiento es demasiado tarde. Alternativamente, en condiciones de temperatura más baja, el acondicionador de aire se activa y opera más allá de la necesidad debido al hecho de que la hora de inicio de la operación es demasiado pronto.

Un sistema similar se describe en la patente No. 4436064 (Lamkewitz and Riedmaier, 1984) para uso con un vehículo que tiene un motor de combustión interna para arrancar el motor y calentar la habitación del vehículo antes de un tiempo seleccionado para viajar en el vehículo en base a las condiciones de temperatura reales detectadas por el sistema.

Se producen problemas adicionales si el vehículo que se va a utilizar es un vehículo eléctrico. Cuando se activa un acondicionador de aire del vehículo eléctrico antes de que un conductor se monte en el vehículo eléctrico, una parte de la corriente necesaria para cargar la batería que sirve como fuente de impulsión utilizada para el funcionamiento del vehículo, se suministra a la fuente de impulsión del acondicionador de aire. En consecuencia, a menudo existe una situación en la que la corriente de carga de la batería se agota. Por otro lado, si el vehículo está provisto de un medio de suministro de aire caliente, como un calentador, un descongelador o similar, para evitar que se empañe el vidrio de la ventana delantera o trasera o similar.

En este contexto, Hotta y Tajiri (1994) presentaron una patente (No. 5305613) que continuó con las patentes No. 5524446 (Hotta y Tajiri, 1996) y No. 5572881 (Hotta and Akiko Tajiri, 1996), de un sistema de aire acondicionado adecuado para uso en vehículo eléctrico. En el sistema de aire acondicionado comprende un sistema circulatorio de gas refrigerante del tipo de bomba de calor para efectuar selectivamente el enfriamiento y la calefacción, que está dispuesto dentro del vehículo eléctrico y comprende líneas que interconectan tres intercambiadores de calor, una válvula de control direccional, un compresor y una válvula de expansión. Se proporciona un dispositivo de control para activar y desactivar el intercambiador de calor, la válvula de control direccional y el compresor (ver figura 17).

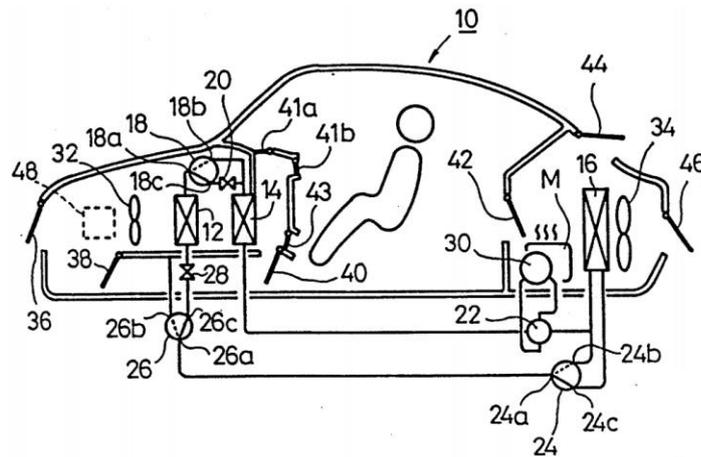


Figura 17. Sistema de aire acondicionado adecuado para uso en vehículo eléctrico (Hotta and Tajiri, 1994)

Antes del funcionamiento esperado del vehículo, al menos una parte del sistema circulatorio de gas refrigerante puede ser operado por el dispositivo de control usando una fuente de impulsión diferente de la fuente de impulsión usada para hacer funcionar el vehículo. En consecuencia, se puede establecer un ambiente confortable en la habitación durante el tiempo esperado durante la conducción activando el sistema de aire acondicionado en un estado sin ocupación.

El objetivo general de la invención fue proporcionar un aparato de pre-acondicionamiento de aire adecuado para su uso en un vehículo eléctrico, en el que cuando se realiza un proceso de pre-acondicionamiento de la habitación del vehículo al cargar la batería del vehículo mediante una fuente de alimentación externa, un acondicionador de aire puede ser operado usando la corriente residual diferente a la corriente requerida para cargar la batería, haciendo así posible mejorar la comodidad al comienzo de la marcha del conductor sin perturbar la carga de la batería. Otro objeto fue proporcionar un sistema de aire que puede ofrecer comodidad al conductor cuando el conductor viaja en el vehículo, y permitir el funcionamiento inmediato del vehículo al llevar las ventanas de la parte delantera y trasera aun estado desempañado antes de que el vehículo funcione.

Por otro lado, en un aparato de aire acondicionado para el vehículo eléctrico, el dispositivo para accionar un compresor eléctrico con fines de aire acondicionado suministra una gran corriente al compresor. Por lo tanto, el gran ruido eléctrico interfiere con la radio del automóvil y las grandes fluctuaciones de corriente afectan negativamente a la durabilidad de la batería para suministrar la corriente. Como resultado, es necesario suavizar la corriente suministrada al compresor accionado eléctricamente para suprimir así el ruido eléctrico y las fluctuaciones de la corriente, como se muestra en la figura 3 a) y b). Para este propósito, se proporciona un condensador de gran capacidad electrostática en un punto donde el medio de accionamiento del compresor operado eléctricamente

se alimenta con energía eléctrica a través de un dispositivo de conmutación desde la batería. Sin embargo, la provisión de un condensador con una gran capacidad electrostática hace que fluya una gran corriente de carga al condensador en el instante en que se conecta la batería. El problema resultante es que el fusible se funde o el cableado del patrón de la placa impresa se rompe, o se genera una sobrecorriente por la resonancia con el componente de inductancia del cableado de la batería, como se muestra en el diagrama de forma de onda de la Figura 18 c), dañando así el compresor accionado eléctricamente que acciona e3S.

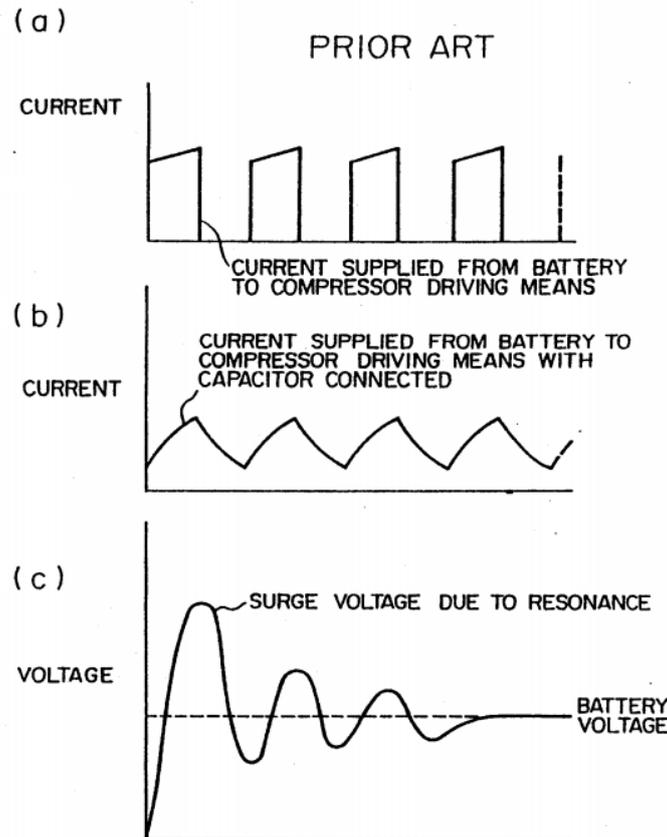


Figura 18. Corriente de accionamiento de un compresor en vehículo eléctrico (Goto, Yoshida and Nishimiya, 1995)

Para suprimir la sobretensión de carga al condensador en el instante en que se conecta la batería, el condensador se carga a través de un dispositivo conductor. Normalmente, se utiliza una resistencia como dispositivo conductor.

En este contexto, Goto et al. (1995) presentó la patente No. 5408842 de un aparato de aire acondicionado para vehículos eléctricos de tamaño pequeño, construcción simple y alta confiabilidad, que puede usarse para muchos tipos de vehículos, incluye una batería, un dispositivo conductor conectado en serie con la batería, un dispositivo de conmutación conectado en paralelo para el dispositivo conductor, un condensador cargado de la batería a través del dispositivo

conductor, un dispositivo alimentado con energía de la batería a través del dispositivo de conmutación para accionar un compresor de aire acondicionado operado eléctricamente. El dispositivo conductor está adaptado para cargar el condensador con una corriente constante.

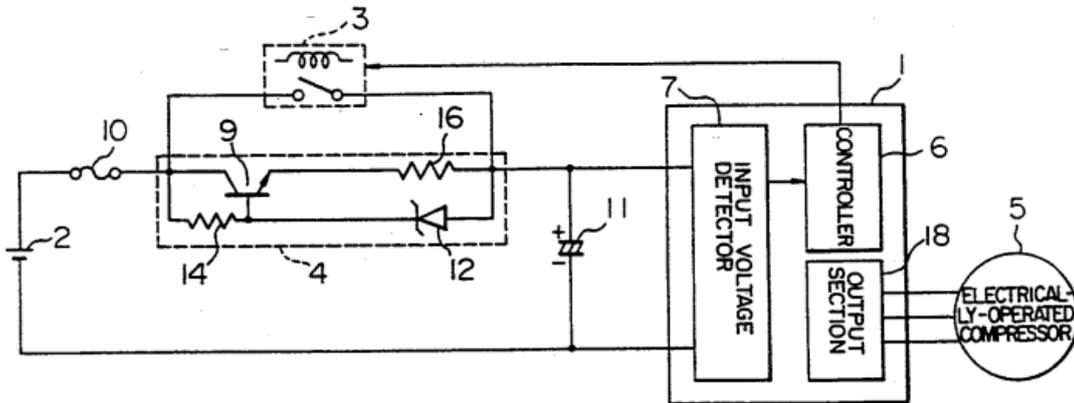


Figura 19. Diagrama de circuito eléctrico de un aparato de aire acondicionado para el vehículo eléctrico (Goto, Yoshida and Nishimiya, 1995)

La evolución tecnológica en el sistema de aire acondicionado para vehículos eléctricos continuó hacia el desarrollo de sistemas de control del sistema.

La siguiente innovación tecnológica comprende un acondicionador de aire que incluye una denominada función de preacondicionamiento de aire que hace funcionar el acondicionador de aire de antemano para realizar el acondicionamiento de aire en el interior del vehículo antes de subir a un vehículo, asegurando así la comodidad al subir al vehículo. Sin embargo, cuando el acondicionador de aire que tiene una función de preacondicionamiento de este tipo se monta en un vehículo eléctrico que tiene una batería de viaje como fuente de conducción de viaje, el acondicionador de aire implementa preacondicionamiento para consumir energía eléctrica de la batería de viaje. Por lo tanto, existe el riesgo de que la cantidad de carga se reduzca para disminuir la distancia de viaje.

Dadas las circunstancias, en el vehículo eléctrico de este tipo, se ha propuesto que cuando un cargador de batería montado en el vehículo eléctrico cargue la batería de viaje con el uso de una energía eléctrica suministrada desde una fuente de alimentación externa, la energía eléctrica de la fuente externa de alimentación se suministra al aire acondicionado a través del cargador de batería y el preacondicionador del aire

Se implementa el posicionamiento, para así suprimir una reducción en la cantidad de carga en la batería de viaje. Por cierto, actualmente se utilizan dos tipos de fuentes de alimentación externas que se describen a continuación para cargar la batería de viaje del vehículo eléctrico.

- 1) Una fuente de alimentación (por ejemplo, 100 V (15 A), 200 V (15 A)) con una capacidad relativamente pequeña que se suministra a enchufes residenciales
- 2) Una fuente de alimentación (por ejemplo, trifásica 200V (50 kW) de gran capacidad que se suministra a un cargador rápido ubicado en una estación de carga de baterías.

Por otro lado, el acondicionador de aire para el vehículo eléctrico normalmente está equipado con un compresor que funciona con energía eléctrica y, por lo tanto, la energía eléctrica se inicia tan pronto como comienza la operación de aire acondicionado. Cuando el motor eléctrico arranca, se genera una corriente de irrupción varias veces hasta varias decenas de veces tan grande como una corriente estacionaria. En consecuencia, cuando la batería de viaje se carga con la ayuda de la fuente de alimentación anterior con la capacidad relativamente pequeña, existe el riesgo de que se ejerza una carga excesiva en la fuente de alimentación residencial, por ejemplo, si la corriente de arranque del motor eléctrico excede la capacidad de la fuente de alimentación. Por esa razón, existe la necesidad de reemplazar la capacidad de la fuente de alimentación residencial con una gran capacidad suficiente para absorber la corriente de entrada de antemano. Si no se puede garantizar el suministro de energía con una capacidad tan grande, no se puede realizar el pre-acondicionamiento. Por lo tanto, hay margen de mejora para mejorar la comodidad del usuario.

En este contexto, (Fukatsu, 2016) presentó una patente (No. 9340090) de un aparato de control de aire acondicionado montado en un vehículo eléctrico que tiene una batería de viaje que suministra energía eléctrica a una fuente de conducción de viaje, un cargador de batería que carga la batería de viaje con una fuente de alimentación y un acondicionador de aire que conduce aire acondicionado en el interior de un vehículo. Cuando el pre-acondicionamiento se implementa en un estado en el que el cargador de batería está conectado a la fuente de alimentación, una corriente de entrada generada en un corto período de tiempo cuando se inicia una operación del aire acondicionado es absorbido tanto por la alimentación de energía de la fuente de alimentación como por la alimentación de energía de la batería de viaje, y después de que la corriente de entrada ha sido absorbida, el aire acondicionado funciona solo con la alimentación de energía de la fuente de alimentación.

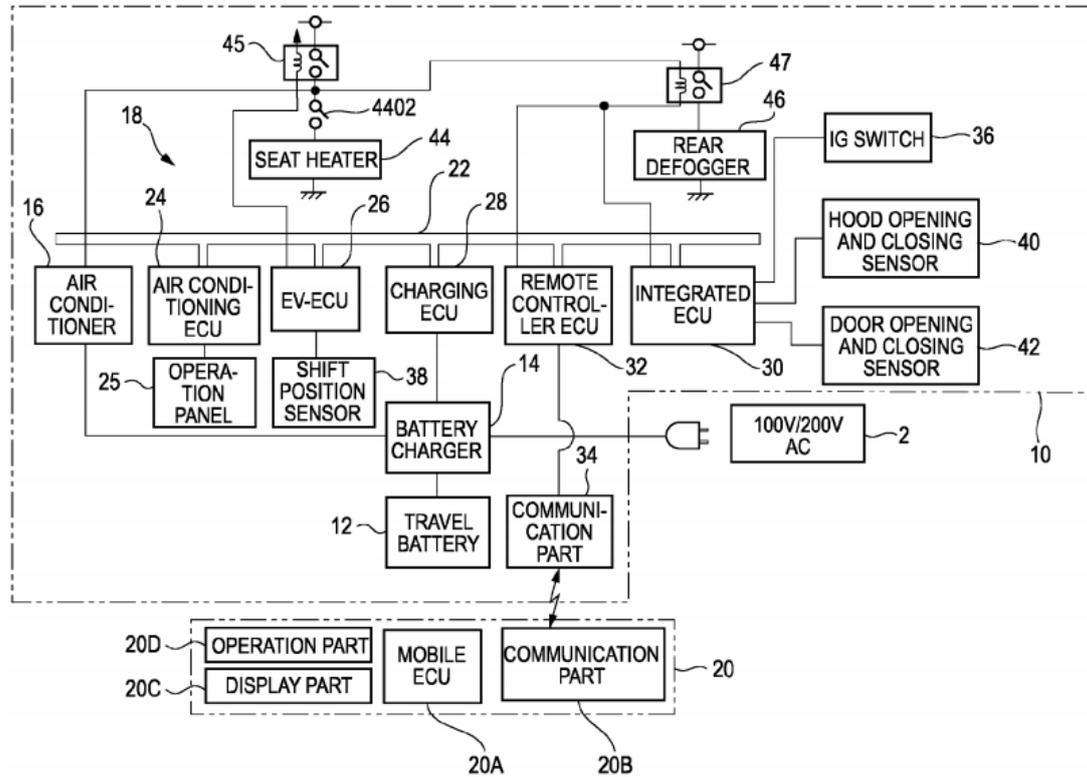
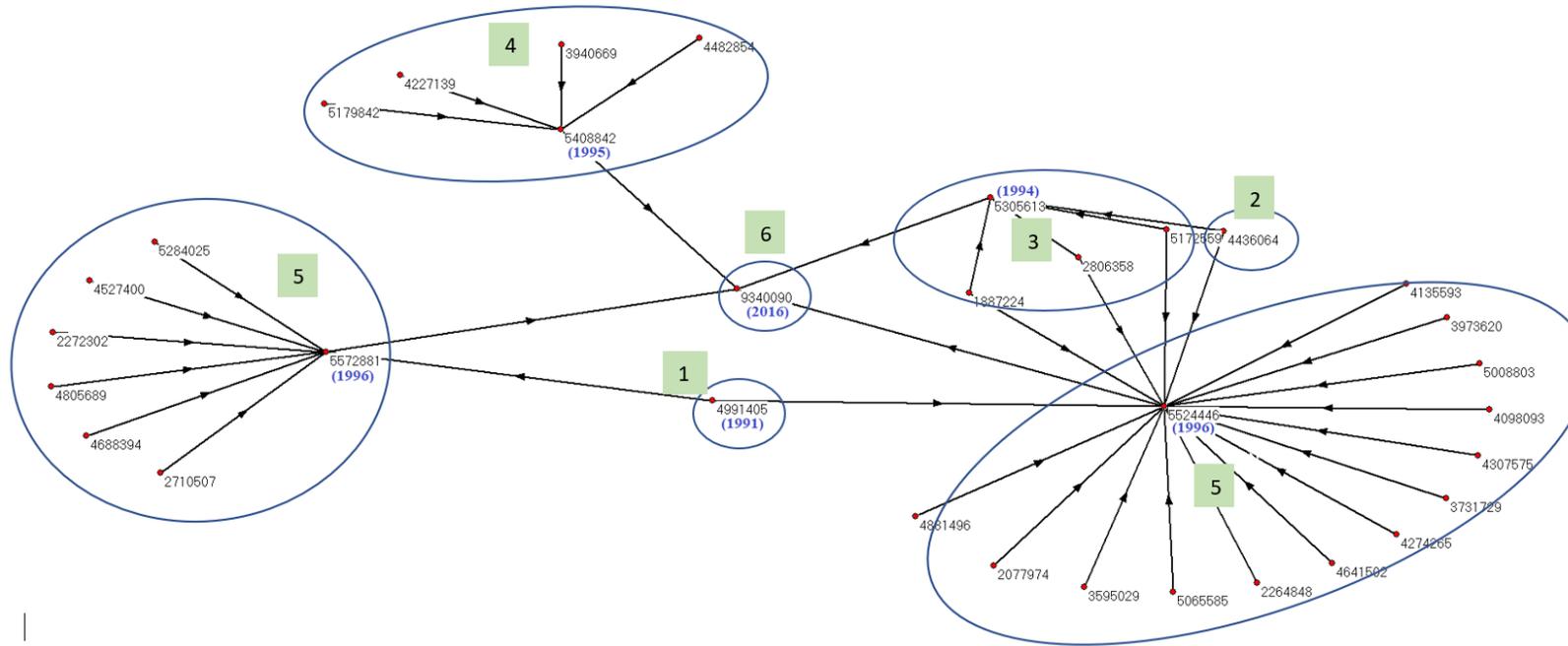


Figura 20. Diagrama de bloques del sistema de control de aire acondicionado para el vehículo eléctrico (Fukatsu, 2016)

Por lo tanto, un objeto de la invención es proporcionar un aparato de control de aire acondicionado que pueda implementar con seguridad el pre-aire acondicionado mientras se suprime una reducción en la cantidad de carga en la batería de viaje, incluso si la fuente de alimentación con la capacidad relativamente pequeña, ubicada en las carcasas, es utilizada, y es ventajoso en la mejora de la conveniencia y comodidad.



1. Sistema A/C tipo bomba de calor reversible para vehículos con MCI
2. Sistema A/C tipo bomba de calor reversible para vehículos con MCI
3. Sistema A/C con pre-acondicionamiento (Problemas de autonomía en arranque de compresor)
4. Sistema A/C con condensador y dispositivo conductor desde la batería
5. Control de accionamiento del sistema A/C en vehículos eléctricos con pre-acondicionamiento
6. Control del sistema A/C con batería, fuente de alimentación y cargador de batería

Figura 21. Trayectoria tecnológica del aire acondicionado en vehículos eléctrico

3.7 Análisis de la coevolución científica y tecnológica del sistema A/C en vehículos eléctricos

Dentro de la trayectoria principal de patentes, para sistemas de aire acondicionado en vehículos eléctricos se evidencia que se basaron principalmente en dos patentes de bombas de calor reversibles aplicados de vehículos de motor de combustión interna ((Lamkewitz and Riedmaier, 1984), (Sakano, 1991)). Posteriormente las patentes presentadas a mediados de la década del 90 se referían sobre todo a tratar de solventar los problemas en el arranque del compresor del sistema A/C en vehículos eléctricos principalmente cuando hacen el pre acondicionamiento del aire interior debido a que generaban una disminución de la autonomía del vehículo eléctrico (Hotta and Tajiri, 1994).

En ese contexto se presentaron patentes como (Goto, Yoshida and Nishimiya, 1995) que proponían un sistema de aire acondicionado que utilizaba un condensador y un dispositivo conductor desde la batería para el accionamiento del compresor del sistema, para suprimir la sobretensión de carga al condensador en el instante en que se conecta la batería, el condensador se carga a través de un dispositivo conductor. Normalmente, se utiliza una resistencia como dispositivo conductor.

A su vez las patentes (Hotta and Akihiro Tajiri, 1996; Hotta and Akiko Tajiri, 1996) se centraron en el control del accionamiento sistema A/C de vehículos eléctricos con precalentamiento de aire que hace funcionar el acondicionador de aire de antemano para realizar el acondicionamiento de aire en el interior del vehículo antes de subir a un vehículo, asegurando así la comodidad al subir al vehículo.

Hasta este punto (a finales de la década del noventa) dentro de la trayectoria tecnológica ya se tenía implementada la tecnología de aire acondicionado tipo bomba de calor en vehículos eléctricos. La problemática que surge se deriva del tema de la eficiencia energética y del consumo del aire acondicionado. Estos dos factores toman importancia debido a que el funcionamiento del aire acondicionado en vehículos eléctricos disminuye notablemente la autonomía de las baterías. Por otro lado, el sistema de carga de baterías generó la aparición de nuevas líneas de investigación orientadas al suministro de energía, redes de abastecimiento y dispositivos de cargas,

En este punto si relacionamos con la evolución científica, podemos evidenciar que a partir del año 2000 las investigaciones buscaban estimar el consumo de energía del sistema A/C aplicados vehículos eléctricos ((Johnson, 2002; Rugh, 2002; Bradley and Frank, 2009; Kambly and Bradley, 2014)) . Se generaron estudios experimentales, modelos detallados en estado estacionario y también en estado transitorio, debido a las variaciones picos de potencia en el accionamiento del compresor que comprometen la energía destinada para locomoción.

Otra relación de coevolución de la tecnología de aire acondicionado en vehículos eléctricos se evidencia en la década del 2010 al 2020 en donde las patentes presentadas (Fukatsu, 2016) intentaban solventar la compleja estrategia de control del sistema A/C integrando la batería, las fuentes de

alimentación y el cargador de la batería. En este espacio temporal se aprovecharon las ventajas de la electrónica de potencia y los sistemas de control automático. Con estas tecnologías las investigaciones enfocadas en la optimización del consumo energético del sistema A/C, baterías de mayor capacidad de almacenamiento de energía.

Contemporáneamente en la década del 2010, surgió una gran preocupación por el uso de refrigerantes que tienen alto ODP (Potencial de destrucción de la capa de ozono) y alto GWP (Potencial de Calentamiento Global), en consecuencia, las regulaciones internacionales como la F-GAS prohibieron el uso de ciertos refrigerantes como lo HCFC (HIDROCLOROFLUOROCARBUROS) que contenían cloro, un compuesto bastante nocivo para la capa de ozono. Además, surgió el interés en la utilización de refrigerantes naturales como el propano y el CO₂, con el propósito de determinar el rendimiento del sistema con estos nuevos fluidos. El uso del CO₂ se ve afectado por los altos rangos de presiones a las que debe trabajar el sistema y por el diseño del ciclo para que trabaje en condiciones transcritas.

Por otro lado, siendo el R134a el refrigerante mas utilizado en automoción en acondicionamiento de aire se generó la necesidad de buscar reemplazos a este refrigerante por su alto GWP, entonces las investigaciones se enfocaron en el uso del HFO R1234yf que es una olefina con bajo GWP.

Otra línea de investigación bastante importante surgió a partir del uso de refrigerantes naturales como el propano y el isobutano, la problemática que debían enfrentar los investigadores era la optimización de la carga de refrigerante que se tiene en el sistema, debido a los problemas de inflamabilidad que poseen estos refrigerantes, todos estos temas surgieron a la par del apareamiento de directrices europeas relacionadas con la seguridad en el uso de refrigerantes.

Finalmente, las investigaciones se enrumbaron en el análisis de nuevas tecnologías que produzcan el efecto frigorífico es por eso por lo que, a finales de la década del 2010, aparecieron estudios de tecnologías como el efecto Peltier, Chips de enfriamiento termoeléctrico (TEC), sistemas de efecto magneto calórico, ciclos ORC para aplicaciones automotrices.

La figura 22 muestra la coevolución científica y tecnológica del sistema de aire acondicionado de vehículos eléctricos.

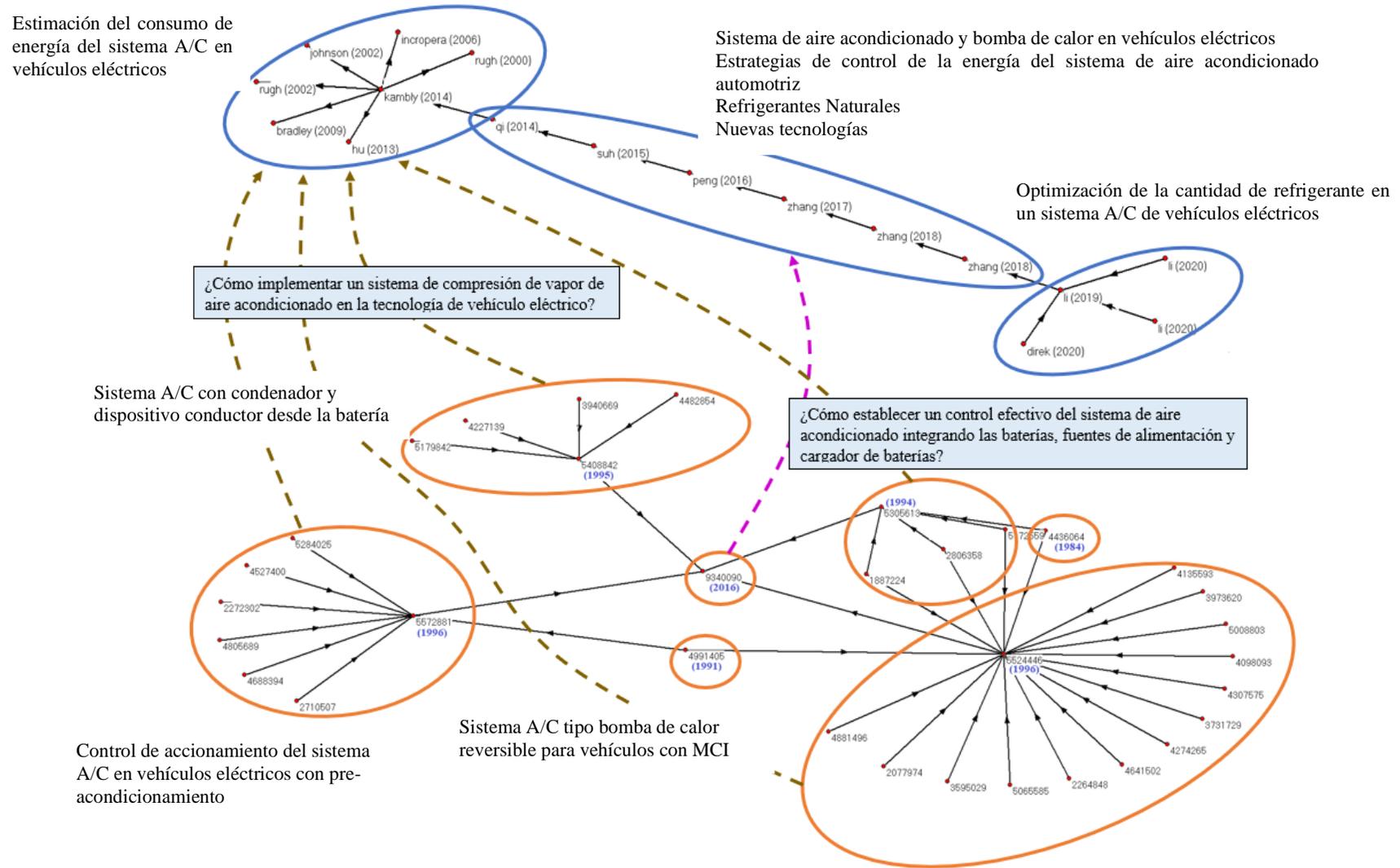


Figura 22. Coevolución científica y tecnológica del sistema de aire acondicionado de vehículos eléctricos

4: CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación se analiza la trayectoria científica y tecnológica del sistema de aire acondicionado en vehículos eléctricos. Para ello, se empleó la metodología de análisis de conectividad de citas tanto de patentes como de artículos científicos. Las patentes fueron consultadas en la base de datos de la USPTO, mientras que los artículos científicos fueron consultados en la base de datos de la Web of Science. Para la generación de las trayectorias de patentes y de artículos científicos se utilizaron los programas Citnet Explorer y Pajek. Del presente estudio se desprenden las siguientes conclusiones:

Sobre trayectoria científica, desde inicio del 2000 hasta finales del 2014, las investigaciones se enfocaron en la estimación del consumo de energía del sistema A/C en vehículos eléctricos para el análisis de la eficiencia energética del sistema A/C con la finalidad de conseguir un ahorro energético. A partir del 2014 los estudios se enfocaron en estrategias de control de la energía del sistema de aire acondicionado automotriz, uso de refrigerantes Naturales y desarrollo de nuevas tecnologías. Finalmente, en los últimos años los estudios se concentraron en determinar la cantidad óptima de refrigerante que requiere el sistema A/C en un vehículo eléctrico.

Sobre trayectoria tecnológica, hasta el año de 1991 las patentes desarrolladas propusieron sistemas de aire acondicionado para vehículos de motor de combustión interna. En la década del 90 se patentaron equipos de aire acondicionado que intentaban resolver los problemas de la autonomía en el arranque del compresor y el control del accionamiento en vehículos eléctricos con pre-acondicionamiento del aire. Finalmente, a partir del 2015 se patentaron equipos de aire acondicionado para vehículos eléctricos con control de batería, fuente de alimentación y cargador de batería.

Se identificó una línea de investigación actual relacionada con el análisis de nuevas tecnologías que produzcan el efecto frigorífico como: efecto Peltier máquinas de efecto magneto calórico y ciclo ORC para vehículos eléctricos.

Se identificaron dos partes en la coevolución de las trayectorias científicas y tecnológicas. La primera parte comprende patentes entre 1984-1996 y artículos publicados entre 2000-2014 que responden a la interrogante de cómo implementar un sistema de compresión de vapor de aire acondicionado en la tecnología de vehículo eléctrico. La segunda parte en la coevolución comprende las patentes entre el 1996 – 2016 y los artículos entre los años 2014-2019 en donde se intentaban responder a las interrogantes de cómo establecer un control efectivo del sistema de aire acondicionado integrando las baterías, fuentes de alimentación y cargador de baterías.

REFERENCIAS

- Alaoui, C. (2015) ‘Peltier Thermoelectric Modules Modeling and Evaluation Peltier Thermoelectric Modules Modeling and Evaluation Chakib Alaoui’, (April 2011).
- Antonijevic, D. and Heckt, R. (2004) ‘Heat pump supplemental heating system for motor vehicles’, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 218(10), pp. 1111–1115. doi: 10.1177/095440700421801005.
- Baek, C. *et al.* (2008) ‘Experimental Study on the Heating Performance of a CO₂ Heat Pump With Gas Injection’, *Refrigeration And Air Conditioning*, 15, pp. 1–10.
- Barberá-Tomás, D., Jiménez-Sáez, F. and Castelló-Molina, I. (2011) ‘Mapping the importance of the real world: The validity of connectivity analysis of patent citations networks’, *Research Policy*, 40(3), pp. 473–486. doi: 10.1016/j.respol.2010.11.002.
- Bäuml, T. *et al.* (2015) ‘Simulation and measurement of an energy efficient infrared radiation heating of a full electric vehicle’, *2014 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2014*. doi: 10.1109/VPPC.2014.7007129.
- Bellocchi, S. *et al.* (2018) ‘Reversible heat pump HVAC system with regenerative heat exchanger for electric vehicles: Analysis of its impact on driving range’, *Applied Thermal Engineering*. Elsevier Ltd, 129, pp. 290–305. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.10.020.
- Bilodeau, S. (2018) ‘SAE TECHNICAL High Performance Climate Control for Alternative Fuel Vehicle’, (724).
- Bradley, T. H. and Frank, A. A. (2009) ‘Design, demonstrations and sustainability impact assessments for plug-in hybrid electric vehicles’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(1), pp. 115–128. doi: 10.1016/j.rser.2007.05.003.
- Chau, K. T. (2016) ‘Hybrid vehicles’, *Alternative Fuels for Transportation*, 54(2), pp. 361–391. doi: 10.2469/cfm.v19.n6.7.
- Cosnier, M., Fraisse, G. and Luo, L. (2008) ‘An experimental and numerical study of a thermoelectric air-cooling and air-heating system’, *International Journal of Refrigeration*, 31(6), pp. 1051–1062. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2007.12.009.
- Direk, M. and Yüksel, F. (2020) ‘Experimental Evaluation of an Automotive Heat Pump System with R1234yf as an Alternative to R134a’, *Arabian Journal for Science and Engineering*. Springer Berlin Heidelberg, 45(2), pp. 719–728. doi: 10.1007/s13369-019-04140-x.
- Eléctrico, E. L. V. *et al.* (2018) ‘PROYECTO FIN DE GRADO Presentado por Rodrigo Vázquez Casillas’.

- Farrington, R. and Rugh, J. (2000) 'Impact of Vehicle Air-Conditioning on Fuel Economy, Tailpipe Emissions, and Electric Vehicle Range', *September 2000 • NREL/CP-540-28960 Impact of Vehicle Air- Conditioning on Fuel Economy, Tailpipe Emissions, and Electric Vehicle Range Preprint R. Farrington and J. Rugh To Be Presented at the Earth Technologies Forum Washington, D.C. October 31, 2000 Nat.* (September), p. <http://www.nrel.gov/docs/fy00osti/28960.pdf>. doi: NREL/CP-540-28960.
- Fukatsu, H. (2016) 'United States Patent 9340090'. Japan.
- Goto, N., Yoshida, M. and Nishimiya, M. (1995) 'United States Patent 5408842'. Japan.
- Guyonvarch, G., Aloup, C. and Petitjean, C. (2018) '42 V Electric Air Conditioning Systems (E-A / CS) for Low Emissions , Architecture , Comfort and Safety of Next Generation Vehicles', (724).
- Hirai, S. *et al.* (2011) 'The humidity control system applied to reduce ventilation heat loss of HVAC systems', *SAE 2011 World Congress and Exhibition*. doi: 10.4271/2011-01-0134.
- Hosoz, M. and Direk, M. (2006) 'Performance evaluation of an integrated automotive air conditioning and heat pump system', *Energy Conversion and Management*, 47(5), pp. 545–559. doi: 10.1016/j.enconman.2005.05.004.
- Hotta, Y. and Tajiri, A. (1994) 'United States Patent 5305613'. Japan.
- Hotta, Y. and Tajiri, Akihiro (1996) 'United States Patent 5524446'. Japan.
- Hotta, Y. and Tajiri, Akiko (1996) 'United States Patent 5572881'. Japan.
- Hu, X. *et al.* (2013) 'Energy efficiency analysis of a series plug-in hybrid electric bus with different energy management strategies and battery sizes', *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 111, pp. 1001–1009. doi: 10.1016/j.apenergy.2013.06.056.
- Ikeda, S., Yoshii, Y. and Tamura, Y. (1990) 'Air conditioning electric vehicles with an electronically driven variable speed scroll type compressor', *SAE Technical Papers*. doi: 10.4271/901738.
- Jeffers, M. A., Chaney, L. and Rugh, J. P. (2016) 'Climate Control Load Reduction Strategies for Electric Drive Vehicles in Cold Weather', *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*, 9(1), pp. 75–82. doi: 10.4271/2016-01-0262.
- Johnson, V. H. (2002) 'Fuel used for vehicle air conditioning: A state-by-state thermal comfort-based approach', *SAE Technical Papers*, (724). doi: 10.4271/2002-01-1957.
- Jokar, A., Hosni, M., and Eckels, S. (2005) 'New Generation Integrated Automotive Thermal System', *SAE International Journal*. doi: <https://doi.org/10.4271/2005-01-3476>.
- Kambly, K. R. and Bradley, T. H. (2014) 'Estimating the HVAC energy consumption of plug-in electric vehicles', *Journal of Power Sources*. Elsevier B.V, 259, pp. 117–124. doi:

10.1016/j.jpowsour.2014.02.033.

Kim, D. *et al.* (2017) ‘Optimization of the injection-port geometries of a vapor injection scroll compressor based on SCOP under various climatic conditions’, *Energy*. Elsevier Ltd, 135, pp. 442–454. doi: 10.1016/j.energy.2017.06.153.

Kim, S. C. *et al.* (2007) ‘Performance evaluation of a CO₂ heat pump system for fuel cell vehicles considering the heat exchanger arrangements’, *International Journal of Refrigeration*, 30(7), pp. 1195–1206. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2007.02.008.

Kowsky, C. *et al.* (2012) ‘Unitary HPAC System’, *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*, 5(2), pp. 1016–1025. doi: 10.4271/2012-01-1050.

Kreutzer, C. J., Rugh, J. and Tomerlin, J. (2017) ‘Thermal Load Reduction System Development in a Hyundai Sonata PHEV’, *SAE Technical Papers*, 2017-March(March), pp. 4–6. doi: 10.4271/2017-01-0186.

Lamkewitz, F. and Riedmaier, J. (1984) ‘United States Patent 4436064’. Germany.

Li, K. *et al.* (2018) ‘Investigation on the Influence of Refrigerant Charge Amount on the Cooling Performance of Air Conditioning Heat Pump System for Electric Vehicles’, *Journal of Thermal Science*, 28(2), pp. 294–305. doi: 10.1007/s11630-018-1056-6.

Li, K. *et al.* (2020) ‘A Study of Optimal Refrigerant Charge Amount Determination for Air-Conditioning Heat Pump’.

Miranda, Á. G., Chen, T. S. and Hong, C. W. (2013) ‘Feasibility study of a green energy powered thermoelectric chip based air conditioner for electric vehicles’, *Energy*. Elsevier Ltd, 59, pp. 633–641. doi: 10.1016/j.energy.2013.07.013.

Nielsen, F., Uddheim, Å. and Dalenbäck, J. O. (2016) ‘Potential energy consumption reduction of automotive climate control systems’, *Applied Thermal Engineering*. Elsevier Ltd, 106, pp. 381–389. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.05.137.

Oiwake, M. *et al.* (2017) ‘Effects of the Glass and Body Heat Transfer Characteristics of a Hybrid Electric Vehicle on Its Fuel Consumption and Cruising Distance’, *SAE Technical Papers*, 2017-March(March). doi: 10.4271/2017-01-0184.

Patents / USPTO (no date).

Pecharsky, V. K. and Gschneidner, K. A. (1999) ‘Magnetocaloric effect and magnetic refrigeration’, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 200(1–3), pp. 44–56. doi: 10.1016/S0304-8853(99)00397-2.

Peng, Q. and Du, Q. (2016) ‘Progress in heat pump air conditioning systems for electric vehicles-A review’, *Energies*, 9(4). doi: 10.3390/en9040240.

- Pino, F. J. *et al.* (2015) 'Car air-conditioning considerations on hydrogen consumption in fuel cell and driving limitations', *International Journal of Hydrogen Energy*. Elsevier Ltd, 40(35), pp. 11696–11703. doi: 10.1016/j.ijhydene.2015.04.079.
- Qi, Z. (2014) 'Advances on air conditioning and heat pump system in electric vehicles – A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 38, pp. 754–764. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.038.
- Romero Gómez, J. *et al.* (2013) 'A review of room temperature linear reciprocating magnetic refrigerators', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, pp. 1–12. doi: 10.1016/j.rser.2012.12.018.
- Rugh, J. (2002) 'Integrated numerical modeling process for evaluating automobile climate control systems', *SAE Technical Papers*, (x). doi: 10.4271/2002-01-1956.
- Rugh, J. P. *et al.* (2000) 'Innovative techniques for decreasing advanced vehicle auxiliary loads', *SAE Technical Papers*, (724), pp. 1–8. doi: 10.4271/2000-01-1562.
- Sakano, R. (1991) 'United States Patent 4991405'. Japan.
- Scherer, L. P. *et al.* (2003) 'On-Vehicle Performance Comparison of an R-152a and R-134a Heat Pump System Reprinted From : Advances in Automotive Climate Control', *Analysis*, (724).
- Shin, S., Yun, C., Lim, S., Moon, J. *et al.* (no date) 'R-134a Heat Pump Application for the Buses by Using Engine Coolant as a Heat Source', *SAE International Journal*. doi: <https://doi.org/10.4271/2008-01-2697>.
- Suh, I. S. *et al.* (2015) 'Design and experimental analysis of an efficient HVAC (heating, ventilation, air-conditioning) system on an electric bus with dynamic on-road wireless charging', *Energy*. Elsevier Ltd, 81, pp. 262–273. doi: 10.1016/j.energy.2014.12.038.
- Suzuki, T. and Ishii, K. (2018) 'SAE TECHNICAL Air Conditioning System for Electric Vehicle', (412).
- Torregrosa-Jaime, B. *et al.* (2013) 'Application of Magnetocaloric Heat Pumps in Mobile Air-Conditioning', *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*, 6(2), pp. 520–528. doi: 10.4271/2013-01-0239.
- Türler, D., Hopkins, D. and Goudey, H. (2010) 'Reducing Vehicle Auxiliary Loads Using Advanced Thermal Insulation and Window Technologies', *SAE Technical Paper Series*, 1, pp. 4–5. doi: 10.4271/2003-01-1076.
- Web of Science Core Collection* (no date).
- Yokoyama, A. *et al.* (2011) 'Thermal Management System for Electric Vehicles', *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*, 4(1), pp. 1277–1285. doi: 10.4271/2011-01-1336.

Zhang, Z. *et al.* (2016) 'LCCP Analysis of Energy-Saving Effect of Defaulting to Recirculated Cabin Air in EV Mobile Air Conditioning System', *International Compressor Engineering, Refrigeration and Air Conditioning, and High Performance Buildings Conferences*, pp. 1–8.

Zhang, Z. *et al.* (2017) 'Climate control loads prediction of electric vehicles', *Applied Thermal Engineering*. Elsevier Ltd, 110, pp. 1183–1188. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.08.186.

Zhang, Ziqi *et al.* (2018) 'Electric vehicle range extension strategies based on improved AC system in cold climate – A review Point sur les différentes stratégies pour prolonger l' autonomie des véhicules électriques , basées sur l' amélioration du système de conditionnement d' ', *International Journal of Refrigeration*. Elsevier Ltd, 88, pp. 141–150. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2017.12.018.

Zhang, Zhenying *et al.* (2018) 'The solutions to electric vehicle air conditioning systems: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Pergamon, 91, pp. 443–463. doi: 10.1016/J.RSER.2018.04.005.